

Sanácia svahu postihnutého zosuvnou činnosťou nad železničnou traťou Košice – Žilina pri obci Richnava

Predkladaný článok sa zaoberá návrhom sanácie svahu postihnutého aktívnou zosuvnou činnosťou. Predmetný svah sa nachádza nad hlavnou železničnou traťou Košice – Žilina pri obci Richnava. Sanácia svahu pozostáva z viacerých typov statického zabezpečenia v závislosti od zistenej geologickej skladby a porušení, zvetraní povrchových vrstiev horninového masívu. Majoritnú časť sanácie zabezpečujú vysokopevnostné oceľové siete v kombinácii s trvalými zemnými klinkcami. Návrh statických prvkov (zemné klinkce, vysokopevnostné siete atď.) sa realizoval klasickými výpočtovými metódami v kombinácii s programom pracujúcim na základe metódy konečných prvkov. Posúdenie celkovej stability a overenie návrhu statického zabezpečenia bolo spracované programom PLAXIS 2D 2010.



Obr. 1 Pohľad na rozprestretú sieť pred prichytávaním zemnými klinkcami



Obr. 2 Pohľad na realizáciu z koruny svahu so zachytením pomocnej konštrukcie na realizáciu klinkcov a kotiev

Opis problému

Na predmetnom úseku železničnej trate pri obci Richnava došlo v roku 2010 k zosunutiu (zrúteniu) časti svahu na hlavnú železničnú trať Košice – Žilina. Na svahu nad železničnou traťou sa v predmetnom roku aktivizovali dva zosuvy a vytvorila sa odlučná línia v cestnej komunikácii. Väčší zosuv mal šírku viac ako 35 m a hrúbka zosunutých pokryvných vrstiev dosahovala 2,0 m až 2,5 m. Menší zosuv mal šírkový rozmer okolo 20,0 m a jeho hrúbka bola maximálne 1,5 m. Zosuvmi bola postihnutá celá dĺžka svahu po výške, čo predstavuje vzdialenosť od 28,0 m do 32,0 m. Okrem týchto miest sa na štátnej ceste II/547 – pri jej krajnici – vytvorili trhliny, ktoré naznačovali ďalšie rozširovanie zosuvnej činnosti. Trhliny sa prejavili na dĺžke približne 200,0 m. Pretože predmetné dva zosuvy priamo obmedzili premávku na štátnej ceste II. triedy, táto komunikácia sa ešte v roku 2010 sanovala. Odlučné oblasti oboch zosuvov strhli časť vozovky a v ich päte zasypali hlavnú železničnú trať, najmä koľaj č. 1.

Na základe spracovaných prieskumných prác možno konštatovať, že horninový masív v záujmovom úseku tvorí permské skalné podložie, ktoré reprezentujú červenofialové a zelenkavé bridlice s polohami vulkanoklastík ryolitového charakteru. Skalné podložie následne v niektorých úsekoch pokrýva vrstva sutín charakteru ílovitých štrkov. V miestach, kde sa pokrývne sutiny nenachádzajú, vrchnú vrstvu tvoria silne až úplne zvetrané bridlice. Hrúbka pokryvných vrstiev v sanovanom úseku dosahuje 0,5 m až 2,0 m. Svahy na tomto úseku majú sklon v rozmedzí

od 38° do 45°. V sanovanom úseku bol dokumentovaný jeden tektonický zlom, ktorý sa nachádza v strede väčšieho zosuvu. V týchto miestach je vysoký predpoklad, že bridlice sú rozpukané a zvetrané do väčšej hĺbky, ako na zostávajúcom úseku sanovaného svahu. Hrúbka a charakter zvetrania je potrebné overiť počas realizačných prác a zistenia treba porovnať s predpokladmi v projekte. V mieste tektonického zlomu sa nachádzajú aj lokálne vývery podzemnej vody. Výdatnosť výverov závisí od ročného obdobia a celkového vyplnenia puklín horninového masívu podzemnou vodou. Počas sanačných prác je potrebné overiť prípadný výskyt tektonického zlomu v okolí menšieho zosuvu. Tento zlom nebol overený prieskumnými prácami, ale na základe získaných podkladov pre spracovanie inžinierskogeologického prieskumu (IGP) tejto stavby možno uvažovať o jeho existencii.

Prieskum pre danú sanáciu vychádzal najmä z penetračných sond a niekoľkých jadrových sond, ktoré sa realizovali v korune a päte svahu. V strede svahu s priemerným sklonom asi 42° sa pre ťažký prístup nere realizovali nijaké sondážne práce na určenie presnej mocnosti sutín a zvetrania bridlíc.

