

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Posouzení sesuvu svahu zářezu silnice I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice

Assessment of Landslide Road Cut – Road I/58 Leading from Příbor to Kopřivnice

Student:

Bc. Taťána Petrášová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Barbara Luňáčková, Ph.D.

Ostrava 2013



Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

## **Prohlašuji, že**

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá posouzením sesuvu svahu zářezu silnice I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice. Řešený sesuv svahu zářezu se nachází ve staničení 3,050 km ve směru od Kopřivnice na Příbor, na větvi J obchvatu Příboru. V úvodu práce je vysvětlena základní problematika sesuvů, jejich rozdělení a příčiny vzniku. V práci je uveden popis lokality, kde se sesuv nachází a výsledky geotechnických a geologických průzkumných prací, které byly provedeny. Na základě těchto podkladů byly následně vytvořeny matematické modely svahu pomocí softwaru Plaxis 2D 2010. Cílem diplomové práce je celkové posouzení stability svahu podle stupně bezpečnosti, posouzení sesuvu svahu zářezu a vymodelování předpokládaného chování svahu a následné navržení možných stabilizačních opatření.

## **Annotation**

The thesis deals with the assessment of landslide road cut – road I/58 leading from Příbor to Kopřivnice. The solved landslide road cut is located in stationing (at chainage) 3,050 km in the direction from Kopřivnice to Příbo, on branch J of the envelopment Příbor. The introduction explains the basic problems of the landslide, their distribution and causes of genesis. In the work is state description of the site, where is located the landslide and here are the results of geotechnical and geological exploration works, which were carried out (that has been carried out). On the basis of these documents were subsequently created the matematic models with using the software Plaxis 2D 2010. The aim of thesis is the total assessment of the slope stability according to the degree of safety, the assessment of the landslide road cut and the modeling expected behaviour of slope and then suggesting the possible stabilization measures.

## Klíčová slova

1. gabionová stěna
2. geotechnika
3. hranec
4. MKP
5. odvodnění
6. sesuvy, svahové pohyby
7. stabilita svahu
8. svahový odtrh

## Key words

- gabion wall  
geotechnical engineering  
dreikanter  
The finite element method (FEM)  
drainage  
landslides  
slope stability  
slope breaking

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	9
Úvod.....	10
1. Inženýrsko - geologická a hydrogeologická charakteristika území sesuvu, geodynamické jevy .....	11
1.1 Exogenní dynamika.....	12
1.1.1 Geologická činnost vody .....	13
1.1.2 Erozní činnost vody.....	14
1.1.3 Geologická činnost větru (eolická činnost).....	14
1.2 Endogenní dynamika.....	15
1.2.1 Zemětřesení .....	15
1.3 Antropogenní procesy .....	16
1.3.1 Člověk jako geologický činitel.....	16
1.4 Svahové pohyby a sesuvy .....	17
1.4.1 Příčiny vzniku sesuvů.....	20
1.4.2 Rozdělení svahových pohybů.....	22
1.4.3 Zvláštní případy svahových sesuvů.....	27
1.5 Sanace sesuvů.....	28
1.5.1 Metody zajištění stability svahu .....	30
1.5.2 Metody výzkumu sesuvů.....	31
1.5.3 Kontrolní sledování svahů.....	32
2. Zhodnocení stávajícího stavu .....	33
2.1 Lokalizace sesuvného území.....	33
2.1.1 Geografické a geomorfologické poměry zájmového území .....	34
2.2 Charakteristika stavby .....	35
2.2.1 Mostní objekt MO 206 .....	38
2.2.2 Zářez Z 3a.....	40
2.3 Rozsah a metodika provedených průzkumů a průzkumných vrtů .....	42
2.3.1 Vrtné, kopné a vzorkovací práce .....	42
2.3.2 Polní a terénní zkoušky .....	44
2.3.3 Geodetické a geofyzikální práce .....	44
2.3.4 Ostatní práce.....	44
2.3.5 Seznam provedených průzkumů a vrtů v zájmovém území.....	44
2.4 Výsledky z provedených vrtů a sond .....	45
2.4.1 Geotechnické typy zemin a skalních hornin a jejich vlastnosti .....	49
2.5 Stávající stav sesuvu svahu zářezu.....	51
3. Vypracování návrhu stabilizačních opatření.....	54
3.1 Obecné zásady posouzení stability svahu .....	54
3.2 Metody výpočtů stability svahu .....	55
3.2.1 Stabilita svahu v nesoudržných zeminách – bez HPV .....	56
3.2.2 Stabilita svahu v soudržných zeminách .....	57
3.2.3 Stanovení nebezpečné (kritické) smykové plochy .....	58
3.2.4 Krátkodobá a dlouhodobá stabilita.....	58
3.2.5 Metoda konečných prvků (MKP).....	59
3.3 Doporučená opatření pro zvýšení stability svahu pro daný případ sesuvu svahu zářezu .....	60
3.3.1 Navrhovaná opatření doporučená z provedených průzkumů pro zajištění stability svahů zářezu .....	60
4. Modelová analýza navržených stabilizačních řešení .....	62

4.1 Inženýrsko - geologický profil použitý pro statické výpočty.....	62
4.2 Vstupní geotechnické parametry .....	65
4.2.1 Geotechnické parametry a charakteristiky zemin .....	65
4.3 Modelová analýza posuzované lokality vytvořená v softwaru Plaxis 2D 2010.....	67
4.3.1 Softwarový program Plaxis .....	67
4.3.2 Souřadný systém .....	67
4.3.3 Topologie .....	68
4.3.4 Modelové varianty.....	71
4.3.5 Fáze výstavby .....	72
4.4 Návrh a posudek sanačních opatření .....	75
4.4.1 Stávající stav sanace – parametry použitého štěrku .....	75
4.4.2 Odvodnění povrchové - drenážní žebra.....	76
4.4.3 Opěrná zeď gabionová .....	77
4.4.4 Statický výpočet – posouzení gabionové stěny .....	77
4.5 Výsledky vyhodnocení a závěr .....	78
5. Závěrečná analýza výsledků řešení.....	91
5.1 Poznatky získané během zpracovávání diplomové práce .....	91
5.2 Výsledky řešení .....	92
Seznam zdrojů a použité literatury .....	93
Seznam obrázků .....	95
Seznam tabulek .....	97
Seznam grafů .....	98
Seznam příloh .....	99
Poděkování.....	100



## Seznam použitých značek a symbolů

Bpv.	Závazný geodetický referenční systém na celém území státu
CBR	Kalifornský poměr únosnosti zemin
CH	jíl s vysokou plasticitou
CI	jíl se střední plasticitou
CL	jíl s nízkou plasticitou
CV	jíl s velmi vysokou plasticitou
$E_{def}$	modul deformace (Youngův deformační modul pružnosti v tahu a tlaku; [MPa])
F	stupeň stability; [-]
GW	šterk dobře zrněný
H	Horninový vzorek
CHLÚ	Chráněné ložiskové území
IA	Inverzní analýza
IGP	Inženýrsko-geologický průzkum
MO	Mostní objekt
MKP	Metoda konečných prvků
MS	hlína písčitá
P	Porušený vzorek
PLP	Poloporušený vzorek
S - JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
STAB	Vzorky pro realizaci zkoušek stabilizace vápnem
TV	Technologický vzorek
TM	Technologicko-modelový vzorek
c	soudržnost; [kPa]
$\varphi$	úhel vnitřního tření; [°]
$\gamma_{unsat}$	objemová tíha suché zeminy; [kN / m <sup>3</sup> ]
$\gamma_{sat}$	objemová tíha nasycené zeminy; [kN / m <sup>3</sup> ]
$\mu$	Poissonovo číslo; [-]

# Úvod

Autorka se v úvodu diplomové práce zabývá inženýrsko-geologickou a hydrogeologickou charakteristikou území sesuvů. Dále sesuvy, jak a proč vznikají a obecným rozdělením sesuvů. Další kapitola je věnovaná zhodnocení stávajícího stavu sesuvu svahu zářezu. V třetí kapitole se autorka práce zabývá návrhem opatření vedoucích ke stabilizaci svahu zářezu. V následující kapitole je vypracovaná modelová analýza území s navrženými stabilizačními prvky řešená pomocí softwaru Plaxis 2D 2010, jejich posouzení včetně určení celkové stability území podle stupně bezpečnosti. V poslední kapitole práce autorka provedla závěrečnou analýzu výsledků řešení a rovněž shrnula poznatky získané během zpracovávání své Diplomové práce.

Posuzovaný zářez se nachází na silnici I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice, která je součástí vybudovaného obchvatu města Příboru a tento obchvat je napojen na již stávající silniční úsek Lubina – Vlčovice. Silnice I/58 má nadregionální význam a patří mezi hlavní výpady z Ostravy jižním směrem. Je součástí komplexu staveb D 47. Trasa silnice I/58 spojuje Ostravsko se Slovenskou republikou. Severně od Ostravy končí na hraničním přechodu do Polské republiky v Bohumíně. Dále tvoří spojnici mezi silnicemi I/48 a I /35 vedoucí ve směru západ – východ, přičemž silnice I/48 je nejdůležitějším silničním tahem v řešeném území. Obchvat Příboru byl otevřen 24.11.2011 a jeho cílem bylo, aby se z centra města Příboru vyhnaly stovky automobilů a ulehčilo se spojení se sousední Kopřivnicí.

# 1. Inženýrsko - geologická a hydrogeologická charakteristika území sesuvu, geodynamické jevy

Geodynamické procesy probíhají po celou dobu vývoje Země. Důsledkem jejich působení je geologická a geomorfologická stavba a přirozený charakter reliéfu. Jedná se o souhrn procesů přímo ovlivňující fyzikálně-chemický a napjatostní stav geologického prostředí. Hlavními kritérii, která rozhodují o členění geodynamických procesů a jevů, jsou především aktivita, věk, vývojové fáze a jejich opakovatelnost.

Podle hlavních faktorů podmiňujících jejich vznik můžeme tyto procesy rozdělit na:

- **exogenní,**
- **endogenní,**
- **antropogenní.** [5], [17]

## 1.1 Exogenní dynamika

Exogenní dynamika je odvětví v geologii, které se zabývá vnějšími (exogenními) činiteli a popisuje jevy vyvolané jejich působením. Mezi hlavní zdroje energie vnějších činitelů patří přitažlivost Slunce a Měsíce, světelné a tepelné záření Slunce, zemská gravitace a rotace Země a Slunce. Sluneční energie způsobuje tepelné změny, při nichž vzniká na zemském povrchu stálý oběh vody. Exogenní činitelé mají svůj původ mimo zemskou kůru. Tepelné změny mají za následek i mechanické rozpadávání a drobení hornin.

Zemskou gravitací se podmiňují rovněž i tzv. volný pád, řícení a jiné svahové pohyby, dále pohyby vodních toků či ledovců. Při těchto jevech se povrch pevniny rozrývá a vymílá. Eroze jsou nejčastějším důsledkem vnějších činitelů. Jejich působením se hmoty hromadí na dnech řek, vodních nádrží a na souši.

Exogenní činitelé působí vytrvale, nerovnosti reliéfu převážně zarovávají a snižují tak výškovou členitost reliéfu. Modelace reliéfu je podmíněná proudící vodou, větrem, sněhem, ledem a mrazem. Nepůsobí však jen gravitace, ale i teplota, tlak či ledovce. [5], [17]

### **U exogenních činitelů pozorujeme činnosti třech druhů:**

1. činnost rušivá - rozrušování hornin a tvarů na zemském povrchu,
2. činnost transportní - přemísťování materiálu, který vznikl při rozrušování,
3. činnost tvořivá - ukládání (sedimentace) rozrušeného materiálu na jiné místo.

**K exogenním procesům (dle Kumpery) patří:** zvětrávání, eroze, transport materiálu (vodou, větrem, ...), geologická činnost vody, usazování, krasovění, sufóze a svahové gravitační pohyby. [5]

### 1.1.1 Geologická činnost vody

Geologická činnost vody je jedním z nejdůležitějších exogenních činitelů, její účinky lze sledovat jak v pevném (led), kapalném (voda), tak v plynném stavu (páry). Dešťová voda stéká, splachuje a odnáší úlomky hornin a tím odkrývá dosud neporušené vrstvy. Podzemní voda, která se pod zemským povrchem shromažďuje v pórech, dutinách či puklinách, proniká právě skrz tyto póry, pukliny nebo dutiny, tzv. kaverny. Horniny a zeminy, jež propouštějí tekutiny, označujeme jako kolektory. Podzemní voda nepředstavuje jen zdroj pitné vody, ale velmi často ovlivňuje náš život. Ve stavebnictví má velice významnou roli, neboť má vliv zejména na únosnost základových půd. Horniny nasáklé vodou svou únosnost všeobecně ztrácejí rychleji než horniny, které nejsou vodou nasáklé. Nejčastěji podzemní voda ovlivňuje stavební výkopy, komunikační zářezy, štoly či jiná geotechnická místa. [5]

Množství vody, které se nevypaří a není pohlceno půdou či rostlinami, stéká po zemském povrchu a vytváří tzv. povrchový vodní tok. Pohyb vodního toku je zapříčiněn zemskou přitažlivostí. Voda jako taková vždy stéká z výše položených míst do míst níže položených, přičemž se na svazích velmi často vytvářejí rýhy, koryta potůčků, potoků a řek. Voda vyskytující se v přírodě není nikdy absolutně čistá, vždy je obohacena různými látkami, např. minerálními soli, sloučeninami vápníku či hořčíku, sírany a uhličitany, a to podle toho, kterým místem protéká. [5]

Je všeobecně známé, že ke svahovým pohybům (sesuvům) dochází nejčastěji v jarním období po tání sněhu, popř. v období velmi výrazných dešťových srážek, které bývají v letních měsících, protože svah již není schopen absorbovat více vody a je jí plně nasycen. Vliv vydatnosti srážek na četnost sesuvů se projevuje podle mnoha klimatických poměrů daného území, jako jsou rozdělení srážek během celého roku a změny v teplotách. Rozhoduje o tom také reliéf území či geologická stavba svahu. Dlouhodobým pozorováním záznamů nejčetnějších dešťových srážek je pak možné předpovídat obnovení sesuvných pohybů v oblastech zvýšených výskytů sesuvů. [9], [10]

### 1.1.2 Erozní činnost vody

Proudění vody způsobuje erozi, která se projevuje především rozrušováním dna a boků daného koryta. Samotná eroze je závislá na síle proudící vody. Je tím větší, čím větší je rychlost a množství proudící vody. V důsledku působení eroze dochází k prohlubování koryta toku a horninový materiál, který je tekoucí vodou odnášen, se do povrchových vod může dostávat několika způsoby. Poklesne-li unášecí schopnost proudící vody, tj. zmenší-li se spád, rychlost a množství vody na takovou úroveň, že již není voda schopna částice a horninový materiál unášet, tak začíná jejich postupné usazování, které je zapříčiněno gravitací. Rovněž dochází k rozřídování unášeného materiálu podle jeho hmotnosti. [5]

### 1.1.3 Geologická činnost větru (eolická činnost)

Geologickou činnost větru (dle Kumpéry) rozlišujeme dvojího druhu, na rušivou (eolická eroze) a na tvořivou (eolické usazování). Eolická eroze se projevuje buď odnášením materiálu nebo obrušováním povrchu hornin pískem, který je unášen větrem. Rušivá činnost větru podmiňuje vznik tzv. hranců, tj. drobných úlomků hornin, které jsou zpravidla větší než  $1 \text{ cm}^3$ , na kterých jsou korazí (abraze pískem způsobená činností větru) vyhlazeny facetové plochy (ostré hrany a rovné plochy). Při usazování materiálu, který je unášen větrem, se nejdříve usazuje hrubý materiál, poté písek a prach. [5], [18]

Obecně rozlišujeme zvětrávání mechanické nebo chemické. U mechanického zvětrávání dochází jen k rozpadu horniny na úlomky různé velikosti a látkové složení horniny se nemění. Při chemickém zvětrávání dochází k rozkladu horniny (dekompozici) a látkové složení horniny se mění. Hlavními činiteli způsobujícími zvětrávání jsou tepelné změny, účinky mrazu, organismy, aj. Gravitace velmi často vyvolává transport zvětralin buď přímo (padání kamenů, skalní řízení či sesouvání hornin, aj.) nebo nepřímo, a to prostřednictvím tekoucí vody nebo ledovců. Padání uvolněných kamenů můžeme pozorovat ve větší míře v jarním období, po déle trvajících mrazivých měsících, kdy dochází k tání sněhové pokrývky. Padání kamenů nejčastěji ohrožuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích. V těchto místech je nutné zřizovat záchytné zdi, lavičky s příkopy nebo ochranné sítě. [5], [10]

## 1.2 Endogenní dynamika

Endogenní dynamika se zabývá vnitřními činiteli a popisuje jevy vyvolané jejich působením. Tyto činitelé mají původ v zemském nitru, tj. vycházejí ze zemského pláště. Jsou iniciátorem vzniku pohybů zemské kůry, zdvihů a poklesů, způsobují vrásnění, sopečnou činnost nebo zemětřesení. Jejich působením vznikají velkotvary, které s postupem času erodují a proto mohou vznikat vráso-zlomové či sopečné reliéfy. Zapříčiňují změny v poloze světadílů a jejich působením dochází k nejrůznějším poruchám v uložení hornin. Na rozdíl od exogenních činitelů zvyšují výškovou členitost terénu. [5]

**Vráso – zlomový reliéf** – tento reliéf vzniká v místech, kde při vrásnění dochází ke zlomům, ke zdvihání nebo poklesu zemských ker.

**Sopečný reliéf** – tento typ reliéfu je rozšířen na dnech oceánů a vyznačuje se převážně sopečnými kužely a ztuhými lávovými proudy nebo příkrovy.

**K endogenním procesům patří:** sopečná činnost (vulkanismus), geotektonické pohyby (pohyby zemské kůry) - zemětřesení, tsunami vzniklé tektonickými pohyby litosférických desek, metamorfní procesy – přeměna hornin v důsledku změn fyzikálních podmínek, kterými jsou teplota a tlak. [5]

### 1.2.1 Zemětřesení

Všeobecně patří zemětřesení k významným faktorům podmiňující vznik svahových pohybů. Silné otřesy a vibrace způsobené zemětřesením ovlivňují stav napjatosti v horninovém prostředí. Dochází k nárůstu smykového napětí, ke snížení pevnosti ve smyku, díky které dochází k porušení stability svahu. Zemětřesení může způsobit malé nebo velké sesuvy, skalní řícení nebo dokonce ztekucení nesoudržných pokryvných útvarů. Velmi často bývají porušené strmé svahy, na kterých vystupují tektonicky porušené horninové bloky. Sesuvy vzniklé zemětřesením nemusí vždy probíhat jen na zemském povrchu, ale mohou se projevit i pod vodou, např. vznikem podmořských skluzů a následnými tsunami. [9]

## 1.3 Antropogenní procesy

### 1.3.1 Člověk jako geologický činitel

Geologickou činností člověka, stejně jako u jiných druhů exogenních činitelů, rozlišujeme trojího druhu, a to: rušivá, přenosná a tvořivá. Zemský povrch bývá člověkem nejčastěji narušován v průběhu dobývání nerostných surovin, při přenášení a ukládání odtěžených materiálů na jiná místa, při výstavbě pozemních a podzemních staveb. Tyto procesy vyvolávají řadu geologických a jiných přírodních procesů (např. erozi, sesuvy, důlní otřesy nebo znečišťují povrchové a podzemní vody). Dobýváním nerostných surovin člověk vyvolává celou škálu rušivých jevů probíhajících v zemské kůře. Na zemském povrchu poddolovaného území se v místě poklesu snižuje pórovitost půd a vyskytuje-li se podzemní voda, pak se mění její hladina. Zavodňování údolních svahů může způsobit vznik rozsáhlých sesuvů. Transportem a akumulací vytěžených materiálů vytváří člověk na zemském povrchu významné změny. Svými zásahy do živé i neživé přírody mění vzhled zemského povrchu. Existence člověka v přírodě závisí na vzájemných vztazích mezi ním samotným a prostředím, které ho obklopuje. [5], [6]

**K antropogenním procesům patří:** přírodní procesy vyvolané přímo nebo nepřímo činností člověka, např. při stavbě komunikací, hornické činnosti, při těžbě nerostných surovin, při stavbě vodohospodářských staveb, atd.

**Navážky** – přemístováním materiálů z jednoho místa na jiné vznikají nové sedimenty, tzv. navážky. Navážkami mohou být materiály z dolů, skrývkový materiál nebo odpad z povrchových lomů, různé zeminy a horniny, které mají původ z výkopů základů, ražení tunelů a jiných podzemních a pozemních staveb. Navážky se téměř ve všech případech sypou do výšek a vytvářejí haldy. Mohou být použity na násypy, např. u komunikací, vodních nádrží či ochranných hrází. [5], [6]

**Skládky** – vznikají akumulací vytěžených materiálů. Akumuluje se popel, škvára, struska či jiné odpadové hmoty. [5]



## 1.4 Svahové pohyby a sesuvy

Obecně svahovými pohyby rozumíme přemísťování hornin ze svahů s vyšší polohou do míst s nižší polohou, vznikající účinkem zemské gravitace, která zapříčiňuje přemísťování horninového materiálu. Sesuvy vznikají jsou-li porušeny podmínky rovnováhy sil ve svahu. Sesouvání je odezvou geologicko-tektonické stavby území, hydrogeologických poměrů a erozní činnosti toků. Svahové pohyby mohou být pomalé a málo znatelné, kdy se při jejich dlouhodobém působení velmi výrazným způsobem projevuje přetváření zemského povrchu. Mohou být také rychlé, kdy při porušení rovnováhy dochází k náhlým pohybům zemského povrchu po tzv. smykových plochách – k sesuvům. Sesuvy patří k nejzávažnějším problémům, neboť téměř ve všech případech znehodnocují a ničí zemědělské a lesní plochy, stavební objekty a ve velké míře i komunikace. [5], [10], [11], [17]

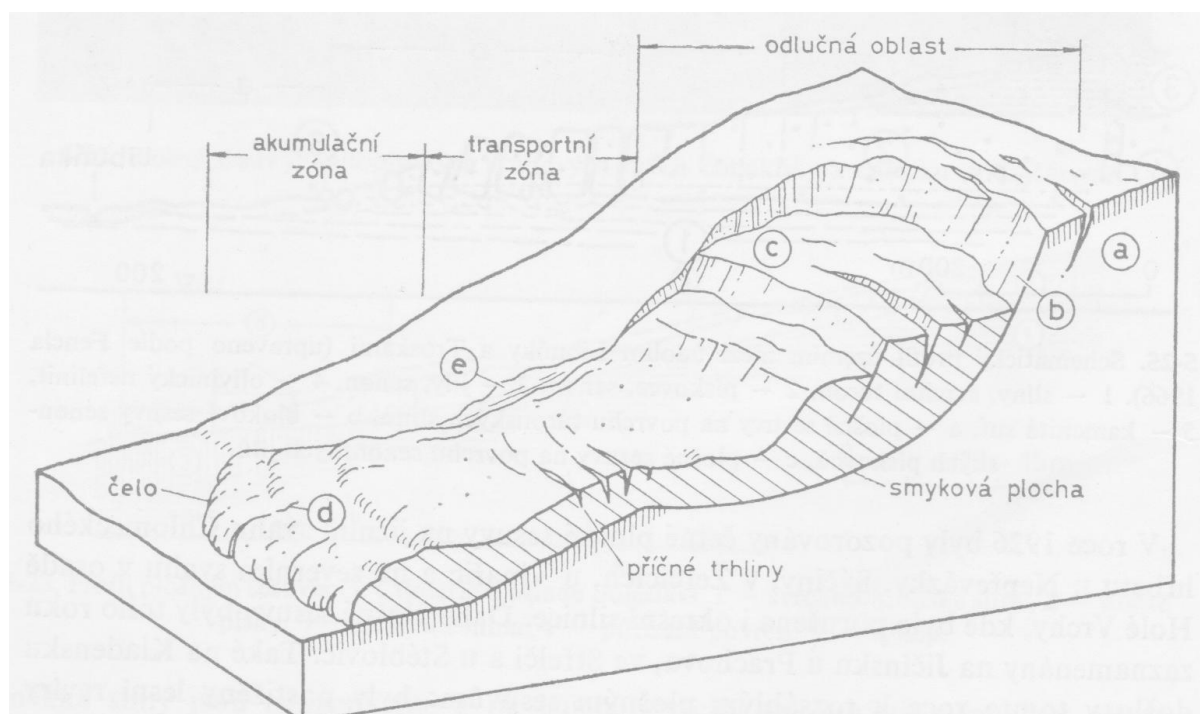
Shrneme-li všechny pojmy vysvětlující svahové deformace (pohyby), dospějeme k závěru, že svahové pohyby jsou tedy různotvárnými exogenními geodynamickými procesy, které probíhají v přírodním prostředí. Jedná se o rozsáhlé pohyby horninového materiálu, při nichž se sesouvající se materiál odděluje od pevného skalního podloží, ve většině případech zřetelnou smykovou plochou.

Každý sesuv má své části. Jsou to:

- odlučná oblast,
- splaz sesuvu (část mezi odlučnou a akumulací oblastí),
- akumulací (čelní) oblast,
- příčné trhliny.

**Odlučná oblast** – místo, odkud se uvolněná hornina odtrhuje. Nejčastěji bývá ve tvaru kotle a horní okraj je omezen strmou stěnou.

**Akumulací (čelní) oblast** – místo, ve kterém se sesouvající se hornina hromadí. Bývá ve tvaru bochníku nebo jej můžeme pozorovat v jazykovitém tvaru. Některé sesuvy jsou charakteristické tím, že se při změně sklonu svahu v sesouvající se horninách, vytvářejí **příčné trhliny**. Sesouváním nemusejí být postiženy jen nezpevněné sedimenty pokryvných útvarů, jako jsou sutě, hlíny, jíly a písky, ale i pevné horniny skalního podkladu. [5],[11],[17]



Obrázek 1: Základní morfologické prvky sesuvu a průběh trhlin, [9]

Vysvětlivky k obr. 1: a – tahové trhliny nad odlučnou oblastí

b – odlučná stěna

c – přímé trhliny

d – radiální trhliny

e – boční valy

#### **Faktory porušující rovnováhu svahu:**

1. morfologické poměry – např. podemletí svahu erozní činností vodních toků,
2. geologická stavba (struktura),
3. fyzikální faktory – zvětrávání, zemětřesení, změny konzistence hornin nebo zemin, změny režimu podzemních vod (hydrogeologické poměry),
4. antropogenní procesy - provádění umělých výkopů ve svazích, zatížení svahů násypy, odlesňování svahů a také otřesy a vibrace způsobené zemětřesením nebo výbuchy velkých náložů trhavin. [5], [9], [11]

V sesuvných oblastech je důležité sledovat hydrogeologické poměry. Je nezbytné sledovat všechny prameny a vývěry podzemní vody na svahu, zamokřená místa a deprese, které jsou bez odtoku vody. Sesouvání způsobuje změny reliéfu svahu a mění odtokové poměry nejen povrchových, ale také podzemních vod. Původní místa vývěrů podzemních vod se sesuvnými pohyby přerušují a voda si nachází nová místa vývěru, nejčastěji v porušených horninách. Při vznikajících sesuvech je důležité zohlednit rovněž časový faktor. S postupem času se určité faktory mohou měnit. Proto se každý sesuv v průběhu času svým způsobem postupně vyvíjí. Bylo odhadnuto, že téměř 60% svahů má sklon vyšší než 10°. Obecně lze říci, že všechny svahy se sklonem větším než 25° představují riziko sesuvů. Mapování stability svahů je jedním z důležitých prvků ochrany proti svahovým pohybům. [5], [10]

#### **Postup vzniku sesuvu dle Záruby (1954):**

1. saturace zemin, snížení pevnostních a smykových vlastností zemin,
2. seskupování podmínek pro vznik sesuvu,
3. výskyt znaků porušujících rovnováhu svahu – vznik trhlin v horní části svahu,
4. vznik vlastního pohybu uvolněných hmot a materiálů – sunutí,
5. postupné ukládání při úpatí svahu a vznik nové rovnováhy. [10]

Vznik a vývoj svahových deformací je podmíněný zejména místními přírodními podmínkami a probíhající lidskou činností v dané oblasti. Území náchylná k sesouvání jsou tak velmi často porušována právě sesuvy. Ke svahovým pohybům dochází hlubokými zásahy do přírodních poměrů, při budování mnohých inženýrských děl, jako je např. trasování komunikací a projektování sídlišť, vodohospodářské úpravy (regulace toků) a při budování vodních (údolní přehrad, nádrže, umělé rybníky, odvodňovací a zavodňovací kanály), pozemních, průmyslových a dopravních staveb. Velmi často dochází k sesuvům také při zřizování železnic a silnic, neboť se vždy u těchto staveb provádějí hluboké zářezy a vysoké násypy. S nejčastějším sesouváním se setkáváme u silničních zářezů a násypů v zeminách nebo poloskalních horninách. Silnice vedoucí v těchto územích jsou vystaveny velkým škodám, je ohrožen nebo přerušen provoz a celkové náklady na údržbu proto neúnosně narůstají. Při návrhu trasy nesmí být hlubokými zářezy nebo vysokými násypy nikdy dotčena stabilita území. Nesmíme opomenout, že svahovými pohyby mohou být postiženy i geotechnické stavby (tělesa násypů, základy – plošné, pilotové, opěrné konstrukce, podzemní a štětové stěny), podzemní stavby (štoly, podzemní dráhy, potrubí) a tunelové stavby. [9], [10], [11]

### 1.4.1 Příčiny vzniku sesuvů

Faktorů podmiňujících vznik sesuvu je mnoho, nejčastěji se setkáváme s těmito:

1. neodborné stavební a inženýrské zásahy,
2. nevhodné sestavování územních a zastavovacích plánů,
3. podzemní a dešťová voda – kolísání hladiny, změna objemu, vliv atmosférických srážek (dešťová voda, voda z tajícího sněhu), tlak proudící vody,
4. oslabení paty svahu či změna sklonu svahu,
5. přetížení násypy – nárůst smykových napětí, snížení vnitřního tření, zvětšení napětí vody v pórech,
6. změna sklonu svahu, popř. jeho výšky – podemletí paty svahu erozí či abraze vodní hladiny; rovnováha svahu porušena nárůstem napětí ve smyku; poklesy a zdvihy litosférických desek,
7. otřesy, vibrace, proměnné zatížení – zemětřesení, otřesy strojů, výbuchy náloží,
8. smršťování – vznik trhlin, zmenšení soudržnosti hornin,
9. činnost mrazu – zvětšení objemu vody v trhlinách a jejich následné rozšíření,
10. činnost větru – porušení soudržnosti hornin,
11. změny ve vegetačním porostu svahu – stabilita svahu je udržována mechanickým působením díky vegetaci; kořeny spotřebovávají část podzemní vody, svah je vysušován; odstraněním vegetace se mění vodní režim. [5], [9], [10]

**Svahový odtrh** – počátečním stádiem sesuvu je svahový odtrh, plošný nebo proudový odnos půdního materiálu. Způsobuje ho působení gravitace a nešetrné lidské zásahy do krajiny. Nejnáchylnější jsou svahy ve flyšovém pásmu, s výskytem jílovců a pískovců. Faktory tvořícími svahový odtrh jsou geologie, množství a charakter dešťových srážek, typ a stav vegetace, mechanické poškození nebo nevhodné obhospodařování svahu. [12], [16]

**Přehled znaků sesuvných jevů dle Záruby (1954), které jsou podkladem pro jejich poznání a klasifikaci:**

1. **poloha sesuvu vzhledem k reliéfu území a k úrovni vodního toku** – vznik sesuvu při horní hraně svahu a při úpatí a zda sesuv probíhá nad nebo pod hladinou vody,
2. **tvár sesuvu** – může být polokruhový nebo protažený napříč pohybem sesuvu,
3. **tvár reliéfu sesuvného svahu v podélném profilu** – tvar křivky konkávní nebo konvexní,
4. **velikost pohybu** – lze určit podle posunutých komunikací, stromořadí, hranic lesa či mezí, najdeme-li pokračování sesutého objektu na přilehlém neporušeném svahu,
5. **velikost a tvár sesouvaných materiálů** – sesouvané materiály se pohybují ve stavu plastickém či polotekutém, ve tvaru velkých bloků nebo mohou být rozdrobené,
6. **povrch sesuté části svahu** – může být rovný, zvlněný, stupňovitý nebo hroudovitý,
7. **stav a stáří lesního porostu** – způsob porušení dává informace o průběhu sesouvání,
8. **tvár smykové plochy** – válcová (rotační) nebo zasahující velmi hluboko do svahu,
9. **hloubka sesuvu** – Záruba rozděluje sesuvy povrchové (tloušťka pohybující se vrstvy je maximálně 1,5 m), mělké (tloušťka vrstvy do 5 m), hluboké (tloušťka vrstvy od 5 do 20 m) a velmi hluboké (tloušťka vrstvy je více než 20 m); hloubka sesuvu se měří kolmo k povrchu svahu,
10. **počet smykových ploch** – ve většině případech se vytvoří jedna smyková plocha, v ojedinělých případech se mohou vytvořit 2 i více smykových ploch nad sebou,
11. **úklon smykové plochy** – sesuvy s úklonem smykové plochy do 5° jsou velmi ploché, od 5° do 30° jsou ploché a nad 30° jsou příkré,
12. **sesouvané horniny** - zaznamenává se petrografické složení, fyzikální vlastnosti a geologický původ,
13. **rychlost a charakter pohybu** – sesuvy rychlé a pomalé; pohyb jediný, periodicky se opakující nebo plynulý nepřetržitý pohyb,
14. **vodní poměry** – hloubka hladiny podzemní vody a její změny, polohy pramenů, tůň a také zvodnělých trhlin,
15. **roční období při výskytu sesuvu** – vznik sesuvu v období jara, po zvýšených dešťových srážkách nebo po déle trvajících mrazech či za trvalého sucha,
16. **vývojové stadium sesuvu** – sesuvy současné, uklidněné nebo fosilní, které vznikly za jiných morfologických či klimatických podmínek. [10], [11]

## 1.4.2 Rozdělení svahových pohybů

Sesuvy lze obecně rozdělit podle různých hledisek. Rozhodujícím hlediskem může být průběh smykové plochy, druh sesouvající se hmot, stáří, stádium vývoje či rychlost pohybu.

**Z hlediska inženýrské geologie jsou svahové pohyby rozděleny na:**

**1. svahové pohyby pokryvných útvarů (např. svahové sutě nebo hlíny), vznikající převážně působením atmosférických činitelů:**

- plíživý pohyb sutí,
- proudové sesuvy,
- plošné povrchové sesuvy,
- suťové proudy (tzv. mury) za vodních přívalů.

**2. sesuvy v nezpevněných nebo jen částečně zpevněných pelitických horninách (např. slíny, jíly, jílovce, jílovité břidlice, atd...), vznikající:**

- podél válcových smykových ploch,
- po predisponovaných plochách či starých smykových plochách,
- vytlačováním měkkých hornin v podloží.

**3. svahové pohyby pevných skalních hornin, vznikající:**

- po předurčených plochách (plochy vrstevnatosti, břidličnatosti, pukliny či dislokace),
- dlouhodobou deformací svahů,
- zřícením skal. [5], [17]

**Plíživé pohyby (slézání) sutí a hákování vrstev** – slézání sutí velmi často vyvolává malé pohyby sutí po svahu. Projevuje se nakypřením suťových úlomků nebo vyzdvižením povrchových vrstev silným mrazem. V důsledku jarního tání se úlomky hornin (zemín) působením gravitace posunou po svahu směrem dolů, nikdy se nevrací na původní místo. **Hákování vrstev** vzniká posouváním povrchových vrstev sutí či zvětralin na svazích. Mezi povrchem skalního podkladu a pohybující se vrstvou suti působí tření a vrstvy skalního podkladu jsou vyvlečeny na velmi velkou vzdálenost. Úroveň vyvlečených vrstev představuje systém starých smykových ploch, na kterých se objevují nové pohyby. Jedná o pomalý plíživý pohyb suti, tzv. creep. Hákování vrstev je v našich podmínkách rozšířenou svahovou deformací, se kterou se setkáváme na svazích tvořenými břidlicemi, vápenci, rulami, křemenci, zvětralými žulami a jinými masivními horninami a také při výkopech jam. [5], [10]

**Plošné povrchové sesuvy** – jsou pohyby mělkých svahových sutí, hlín a jiných zvětralin pohybujících se po povrchu skalního podloží. Sesouvající se vrstvy jsou mocné 2 až 3 metry. Vznikající sesuvy lze pozorovat již od samotného počátku, tj. od začínajícího pohybu charakteristického vznikem otevřených trhlin, až po pokročilá stadia sesuvů. Vznikají nejčastěji při jarním tání velkého množství sněhu nebo v období vydatných dešťových srážek. Z toho plyne, že plošné povrchové sesuvy úzce souvisí s velikostí vodních srážek. Jsou rozšířeny zejména v karpatském flyšovém území na východní Moravě. [5], [10]

**Proudové sesuvy** – tvoří se na místech, kde se mohou vyskytovat i sesuvy plošné. Průběh a tvar takového sesuvu se přizpůsobuje reliéfu území a jeho poloha bývá velmi často doprovázená vznikem rýhy, potoka nebo erozní brázdou. Odlučná oblast v horní části svahu je charakteristická svou rozlehlostí a v tomto místě se pak shromažďují svahové sutě nebo zvětralin. Tyto sesuvy mohou vznikat díky působení přírodních faktorů nebo umělým zásahem do svahu, např. při zřizování zářezů a různých výkopů. Dochází k tomu při porušení rovnováhy svahu a tehdy, nechá-li se povrchová voda přitékat do uvolněných pokryvných útvarů. [5], [10]

**Suťové proudy, mury, tekoucí písky – suťové proudy** jsou velmi rychlé pohyby (též označované jako tečení) svahových sutí, písků, písčitých štěrků při náhlých přívalech vody. Jejich vznik lze pozorovat v sypkých a málo soudržných horninách, které vodu velmi rychle přijímají. Horské suťové proudy jsou označovány jako mury (dle alpského názvu). Vyskytují se na hranicích lesů, v roklinách a během dešťových přívalů jsou vypláchnuty a strženy do údolí ve tvaru suťového proudu. Po svahu se suťové proudy pohybují velmi vysokou rychlostí. Materiálové složení suťových proudů je z netříděných, velkých ostrohranných nebo hrubě otlučených balvanů a z drobné písčité suti. Vznik suťového proudu je závislý na prudkých deštích s velkou intenzitou. Mohou vznikat rovněž po zásahu člověka do rovnovážných stavů v přírodním prostředí, např. vykácením lesního porostu, porušením vegetace na velkých plochách. Vznikají tedy vždy, když se včas neprovede ohumusování a osazení volných svahů. **Tekoucími písky** jsou takové písky, které jsou vodou přesycené do té míry, že mohou téci. Nejedná se o zvláštní typy zeminy, protože se za určitých podmínek může každá sypká zemina dostat do stavu tekutého. Vyplavování písků ze svahů může být i trvalým jevem, je-li ve svahu trvalý přítok vody. Vyskytují se při ražbách důlních děl nebo při výstavbě podzemních komunikací. Na Ostravsku a ve Slezsku jsou tekuté písky označovány jako **kuřavky**, ohrožující zejména uhelné doly zavalením. [5], [10]

**Sesuvy podél válcových smykových ploch** – jsou hluboké sesuvy vznikající při porušení rovnováhy svahu. Rovnováha je porušena při vzrůstu smykových sil, způsobenými např. podkopáním nebo podemletím svahu a přitížením nově nanesenými materiály. K sesuvům nedochází zpravidla po předurčených plochách, ale po nově vytvořených. Nově vytvořené smykové plochy rozdělují sesouvaný materiál na několik ker. Tvar smykových ploch je vždy zakřivený, nikdy ne rovinný, proto se povrch ker naklání proti svahu. Nejčastěji se s takovými případy sesuvů můžeme setkat při sesouvání násypů, jsou-li tyto násypy založeny na neúnosném jílovitém podloží. Tyto pohyby je nutné řešit statickými metodami. Nejlepšími stabilizačními prvky je např. zmírňování sklonu svahu, odebrání břemene na straně přitěžující nebo naopak přidávání břemene na straně bránící pohybu, použitím zatěžovacích násypů či opěrných staveb. [5], [10]

**Sesuvy po předurčených plochách** – jsou sesuvy probíhající po vrstevních spárách, puklinách nebo dislokacích. Vznikají při porušení jejich souvislosti při úpatí svahu nebo umělým zásahem do poměrů svahu, nejčastěji stavebními pracemi a při těžbě nerostných surovin. Nejznámější případ tohoto typu sesuvu se projevil v roce 1963, kdy se po vrstevní ploše sesulo více než  $240 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  jurských vápenců z úbočí Monte Toc přímo do vodní nádrže Vaiont v italských Alpách a bylo zničeno město Longarone. [5]

**Skalní řícení** – skalním řícením jsou označovány velmi rychlé a náhlé pohyby uvolněných bloků hornin nebo uvolněných vrstev pevných hornin, ze strmých skalních stěn. Pohyby uvolněných materiálů jsou natolik rychlé, že se uvolněný materiál doslova řítí. Při pohybu těchto hmot převládá volný pád a pohyb neprobíhá po výrazné smykové ploše. Vznik skalního řícení je doprovázen působením zemské tíže, rozpukáním a tektonickými poruchami pevných hornin, vlivy povětrnosti, hydrostatickým tlakem vody v trhlinách, podemletím nebo umělým podkopáním strmých skalních svahů, popř. zemětřesením. Nejčastěji se těmito sesuvy setkáváme na strmých horských úbočích nebo na příkrých skalnatých březích, kde spolupůsobí i eroze. Skalní řícení téměř ve většině případech způsobuje zavalení údolí a vytvoření umělých přehrad či jezer. [10], [11]



### **Svahové pohyby se podle stáří a geologicko-morfologického stádia vývoje dělí na:**

1. sesuvy v počátečním stadiu,
2. sesuvy v pokročilém stadiu,
3. sesuvy tzv. vyčerpané - sesuvy, jejichž odlučná plocha je téměř vyčerpaná. [5], [9]

### **Podle stupně stabilizace lze sesuvy rozdělit na:**

1. sesuvy živé (aktivní),
2. sesuvy dočasně uklidněné,
3. sesuvy stabilizované (fosilní).

**Aktivní sesuvy** – lze rozpoznat již na první pohled, a to tak, že odlučná oblast je zcela omezena strmými nezarostlými stěnami a trhliny jsou vždy otevřené. Stromy i veškerá vegetace rostoucí na těchto plochách je vychýlena ze své původní polohy a kořeny, které jsou vidět, jsou velmi napjaté. Porušené porosty mají viditelný ohyb kmenů. Tyto sesuvy mohou být v pohybu nebo se mohou dát kdykoliv do pohybu, a to proto, že příčiny jejich vzniku stále trvají. Povrchové tvary vznikající sesouváním jsou málo porušené deštěm a erozí. [5], [10]

**Dočasně uklidněné sesuvy** – jsou takové sesuvy, které jsou z časového hlediska delší dobu v klidu a velmi často bývají označovány jako sesuvy staré. Na první pohled je můžeme rozpoznat tím, že bývají zarostlé a v určitých místech značně porušené erozí. Odlučná oblast je erodována výmoly a brázdami. Příčiny vzniku sesuvu stále přetrvávají, takže se může jejich pohyb kdykoliv obnovit. [5], [10]

**Stabilizované sesuvy** – někdy označovány jako sesuvy fosilní, jsou takové sesuvy, které jsou pleistocenního stáří a vznikly za takových morfologických a klimatických podmínek, které se v současnosti již nemohou opakovat. [5]

**Stáří sesuvných pohybů** - lze na jednu stranu odhadnout podle velmi drobných morfologických znaků, podle vztahu pohybů k mladým pokryvným útvarům a také podle porušeného porostu a půdních profilů. Na druhou stranu je však stáří sesuvných pohybů velmi složité analyzovat. Pro analýzu stáří sesuvného pohybu jsou důležité informace, které lze získat z archivů a z místních podmínek. Některé činitele se mění v závislosti na čase. Je-li půdní profil neporušený, pak můžeme předpokládat, že je sesuv prakticky uklidněný a že v předešlých několika letech nebylo dané území v žádném pohybu. Je-li však půdní profil porušený, stupňovitě rozlámán, můžeme předpokládat, že se jedná o mladý sesuv, který vznikl v nedávné době. Důležitým faktorem pro rozpoznání stáří sesuvů je jejich vztah k údolním terasám. Tím, že jsou terasové náplavy porušeny vznikajícími sesuvy, je nalzáme v různých výškových úrovních. Téměř většina geologů tvrdí, že žádný svah není trvale stabilní a každý sesuv se postupně vyvíjí. [5], [10]

**Podle mechanismu a rychlosti pohybu se svahové pohyby rozdělují takto:**

1. ploužení (creep),
2. sesouvání (slide),
3. stékání (flow),
4. skalní řízení (fall).

**Ploužení** – vystihuje pomalé pohyby v řádu několika cm/rok, slézání svahových sutí nebo hlubinné gravitační deformace svahů.

**Sesouvání** – sesouváním jsou označovány rychlé pohyby podél velmi zřetelných smykových ploch.

**Stékání** – stékáním jsou označovány svahové pohyby, u kterých sesouvající se hmoty obsahují takové množství vody, že mají charakter tečení. Patří zde suťové a bahenní proudy.

**Skalní řízení** – je velmi rychlý pohyb pevných hornin nebo bloků ze strmých skalních stěn, který může v určitých místech přecházet ve volný pád. Rychlost řízení může přesáhnout až 200 km/h. Řízení může být vyvoláno např. také zemětřesením. [9], [11]

Klasifikací svahových pohybů je celá řada. Rozmanitost sesouvajících se materiálů při svahových deformacích a množství různých faktorů, které sesuvy vyvolávají, poskytují neomezené možnosti různých třídění. Každý, kdo se sesuvy zabývá, si může navrhnout svoje třídění. Klasifikace sesuvů je tedy podmíněna autorem, genezí a rychlostí sesouvání. [9]

### 1.4.3 Zvláštní případy svahových sesuvů

Do této skupiny svahových sesuvů patří ty pohyby, které se při běžných klimatických podmínkách v našich krajinách nevyskytují, ale v určitých oblastech patří mezi nejvýznamnější geologické jevy, které modelují zemský povrch. Příkladem takového sesuvu je např. soliflukce nebo subakvatické skluzy. [5]

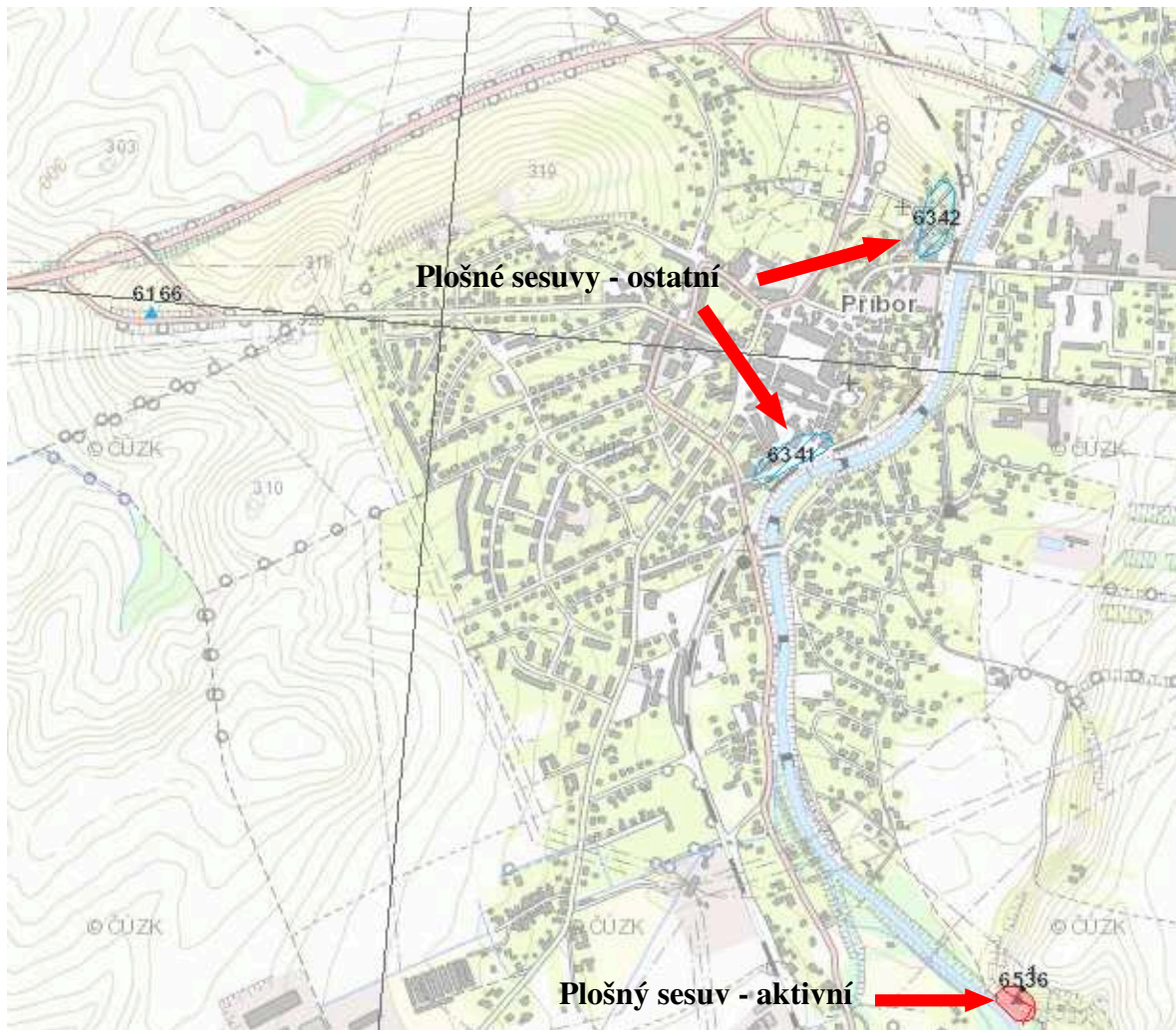
**Soliflukce** (půdotok) – tímto výrazem se označuje přemísťování polotekutých a plastických půdních částic, zejména na mírných svazích v důsledku působení gravitace. Soliflukce je typická pro oblasti v blízkosti kontinentálních ledovců (tzv. oblasti periglaciální) nebo pro polární krajiny. Půda pod povrchem je v těchto oblastech trvale zmrzlá nebo dlouhodobě zmrzlá. Soliflukce se projevuje tak, že v letních měsících povrchové části rozmrazí a přeměňují se na kašovitou hmotu. Tato hmota se i na velmi mírném svahu dostává do pohybu díky zmrzlému podkladu. Tento zvláštní případ svahových sesuvů nemusí být vždy spojován jen s oblastmi, ve kterých je půda zmrzlá po velmi dlouhou dobu. S tímto typem sesuvu se můžeme setkat i v našich klimatických podmínkách, zejména při tání velké sněhové pokrývky v období jarních měsíců. Svahové suti v našich oblastech jsou zbytkem svezlé půdy po zmrzlém podkladu, která se v rozbředlém stavu svezla až k úpatí svahu, kde následně vyschla. [5], [10]

**Subakvatické skluzy** – jsou svahové pohyby vznikající posouváním nezpevněných, převážně jílovitých nebo vápnitých kalů, po ukloněném dnu pod hladinou vody. Vzácným případem tohoto typu skluzu může být pohyb jemně písčitých sedimentů po šikmém dně jezera nebo moře. Tyto skluzy mohou vznikat i díky seizmickým nebo jiným otřesům. Téměř ve všech starších geologických útvarech byly zjištěny tyto subakvatické skluzy. U nás se s nimi můžeme setkat v horninách flyšového vývoje. [5]

## 1.5 Sanace sesuvů

V České republice patří sesuvy k velmi závažným problémům, neboť téměř vždy způsobují velké škody na stavebních objektech, komunikacích, narušují vedení inženýrských sítí a znehodnocují zemědělské a lesní plochy. K nejhroženějším oblastem se řadí flyšové pásmo Západních Karpat, které vede od Mikulova na jižní Moravě přes Chřiby, Ždánický les, Javorníky, Moravskoslezské Beskydy, až do Nízkých Beskyd na východním Slovensku. Ve flyšovém pásmu se střídají jílovce a pískovce, které zapříčiňují vznik sesuvů. Sesuvy se rovněž velmi často vytvářejí v morfologicky členité oblasti Českého středohoří. [5]

Sanací sesuvu se rozumí vypracování řady technických metod s cílem zabránit vzniku sesuvu nebo zamezit jeho další pohyb. Jde o zastavení svahových pohybů a zajištění stability svahu. Chceme-li určit příčiny, které dávají podněty ke vzniku sesuvu, je nutné v první řadě sanačních opatření určit polohu sesuvu v terénu a jeho geologické složení, popř. geologické složení podloží. V druhé řadě, při terénních průzkumech, je nezbytné určit odtokové poměry povrchové a podzemní vody, výskyt pramenů či bažin a u pevných hornin určit průběžné pukliny, které bývají nejvhodnějším místem pro vznik smykových ploch. Chceme-li určit charakteristické znaky, které každý sesuv definují, je potřeba u každého sesuvu provést výkop jedné nebo i více sond přímo v sesouvajícím se materiálu. Hloubka těchto sond musí zasahovat až do neporušeného podkladu. Nejčastěji se provádí kopané sondy (pro odhadnutí průběhu smykové plochy), jako jsou šachtice, zářezy či sondové rýhy. Sondy a rýhy se hloubí při mělkých sesuvech, které již nejsou v žádném pohybu. U hlubokých sesuvů je výhodnější vyhloubit vrty. Z odebraných vzorků se zjišťuje složení materiálů sesuvu a podloží, režim podzemní vody a tvar smykové plochy. V laboratořích se určuje vlhkost, zrnitost, konzistence, objemové hmotnosti, hustoty, úhel vnitřního tření a jiné pevnostní a přetvárné parametry. Jedním z nejdůležitějších kroků při sanaci sesuvu je odvedení povrchové vody ze sesuvné oblasti a utěsnění rozevřených trhlin, aby se zabránilo dalšímu zatékání vody do sesouvaného materiálu. U některých sesuvů se mohou jako sondové rýhy využít výkopy pro žebra, která mají stabilizační funkci a současně slouží k odvodnění a celkovému zabezpečení sesuvu. Provedená žebra se následně zakládají kamennou drtí nebo šterkem. Význam zatravňování svahů je při stabilizaci značný a neměl by se podceňovat, protože vegetační pokrývka brání vysušování povrchu a tvoření smršťovacích trhlin a celkově svah vysušuje do značné hloubky. [5], [10], [11], [20]



Obrázek 2: Mapa sesuvných oblastí města Příbora a jeho okolí, [14]

Legenda mapy:

- ▼ ◆ Nejvyšší bod sesuvu (nad 50m)
- 
- ▼ ◆ Linie nepolygonotvorné
- └─┬─ Odlučná hrana sesuvu (horní omezení odlučené stěny), aktivní
- ▼ ◆ Linie polygonotvorné
- └─┬─ Výrazně zatřžené běhy vodních toků a erozních rýh, uklidněné
- ▼ ◆ Plošné sesuvy
- Aktivní
- ▼ ◆ Registrační záznamy - GEOFOND
- ▼ ◆ Plošné sesuvy registrační
- ▨ ostatní

### 1.5.1 Metody zajištění stability svahu

Je mnoho způsobů jimiž lze provést sanace svahů. Jednotlivé způsoby lze rozdělit podle jejich principu a způsobu realizace. K nejběžnějším a nejpoužívanějším patří tyto:

1. odvodnění – povrchové a hloubkové - odvodnění nestabilních zemin vrty či studnami, popř. drenážemi (žebra, štoly, rýhy, příkopy), vodorovné odvodňovací vrty,
2. utěsnění rozevřených trhlin,
3. úprava tvaru svahu – provedení násypu u paty, zmenšení sklonu, odlehčení koruny,
4. ochrana svahu před zvětráváním a erozí – výsadba vegetace, použití syntetiky,
5. zpevňování zemin – chemicky nebo použitím elektroosmózy, injektáž, zmrazování,
6. technická stabilizační opatření – provedení stabilizačních žeber, zárubňových zdí, štětových stěn, zarážecích pilot, svorníků, kotvení, mikropilot či hřebíkování. [5]

Je důležité mít na mysli, že mnohem důležitější je ochrana než sanace, neboť to jsou 2 zcela rozdílné pojmy.