Návrh sanácie

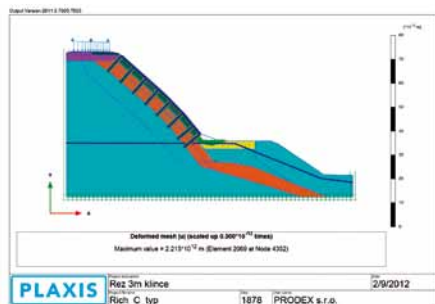
Definitívny návrh sanácie berie ohľad na ekonomické a estetické hľadisko, pričom sa vyhovelo všetkým zatažovacím stavom. Pôvodne odporúčaná sanácia v závere inžinierskogeologického posudku, teda klinkovanie v kombinácii s torkrétom, sa na základe statických prepočtov nahradila vysokopev-

nostnými sieťami prichytávanými trvalými zemnými klinkcami. Striekaný betón s klinkcami sa navrhol len v hornej časti väčšieho zosuvu, kde sa zemina zosunula aj s časťou krajnice. V čase spracovania dokumentácie bolo toto miesto opravené a komunikácia v tomto úseku bola založená na veľkopiemero-vých pilótach, ktoré v hlave prechádzali do železobetónovej dosky. Požiadavkou správcu komunikácie bolo navrhnúť v tomto mieste riešenie, ktoré depresiu zarovná s okolitým terénom. Zabezpečiť sa to dalo len torkrétom so zemnými klinkcami.

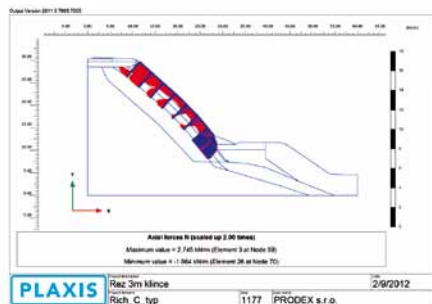
Vysokopevnostné siete vo väčšine sanovaného úseku sú navrhnuté tak, že budú bezpečne zachytávať povrchovú zvetranú vrstvu bridlíc, ktorá časom zvetrá až na hrúbku 1,2 m. Takéto riešenie sa navrhlo v miestach, ktoré potenciálne ohrozovali dnešnú trať. Pred realizáciou sietí sa existujúca zvetraná vrstva odstráni aj s rozvolnenými sutinami. Miesto tektonického zlomu, v ktorom je horninový masív značne rozpukaný, sa doplnilo o zabezpečenie trvalými zemnými kotvami, kotviacimi zvislé železobetónové rebrá. V mieste potenciálneho tektonického zlomu sa osová vzdialenosť klinkcov zmenšila. Dĺžka klinkcov sa v týchto miestach predĺžila na základe predpokladu, že v tomto úseku je pokrývna rozvolnená vrstva s väčšou hrúbkou.

Na vstupnej porade k predmetnej sanácii sa odporúčalo zrealizovať v päte svahu retenčno-ochranný múr v celej dĺžke sanácie. Po predložení statických výpočtov deklarácií bezpečnosť návrhu zaistenia svahu sa retenčný múr skrátil na minimálnu nevyhnutnú dĺžku. Navrhol sa v mieste pred sieťovaním, v úseku, kde sa železničná trať odďaľuje od svahu.

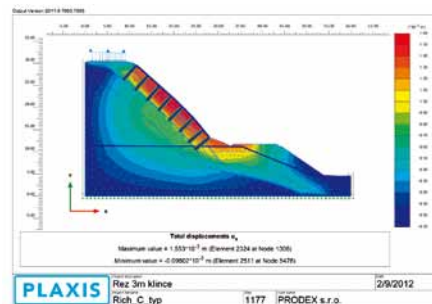
V projekte sa špecifikovali základné parametre prvkov, ktoré musia jednotlivé varianty sanácie spĺňať. Pri kotvách to boli predpínacie sily, počet prameňov, dĺžka kotvy a koreňa, minimálny priemer vrtu, priemer vyinjektovaného koreňa. Pri klinkoch išlo o priemer oceľového profilu, minimálny priemer vrtu, materiál profilu, dĺžku klinkca v horninovom prostredí a dĺžku nad terénom. V prípade vysokopevnostných sietí išlo najmä o pevnosť siete v pozdĺžnom a priečnom smere (prípadne diagonálnom smere), spôsoboch povrchovej ochrany a maximálnej veľkosti oka.