**Ochrana** – je prevence nebo obrana proti tomu, aby sesuv nevznikl. Ochrana je z hlediska provádění aktivní a úzce souvisí s úpravami svahů a celkovým krajinným plánováním před samotnou výstavbou. Je však velmi obtížná. Ochranou svahu může být zmenšení sklonu svahu, přetížení paty svahu, odvodnění, injektáž (např. cementovým mlékem), zmrazování a v neposlední řadě také obnovení vegetačního porostu. V dnešní době se setkáváme s případy, ve kterých se jako sanačního opatření používá pěnového skla, které funguje jako drenáž, zabraňuje pronikání vlhkosti, je nenasákavé a nenamrzavé, vysoce únosné a znovu recyklovatelné. [5]

**Sanace** – lze ji definovat jako přijetí takových opatření, která vedou k nápravě škod způsobených lidskou činností nebo přírodou a to na krajině nebo na majetku. Jedná se o samotné odstranění příčin a následků právě vzniklých škod. Opatřeními prováděnými v krajině jsou revitalizace a rekultivace. Zajištění stability daného sesutého svahu se tak stává individuální záležitostí. Volba vhodných sanačních opatření je závislá na mnoha faktorech, které se musí posuzovat jak z hlediska dílčího provádění, tak i z celkového pohledu na prováděnou sanaci svahu. Velmi častým doporučovaným sanačním opatřením je navržení více variant celkového řešení stability svahu a poté volba té nejvhodnější varianty, protože každý svah je specifický jinými parametry. [5]

## 1.5.2 Metody výzkumu sesuvů

Pro účelné a ekonomické navržení sanačních opatření sesuvu je potřeba ohrožené území podrobně geologicky prozkoumat. Sledují se petrografické a fyzikálně mechanické vlastnosti hornin, hydrogeologické poměry a geomorfologie.

### **Součástí podrobného geologického průzkumu je:**

#### 1. průzkum v terénu:

- zaměření sesuvného území – letecká nebo pozemní fotogrammetrie,
- užití leteckých snímků – 3D pohled,
- užití geologických map a podkladů,
- směrnice pro podrobné mapování – rozlišení odlučné zóny, akumulární a transportní oblasti,
- hydrogeologický průzkum,
- měření pohybů sesuvu,
- zjištění hloubky a tvaru smykové plochy – určení hloubky sesuvu,
- zkoušky mechanických vlastností hornin,

#### 2. geofyzikální metody

#### 3. laboratorní zkoušky:

- mineralogické složení,
- pevnostní a přetvárné parametry,
- rychlost konsolidace,
- smyková pevnost. [10]

### 1.5.3 Kontrolní sledování svahů

Kontrolní sledování přetváření svahu je účelné provádět tam, kde by mohlo dojít k ohrožení lidí, objektů a inženýrských záměrů. Je nutné brát v úvahu všechny vlivy, které mohou stabilitu svahu jakkoli ovlivnit. Důležitá je úvaha s časovým vývojem všech těchto vlivů. Vhodnost každého typu sanačního opatření je závislá na geologických a morfologických podmínkách a na účelu sanace. Cílem kontrolního sledování je sledování rychlosti případných sesuvných pohybů. V dnešní době se používají různé typy automatických přístrojů, pomocí nichž se dá předvídat sesuvům. Kontrolní sledování uvnitř horninového masivu zahrnuje inklinometrická a extenzometrická měření posunů ve vrtech a také lze užít křehké páskové vodiče nebo Gleitmikrometr. [5], [8]

#### **Kontrolní sledování svahů probíhá:**

- a) na povrchu – měření např. posunů,
- b) uvnitř horninového prostředí – měření přetvoření a pórových tlaků,
- c) sledování výtoků z odvodňovacích prvků a tlaků na opěrné konstrukce (tj. sledování projevů vodního režimu na povrchu terénu).

**Extenzometry** - dokážou zaregistrovat nepatrné deformace, jež mohou předcházet velkým svahovým deformacím. Slouží k monitoringu posunů uvnitř horninového masivu. Principem měření je změna polohy hlavy extenzometru vůči kotvě umístěné v horninovém prostředí. [3]

**Inklinometry** – slouží pro kontrolu svahových deformací a k monitoringu deformací kolmo k ose vrtu (obvykle měříme vodorovné deformace - posuny). [3]

Kromě extenzometrů a inklinometrů, které měří deformace, existuje také zařízení Trivec. Toto zařízení je spojení extenzometru s inklinometrem a dokáže určovat všechny 3 složky tenzoru přetvoření podél osy vrtu pouze jedním měřením. Monitoringem lze chápat kontrolu a sledování stavu sesuvu v průběhu změny času. Jeho činností lze zjišťovat změny rychlosti pohybu sesuvu, změny geometrie a změny mechanických a fyzikálních vlastností v místě sesouvání. U zasanovaného sesuvu se sleduje funkčnost použitých sanačních prvků a nutná potřeba jejich údržby. Monitoring je z hlediska časového provádění dlouhodobým procesem a v mnoha případech může trvat i několik desítek let. [3]



## 2. Zhodnocení stávajícího stavu

### 2.1 Lokalizace sesuvného území

- Sesuv svahu zářezu se nachází v:
- katastrální území: - úsek Příbor – Příbor 735329
  - okres: Nový Jičín 3804
  - kraj: Moravskoslezský
  - GPS souřadnice: 49°38'13.772"N 18°7'49.117"E



Obrázek 3: Mapa zájmového území s vyznačeným místem „černé“ skládky a řešeného úseku,

[15]

Sesuv svahu zářezu vznikl již na ukončené stavbě silnice I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice, přibližně po jednom roce od uvedení do provozu. Silnice I/58 je součástí komplexu staveb D 47. Sesuv se nachází na uměle vytvořeném svahu, v důsledku působení lidské činnosti. Svah byl proveden za účelem projektování stavby silnice I/58 na obchvatu města Příboru. Poloha řešeného úseku je znázorněna na obr. 3.

### **2.1.1 Geografické a geomorfologické poměry zájmového území**

Trasa projektovaného obchvatu silnice I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice, je vedena mimo zástavbu. Téměř ve všech případech se jedná o zemědělsky využívané pozemky a v okolních obcích je převážně bytová zástavba, zejména v okolí města Příboru. Zájmové území je přístupné ze silnice I/58, vedoucí z Příboru do Nového Jičína, ze silnice III/04823 a ze zpevněných a nezpevněných místních a zemědělských cest.

Z hlediska geomorfologického členění patří zájmové území k Alpínsko-himalajskému systému, subsystému Karpaty, provincii Západní Karpaty, subprovincii Vněkarpatské sníženiny a oblasti Západobeskydského Podhůří a vcelku k příborské pahorkatině. Krajina je mírně zvlněná, s rozsahem nadmořských výšek od 290 m n.m. až do 321 m n.m. [4], [7]

Povrchová skladba severovýchodní Moravy je tvořena předkvarténními útvary, které patří podslezské a slezské jednotce vněkarpatského příkrovového systému. Slezská a podslezská jednotka ve své povrchové stavbě dominuje v jižní části tohoto území, začínající v údolí Rožnovské Bečvy a vedoucí směrem k Moravskoslezským Beskydám. V morfologicky významných částech příborské a těšínské pahorkatiny, Štramberské vrchoviny a ve frenštátské brázdě je uplatněna slezská a podslezská jednotka. Stavba slezské a podslezské jednotky souvisí s vývojem území v mladém období, kdy formování probíhalo v průběhu štýrských horotvorných fází. Příborská a těšínská pahorkatina jsou charakteristické mírně zvlněným reliéfem, který podmiňuje litologický charakter spodnokřídových vrstev slezské jednotky. Vnější Karpaty jsou součástí alochtonu (horninového tělesa přemístěného z místa původního výskytu (vzniku) na jiné místo jeho dnešního výskytu), který byl nasunut ve formě příkrovů na miocenní předhlubeň a variský podklad. [4], [7]

## 2.2 Charakteristika stavby

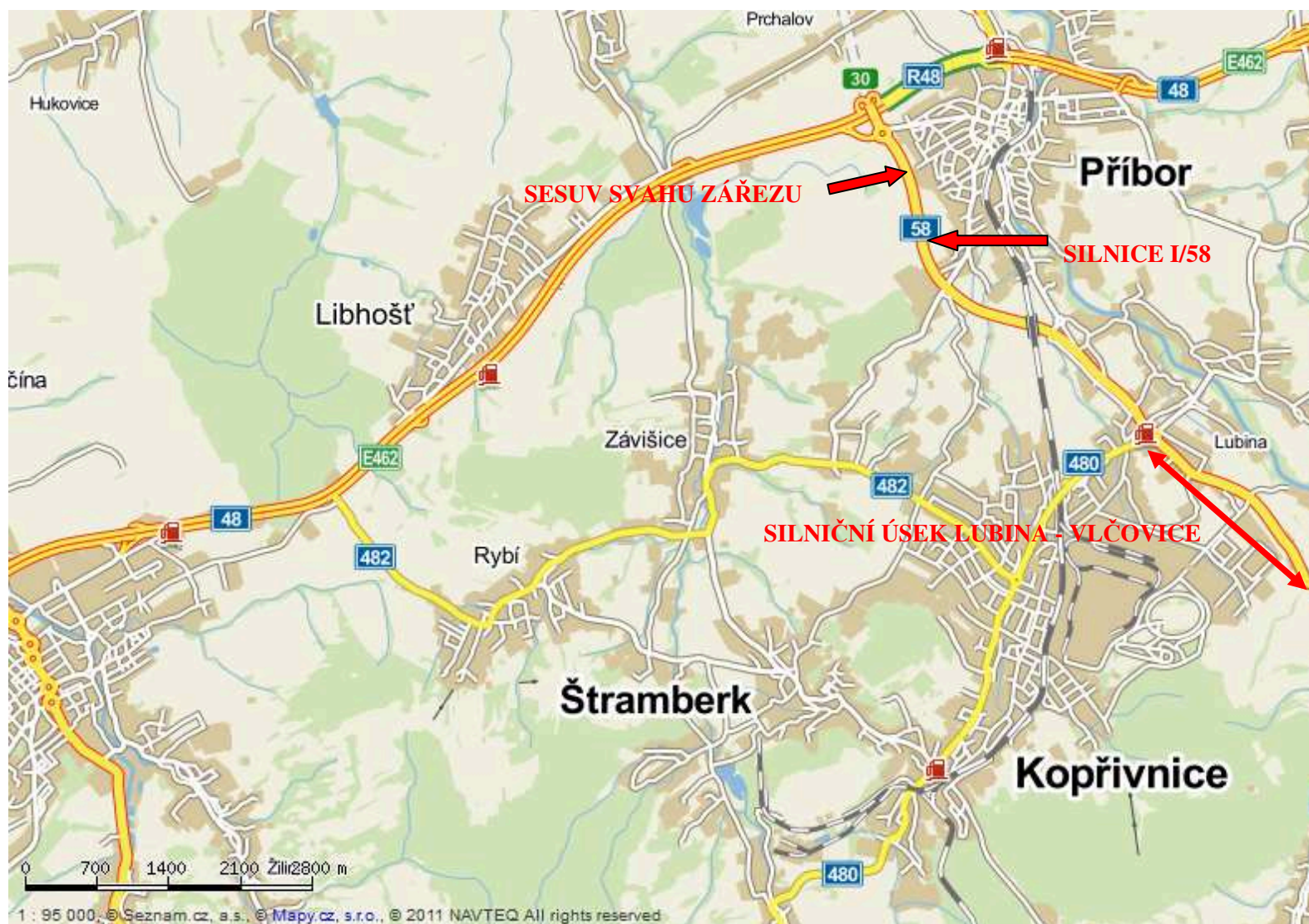
Silniční zářezy jsou z hlediska dělení inženýrského stavitelství řazeny k dopravním stavbám a při jejich budování dochází k podstatným zásahům do reliéfu území. U těchto staveb je důležité věnovat pozornost průzkumu stability svahů a podloží pod vysokými násypy, určení těžitelnosti hornin a vyšetření základové půdy, odvodnění zemního tělesa a únosnosti pláně. Neméně důležitým prvkem je samozřejmě návrh sklonu svahu. Získané poznatky a výsledky z inženýrsko-geologického průzkumu patří k jedním z několika činitelů, které mají významný vliv na konečnou polohu a niveletu trasy a stavební uspořádání komunikace. [10]

Sesuv svahu zářezu se nachází v blízkosti silnice I/58, ve staničení 3,050 km ve směru od Kopřivnice, která je předmětem stavby obchvatu Příbora. Tato silnice je napojená na již stávající silniční úsek Lubina – Vlčovice a vede z Příbora do Kopřivnice. Stavba obchvatu zahrnuje 2 úseky – západní úsek v délce cca 3,7 km a úsek silnice I/58 v obci Lubina v délce 1,6 km. Trasa silnice I/58 vede skrz hranice ochranných pásem těžebních sond zemního plynu. Východně od silnice I/58, ve vzdálenosti cca 200m, se nachází okrajová zástavba města Příbora. Celkově jsou na trase navrženy 3 křižovatky, 2 rámové propustky a 9 mostních objektů, z nichž jeden (MO 206) se nachází v těsné blízkosti sesuvu svahu zářezu, ve staničení 3,050 km ve směru od Kopřivnice. [4]

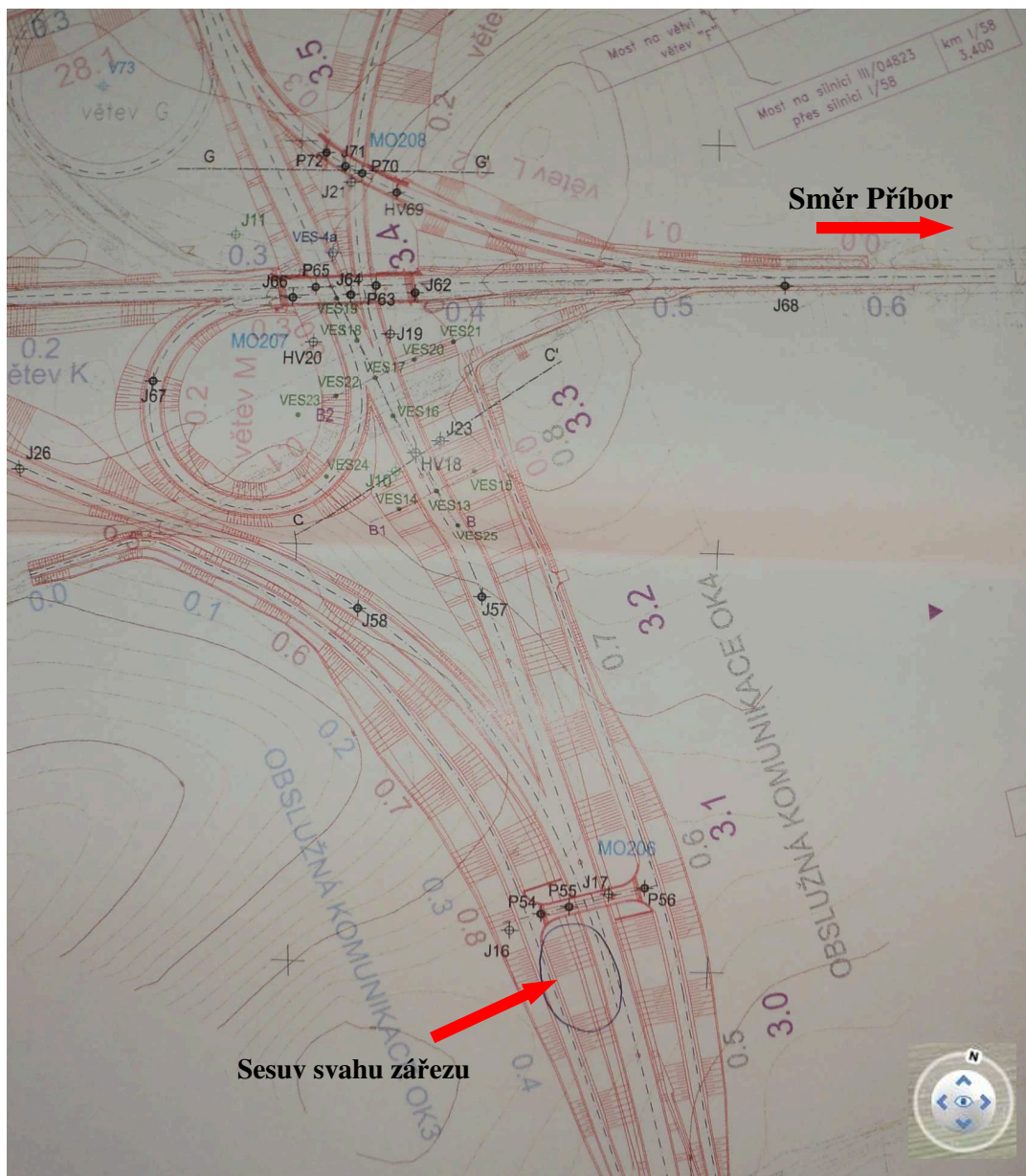


Obrázek 4: Lokalita sesuvu svahu zářezu silnice I/58, vedoucí z Příbora do Kopřivnice, snímek z března 2012, [19]





Obrázek 5: Mapa města Příboru a jeho okolí, [15]



Obrázek 6: Mapa obchvatu Příboru s vyznačeným místem sesuvu svahu zářezu, [4]



## 2.2.1 Mostní objekt MO 206

Mostní objekt MO 206 byl současně se silnicí I/58 předmětem podrobného inženýrsko-geologického průzkumu a součástí stavby obchvatu. MO 206 byl navržen jako třípólový, s délkou přemostění 43,40 m a předpokládaným založením na velkopřůměrových pilotách s požadovanou minimální délkou piloty 11 m. Tato délka piloty byla doložena potřebnými výpočty. Celková délka mostu je 57,00 m. MO 206 vede přes silnici I/58, v km 3,080 a nachází se ve vzdálenosti cca 270 m od okružní křižovatky. V blízkosti MO 206 byly provedeny penetrační sondy P-54, P-55 a P-56 a archivní vrtly J-16 a J-17. Hladina podzemní vody nebyla z provedených vrtů do hloubky 12 m zastižena.

Geologická charakteristika: ornice: 0,20 – 0,40 m

navážky: typ GT4a: CL, CH a CV do hloubky 7,0 – 12,0 m

typ GT4b: MS do hloubky 0,0 – 7,0 m

Ochrana násypu MO 206 byla doporučena s použitím ochranné vrstvy záhozového kamene a také nepropustných zemin pro zamezení eroze, zejména proudem vody. [4]



Obrázek 7: Situace mostního objektu s vyznačeným místem sesuvu svahu zářezu, [4]

Přes silnici I/58, po které jezdí auta ze směru od Příboru na Beskydy nebo do kopřivnické průmyslové zóny, vede pouze jeden přechod pro chodce a pro cyklisty. Tento přechod se nachází v místech bývalé černé skládky (viz. obr. 8). Rychlost aut je v tomto úseku omezena dopravní značkou na 50 km/h. Jelikož je na celém úseku obchvatu pouze jeden přechod, je mostní objekt (MO 206) také hojně využíván pro bezpečné přejítí chodců a cyklistů z jedné strany na druhou. Přes tento most mohou také projíždět osobní automobily, které se chtějí dostat do místní části Paseky. Jejich průjezd není omezen žádnou dopravní značkou. [22]

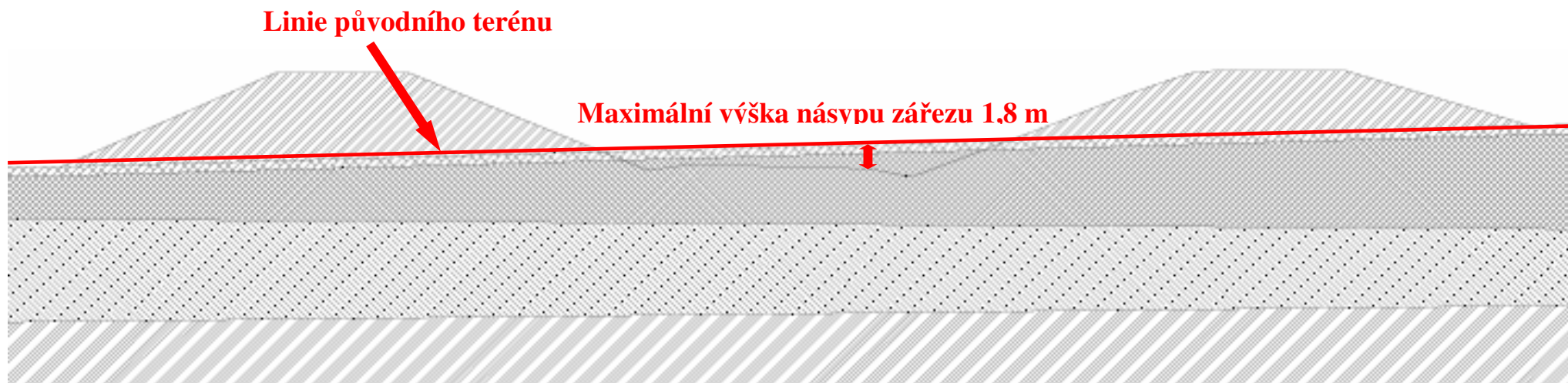
### 2.2.2 Zářez Z 3a

Sesuv svahu se nachází v zářezu silnice I/58, ve staničení 3,050 km ve směru od Kopřivnice a je značen Z 3a. Tento silniční zářez byl proveden v úseku Příbor – v km 2,920 – 3,140. Málo výrazné návrší je v celé své délce tvořené eluvii silně až zcela zvětralých jílovců a prachovců. Zářez byl hlouben ve výše uvedených jílovitých eluviích (zejména F6 CI). Maximální výška násypu zářezu je 1,8m a průměrná 0,6 m. Délka zářezu je 220 m.

Jílovité eluvia jsou málo vhodná až téměř nevhodná do násypů. Lze je využít pouze po úpravě zemin – např. vápnem. Podloží tohoto zářezu je tvořeno obdobnými zeminami, které jsou nebezpečně namrzavé a celkově nevyhovující pro podloží. Zlepšení zemin se provedlo v aktivní zóně, vápnem v minimální tloušťce 0,6 m. Dále bylo doporučeno, aby se zlepšené zeminy vápnem chránily vhodnými nenamrzavými materiály s minimální tloušťkou 0,6 m před účinky mrazu. Pod konstrukční vrstvu vozovky byla použita geotextilie. Z inženýrsko-geologického průzkumu se však nedalo zjistit o jakou geotextilii se jednalo. Sklon svahu zářezu byl dle ČSN 73 6133 navrhován v poměru 1:2 a to při jeho hloubce maximálně do 2 m. S ohledem na omezenou výšku silničního zářezu byl doporučený sklon svahu ne strmější než 1:2. Doporučeno bylo také zatravnění svahu a výsadba keří, pro zachování stability svahu. Doporučená výsadba keří na svahu avšak nebyla do současnosti provedena, provedlo se pouze zatravnění. [4]

Hladina podzemní vody nebyla z provedených 12 m vrtů J-16 a J-17 zastižena. Nepřítomnost podzemní vody je příznivá jak pro hloubení zářezu, tak i pro stabilizaci podloží vápnem. [4]





Obrázek 8: Naznačení maximální výšky násypu zářezu na silnici I/58, vytvořeno v AutoCadu 2010

## 2.3 Rozsah a metodika provedených průzkumů a průzkumných vrtů

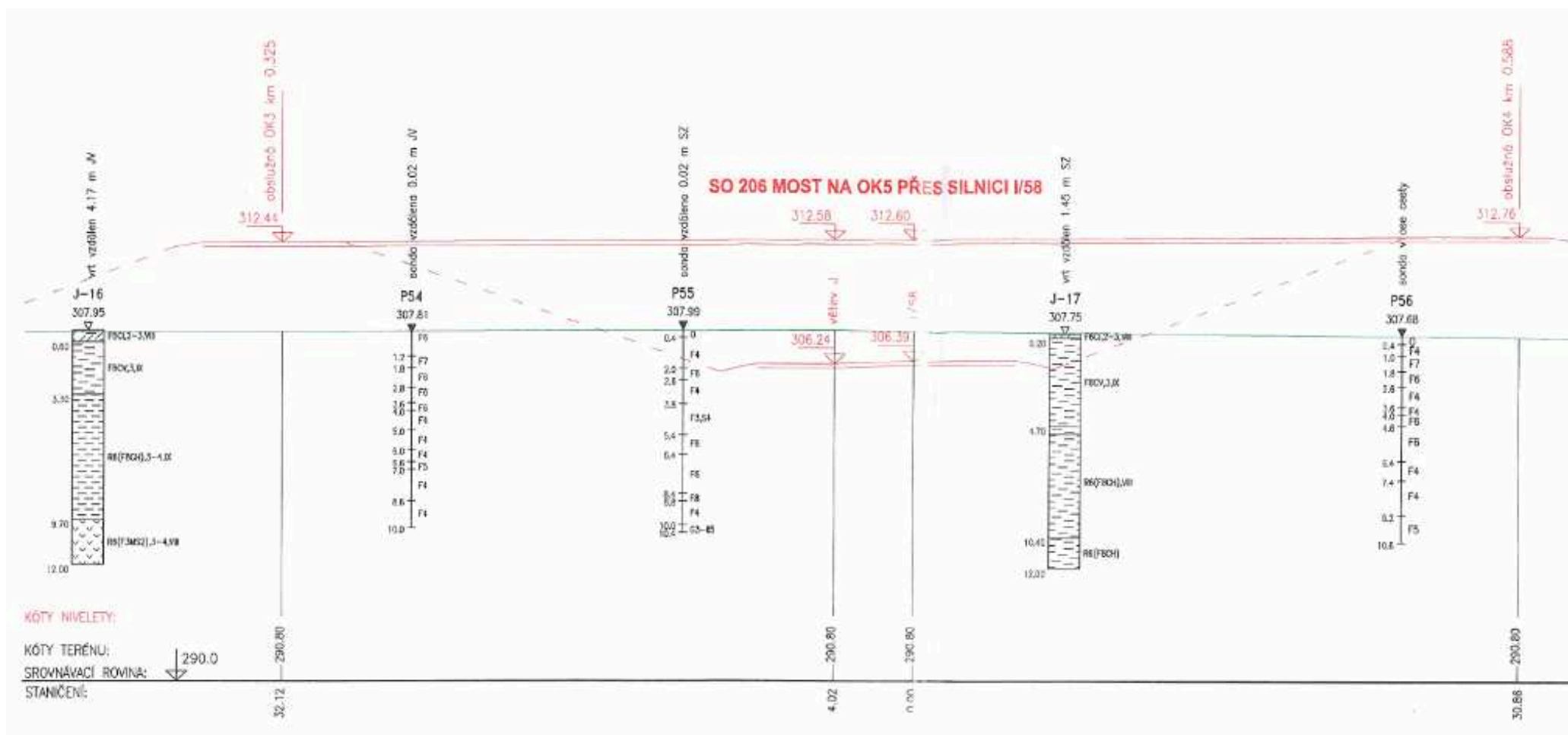
Průzkumné práce podrobného IGP byly započaty již v roce 2002. Cílem těchto prací bylo zjištění nejuplněnějších údajů o inženýrsko-geologických poměrech území, komplexní zhodnocení geomechanických vlastností hornin pro zemní těleso, zhodnocení podloží násypů a podzákladí mostních objektů, zhodnocení hornin pro využití do násypů tělesa a vhodnosti zemin pro podloží komunikace, popřípadě její zlepšení do aktivní zóny. [4]

V minulosti bylo v okolí stavby silnice I/58 provedeno několik desítek vrtů, a to uhelných a plynových průzkumných. Význam těchto vrtů byl k řešení výstavby silnice I/58 téměř nulový, proto se před samotnou výstavbou v roce 2011 prováděly vrty nové, v rámci doplňujícího inženýrsko-geologického a hydrogeologického průzkumu. Hloubka vrtů sahala do 12 metrů. [4]

### 2.3.1 Vrtné, kopné a vzorkovací práce

Na úsecích Příbor a Lubina, které jsou součástí stavby obchvatu Příboru, bylo provedeno celkem 37 nových jádrových vrtů s průměrnou hloubkou 12 m. V zájmovém území byla díky nově prováděným vrtům nalezena „černá“ skládka, v blízkosti provedeného zářezu Z 1, v km 1,745 – 1,912. V místě této skládky bylo zjištěno, že zde dochází k velmi významnému přítoku vody, cca 5,9 l/s. Zde si odvodnění vyžádalo nutný návrh speciálních opatření. Rovněž bylo zjištěno, že se v prostoru skládky nachází vyšší obsah Cl. Samotný odběr vzorků hornin a zemin probíhal na zájmovém území v průběhu provádění kopaných sond a vrtů. Odebrané vzorky byly po ukončení prací analyzovány v laboratořích. Odebralo se několik typů vzorků: vzorky porušené (P), poloporušené (PLP), technologické (TV), technologicko-modelové (TM), horninové (H), vzorky pro realizaci zkoušek stabilizaci vápnem (STAB), vzorky vody a vzorky pro posouzení znečištění zemin.

V prostoru „černé“ skládky byly zjištěny materiály, které jsou z hlediska fyzikálně mechanických vlastností vhodné do násypů jen cca z 50%, i když se jednalo o štěrkovité jíly a jílovité štěrky, neboť tyto jíly a štěrky navíc obsahovaly příměsí cihelné drtě, úlomků skla a jiných cizorodých částic. [4]



Obrázek 9: Provedené vrty a penetrační sondy v blízkosti MO 206, [4]

Vysvětlivky k obrázku č. 9:

vrt J – vrt doplňujícího předběžného IG průzkumu (UNIGEO a.s. 2001)

Vrt P – penetrační sonda podrobného IG průzkumu (UNIGEO a.s. 2002)

### 2.3.2 Polní a terénní zkoušky

Kromě odebrání vzorků se v zájmovém území provedlo 19 sond statické penetrace, v rozsahu hloubek 4,4 – 15,0 m. Tyto sondy se prováděly zejména v blízkosti mostních objektů, pro upřesnění inženýrsko-geologických poměrů a zjištění fyzikálně mechanických parametrů zemin. [4]

### 2.3.3 Geodetické a geofyzikální práce

V souhrnu bylo tedy zaměřeno a vytýčeno 37 vrtů, 19 penetračních sond a 9 bodů na příčných profilech. Všechna měření probíhala ve výškovém systému Bpv. a v souřadnicovém systému S-JTSK. Pro mostní objekty MO 201 – MO 210 byl proveden korozní průzkum a následný návrh protikorozní ochrany. [4]

### 2.3.4 Ostatní práce

Tento typ prací zahrnoval vyřizování vstupů na pozemky, zejména písemnou dohodou, s jednotlivými vlastníky pozemků, ověřování vedení inženýrských sítí a likvidace škod na pozemcích, které vznikaly při ponechání vystrojeného vrtu na pozemcích. [4]

### 2.3.5 Seznam provedených průzkumů a vrtů v zájmovém území

#### **Byly provedeny tyto průzkumy a vrty:**

1. předběžný a podrobný inženýrsko-geologický průzkum,
2. doplňující inženýrsko-geologický průzkum - pro „černou“ skládku,
3. hydrogeologický průzkum,
4. korozní průzkum - pro mostní objekty,
5. geofyzikální průzkum,
6. uhelné a plynové vrty ( provedeny v roce 2002). [4]

## 2.4 Výsledky z provedených vrtů a sond

Základním úkolem prováděných sondovacích prací při inženýrsko-geologickém průzkumu bylo rozpoznat geologickou stavbu zájmového území. Sondy se neprováděly v pravidelných vzdálenostech podél plánované trasy, ale vždy s ohledem na různotvárnost reliéfu.

Z provedených doplňujících vrtů bylo zjištěno, že se v okolí plánované stavby silnice I/58 nachází vyvěřelé horniny těšinitové asociace, které jsou mimořádně náchylné k zvětvávání. Byly zjištěny tmavé bazické typy a horniny tříd R 5 a R 6, které mají charakter zeminy. Zjištěné horniny třídy R 5 a R 6 se velmi snadno a ve velmi krátkém časovém horizontu rozpadají, zejména při působení atmosférických vlivů, jako je působení vody a také při změnách teplot. Kromě výše uvedených typů hornin byly z vrtů zjištěny také terciární jílovce a prachovce, které snadno rozbírají a jejich charakter je pak podobný charakteru jemnozrnných zemin. [4], [10]

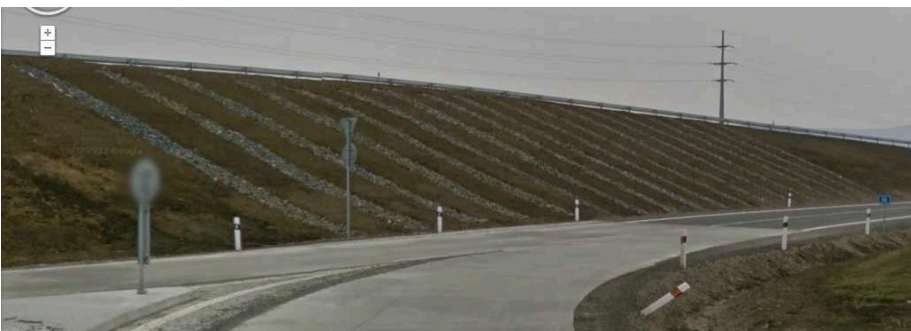
Zájmové území je tvořeno převážně kvartérními sedimenty, tj. navážkami charakteru šterkovitých jílu s úlomky cihelné drtě a skla, dále navážkami charakteru písčitých hlín a písčitých jílu s organickou příměsí. V zájmovém území se vyskytují také jíly s nízkou až střední plasticitou a organickými příměsí se zbytky cihel, asfaltu a dřeva, šterkovitými hlínami, hlinitými písky s úlomky škváry a cihelné drtě. Z globálního hlediska lze říci, že vrty zastižené zeminy jsou skoro ve všech případech hlíny se střední až nízkou plasticitou a jsou málo vhodné až téměř nevhodné do násypů. V plánované trase byly zastiženy z geologického hlediska šterk jílovitý s frakcí, která je tvořena zaoblenými valouny beskydského pískovce a ve střední části plánované trasy byly zjištěny eolické a fluviální, nevápnité až velmi slabě vápnité sprašové hlíny, s převládající střední plasticitou. V určitých oblastech, kde se dostaly do kontaktu zeminy i se skalním podložím, byly zjištěny eluvia jemnozrnných zemin – jílovitá eluvia silně zvětralého jílovce třineckých vrstev a prachovce frýdeckých vrstev. Dále byly zastiženy eluvia písčitých a písčito-hlinitých zemin – vyvěřelé horniny těšinitové asociace, písčitá hlína a šterkovitý jíl s ostrohrannými úlomky vápence těšínského a štramberského typu. Z pohledu geologie lze říci, že skalní podloží širšího okolí zájmového území je tvořeno ve větší míře mezozoickými horninami, méně pak terciárními horninami – jílovci a prachovci frýdeckého souvrství a vyvěřelými horninami těšinitové asociace. [4]

Na základě provedených stabilitních výpočtů bylo doporučeno navrhnout metody pro urychlení konsolidace podloží vysokých násypů a samotného tělesa mostního objektu (MO 206). Do podloží se doporučilo použít geodrény, pro urychlení procesu konsolidace. Přítoky vody do zářezů a jam mostních objektů, které byly zjištěny na základě provedených čerpacích zkoušek, byly zjištěny vesměs malé. [4]

Negativní vlastnosti zjištěných hornin a působení atmosférických vlivů mohou být jedny z hlavních důvodů vzniku velmi častých svahových deformací v zájmovém území a také v některých úsecích silnice I/58 vedoucí z Příboru do Nového Jičína a dále. Bylo zjištěno, že při velmi vydatných dešťových srážkách dochází k nasycení nadložních hlín a povrchu jílovcového skalního podkladu vodou, čímž dochází k rozbídní a vytváření ideální smykové plochy a následnému vzniku vlastní svahové deformace. Je proto opravdu velmi složité spolehlivě určit rozhraní mezi zeminou a skalním podkladem, který je reprezentován těmito dvěma typy skalních hornin (R 5 a R 6). Musí se zohlednit, že skalní vyvěřelé horniny těšinitové asociace vytvářejí převážně písčito-hlinitá eluvia, která nemají tolik závažný vliv na vznik sesuvů oproti eluviím jemnozrnných zemin, které vznikají zvětráváním podložních terciérních a křídových jílovců a prachovců. Ke zvětrávání a vzniku svahových deformací jsou obzvláště náchylné vápňité jílovce a prachovce frýdeckých vrstev. Vznik aktivních sesuvů ve frýdeckých vrstvách a souvrstvích je znám i z mnohem širšího okolí než jen ze zájmového území pro výstavbu obchvatu. [4]

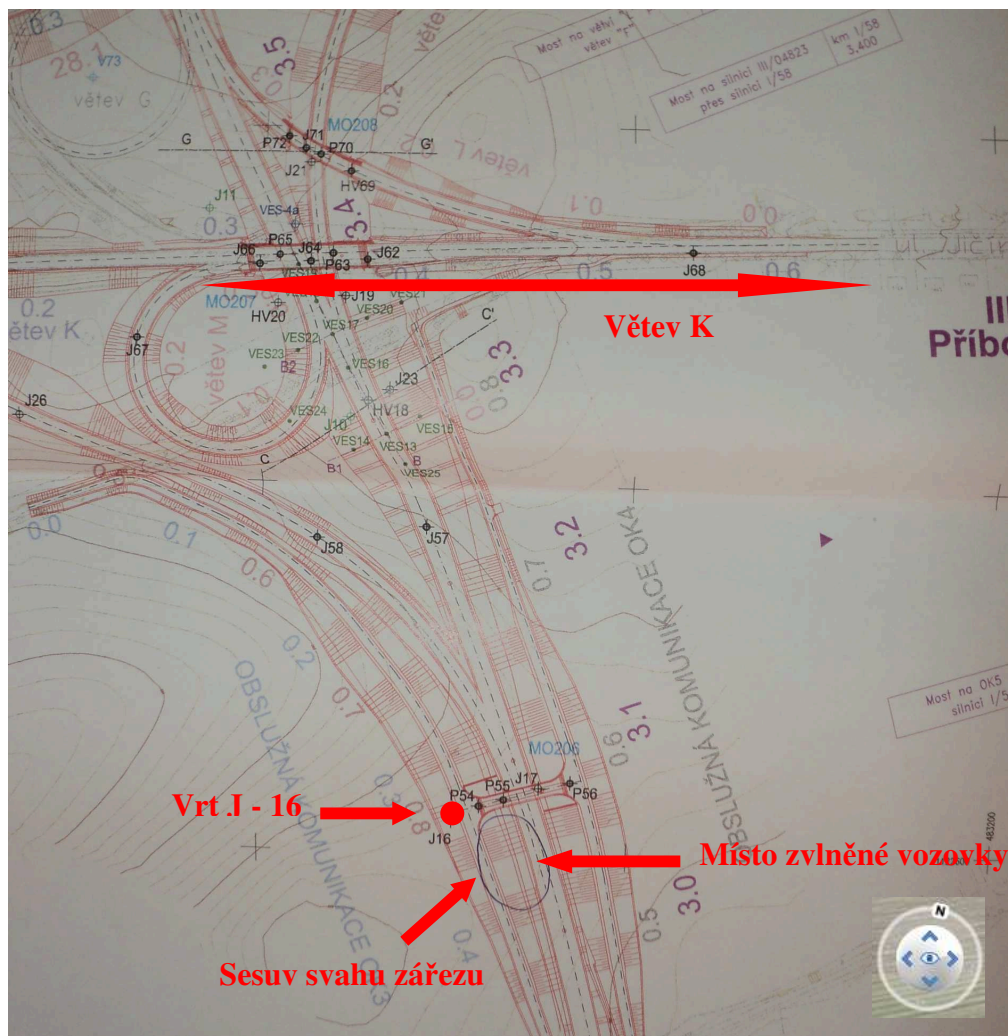
Součástí provedených inženýrsko-geologických a hydrogeologických průzkumů byl také korozní průzkum, ze kterého vyplynulo, že celá posuzovaná oblast je v prostředí se zvýšenou korozní agresivitou. Navrhlo se, aby byly mostní objekty zabezpečeny proti bludným proudům bez propojení výztuže a jejího vedení. Výstavbou obchvatu Příboru nedošlo k výraznému ovlivnění hladiny podzemních vod v okolních studních. [4]

Širší okolí zájmového území je území poddolované a patří proto k sesuvným oblastem. V současnosti se na trase obchvatu Příboru nachází několik registrovaných sesuvů. Jedná se o sesuv na začátku trasy obchvatu Příboru a několik sesuvů na západních až jihozápadních svazích podél toku Lubiny – a to sesuvy Orinoko a sesuvy Větrkovice. Byly také registrovány sesuvy na větvi K, v km 0,120 a 1,200. Část trasy vede na chráněném ložiskovém území (CHLÚ) ložiska černého uhlí. [4]



Obrázek 10: Registrované sesuvy v širším okolí zájmového území na obchvatu Příboru, [19]





Obrázek 11: Mapa obchvatu města Příboru, s vyznačeným místem sesuvu svahu zářezu a registrovanými sesuvy na větvi K, vedoucí z Příboru do Nového Jičína a na silnici I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice, [4]

Sesuvy, kterých se na obchvatu města Příboru nachází několik desítek, nebyly jediným problémem, který se vyskytl po otevření tohoto obchvatu. Dalším nepříznivým problémem bylo zvlnění silnice v místě, kde došlo ke dvěma sesuvům svahu zářezu a které jsou předmětem posouzení v této práci. Zvlnění vzniklo na konci ledna 2012. První odhad, že zvlnění bylo způsobeno neprůchodnou drenáží, se nepotvrdil. Další uvažovanou možností bylo, že zvlnění způsobil tlak okolních svahů a tlak od mostního objektu (MO 206). Z laboratorních rozborů a provedených měření se zjistilo, že za nerovnosti, na několik měsíců staré silnici, může neprovedení požadovaných tloušťek u jednotlivých podkladních vrstev. [22], [23]



## 2.4.1 Geotechnické typy zemin a skalních hornin a jejich vlastnosti

**Ornice** – je tvořena převážně jílem s nízkou až střední plasticitou (F6 CL – F6 CI), ve výjimečných případech jílem s vysokou plasticitou (F8 CH). Na určitých místech se také v malém zastoupení objevil jíl písčítý (F4 CS) a podřadně i hlína písčítá (F3 MS), hnědé až žlutohnědé barvy, s mocností v rozmezí od 0,1 m do 0,5 m. Ornice se nachází na celém zájmovém území, pouze v místě „černé“ skládky odpadů byla nahrazena navážkami. Při stavbě obchvatu byla vždy odstraňována a použita na rekultivaci svahů násypů. Konzistence těchto materiálů je měkká.

**Zeminy** – na celém úseku se vyskytuje několik typů zemin a jejich podtypů, které jsou členěny podle fyzikálně mechanických vlastností. [4]

Jednotlivé typy zemin a jejich podtypy, vhodnost do násypů:

1. **typ sedimentů - navážka GT1** - je nejmocnější v prostoru „černé“ skládky odpadů v Příboře, v zářezu Z 1 v km 1,745 – 1,915; **stupeň konzistence  $I_c = 0,67 - 1,03$** 
  - **podtyp navážky GT1a** - zahrnuje jíl štěrkovitý (F2 CG); **vhodný až málo vhodný pro použití do násypů**
  - **podtyp navážky GT1b** - zahrnuje hlínu písčitou (F3 MS) a jíl písčítý (F4 CS); **nevhodná pro použití do násypů**
  - **podtyp navážky GT1c** – zahrnuje jíl se střední plasticitou (F6 CI), hlíny s vysokou plasticitou (F7 MH) a hlíny s velmi vysokou plasticitou (F7 MV); **převážně nevhodné pro použití do násypů**
  - **podtyp navážky GT1d** – zahrnuje písek hlinitý (S4 SM), štěrk hlinitý (G4 GM) a písek jílovitý (S5 SC); **vhodné až velmi vhodné pro použití do násypů**
  
2. **typ sedimentů - navážka GT2** – zahrnuje fluvialní písčito-hlinité, deluviální hlinité až písčito-jílovité zeminy a sprašové zeminy; **stupeň konzistence  $I_c = 0,3 - 1,12$** 
  - **podtyp GT2a** – zahrnuje jíly se střední plasticitou (F6 CI) a jíly s nízkou plasticitou (F6 CL); v ojedinělých případech se vyskytuje i jíl s vysokou (F8 CH) a velmi vysokou plasticitou (F8 CV); **nevhodné až málo vhodné pro použití do násypů**
  - **podtyp GT2b** – zahrnuje písčité jíly (F4 CS), jíly štěrkovité (F2 CG) a hlíny písčité (F3 MS); **nevhodné až málo vhodné pro použití do násypů**

3. **typ sedimentů - navážka GT3** – zahrnuje fluviální – fluviální štěrky a štěrky eluviální; **stupeň konzistence  $I_c = 0,65 - 1,81$**
- **podtyp GT3a** – zahrnuje jílovité štěrky (G5 GC); **vhodné až velmi vhodné pro použití do násypů**
  - **podtyp GT3A** – zahrnuje štěrky s příměsí jemnozrné zeminy (G3 G-F); **vhodné až velmi vhodné pro použití do násypů**
  - **podtyp GT3b** – zahrnuje štěrky jílovité (G5 GC) – štěrkovito – jílovitá a jílovito – štěrkovitá eluvia slepenců chlebovických vrstev a vyvřelé horniny těšinitové asociace; **vhodné pro použití do násypů**
4. **typ sedimentů - navážka GT4** – zahrnuje jílovitá a písčítá eluvia silně zvětralého (rozloženého) jílovce a prachovce převážně těšínsko-hradištského souvrství, frýdeckých a třineckých vrstev (podtyp GT4a) a hlinito-písčítá eluvia vyvřelých hornin těšinitové asociace; **stupeň konzistence  $I_c = 0,58 - 1,42$**
- **podtyp GT4a** – zahrnuje jíly se střední plasticitou (F6 CI) a jíly s vysokou plasticitou (F8 CH), v menší míře jíly s velmi vysokou plasticitou (F8 CV) a jíly písčité (F4 CS); **nevhodné až málo vhodné pro použití do násypů**
  - **podtyp GT4A** – zahrnuje jíly štěrkovité (F2 CG); **málo vhodné až vhodné pro použití do násypů**
  - **podtyp GT4b** – zahrnuje písek hlinitý (S4 SM), dále hlíny písčité (F3 MS) a písek jílovitý (S5 SC), zcela výjimečně jíl štěrkovitý (F2 CG) a písek s příměsí jemnozrné zeminy (S3 S-F); **vhodné až velmi vhodné pro použití do násypů**
5. **typ sedimentů - navážka GT5** – zahrnuje skalní horniny silně až mírně zvětralé jílovce a prachovce těšínsko-hradištského souvrství frýdeckých a třineckých vrstev
- **podtyp GT5a** – zahrnuje skalní horniny mírně až silně zvětralé, s pevností R4 - R5
  - **podtyp GT5b** – zahrnuje skalní horniny mírně až silně zvětralé, s pevností R4 – R5. [4]

Při výběru směrných normových charakteristik v rozsahu jednotlivých tříd se vždy přihlíží ke konzistenci a plasticitě.

## 2.5 Stávající stav sesuvu svahu zářezu

Obchvat města Příboru byl otevřen 24. 11. 2011, jehož cílem bylo vyhnat stovky automobilů z centra Příboru a ulehčit spojení se sousední Kopřivnicí. V současné době je sesuv svahu zářezu zasanován. Před poslední sanací došlo ke dvěma sesuvům na stejném místě, v časovém horizontu 6 měsíců. K oběma sesuvům došlo v km 3,050 ve směru od Kopřivnice. K prvnímu sesuvu v tomto úseku došlo již na konci roku 2012, v období zimních měsíců, necelý rok od otevření. První variantou sanace bylo zpětné zasypání sesuvným materiálem. Tato sanace se provedla po necelých 2 měsících od prvního sesuvu, tedy na začátku roku 2013. V průběhu zimy a při napadlém množství sněhových srážek nebylo možno pozorovat zda dochází k dalším pohybům svahu či nikoli. Na začátku jara, kdy začalo tání velkého množství sněhové pokrývky a přidaly se tomu vydatné deště, došlo k druhému sesuvu. Zjistilo se, že první sanace nebyla dostatečná a dospělo se k závěru, že bude potřeba použít na sanaci jiný materiál než sesutý. Druhá sanace proběhla v průběhu měsíce dubna 2013, kdy se na zásyp dovezl štěrkový kámen z Kamenolomu v Bohučovicích, nacházející se 3 km od Hradce nad Moravicí, za obcí Bohučovice, okres Opava. Výhodou dovezeného štěrku je jeho propustnost, tudíž přitékající voda do svahu může rychleji odtékat. Jeho nevýhodou je, že nepřenese příliš velká zatížení, projevující se zejména od dopravy. Cílem této diplomové práce je ověření, zda provedená druhá sanace bude do budoucna dostačující pro celkovou stabilizaci území.



Obrázek 12: Sanace sesuvu svahu zářezu, vlastní foto pořízeno dne 14.4.2013



Z obrázku 13 se lze domnívat, že svah není s největší pravděpodobností dostatečně odvodněn, protože u paty svahu a u opěry informační tabule byla v době pořízení snímku menší oblast nazelenalé plochy. Celý svah je sice zatravněn, ale v místě s vyšší vlhkostí byla tráva zelenější.



Obrázek 13: Sanace sesuvu svahu zářezu, možný přítok vody v patě svahu, vlastní foto pořízeno dne 16.4.2013

Na obrázku 14 je detailní pohled na patu sesuvu svahu zářezu. Je zřejmé mírné poškození odvodňovacích žlabů a nedokonalé očištění od sesutého materiálu. Při vydatných deštích docházelo ke splavování nedokonale očištěného sesutého materiálu z krajnice silnice I/58 do odvodňovacích žlabů a k jejich následnému zanesení.



Obrázek 14: Sanace sesuvu svahu zářezu, nedokonalé očištění odvodňovacích žlabů a krajnice silnice I/58 od sesutého materiálu, vlastní foto pořízeno dne 16.4.2013

Na obrázku 15 je detailní pohled na odlučnou oblast sesuvu svahu zářezu. Lze vidět, že i po druhé sanaci, která byla provedena v průběhu měsíce dubna roku 2013, dochází k sedání materiálu z odlučné oblasti svahu důsledkem působení vody a gravitace. Odnos tohoto materiálu je odhadem v řádu několika gramů, avšak z hlediska dlouhodobého působení větru a vody by mohlo dojít ke vzniku dalšího sesuvu svahu zářezu silnice I/58. Současný sesuv by se tak mohl zvětšit o několik desítek centimetrů a stabilita svahu by byla nadále snižována, ne naopak zvětšována, jak je žádoucí z provedené sanace.



Obrázek 15: Sanace sesuvu svahu zářezu, sedání materiálů v odlučné oblasti sesuvu vlivem působení gravitace, vlastní foto pořízeno dne 16.4.2013



## 3. Vypracování návrhu stabilizačních opatření

### 3.1 Obecné zásady posouzení stability svahu

K posouzení stability svahu je potřeba dodržet obecné zásady:

1. je potřeba znát geometrický tvar předpokládané smykové plochy,
2. je potřeba znát rozdělení napětí na smykových plochách – určíme výpočtem,
3. je potřeba znát smykovou pevnost na smykových plochách – hodnoty úhlu vnitřního tření a soudržnosti, popř. efektivní hodnoty úhlu vnitřního tření a soudržnosti. [4], [20]

Pro důkladné posouzení stability svahu a následný návrh zabezpečení je potřeba velmi spolehlivě a přesně zjistit nejhlubší a nejnebezpečnější smykovou plochu daného sesuvu a také takový sklon svahu, aby byl svah stále ještě stabilní. V nesoudržných zeminách se vytváří rovinná smyková plocha a v soudržných zeminách se vytvářející smyková plocha vlivem vzrůstající koheze zakřivuje. U soudržných zemin může mít smyková plocha různý tvar, nejčastěji předpokládáme válcovou smykovou plochu. [4], [20]

Výhodné je studovat vývoj sesuvu dvěma způsoby. První způsob studování sesuvu by měl probíhat in situ a druhý způsob by měl být prováděn na matematických modelech, s použitím např. MKP. Polohu smykové plochy lze určit z výchozů v odlučné oblasti sesuvu nebo při úpatí svahu. Sklon svahu by se měl volit vždy s ohledem na výšku, tj. s rostoucí výškou svahu bychom měli navrhopvat menší sklon. Sklony zářezů v sypkých zeminách, jako jsou písky a šterky, by se měly navrhopvat v poměru alespoň 1 : 1,5, neboť při tomto poměru jsou svahy ještě trvale stabilní a lze je zatravnit. Dalším účinným opatřením je snížení hladiny podzemní vody pod dnem příkopů, tím současně odvodňujeme svah i pláň. [9], [10], [20]

Porušení svahu je úlohou stability tělesa na nakloněné rovině. Působením zemské tíže vznikají aktivní smykové síly. Stabilitu svahu posuzujeme pomocí **stupně stability F**. Účinkům těchto sil brání odporující (pasivní) smykové síly, které jsou dány pevností horniny. **Součinitel bezpečnosti** je vyjádřen jako poměr souhrnu pasivních sil k odpovídajícímu souhrnu aktivních sil a je měřítkem stability svahu. Je to veličina, kterou je nutno znát pro zkoumaný svah. [9]

## 3.2 Metody výpočtů stability svahu

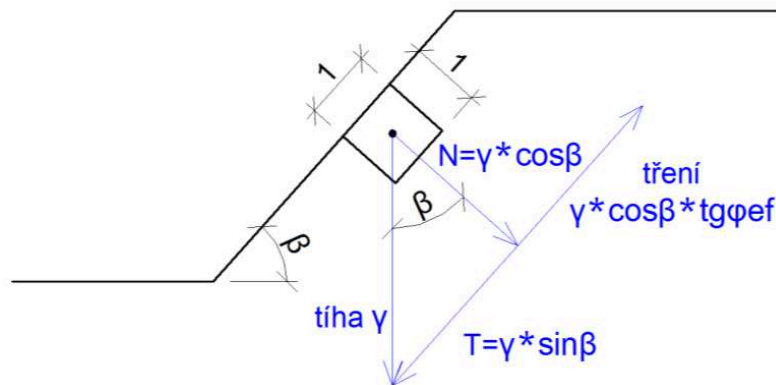
Při výpočtech stability svahu řešíme nejčastěji rovnováhu sil podél uvažované smykové plochy (smyková plocha vzniklá případným sesuvem). Tento způsob výpočtu nazýváme metodou mezní rovnováhy.

**Stabilitu svahu lze řešit několika metodami. Nejčastěji se v praxi setkáváme s těmito typy řešení stability svahu:**

1. metoda mezní rovnováhy – nejpoužívanější metoda pomocí níž řešíme rovnováhu sil podél uvažované smykové plochy, která by vznikla případným sesuvem; patří zde metoda Pettersonova, Bishopova nebo Janbuova metoda; řešenými případy touto metodou jsou: - stabilita svahu v nesoudržné zemině – bez HPV,
  - stabilita svahu v soudržné zemině,
  - stanovení nebezpečné (kritické) smykové plochy,
  - krátkodobá a dlouhodobá stabilita,
2. MKP (Metoda konečných prvků)
3. metoda řešení napjatosti a deformace zemního tělesa – málo používaná pro svou složitost. [3]

### 3.2.1 Stabilita svahu v nesoudržných zeminách – bez HPV

Jak bylo uvedeno výše, v nesoudržných zeminách se vytváří rovinná smyková plocha. Při těchto podmínkách platí pro každý objemový element na svahu stejné podmínky rovnováhy. Postačí proto vyšetřit rovnováhu jen na jednom elementu.



Obrázek 16: Řešení stability pro nesoudržné zeminy, neprosakuje-li voda, [3]

Rovnováha bude zachována, bude-li tangenciální složka tíhy menší nebo rovna tření.

Podmínka rovnováhy:  $T \leq N \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{eff}}$

T...tangenciální složka tíhy (síly vyvolávající pohyb – síly aktivní)

$N \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{eff}}$  ...tření (síly bránící pohybu – síly pasivní)

V nesoudržných zeminách je svah stabilní, je-li úhel sklonu ( $\beta$ ) menší než úhel vnitřního tření dané zeminy, tj.  $\beta \leq \varphi_{\text{eff}}$ . Řešením stability pro nesoudržné zeminy je stupeň stability F.

Stupeň stability:  $F = \frac{N \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{eff}}}{T}$

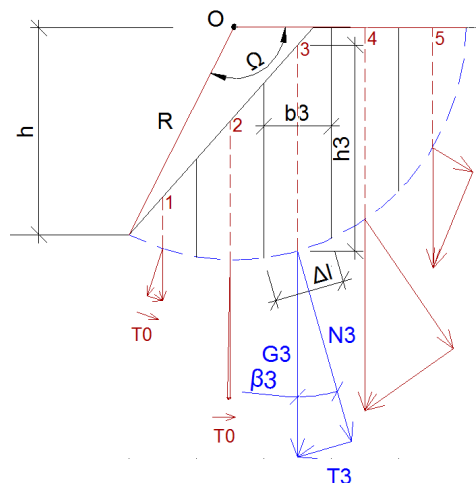
$F > 1$  - svah je stabilní

$F < 1$  – svah je nestabilní. [3]



### 3.2.2 Stabilita svahu v soudržných zeminách

V soudržných zeminách se předpokládá vznik smykové plochy různého tvaru, např. válcové smykové plochy nebo smykové plochy s proměnlivou křivostí. Stabilita svahu v soudržných zeminách se posuzuje nejčastěji Pettersonovou (proužkovou) metodou.



Obrázek 17: Řešení stability pro soudržné zeminy s použitím Pettersonovy metody, [3]

Princip řešení proužkové metody spočívá v nahrazení smykové plochy kruhovým obloukem a rozdělení svahu nad uvažovanou smykovou plochou na svislé proužky stejné šířky. Při řešení se nebere v úvahu vliv sil od sousedních proužků. Řeší se pouze síly, které tyto proužky zeminy přenášejí na příslušný úsek uvažované smykové plochy. Poté se určuje výsledný moment pasivních a aktivních sil, vždy ke středu otáčení. Na uvažované smykové ploše působí vlastní tíha proužku G, která se graficky rozkládá na složku normálovou (kolmou ke smykové ploše a procházející středem otáčení O) a na složku tangenciální (která je tečnou ke kružnici). [3]

Výsledným řešením stability pro soudržné zeminy je stupeň stability F.

$$\text{Stupeň stability: } F = \frac{M_{\text{pasivní síly}}}{M_{\text{aktivní síly}}} = \frac{\sum (N \cdot \text{tg } \varphi) + 0,8 \cdot c \cdot \sum \Delta l}{\sum T - \sum T_o}$$

c...koheze (soudržnost)

$\sum \Delta l$  ...smyková plocha

$T_o$ ...tangenciální síly působící proti usmyknutí

$F > 1$  - svah je stabilní

$F < 1$  – svah je nestabilní. [3]

### 3.2.3 Stanovení nebezpečné (kritické) smykové plochy

Doposud byl stupeň stability uvažován pouze pro libovolně zvolený bod otáčení O a poloměr kružnice R. Pro správné posouzení stability svahu musíme znát tzv. nebezpečnou smykovou plochu. Je to ta smyková plocha s předpokládaným tvarem kružnice, u které je poměr pasivních sil k aktivním minimální, resp. je to ta kružnice, pro kterou dostaneme nejnižší stupeň stability F.

#### Metody pro stanovení nebezpečné smykové plochy:

- Pettersonova metoda,
- Felleniova metoda,
- Rodriguezova metoda,
- Bishopova metoda. [3]

### 3.2.4 Krátkodobá a dlouhodobá stabilita

Stabilita svahu se z časového hlediska rozlišuje na krátkodobou a dlouhodobou. Porozumění této závislosti umožňuje návrh optimálního sklonu. Při změně pórových tlaků v čase pro málo propustné zeminy lze rozlišit tři sesuvy:

- **krátkodobé (neodvodněné)** – není vyrovnána změna pórového tlaku, která je vyvolaná změnou totálních napětí,
- **mezilehlé** - pro částečné vyrovnání pórových tlaků,
- **dlouhodobé (odvodněné)** – vhodné pro úplné vyrovnání pórových tlaků, odpovídající hodnotám ustáleného proudění pro nový stav. [3]

### 3.2.5 Metoda konečných prvků (MKP)

Metoda konečných prvků (MKP) je numerická metoda sloužící k simulaci průběhů napětí nebo deformací, popř. jiných veličin na konkrétním vytvořeném fyzikálním nebo matematickém modelu. Numerické modelování poskytuje poznatky o průběhu přetváření horninového masivu v závislosti na vývoji změn napětí, a to téměř v každém bodě vymodelovaného profilu. V současnosti patří MKP k nejpoužívanější metodě. [3]

Princip metody je založen na postupném upravování materiálových charakteristik (v rámci jednotlivých iterací) až do chvíle ztráty stability, tj. kdy nelze nalézt rovnovážný stav dané úlohy. V rámci výpočtu matematického modelu je úloze přiřazen hledaný stupeň stability  $F$ , na základě poměru počátečních pevnostních charakteristik a charakteristik při ztrátě stability.

Rozvoj MKP je založen na energetickém principu (na principu virtuálních prací nebo minimu celkové potenciální energie). Varianty MKP jsou: deformační, silová a smíšená varianta.

Pro řešení problémů MKP máme k dispozici celou škálu softwarových programů. V geotechnice se nejčastěji uplatňují specializované systémy, jako je GEO 5 (MKP) nebo PLAXIS. [3]

### **3.3 Doporučená opatření pro zvýšení stability svahu pro daný případ sesuvu svahu zářezu**

Z výsledků IGP, které byly analyzovány z odebraných vzorků ze sond a vrtů se zjistilo, že stabilita svahů je nedostačující a vyskytující se jemnozrnné zeminy s převahou jílu s nízkou plasticitou v zájmovém území jsou do násypů nevhodné. Pro jejich použití bylo potřeba provést úpravu zemin. Bylo doporučeno jedno z několika možných stabilizačních opatření pro zvýšení stability svahů násypů, a to přidání vápna do použitých zemin na budování násypů. Zkouškami se prokázalo, že pro zvýšení stability svahů násypů stačí přidat 1,5 až 2,0 % vápna po 7 a 28 dnech při saturaci zemin. Při provádění zkoušky došlo z původní hodnoty CBR 4,43 %, po saturaci vápnem v přidáném množství 1,5 % po 7 dnech, ke zvýšení na hodnotu CBR 13,69 %. Při přidání vápna v množství 2 % došlo z hodnoty CBR 4,43 % ke zvýšení na 18,40 %. [4]

Na základě provedených stabilitních výpočtů bylo doporučeno, aby sklony svahů zářezů byly mělčí než je navrhováno. Toto doporučení vyplynulo z faktu, že širší okolí zájmové území je prostředí s možným vznikem svahových deformací. [4]

#### **3.3.1 Navrhovaná opatření doporučená z provedených průzkumů pro zajištění stability svahů zářezu**

Bylo navrženo několik variant sanačních opatření, při kterých se zohledňovala účinnost provedení dané varianty sanace, finanční náklady, náročnost provedení a životnost.

##### **Doporučenými sanačními opatřeními jsou:**

1. zřízení odvodňovacích nebo přítěžovacích žeber v zářezové frontě se zaústěním do patního drénu,
2. vápnění (přidání 1,5 – 2 % vápna do nestabilních zemin),
3. zatravnění svahů a výsadba keří,
4. výstavba gabionových ochranných stěn – podle hloubky zářezu. [4]

Při volbě vhodných stabilizačních opatření je z hlediska budování, posuzování a životnosti navrhovaného díla nutné vždy přihlížet k těmto aspektům a požadavkům:

- geotechnické poměry,
- přetížení vyvolané provozem na budoucích komunikacích,
- možnosti přístupu pro stavební stroje a mechanismy,
- reliéf terénu a sklon svahu,
- charakter konstrukce (dočasná, trvalá),
- odvod podzemní vody ze svahu,
- důležitosti stavby jako takové,
- a v neposlední řadě také ekonomické požadavky.

Z uvedených aspektů a požadavků je patrna náročnost s jakou je nutno k návrhu sanace přistupovat. Při rozhodování o způsobu zajištění stability svahu je rozhodující dokonalá znalost místních podmínek, technologických možností výstavby a znalost chování jednotlivých typů technických stabilizačních opatření. Navržená stabilizační opatření byla předložena a posouzena podle příslušných normových předpisů s přihlédnutím ke všem aspektům při výstavbě a k poměrům v dané lokalitě.

Častým doporučením bývá návrh více variant celkového řešení stabilizace svahu a poté se volí ta nejvýhodnější varianta.

Kritéria pro výběr vhodného postupu mohou být ovlivněna:

- náklady na realizaci zajištění stability svahu,
- ekologické hledisko zásahu sanačních opatření na ráz krajiny,
- životnost dílčích technologií použitých při sanaci a její údržba v čase,
- střet zájmů s majiteli okolních či dotčených pozemků (např. vyschnutí studny).

Všechny navrhované varianty zajištění stability svahu by měly být prokázány statickými výpočty dílčích konstrukcí, výpočty stability a u všech výpočtů by měla být vyhodnocena účinnost jednotlivých navrhovaných postupů.

## 4. Modelová analýza navržených stabilizačních řešení

### 4.1 Inženýrsko - geologický profil použitý pro statické výpočty

Pro vytvoření geologického profilu bylo zapotřebí navštívit zájmové území a naměřit body, ze kterých bude možno tento profil vytvořit. Polohopisné a výškopisné body byly zaměřeny Totální stanicí, která umožňuje měření horizontálních a vertikálních úhlů a také vzdálenosti. Z naměřených dat byl vytvořen inženýrsko-geologický profil v softwarovém programu AutoCad 2010. Tento soubor byl poté převeden do softwaru Plaxis 2D 2010, ve kterém byly zadány rozhraní modelu, pevnostní a přetvárné parametry zemin, byla vygenerována síť, zadány jednotlivé fáze výstavby násypu a provedení zářezu. Poté probíhaly statické výpočty posouzení stability svahu zářezu. Bylo nutné spočítat stupně stability pro všechny modelové situace včetně 2 sanačních opatření, zjistily se velikosti pórových tlaků, velikosti efektivních a totálních napětí, velikosti sedání a průběhy smykových ploch. Všechny tyto hodnoty se pak vzájemně porovnávaly a zjistilo se, ve které modelové situaci mají nejpříznivější vliv na stabilitu svahu zářezu.

**Parametry posuzovaného násypu:** šířka (vzdálenost mezi patami svahů): 19 m  
výška: 3,4 m

**Parametry posuzovaného sesuvu:** šířka: 9,8 m  
délka: 10,2 m

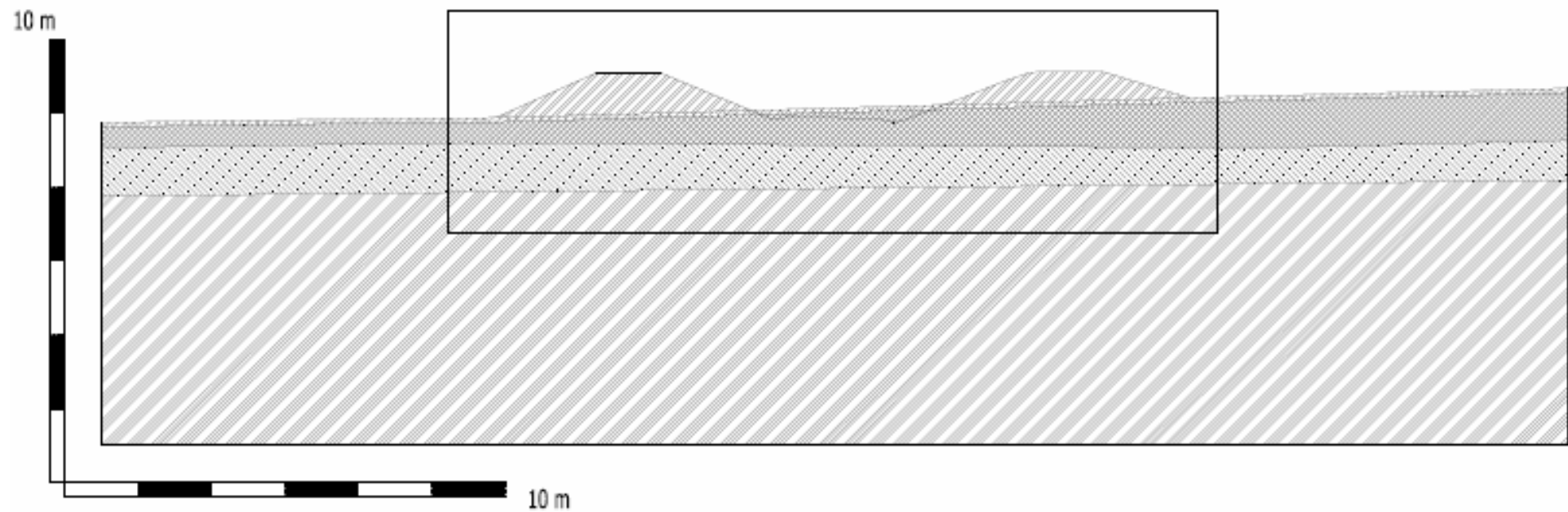
Pro zpracování této diplomové práce byly naměřeny celkově 3 geodetické profily, z toho 2 mimo sesuv svahu zářezu a 1 napříč sesuvem. Samotný posudek se vztahoval pouze na profil napříč sesuvem. Posuzovaný profil je zobrazen na Obr. 18 a Obr. 19.

Pro vytvoření matematického modelu odrážejícího realitu v zájmovém území, jsou obecně nutné následující parametry:

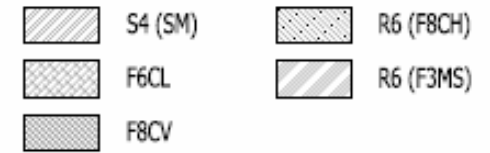
- geometrie svahu,
- rozhraní jednotlivých vrstev hornin popř. zemin,
- pevnostní a přetvárné vlastnosti hornin popř. zemin.



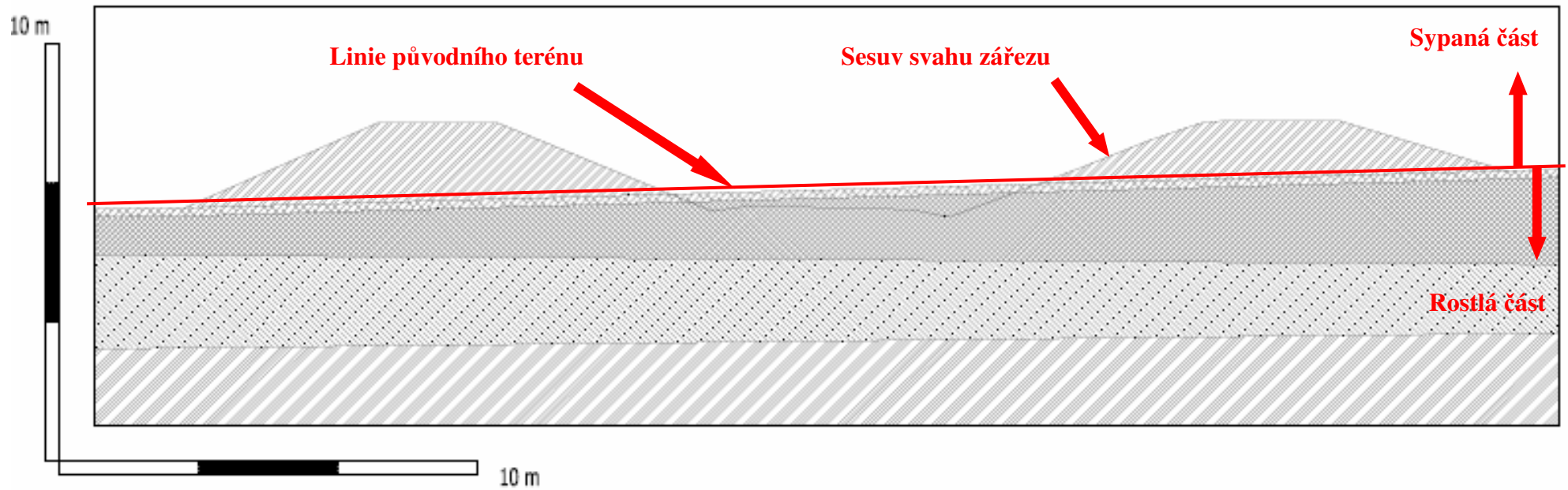
## Celý profil



Obrázek 18: Inženýrsko-geologický profil použitý pro statické výpočty, vytvořený v AutoCadu 2010



## Zvýrazněné řešené místo v profilu



Obrázek 19: Detailní znázornění řešeného místa inženýrsko-geologického profilu použitého pro statické výpočty, vytvořený v AutoCadu 2010



## 4.2 Vstupní geotechnické parametry

Při sestavování matematického modelu byly použity pevnostní a přetvárné charakteristiky zemin, které byly zjištěny z provedených vrtů a uvedené ve zprávě IGP. Hodnoty permeability  $K$  nebyly ve zprávě uvedeny, proto byly tyto hodnoty převzaty ze směrných normových charakteristik pro dané typy zemin. [2], [4]

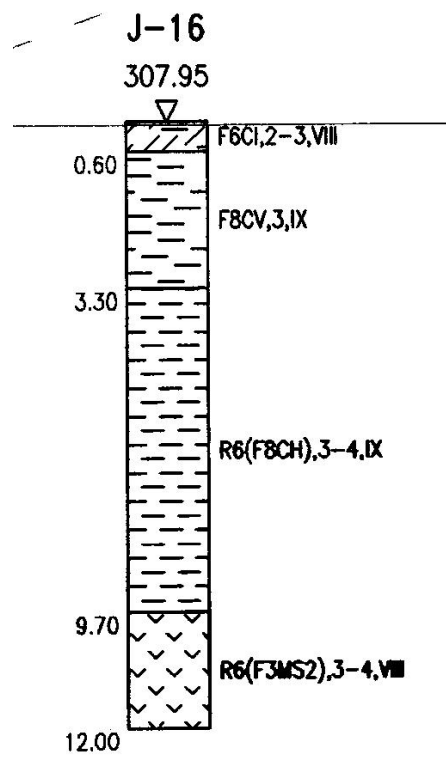
### 4.2.1 Geotechnické parametry a charakteristiky zemin

V tabulce č. 1 jsou uvedeny pevnostní a přetvárné charakteristiky zemin, které byly vstupními parametry pro vytvoření matematického modelu s příslušnými vrstvami zemin.

Parametry zemin / názvy	S4 násyp	F6 CL	F8 CV	R6 (F8 CH)	R6 (F3 MS2)
Objemová tíha suché zeminy $\gamma_{unsat}$ [ $kN/m^3$ ]	18,8	20,5	19,8	20	20,4
Objemová tíha nasycené zeminy $\gamma_{sat}$ [ $kN/m^3$ ]	21,8	22,5	21,8	22	22,4
Youngův deformační modul pružnosti v tahu a tlaku $E_{def}$ [ $MPa$ ]	7	2	1,5	2	5
Poissonovo číslo $\mu$ [-]	0,4	0,4	0,333	0,4	0,4
Soudržnost $c$ [ $kPa$ ]	20	12	10	8	16
Úhel vnitřního tření $\varphi$ [ $^\circ$ ]	29,5	19	15	15	19
Permeabilita (propustnost) $K$ [ $m/s$ ]	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-11}$

Tabulka č. 1: Charakteristiky zemin zastižených v zájmovém území, [4]

Mocnosti jednotlivých zastižených vrstev z provedených vrtů v zájmovém území, které byly uvedeny ve zprávě IGP, jsou znázorněny na obrázku 20, kde je detailně zobrazen vrt J - 16. Detailní zobrazení tohoto vrtu J - 16 je plynoucí z obrázku 9 (str. 42).



Obrázek 20: Mocnosti vrstev zastižených v provedeném vrtu J – 16, [4]

## 4.3 Modelová analýza posuzované lokality vytvořená v softwaru Plaxis 2D 2010

### 4.3.1 Softwarový program Plaxis

Softwarový program Plaxis je systém vyvinutý pro deformační a stabilitní analýzu geotechnických úloh, založený na numerické metodě konečných prvků (MKP). Tvoří blok dat určených pro dvojrozměrné analýzy, deformace a posudky stability v geotechnice.

Matematický model je zjednodušením reality, kdy je největší důraz kladen na co nejjednodušší vytvoření modelu při současném vystižení podstatných podmínek řešeného problému. Výsledkem modelu je dosažení nejdůvěryhodnějšího převedení reality do modelu. Součástí vytvoření matematického modelu je rozdělení modelované oblasti na podoblasti (tj. konečné prvky) a volba vhodného způsobu řešení.

Práce s modelem zahrnuje:

1. vytvoření geometrického (matematického) modelu,
2. generaci sítě,
3. definování primárního stavu napjatosti,
4. definování parametrů zemin či hornin.

### 4.3.2 Souřadný systém

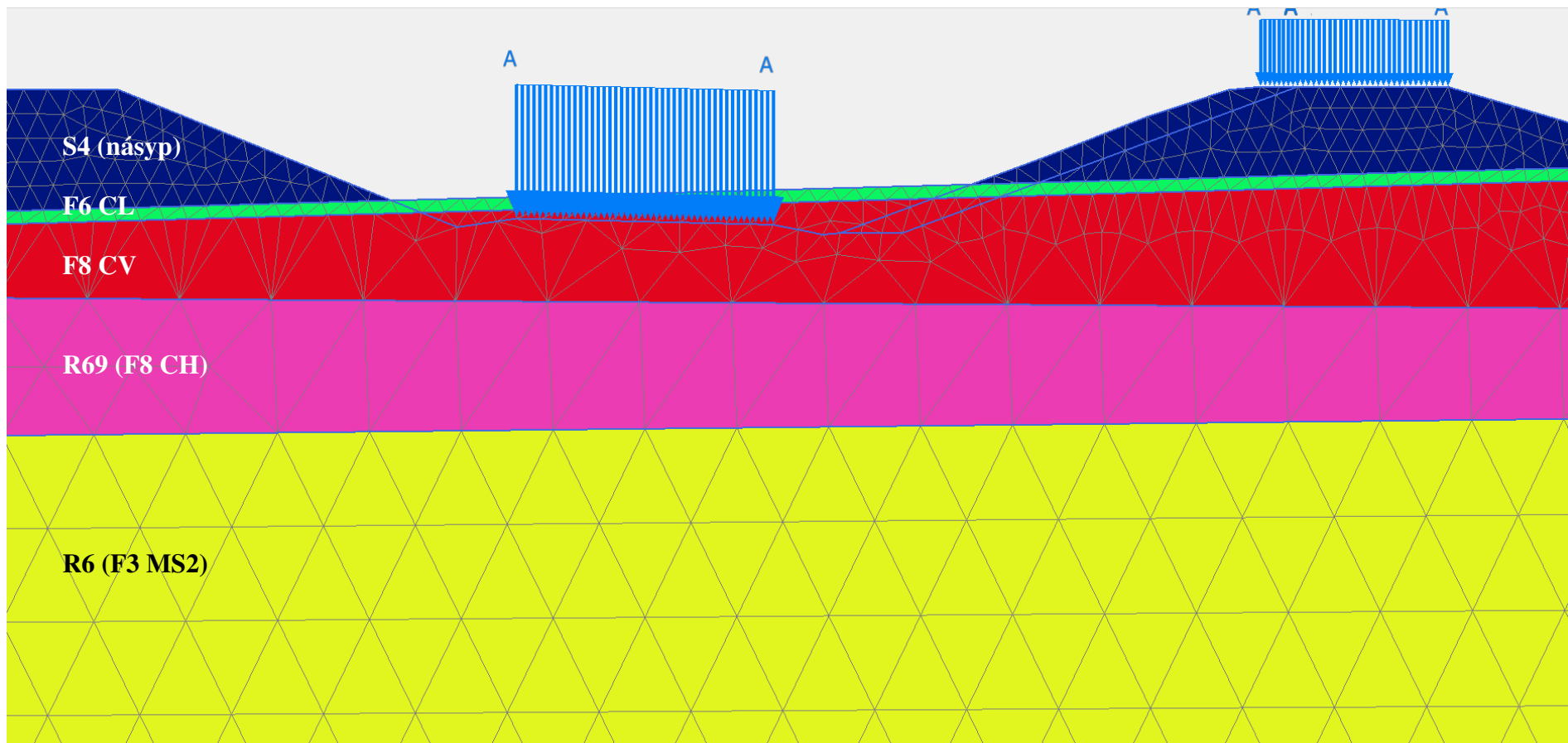
Při modelování byl použit globální souřadný systém – pravotočivý, tj. kladná osa  $x$  jde zleva doprava a kladná osa  $z$  jde zespoda nahoru a kladná osa  $y$  se “zapichuje“ do roviny  $xz$ . Rotace kolem osy  $y$  má kladný směr ve směru otáčení hodinových ručiček. Pro tento matematický model byl zvolen počátek souřadného systému v levém dolním rohu.

### 4.3.3 Topologie

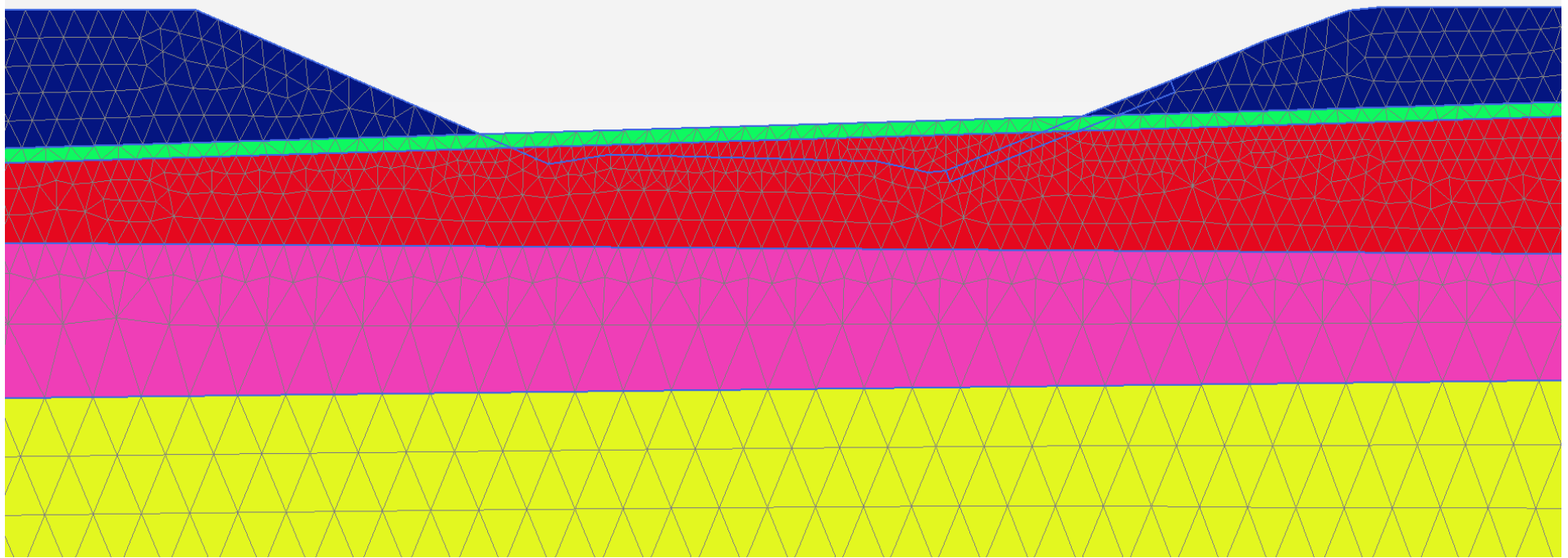
V prvním kroku vytváření modelu bylo nutné zadat rozhraní jednotlivých vrstev zemin, tuhých těles a linií. V následujícím kroku se zadávaly parametry zemin. Prostor pro model byl navržen s dostačující rezervou na obě strany od posuzované konstrukce a to tak, aby nemohlo dojít k ovlivnění výsledků. Krajiní hodnoty hranic modelu byly odvozeny podle používaných mezí. Vzdálenost paty násypu od krajní hrany podloží byla v našem případě zadána 110 m nalevo a 110 m napravo. Hodnota 110 m byla zadána na obě strany od vnější hrany paty svahu. Do hloubky byla navržena taková hodnota, aby poslední modelovaná vrstva zeminy měla dostatečnou rezervu. V našem případě byla zadána hodnota 60 m. Dále byly definovány parametry zemin dle Tabulky č.1 uvedené v kapitole 4.2.1.

V následujícím kroku topologie bylo zapotřebí navolit okrajové podmínky (OP). Okrajovými podmínkami rozumíme definování tuhé vany, která danému modelu určuje, v jakém směru se mohou uzly sítě modelu posouvat až k jeho navolené hranici. Na dně modelu jsou posuny omezené v obou směrech (vertikálním i horizontálním) a na svislých hranicích jsou posuny povoleny pouze v horizontálním směru. Dále byla vygenerována síť konečných prvků. Software Plaxis 2D 2010 využívá pro generování sítě standardně trojúhelníkové prvky, které jsou spojeny uzly. Generace sítě slouží k rozdělení modelu na určité prvky, ve kterých je rovnováha řešena jednotlivě a poté je řešena celkově (tj. je řešena globální tuhost ve všech uzlech). Každý trojúhelníkový prvek vytvořený generací sítě je definován podmínkou stability. Základním předpokladem pro dosažení správných výsledků je správné vygenerování sítě. Obecně se předpokládá, že čím je síť hustší, tím jsou výsledky přesnější. Proto byla v našem případě síť zhuštěná u posuzovaného prvku, tj. v oblasti násypu.

Po navolení OP bylo zapotřebí navolit ještě podmínky počáteční (PP). Okrajové podmínky s podmínkami počátečními definují řešený model. Podmínkou počáteční bylo definování geostatické napjatosti v daném prostředí. Geostatická napjatost je dána koeficientem bočního tlaku, který je v programovém systému Plaxis 2D 2010 generován automaticky.



Obrázek 21: Geometrie modelového svahu zářezu včetně zobrazení zatížení od dopravy



Obrázek 22: Vygenerovaná síť konečných prvků se zahuštěním v oblasti posuzovaného násypu

#### **4.3.4 Modelové varianty**

Pro posouzení sesuvu svahu zářezu silnice I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice, byl vypracován model. Daný příklad výstavby násypu a provedení zářezu byl modelován celkem šestkrát. První model byl základní, původní řešení svahu bez úvahy vlivu vody. Druhý model byl také bez vlivu vody a zohledňoval variantu zatížení od dopravy. Zatížení od dopravy bylo zadáno jako staticky působící a uvažovalo se, že po silnici I/58 projíždí osobní automobilová doprava a také těžká nákladní. Třetí model zohledňoval vliv plného nasycení vodou. Čtvrtý model byl vytvořen pro posudek sanace stávajícího stavu sesuvu svahu zářezu. Při posuzování tohoto svahu zářezu byly navrženy 2 varianty stabilizačních řešení, které byly rovněž zadány do výpočetního programu a následně posouzeny. Matematický model byl sestaven podle jednotlivých probíhajících fází výstavby násypu a provedení zářezu.

#### **Jednalo se o tyto varianty:**

1. posouzení svahu zářezu bez úvahy vlivu vody - (nenasycený svah)
2. posouzení svahu zářezu bez úvahy vlivu vody a s úvahou vlivu zatížení od dopravy - (nenasycený svah, zatížený dopravou)
3. posouzení svahu zářezu s úvahou vlivu vody - (zcela nasycený svah)
4. posouzení svahu zářezu – stávající stav sanace
5. posouzení svahu zářezu po zřízení odvodňovacích žeber, s vlivem vody
6. posouzení svahu zářezu po výstavbě ochranné gabionové stěny, s vlivem vody.

### 4.3.5 Fáze výstavby

Po zadání topologie konstrukce do softwaru a vygenerování sítě konečných prvků, se zahuštěním sítě v oblasti násypu, se vlastní výpočty prováděly v jednotlivých fázích budování. Fáze budování musely odpovídat skutečnému procesu výstavby, aby bylo zajištěno co nejdůvěryhodnější převedení reality do modelu, i když je model jejím zjednodušením. Výpočet každé fáze vycházel vždy z fáze předcházející.

**Původní fáze** - v původní fázi modelu byl namodelován původní geologický profil území, tj. stav území ještě před výstavbou silnice I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice. Hladina podzemní vody nebyla do modelu zadána, protože do úrovně prováděných vrtů před samotnou výstavbou nebyla zjištěna. Byl zvolen typ výpočtu „plastic“. Zvolením tohoto typu výpočtu bylo umožněno provést budoucí výstupy napětí-o-deformačních stavů.

**Fáze budování násypu a provádění zářezu** - v této fázi bylo vymodelováno vybudování násypu a provedení silničního zářezu. Budování násypu a provádění zářezu bylo sloučeno do jedné fáze, pro zjednodušení matematického modelu. Byl zvolen typ výpočtu „plastic“.

**Fáze konsolidace násypu** - v této fázi se nechala spočítat konsolidace 30 dní po vybudování násypu. V tomto případě byl zvolen typ výpočtu „consolidation“. Po konsolidaci bylo nutné spočítat stupeň stability F.

**Fáze stupeň stability** – byl zvolen typ výpočtu „safety“ (v Plaxisu 8.2 je stupeň stability označen jako „phi/c reduction“). Tento stupeň stability navazoval na fázi konsolidaci 30 dní. Stupněm stability se určují kritické hodnoty úhlu vnitřního tření  $\phi$  a soudržnosti  $c$ . Softwarový program Plaxis redukuje stupeň stability tak dlouho, dokud se Mohrova kružnice nedotkne čáry pevnosti a koeficient  $\sum M_{sf}$  je pak v Plaxisu stupněm stability. U stupně stability F bylo nutné v programu zatrhnout „reset displacement to zero“.



**Fáze zatížení od dopravy** – v této fázi modelu byl zohledněn vliv zatížení od projíždějících automobilů na stabilitu svahu. Zatížení bylo zadáno jako staticky působící, rovnoměrně po celé šířce silnice, působící na silnici I/58 a na obslužné komunikaci, která se nachází na posuzovaném násypu. Zatížení na silnici I/58 bylo zadáno hodnotou 10 kPa a na obslužnou komunikaci se zadala hodnota poloviční - 5 kPa. Tyto hodnoty byly převzaty z normy ČSN EN 1991-1-1 (730035); Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb; [1]. Po této fázi bylo nutné spočítat stupeň stability F.

**Fáze stupeň stability** – u stupně stability byl vždy volen typ výpočtu „safety“ a bylo zatrženo „reset displacement to zero“. Tento stupeň stability navazoval na fázi zatížení od dopravy.

**Fáze saturace svahu** - v této fázi modelu byla zohledněna plná saturace svahu. Byl uvažován takový přítok vody, že svah bude zcela nasycen. Následovala fáze určení stupně stability F.

**Fáze stupeň stability** – zvolen typ „safety“ a zatrženo „reset displacement to zero“. Tento stupeň stability navazoval na fázi saturace svahu.

**Fáze současný stav sesuvu svahu zářezu** – v této fázi modelu byl vymodelován stávající stav svahu. Fáze představovala stav, kdy byl svah zasanován použitím šterkového kamene z Bohučovic. Opět se určil stupeň stability.

**Fáze stupeň stability** – zvolen typ „safety“ a zatrženo „reset displacement to zero“. Tento stupeň stability navazoval na fázi, která posuzovala současný stav sesuvu svahu zářezu.

**Fáze zřízení odvodňovacích žeber** - v této fázi modelu byl proveden návrh sanačního opatření zřízením odvodňovacích žeber. Uvažoval se vliv vody. Osová vzdálenost žeber byla 6 m, hloubka 1,5 m a šířka 0,5 m. Byl použit šterk dobře zrněný (GW). Žebra byla navržena po spádnicí svahu - od hlavy po patu svahu. Navržené byly 3 žebra. Následovala opět fáze určení stupně stability.

**Fáze stupeň stability** – zvolen typ „safety“ a zatrženo „reset displacement to zero“. Tento stupeň stability navazoval na fázi zřízení odvodňovacích žeber.

**Fáze provedení gabionové stěny** - v této fázi modelu byl proveden druhý návrh sanačního opatření výstavbou ochranné gabionové stěny v patě svahu. Vliv vody se zde také uvažoval. Následovala fáze určení stupně stability F.

**Fáze stupeň stability** – zvolen typ „safety“ a zatřeno „reset displacement to zero“. Tento stupeň stability navazoval na fázi výstavby ochranné gabionové stěny.

## 4.4 Návrh a posudek sanačních opatření

Ze všech možných sanačních opatření použitelných pro stabilizaci svahů autorka zvolila 2 z doporučených opatření stanovených v IGP – povrchové odvodnění zřízením drenážních žebor a technické stabilizační opatření - výstavbu opěrné gabionové stěny. Navržená sanační opatření mají za úkol zajistit dlouhodobou stabilitu svahu zářezu a bylo potřeba je posoudit. Posouzení prvku proběhlo na základě provedených statických výpočtů a bylo provedeno posouzení opěrné stěny na únosnost podle teorie mezních přetvoření.

### 4.4.1 Stávající stav sanace – parametry použitého štěrku

Na sanaci, která stabilizuje svah zářezu nyní, byl použit štěrkový kámen z Bohučovic s parametry:

$$\gamma = 18,5 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\gamma_{\text{unsat}} = 20,5 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\nu = 0,2$$

$$E_{\text{def}} = 250 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 35^\circ$$

$$c = 1,0 \text{ kPa}$$

$$k = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} / \text{s}$$

#### 4.4.2 Odvodnění povrchové - drenážní žebra

Odvodnění je nejdůležitějším prvkem sanací, protože zmenšuje tlak vody na předpokládané smykové ploše a dochází ke snižování aktivní síly (tj. síly, která zapříčiňuje posouvání sesuvu). Úkolem odvodnění je co nejrychleji odvést srážkovou vodu a vodu povrchovou přitékající z vyšších míst na svahu tak, aby bylo zabráněno její infiltraci do tělesa svahu. Povrchové odvodnění se velmi často navrhuje i mimo vlastní sesuv proto, aby se stáhla povrchová voda stékající ze svahu ještě před tím, než by mohlo dojít ke vzniku vlastního sesuvu. Provedení odvodnění na vlastním sesuvu musí být odolné vůči menším deformacím a je potřeba zachovat těsnost. Zaústění se zřizuje do povrchové vodoteče, otevřených příkopů nebo se mohou využít stávající kanalizace, umožňuje-li to jejich kapacita. Drenážní žebra se zřizují jako rýhy, kopou se po spádnicí a jsou vyplněny štěrkem. Žebra snižují hladinu podzemní vody a pórový tlak. Osová vzdálenost žeber se navrhuje podle stabilitních výpočtů a podle požadovaného drenážního účinku. Obvykle se žebra zřizují v osově vzdálenosti 6 m. Hloubka žeber je závislá na použité technologii.

Parametry použitého štěrku (GW) pro zřízení odvodňovacích žeber:

$$\gamma = 18,5 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$v = 0,2$$

$$E_{def} = 250 \text{ MPa}$$

$$\varphi = 35^\circ$$

$$c = 1,0 \text{ kPa}$$

$$k = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m} / \text{s}$$

V modelu byla žebra provedena do hloubky 1,5 m, v osově vzdálenosti 6 m a jejich šířka byla 0,5 m.

### 4.4.3 Opěrná zeď gabionová

Opěrné zdi se budují před čelem sesuvu, aby bezprostředně chránily komunikace a stavební objekty, které se nacházejí v jeho těsné blízkosti. Dimenzují se na základě stabilitního a statického výpočtu. Je možné je navrhnout jako prosté gravitační stěny, založené na pilotách nebo jako kotvené. Provedení gabionové zdi je levnější, ekologičtější a má vliv také na estetický dojem, oproti stěnám betonovým. Gabionové zdi jsou drátokamenné konstrukce, které velmi spolehlivě přenášejí zemní tlak a staticky spolupůsobí s terénem. Jejich velkou výhodou je, že jsou samy o sobě propustné. Lze je zazelenit, aby nenarušovaly přírodní vodní režim a nenarušovaly vzhled krajiny. Jediným nutným předpokladem je, že se musí dbát na důkladné odvodnění základové spáry. Výstavbou gabionové zdi dochází ke snížení sklonu svahu a k přitížení paty svahu., což zvyšuje stabilitu svahu.

#### Parametry gabionové stěny a použitých materiálů pro její výstavbu:

stěna je odstupňovaná: výška stěny: 2 m

hloubka stěny: spodní část: 2 m a horní část: 1 m

(přesná geometrie stěny je součástí Přílohy č.1)

sít': drát  $\varnothing$  6/100; okatost 100\*100;  $E_{def} = 210 \text{ MPa}$

šterk dobře zrněný (GW) s parametry:  $\gamma = 18,5 \text{ kN} / \text{m}^3$

$\nu = 0,25$

$E_{def} = 40 \text{ MPa}$

Statický výpočet gabionové stěny není potřeba, je-li její výška do 1 m. Jelikož je výška navržené stěny 2 m, pak je statický výpočet nutný. Množství zeminy, které se hromadí za zdí je značné a vytváří silné tlaky na zeď.

### 4.4.4 Statický výpočet – posouzení gabionové stěny

Posouzení gabionové stěny – posouzení bylo provedeno pro maximální zatížení vyvozené na gabionovou stěnu. Posudek je proveden dle EC 2 včetně příslušných koeficientů a součinitelů spolehlivosti a bezpečnosti. Statický výpočet je součástí Přílohy č.1.

## 4.5 Výsledky vyhodnocení a závěr

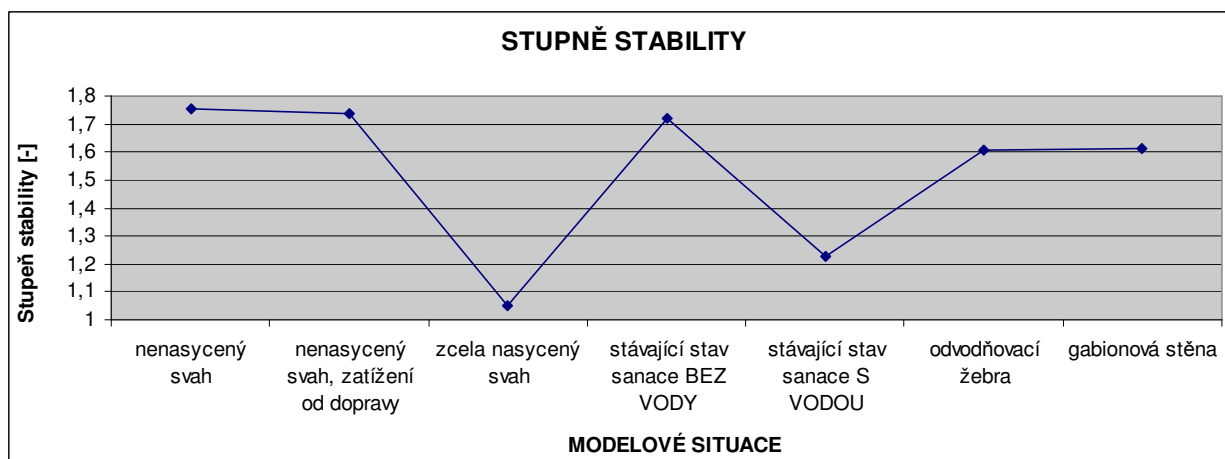
V závěru práce jsou shrnuty výsledky vyhodnocení napěťo-deformačního a stabilitního stavu odpovídajícího jednotlivým výstavbovým fázím pro řešený příklad sesuvu svahu zářezu silnice I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice. Byly vyhodnoceny totální napětí, efektivní napětí, pórové tlaky, velikosti sedání a průběhy smykových ploch. Byly provedeny statické výpočty stability svahu, kdy řešení spočívalo ve stanovení stupňů stability pro všechny uvažované modelové varianty (viz. kap. 4.3.4). Výpočty zahrnují i faktory - vliv vody a zatížení od dopravy. Podzemní voda sice nebyla z průzkumu zjištěna, ale s jistotou se její přítomnost nedala vyloučit, neboť v době zaměřování geologického profilu byla pravá strana paty svahu mírně nazelenalá oproti ostatním místům na svahu.

Výsledky z matematického modelu byly porovnávány s hodnotou stupně stability  $F = 1,5$ . Z geotechnického hlediska je svah považován za stabilní, je-li jeho stupeň stability  $F \geq 1,5$ . Proto musí být stupeň stability po provedení sanačních opatření větší než 1,5. Bude-li stupeň stability  $F < 1,5$  i po návrhu stabilizačních řešení, pak je potřeba provést návrh jiných opatření a tyto návrhy opět posoudit.

Získané hodnoty stupňů stability pro všechny uvažované modelové situace jsou uvedeny v tabulce č. 2 a jsou také znázorněny v grafu č. 1 pro snadnější interpretaci.

Modelové varianty	Stupeň stability
Nenasycený svah	1,75
Nenasycený svah, zatížení od dopravy	1,74
<b>Zcela nasycený svah</b>	<b>1,05</b>
Stávající stav sanace – bez vlivu vody	1,72
<b>Stávající stav sanace – s vlivem vody</b>	<b>1,23</b>
Zřízení odvodňovacích žebek, vliv vody	1,61
Výstavba gabionové stěny, vliv vody	1,61

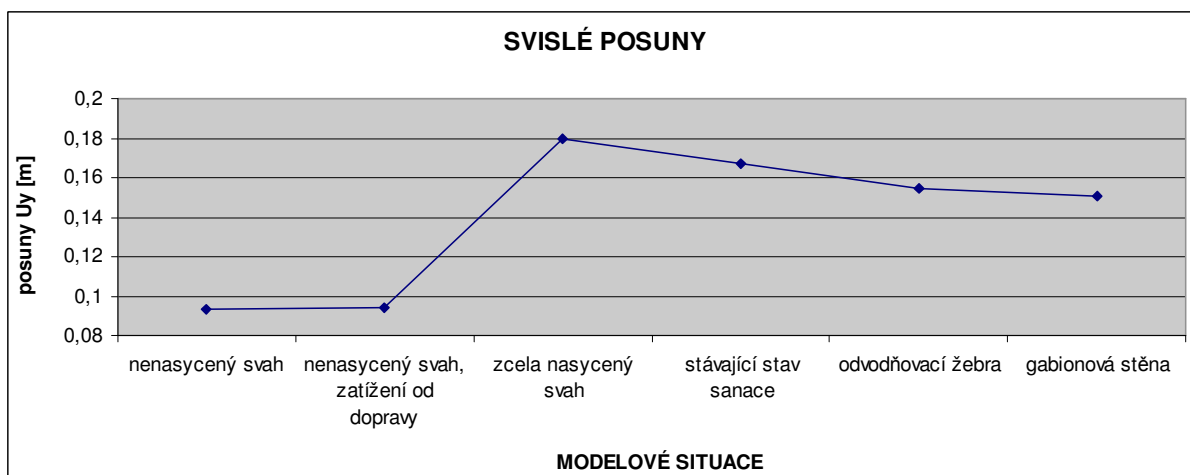
Tabulka č. 2: Hodnoty stupňů stability pro uvažované modelové situace



**Graf č. 1 – stupně stability**

Prvním výstupem z matematického modelu byly hodnoty stupňů stability. Z grafu č. 1 je zřejmé, že přítomnost vody ve svahu má nepříznivý vliv na stabilitu. V obou modelových situacích (zcela nasycený svah a stávající stav sanace s vodou), ve kterých byla přítomnost vody uvažována, je stupeň stability  $F$  menší než 1,5, tudíž je svah nestabilní. V situacích, kdy přítomnost vody nebyla uvažována, je stupeň stability vyšší než 1,5 a svah je tedy stabilní. V případě stávajícího stavu sanace (bez vody) je stupeň stability dokonce vyšší než 1,7. Provedením sanací - zřízením odvodňovacích žebor se  $F$  zvětšil na hodnotu 1,6 a výstavbou ochranné gabionové stěny hodnota  $F$  zvýšila také nad hodnotu 1,6. U obou sanačních opatření byl uvažován vliv vody. Z tohoto pohledu lze říci, že navržené sanace mají příznivý vliv na stabilitu svahu a zachovávají ji.

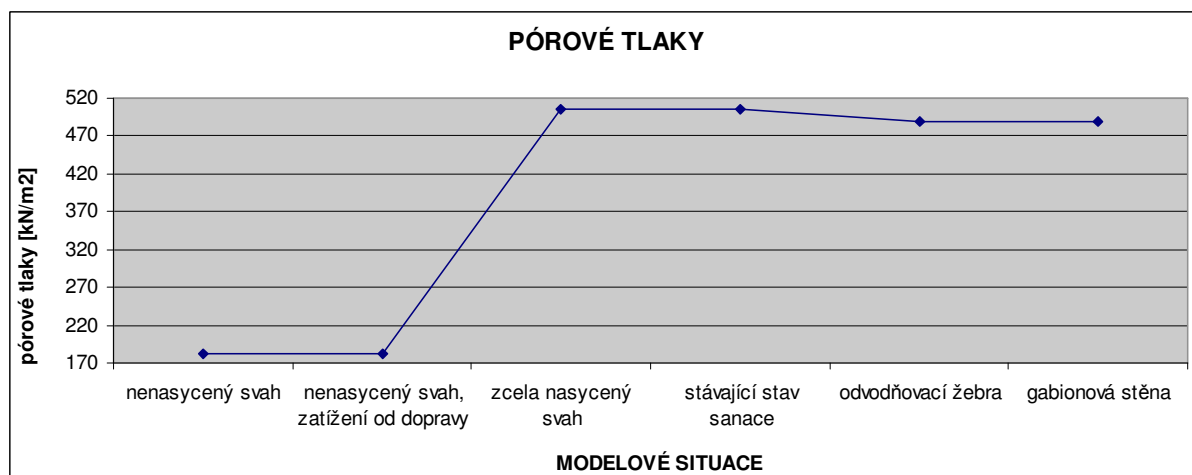
Při vyhodnocování stupňů stability  $F$  byl navíc stávající stav rozdělen na 2 části, kdy se zjišťovala hodnota  $F$  pro stav s vodou a stav bez vody. V ostatních vyhodnocovaných bodech se toto dále nezohledňovalo.



**Graf č. 2 – svislé posuny**

Druhým vyhodnocujícím výstupem byly svislé posuny - sedání. Z grafu č. 2 rovněž vyplývá, že přítomnost vody ve všech uvažovaných situacích nemá příznivý stav na stabilitu a hodnota svislých posunů narůstá v situaci zcela nasyceného svahu téměř na 18 centimetrů. V ostatních uvažovaných modelových situacích jsou hodnoty posunů menší. V prvních dvou případech, kdy svah nebyl nasycen vodou, je posun menší, a to necelých 10 cm. U stávajícího stavu svahu je posun téměř 17 cm. Provedením sanačních opatření má křivka znázorňující posuny klesající charakter a posuny jsou na hodnotách okolo 15 cm. Při vyhodnocování posunů se braly vždy maximální hodnoty, které byly v dané modelové situaci zjištěny.

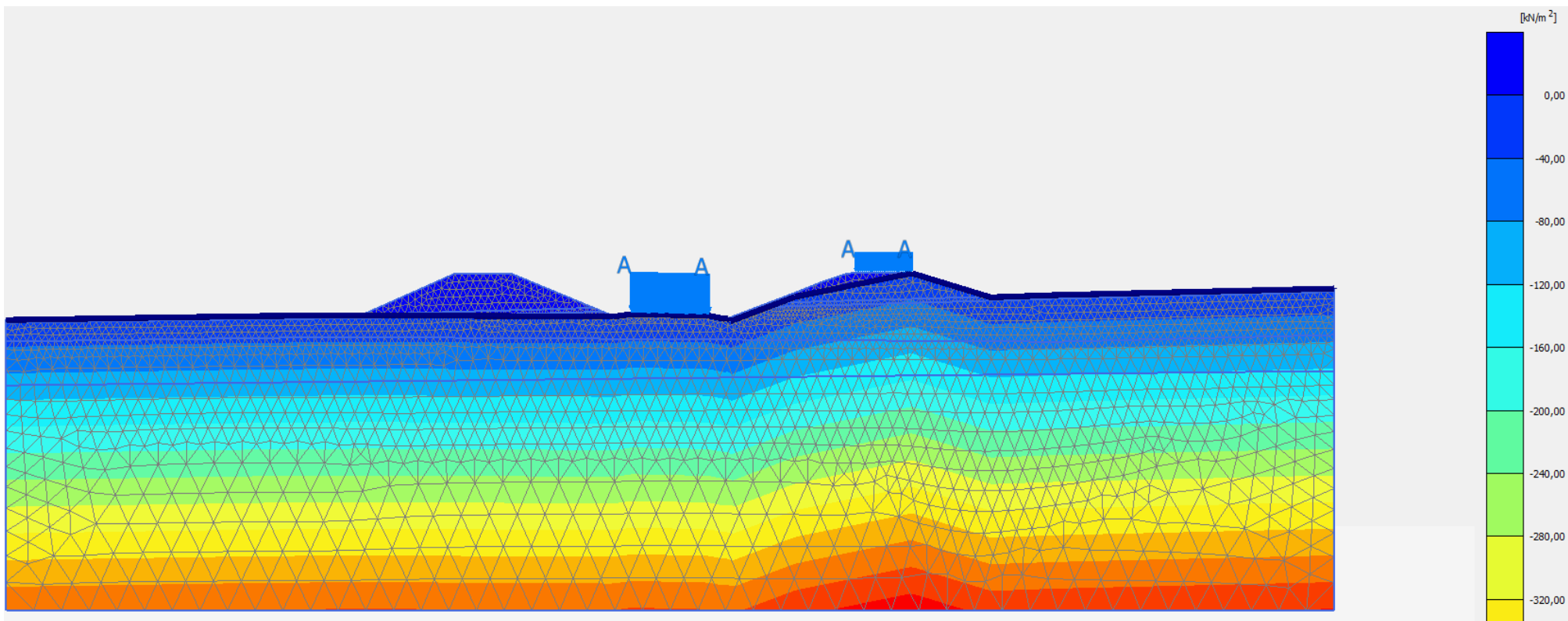




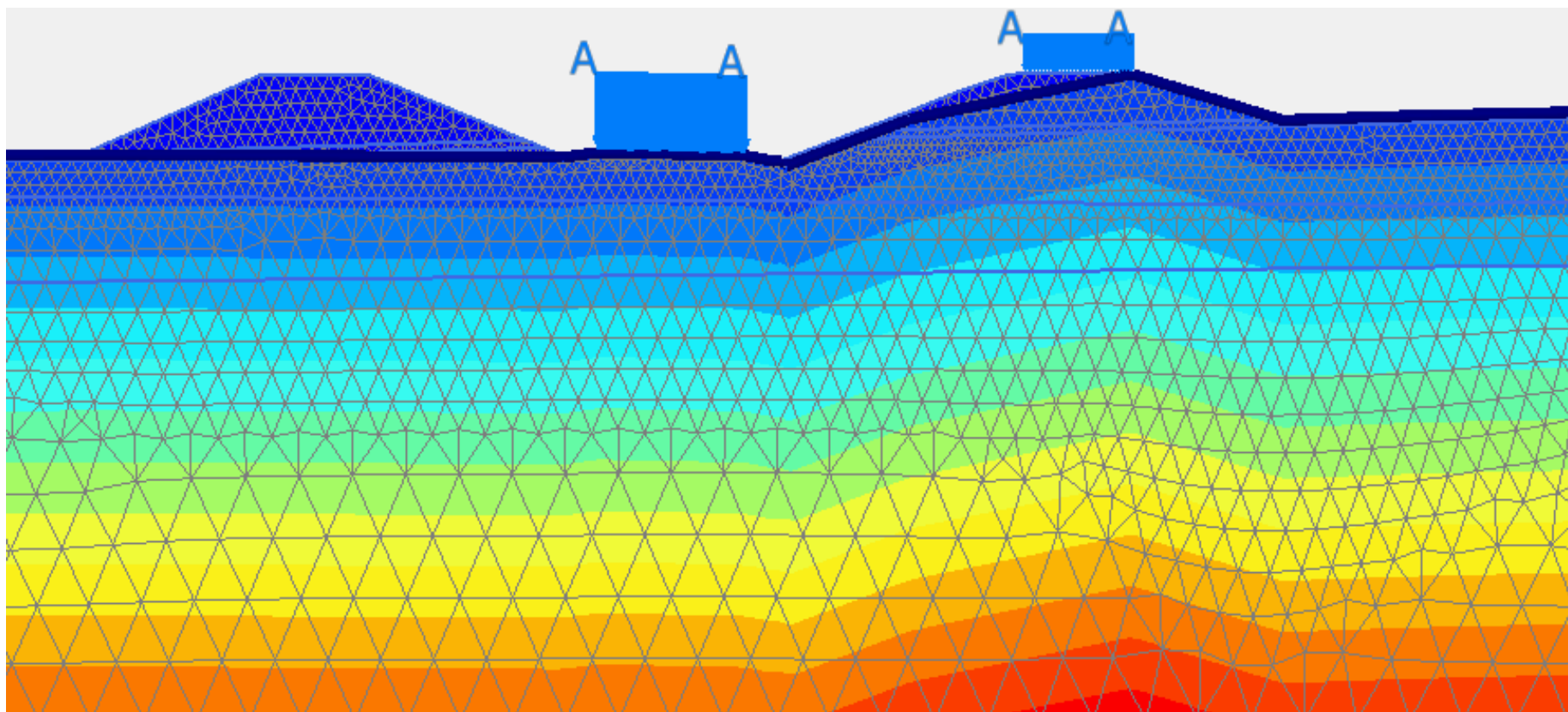
**Graf č. 3 – pórové tlaky**

Dalším výstupem z matematického modelu byly pórové tlaky. Z grafu č. 3 plyne, že hodnoty pórových tlaků jsou nejmenší v prvních dvou případech, kdy přítomnost vody nebyla uvažována, zatímco největší hodnoty jsou v případech, kde přítomnost vody byla uvažována. Provedením sanačních opatření dochází k odtoku vody ze svahu a proto hodnoty pórových tlaků klesají, svah je stabilnější a to plyne i z průběhu křivky znázorňující stupeň stability (Graf č.1).

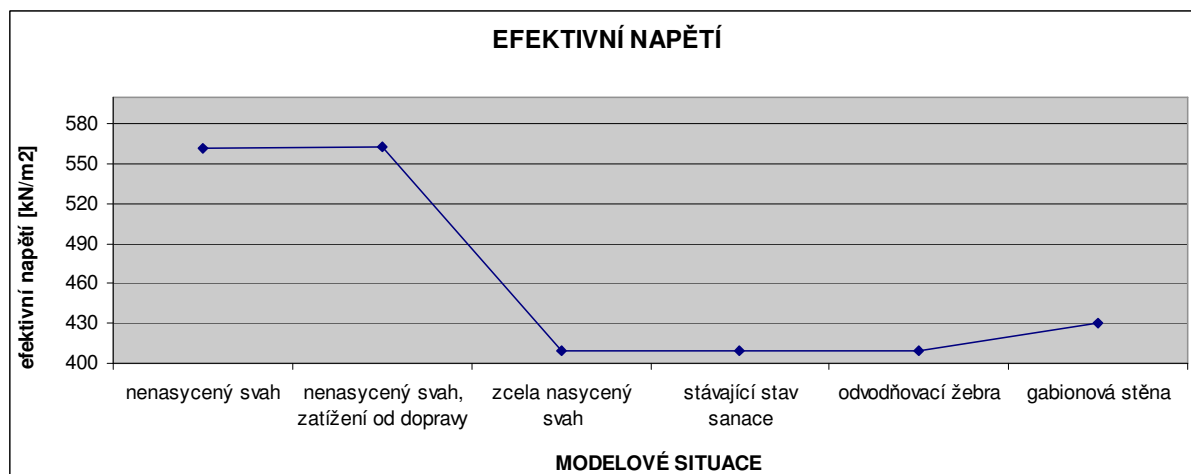
Na následujícím obrázku 23 je znázorněno rozložení pórových tlaků u stávajícího stavu svahu. Na obrázku 24 je detailní znázornění těchto tlaků.



Obrázek 23: Znáornění rozložení pórových tlaků u stávajícího stavu svahu zářezu



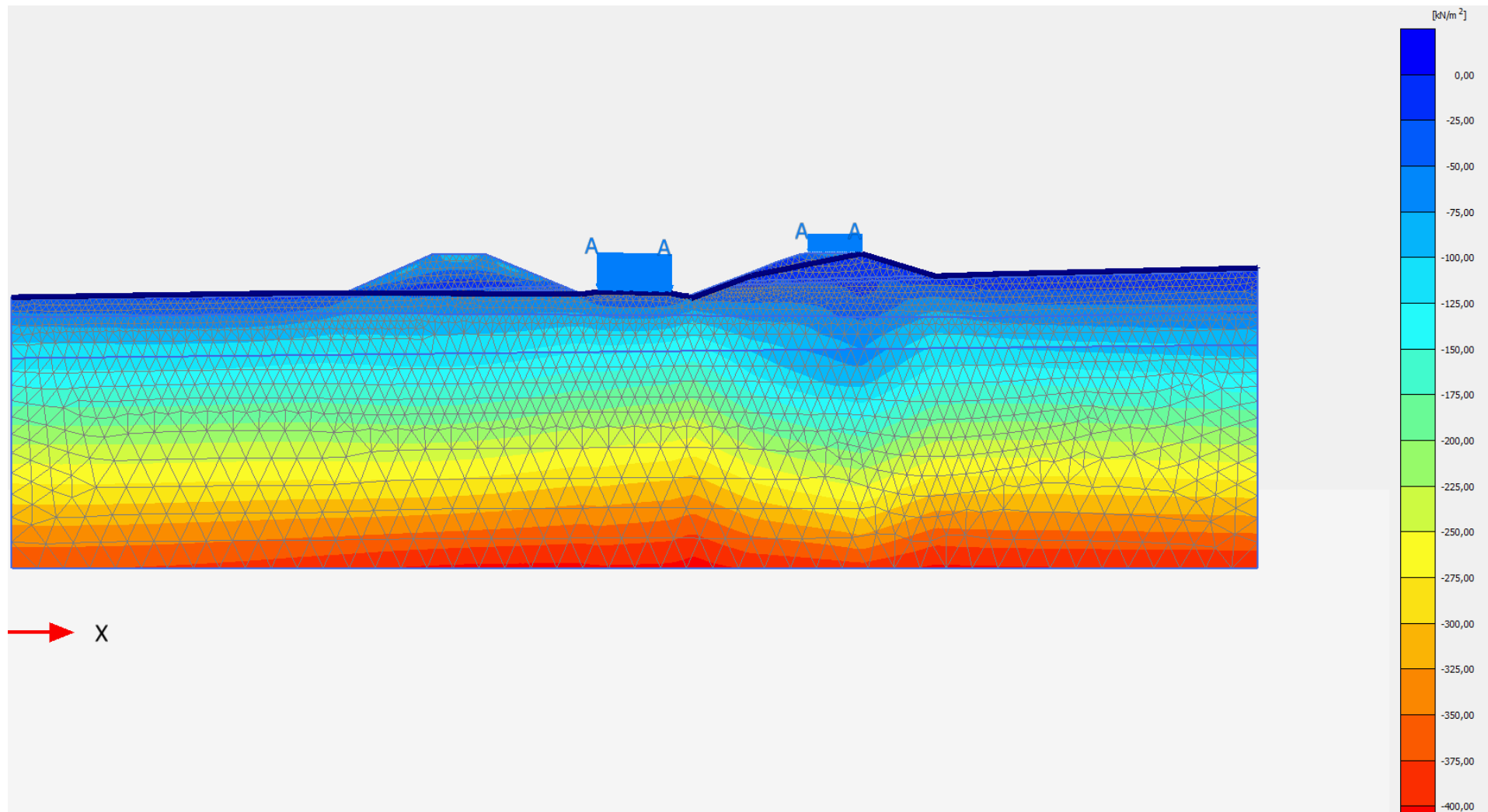
Obrázek 24: Detailní znázornění rozložení pórových tlaků u stávajícího stavu svahu zářezu



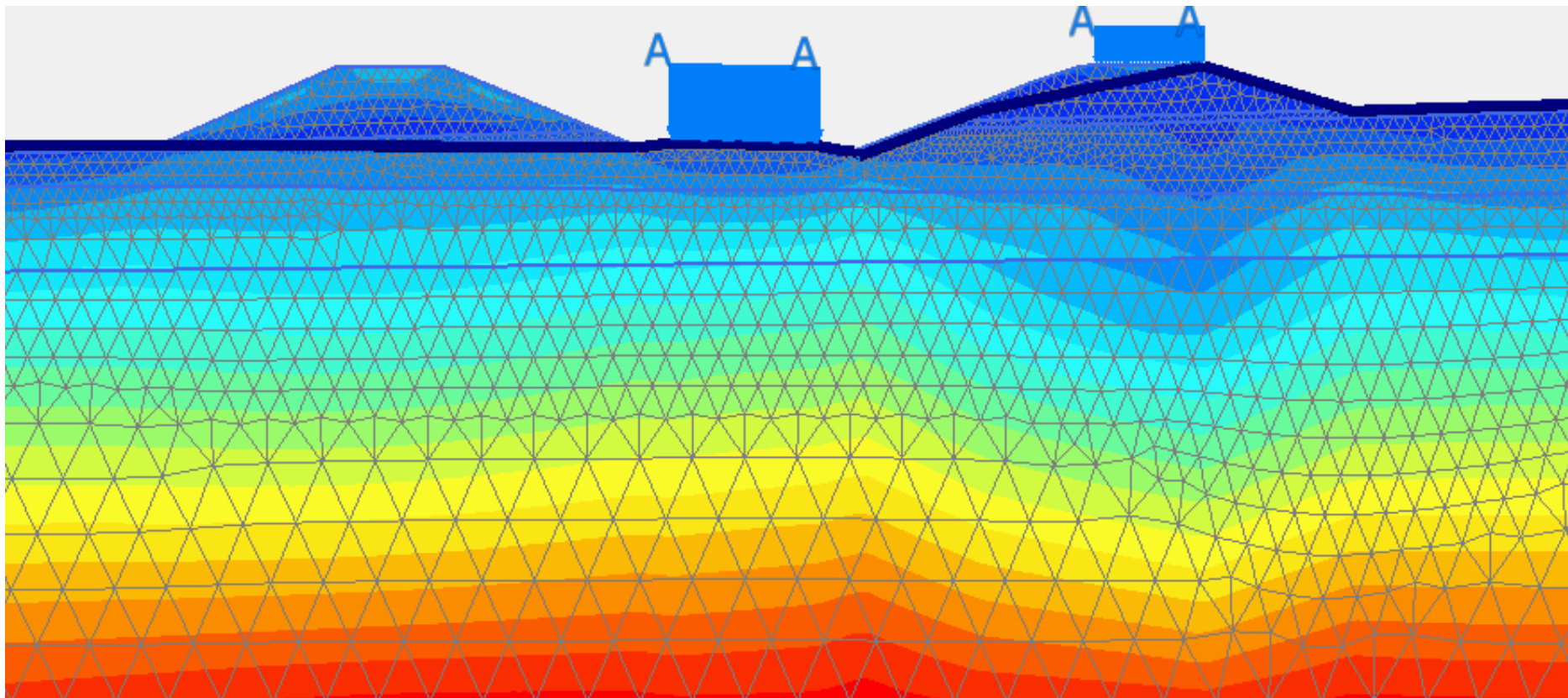
**Graf č. 4 – efektivní napětí**

Po vyhodnocení pórových tlaků se vyhodnotily také hodnoty efektivních napětí. Z grafu č. 4 je zřejmé, že nejmenší hodnoty efektivních napětí jsou v případech, které znázorňují současný stav zasanovaného svahu, zřízení odvodňovacích žebor a výstavbu gabionové stěny. Tyto hodnoty napětí jsou nejmenší, protože dochází k disipaci pórových tlaků tím, že je voda odváděna ze svahu. Čím rychleji probíhá disipace pórových tlaků, tím dříve se zvyšuje stabilita svahu, snižují se přírůstky pórových tlaků a hodnoty sedání klesají. Největší hodnoty efektivních napětí jsou v případech nenasycených svahů.

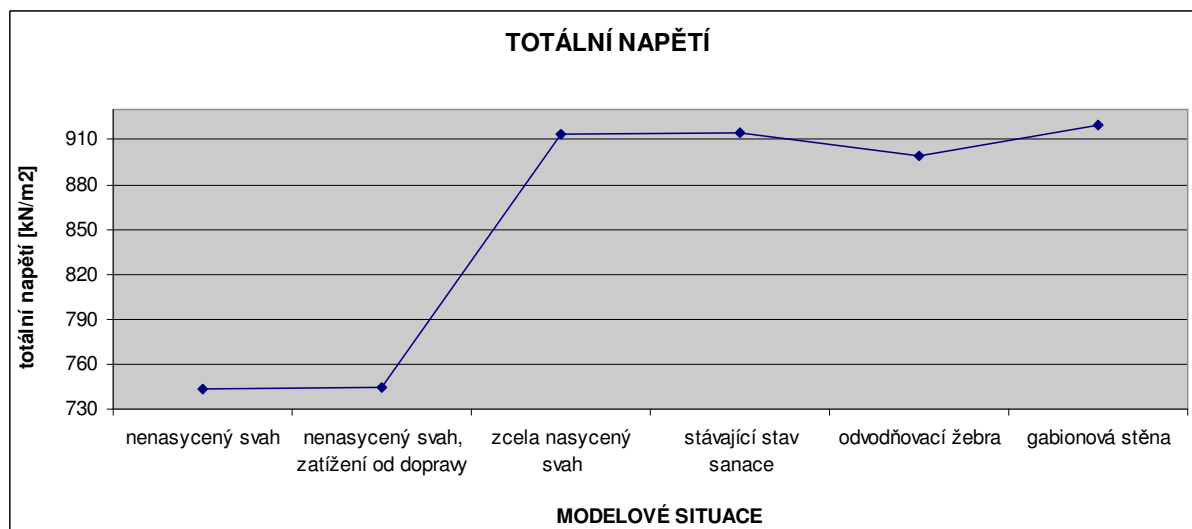
Na následujícím obrázku 25 je zobrazena ukázka rozložení efektivních napětí u stávající stavu svahu zářezu. Na obrázku 26 je opět detailní pohled na rozložení těchto napětí.



Obrázek 25: Znázornění rozložení efektivních napětí u stávajícího stavu svahu zářezu



Obrázek 26: Detailní znázornění rozložení efektivních napětí u stávajícího stavu svahu zářezu

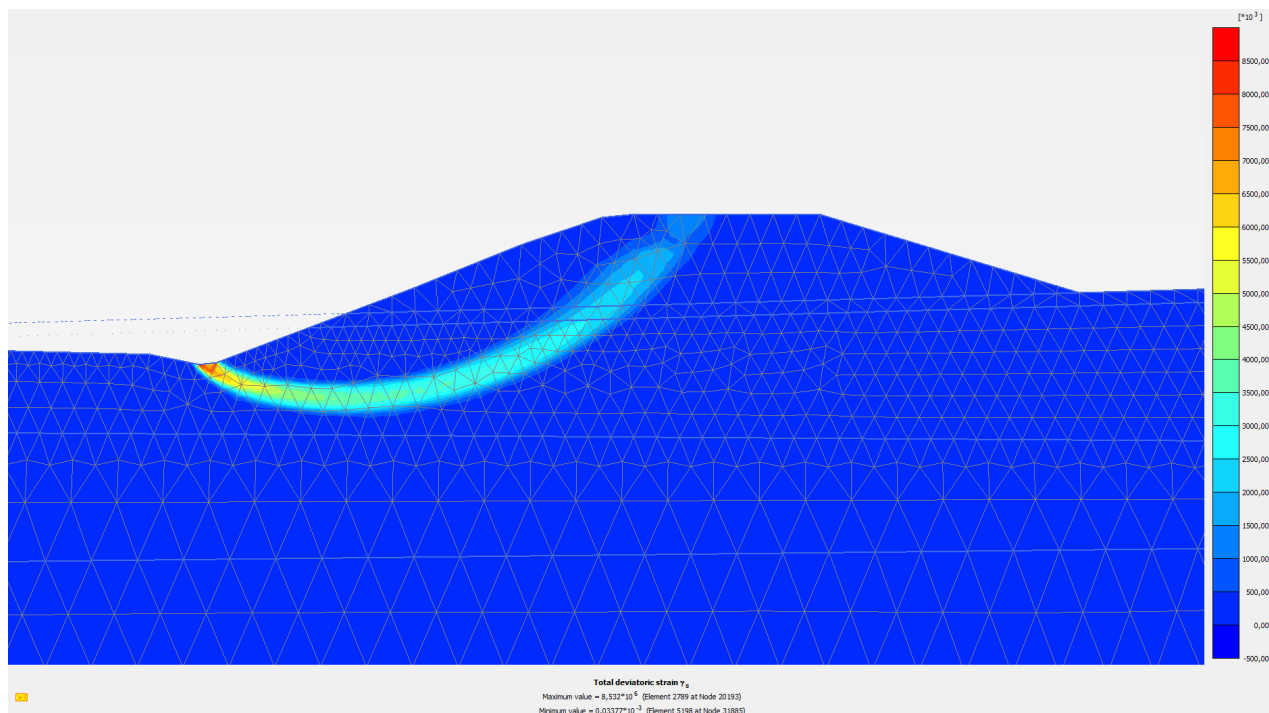


**Graf č. 5 – totální napětí**

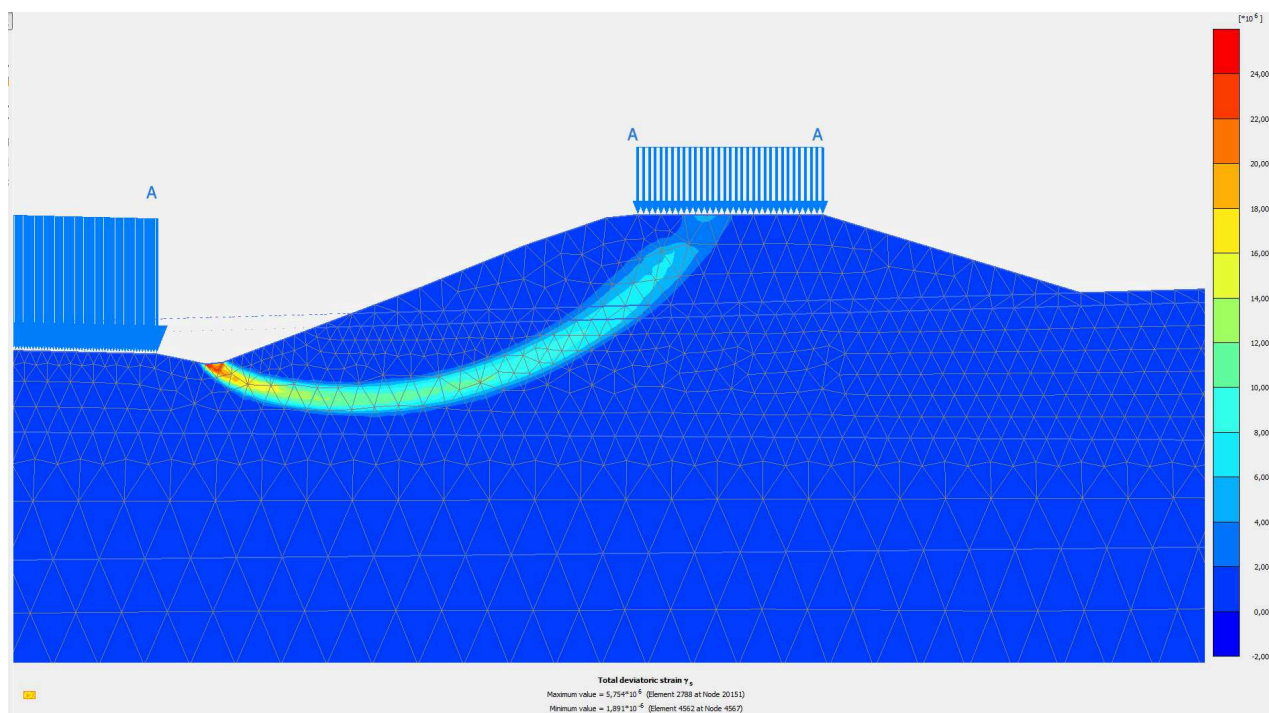
Dalším vyhodnocovaným kritériem byly totální napětí. Obecně platí, že součet efektivních a pórových tlaků ve stejném místě musí být roven hodnotě totálních napětí. To nám slouží pro kontrolu správnosti výsledků. V našem případě byly brány vždy maximální hodnoty všech vyhodnocovaných napětí, proto se nejednalo o stejná místa. Z tohoto grafu vyplývá, že sanační opatření mají zásadní vliv na zvyšování stability svahu, zatímco voda má nepříznivý vliv na stabilitu svahu. V případech, kde voda ve svahu nebyla uvažována, jsou hodnoty totálních napětí menší oproti hodnotám v případech, kde voda ve svahu přítomna byla.

Posledním vyhodnocovaným kritériem byly průběhy smykových ploch v jednotlivých uvažovaných případech. Průběhy smykových ploch jsou znázorněny na následujících šesti obrázcích (Obrázky 27 – 32).



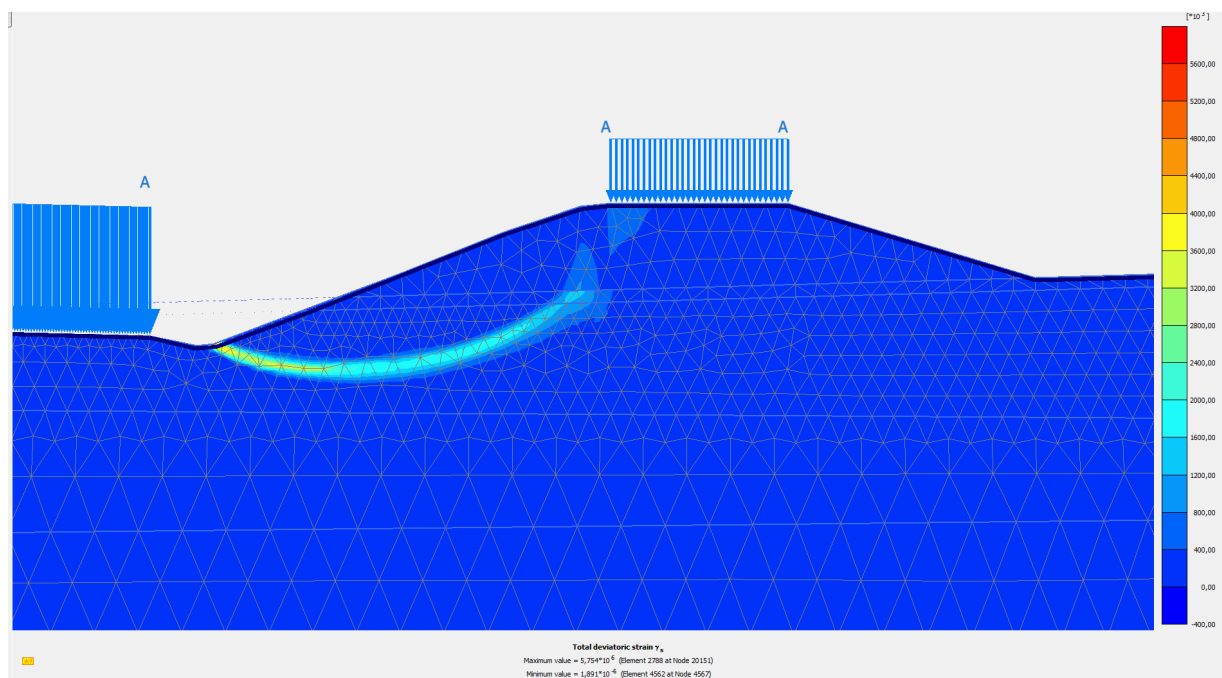


Obrázek 27: Průběh smykové plochy pro variantu nenasyceného svahu

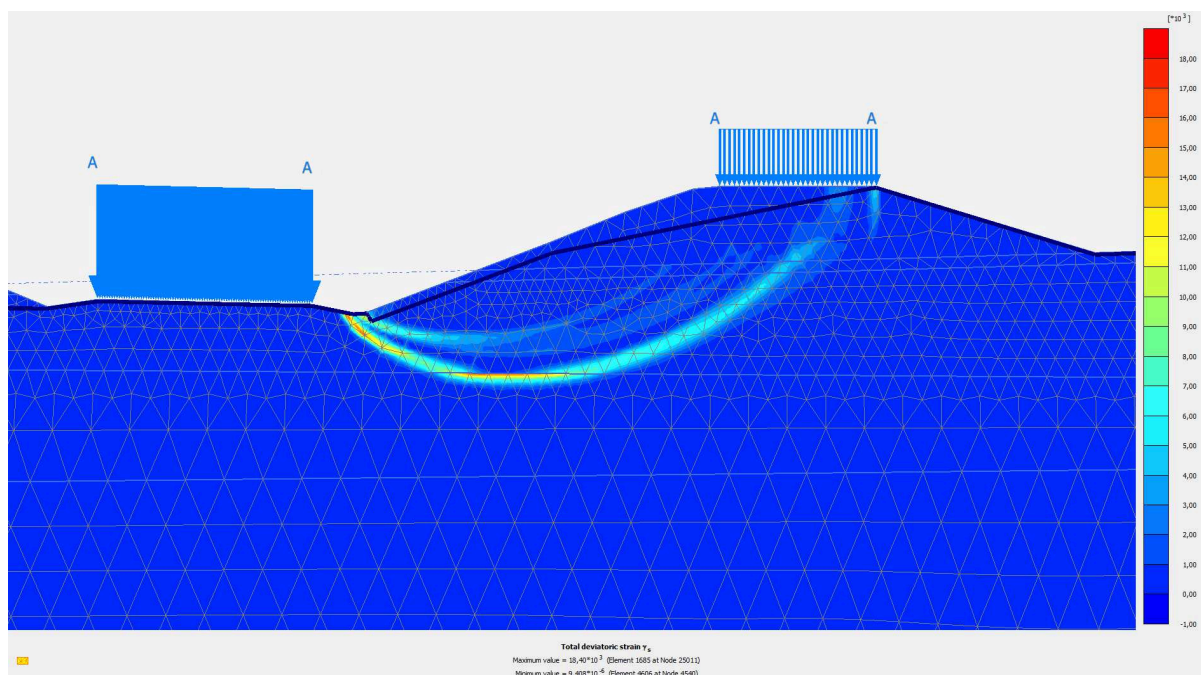


Obrázek 28: Průběh smykové plochy pro variantu nenasyceného svahu, zatíženého dopravou

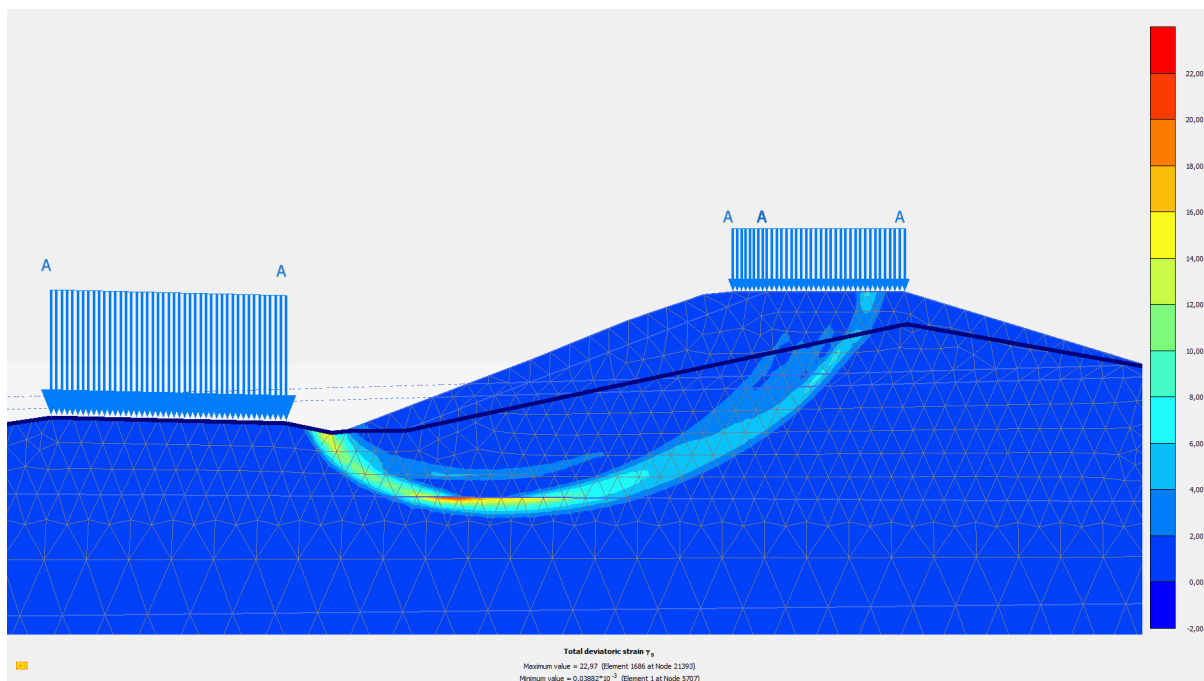




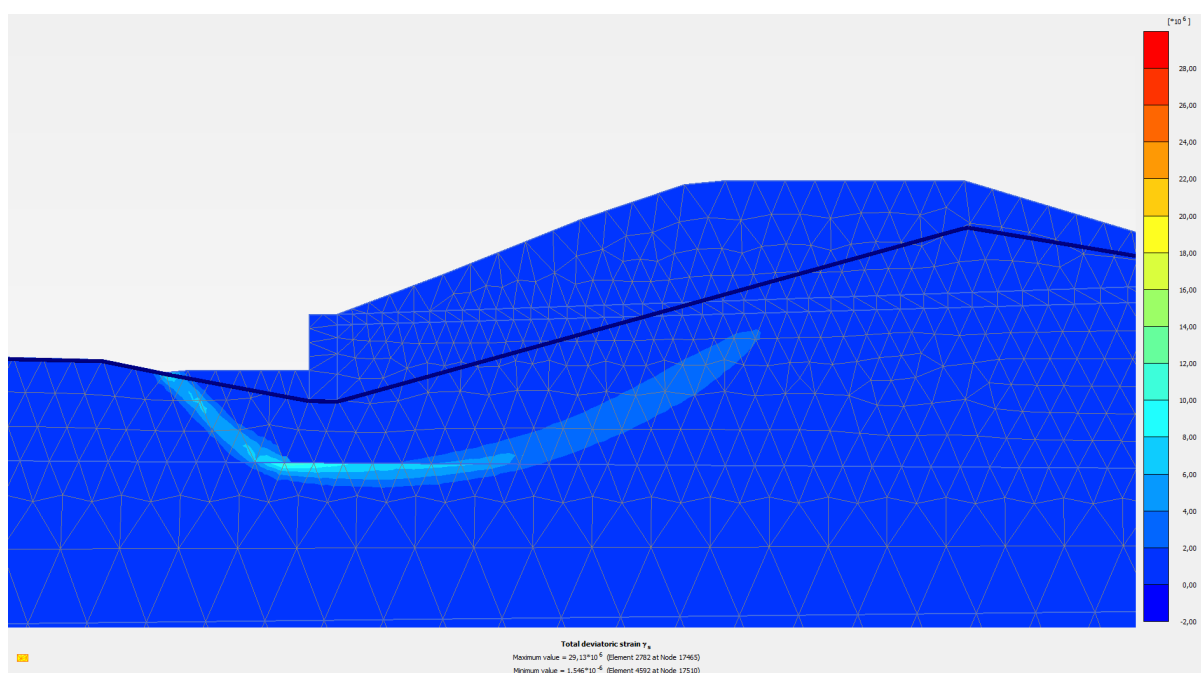
Obrázek 29: Průběh smykové plochy pro variantu zcela nasyceného svahu



Obrázek 30: Průběh smykové plochy pro variantu stávajícího stavu svahu



Obrázek 31: Průběh smykové plochy pro variantu zřízení odvodňovacích žebér



Obrázek 32: Průběh smykové plochy pro variantu výstavby ochranné gabionové stěny

## 5. Závěrečná analýza výsledků řešení

### 5.1 Poznatky získané během zpracovávání diplomové práce

Autorka diplomové práce při jejím zpracovávání došla k závěru, že dojde-li ke vzniku sesuvu, je úlohou geologa či geotechnika zjistit příčinu vzniku, určit způsob, jak zastavit další vznik sesuvu a podle možností navrhnout taková stabilizační opatření, která zabrání dalšímu vzniku sesuvu či jiným závažným geotechnickým problémům. Pro každý sesuv, charakterizovaný podle regionálních vlastností, lze navrhnout právě taková stabilizační opatření, která zamezí nebo dokonce zastaví sesuv. Všechny varianty navržených sanačních opatření by se měly dlouhodobě sledovat. Je nezbytné sledovat také hydrogeologické poměry, jejichž účelem je přesvědčení se, že navrhované sanace jsou správné a že byly provedeny včas. Nepříznivý vliv na stabilitu svahu mají slinité a jílovité břidlice ve flyšovém pásmu na východní Moravě a západním Slovensku.

Z pohledu kvantitativního, je stanovení stability svahu tím přesnějším, čím lépe známe celkovou geologickou stavbu území, podrobný průběh vývoje sesuvu v prostředí a složení jednotlivých parametrů a morfologický vývoj reliéfu krajiny. Obecně lze říci, že svah je méně stabilnější tím, čím vyšší je jeho sklon a čím hlubší je zářez nebo vyšší násyp.

Prováděné hluboké zářezy a vysoké násypy s velmi strmými svahy, které navíc nejsou pokryty vegetací, působí nepřírodně a porušují přírodní ráz krajiny. Měly by se zřizovat s ohledem na geologické a hydrogeologické poměry území. Je doporučováno jejich provádění s mírnými sklony tak, aby se na nich dokázala udržet vegetace a aby se plynule napojily na okolní území. Nejdůležitějším předpokladem pro každou navrhovanou konstrukci je znalost přírodních podmínek, ve kterých bude stavba prováděna. Na podrobném průzkumu a při provádění sondovacích prací by se nemělo šetřit, protože kvalitní a spolehlivý průzkum je nejlepší ochranou investora i projektanta a zárukou kvalitně provedené stavby. Minimalizují se vlivy zapříčiňující vznik sesuvů, snižují se náklady na údržbu, rekonstrukci či opravy stavby, zlepšuje se celkový dojem na dotčené strany, zvyšuje se životnost stavby a je zaručena její kvalita po celou dobu navrhované životnosti.

## 5.2 Výsledky řešení

Cílem předložené diplomové práce bylo posouzení sesuvu svahu zářezu na silnici I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice. V průběhu zpracovávání práce bylo několikrát navštíveno zájmové území, kde se provedlo zaměření geologického profilu. Z následného geologického profilu se vytvořil matematický model zohledňující možné varianty, které nastaly a které by mohly nastat. Bylo vymodelováno celkem šest variant řešení, kde se zohledňovalo plné nasycení svahu, dále zatížení od dopravy, posuzoval se stávající stav sanace svahu a byly navrženy 2 sanační opatření. Posoudily se stupně stability, vyhodnotily pórové tlaky, efektivní a celková napětí a také průběh smykových ploch. Současný stav byl sledován na základě terénních prohlídek a matematického modelování.

Stávající stav svahu je dle výpočtu programem Plaxis 2D 2010 hodnocen jako stabilní, hodnota stupně stability  $F$  je 1,72. Při modelování stávajícího stavu se zohledněním vody ve svahu klesl stupeň stability posuzovaného svahového tělesa na hodnotu 1,23. V modelu byl taktéž zhodnocen vliv zatížení od projíždějících automobilů na stabilitu svahu. Zatížení bylo zadáno jako staticky působící, rovnoměrně po celé šířce silnice I/58 a na obslužné komunikaci, která se nachází na posuzovaném násypu. Součástí práce bylo nejen posouzení stávajícího stavu sesuvu, ale také navržení dvou sanačních opatření v případě, že by stávající stav nebyl stabilní. Byly zvoleny dvě z doporučených opatření stanovených v IGP – povrchové odvodnění zřízením drenážních žeber a technické stabilizační opatření – výstavbu opěrné gabionové stěny. Autorka došla k závěru, že obě navržená sanační opatření mají zásadní a hlavně příznivý vliv na celkovou stabilitu svahu, protože jak odvodňovací žebra, tak i ochranná gabionová stěna odvádějí vodu ze svahu a tím zmenšují pórové tlaky, snižují hodnotu sedání a naopak stupeň stability zvětšují. V případě realizace by obě navržené stabilizační varianty stupeň stability svahu zvýšily z hodnoty 1,23 pro stávající stav s vlivem vody na hodnoty 1,6 a měly by příznivý vliv na celkový dojem z provedené stavby. Gabionová stěna má příznivější vliv na stabilitu, protože její výstavbou se zmírňuje sklon svahu při jeho dosypání a pata svahu je navíc přitěžována. Všechny sanační práce vždy zvyšují náklady stavby a proto je potřebné provádět kontrolu a údržbu těchto provedených opatření, aby plnily svoji funkci na 100%.

## Seznam zdrojů a použité literatury

### Literatura:

- [1] ČSN EN 1991-1-1 (730035); Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] Grmela, A.: *Podzemní hydraulika II.*, Skriptum pro PGS VŠB, Ostrava, 1989
- [3] Hrubešová, E., : *Geotechnický monitoring - Kontrolní sledování*, FAST VŠB – TU Ostrava, katedra geotechniky a podzemního stavitelství
- [4] Kratochvíla, L.: *Podrobný Inženýrsko-geologický průzkum – závěrečná zpráva, Příbor – obchvat – silnice I/58*, Ostrava: UNIGEO a.s., Divize geologie a ŽP, listopad 2002
- [5] Kumpera, O., Foldyna, J., Zorkovský, V.: *Všeobecná geologie*, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, ALFA – Vydavatel'stvo technické a ekonomické literatury, 1988
- [6] Malgot, J.: *Inžinierska geológia a hydrogeológia*, Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2003
- [7] Menčík, E. et al.: *Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny*, Praha: Ústřední ústav geologický, Nakladatelství Československé akademie věd, 1983
- [8] Rozsypal, A.: *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*, Bratislava, Jaga group, 2001
- [9] Záruba, Q., Mencl, V.: *Sesuvy a zabezpečování svahů*, Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1987
- [10] Záruba, Q., Mencl, V.: *Inženýrská geologie*, Praha: Nakladatelství Československé akademie věd (ČSAV), 1954
- [11] Rybář, J., Stemberk, J., Wagner, P.: *Landslides*, Praha: Balkema, 2002

## Internetové podklady:

- [12] URL: < [http://geography.upol.cz/soubory/studium/bp/2010-rg/2010\\_Machula\\_P.pdf](http://geography.upol.cz/soubory/studium/bp/2010-rg/2010_Machula_P.pdf) >, [online], [cit. 2013-05-19]
- [13] URL: < <http://fast10.vsb.cz/hrubesova/mon7.htm> >, [online], [cit. 2013-04-24]
- [14] URL: < [http://mapy.geology.cz/svahove\\_nestability/](http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/) >, [online], [cit. 2013-04-13]
- [15] URL: < [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) >, [online], [cit. 2013-04-13]
- [16] URL: < <http://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice/Smolova-2010/relief.html> >, [online], [cit. 2013-05-19]
- [17] URL: < [geologie.vsb.cz](http://geologie.vsb.cz) >, [online], [cit. 2013-03-17]
- [18] URL: < [www.wikipedie.cz](http://www.wikipedie.cz) >, < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hranec> >, [online], [cit. 2013-06-21]
- [19] URL: < <https://maps.google.com/> >, [online], [cit. 2013-08-06]
- [20] URL: < [www.unigeo.cz](http://www.unigeo.cz) >, [online], [cit. 2013-04-24]
- [21] URL: < <http://prirucka.ujc.cas.cz> >, [online], [cit. 2013-11-13]
- [22] URL: < <http://ekonomika.idnes.cz> >, [online], [cit. 2012-04-27]
- [23] URL: < <http://www.msstavby.cz/> >, [online], [cit. 2011-11-28]

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Základní morfologické prvky sesuvu a průběh trhlin, [9]

Obrázek 2: Mapa sesuvných oblastí města Příboru a jeho okolí, [14]

Obrázek 3: Mapa zájmového území s vyznačeným místem „černé“ skládky a řešeného úseku, [15]

Obrázek 4: Lokalita sesuvu svahu zářezu silnice I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice, snímek z března 2012, [19]

Obrázek 5: Mapa města Příboru a jeho okolí, [15]

Obrázek 6: Mapa obchvatu Příboru s vyznačeným místem sesuvu svahu zářezu, [4]

Obrázek 7: Situace mostního objektu s vyznačeným místem sesuvu svahu zářezu, [4]

Obrázek 8: Naznačení maximální výšky násypu zářezu na silnici I/58, vytvořeno v AutoCadu 2010

Obrázek 9: Provedené vrty a penetrační sondy v blízkosti MO 206, [4]

Obrázek 10: Registrované sesuvy v širším okolí zájmového území na obchvatu Příboru, [19]

Obrázek 11: Mapa obchvatu města Příboru s vyznačeným místem sesuvu svahu zářezu a registrovanými sesuvy na větvi K (vedoucí z Příboru do Nového Jičína) a na silnici I/58, vedoucí z Příboru do Kopřivnice, [4]

Obrázek 12: Sanace sesuvu svahu zářezu, vlastní foto pořízeno dne 14.4.2013

Obrázek 13: Sanace sesuvu svahu zářezu, možný přítok vody v patě svahu, vlastní foto pořízeno dne 16.4.2013

Obrázek 14: Sanace sesuvu svahu zářezu, nedokonalé očištění odvodňovacích žlabů a krajnice silnice I/58 od sesutého materiálu, vlastní foto pořízeno dne 16.4.2013

Obrázek 15: Sanace sesuvu svahu zářezu, odnášení materiálů z odlučné oblasti svahu vlivem působení vody a větru, vlastní foto pořízeno dne 16.4.2013

Obrázek 16: Řešení stability pro nesoudržné zeminy, neprosakuje-li voda, [3]

Obrázek 17: Řešení stability pro soudržné zeminy s použitím Pettersonovy metody, [3]

- Obrázek 18: Inženýrsko-geologický profil použitý pro statické výpočty, vytvořený v AutoCadu 2010
- Obrázek 19: Detailní znázornění řešeného místa inženýrsko-geologického profilu použitého pro statické výpočty, vytvořený v AutoCadu 2010
- Obrázek 20: Mocnosti vrstev zastižených v provedeném vrtu J – 16, [4]
- Obrázek 21: Geometrie modelového svahu zářezu včetně zobrazení zatížení od dopravy
- Obrázek 22: Vygenerovaná síť konečných prvků se zahuštěním v oblasti posuzovaného násypu
- Obrázek 23: Znázornění rozložení pórových tlaků u stávajícího stavu svahu zářezu
- Obrázek 24: Detailní znázornění rozložení pórových tlaků u stávajícího stavu svahu zářezu
- Obrázek 25: Znázornění rozložení efektivních napětí u stávajícího stavu svahu zářezu
- Obrázek 26: Detailní znázornění rozložení efektivních napětí u stávajícího stavu svahu zářezu
- Obrázek 27: Průběh smykové plochy pro variantu nenasyceného svahu
- Obrázek 28: Průběh smykové plochy pro variantu nenasyceného svahu, zatíženého dopravou
- Obrázek 29: Průběh smykové plochy pro variantu zcela nasyceného svahu
- Obrázek 30: Průběh smykové plochy pro variantu stávajícího stavu svahu
- Obrázek 31: Průběh smykové plochy pro variantu zřízení odvodňovacích žeber
- Obrázek 32: Průběh smykové plochy pro variantu výstavby ochranné gabionové stěny



## **Seznam tabulek**

Tabulka č. 1: Charakteristiky zemin zastižených v zájmovém území, [4]

Tabulka č. 2: Hodnoty stupňů stability pro uvažované modelové situace

## Seznam grafů

Graf č. 1 – stupně stability

Graf č. 2 – svislé posuny

Graf č. 3 – přírůstky pórových tlaků

Graf č. 4 – efektivní napětí

Graf č. 5 – totální napětí

## Seznam příloh

Příloha č. 1            Statický výpočet – posouzení gabionové stěny

## Poděkování

Je mou radostí a zároveň povinností poděkovat lidem, kteří mi byli pomocí a oporou po celou dobu psaní této práce. Chtěla bych poděkovat paní Ing. Barbaře Luňáčkové, Ph. D. a panu Ing. Jaroslavu Ryšávkovi, Ph. D. za příkladné vedení, odbornou pomoc a za cenné rady při psaní této diplomové práce. Dále chci poděkovat společnosti ŘSD se sídlem v Ostravě, za ochotné poskytnutí materiálů, zejména její pracovníci paní Lucii Franquese. Poděkování patří také panu Ing. Miroslavu Pinkovi za ochotu a rady poskytnuté při vytváření matematického modelu. V neposlední řadě chci poděkovat také své rodině a nejbližším, kteří mě po celou dobu studia podporovali.