Obr. 3 Deformačná sieť jedného z posudzovaných rezov



Obr. 4 Priebehy síl v jednotlivých prvkoch



Obr. 5 Priebeh deformácií po namodelovaní zvetrania povrchovej vrstvy s uvažovanou hrúbkou

Opis štyroch variantov zabezpečenia svahu postihnutého zosuvnou činnosťou

1. Od žkm 141,535 po žkm 141,560 je navrhnutý železobetónový retenčno-ochranný múr, ktorý bude slúžiť na zachytávanie prípadných malých strží pri výdatnej zrážkovej činnosti. Železobetónový múr bude chrániť železničnú trať pred akumuláciou sutiny. Je navrhnutý na zachytenie odtrhu dĺžky 6 m v hrúbke 1,0 m z hornej časti svahu. Výška zosunu masy je 14 m. Múr bude založený na mikropilótach. Pri výpočte plášťového trenia mikropilót sa uvažovalo, že polovica dĺžky mikropilót bude v zemine F6 a druhá polovica v poloskalnej hornine R5, R4. Túto skutočnosť je nevyhnutné overiť pri vrtných prácach. Rub múra musí byť od akumulovanej sutiny pravidelne čistený.
2. V staničeníach žkm 141,560 – 141,600, ďalej v žkm 141,625 – 141,680 a 141,705 – 141,840 sa sanácia svahu postihnutého potencionálnymi zosuvmi navrhuje realizovať pomocou kĺncovania v kombinácii so sieťovaním vysokopevnostnými sieťami. V týchto úsekoch je potrebné navetranú povrchovú vrstvu očistiť. Očistený povrch musia tvoriť poloskalné horniny pevnostnej triedy minimálne R6. V projekte sa preň špecifikovali minimálne pevnostné parametre, ktoré je potrebné dosiahnuť na zaistenie bezpečnosti. Takisto sa špecifikovala maximálna hrúbka hornín R6, a to na 1,2 m. Pod touto vrstvou musia byť zdokumentované poloskalné horniny triedy R5 mocnosti do 1,4 m s minimálnymi pevnostnými parametrami opísanými v projekte. Pod horninou R5 sa musia pri vrtných prácach overiť poloskalné horniny triedy R4. Stabilitu vysokopevnostnej siete budú zabezpečovať trvalé zemné kĺnce. Raster kĺncov pri zabezpečovanej 1,1 m až 1,2 m hrubej zvetranej vrstve bude 4,0 m × 4,0 m. Dĺžka nosných kĺncov musí byť minimálne 3,0 m. Navrhnuté kĺnce sú CKT tyče s minimálnym priemerom 28 mm. V prípade akýchkoľvek odlišností od predpokladov v projekte je potrebné po konzultácii dodávateľa, projektanta a investora operatívne robiť úpravy, či už v znižovaní rastrov kĺncov, zväčšovaní prierezov kĺncov alebo ich dĺžok.

3. V žkm 141,680 až 141,705 možno z dôvodu predpokladanej tektonickej poruchy očakávať väčšiu povrchovú hrúbku poloskalných hornín (zemín) R6. Predpokladáme, že po zosunutí môže byť v predmetnom staničení hrúbka R6 do 1,5 m. Pevnostné parametre pre R6 boli opätovne zadefinované v projekte a vychádzali zo záverov inžinierskogeologického posudku. Pod R6 bola prieskumom definovaná hrúbka poloskalných hornín R5 okolo 2,5 m. Poloskalné horniny R4 boli dokumentované v hĺbke asi 4,0 m od povrchu terénu. Stabilitu vysokopevnostnej siete budú v tomto úseku opäť zabezpečovať trvalé zemné kĺnce. Ich raster pri zabezpečovanej 1,5 m vrstve R6, časom zvetranej R6 do hĺbky 1,2 m bude 3,5 m × 3,5 m. Dĺžka nosných kĺncov bude minimálne 4,5 m, z ktorých 0,1 m bude nad terénom. Aj v tomto prípade sú kĺnce tvorené CKT tyčami s priemerom 28 mm, vkladané do vrstiev priemeru 133 mm. Systém siete je po obvode upevnený lanami s priemerom 12 mm, ktoré sú miestne upevnené lanovými kotvami alebo zemnými kĺncami. Aby sa zabránilo vyplavovaniu zvetraných častíc bridlic cez oká siete, umiestni sa pod sieť protierózna georochož. Kĺnce uchytávajúce siete sa budú predpínať na silu 30 kN momentovým kľúčom.
4. Úsek v žkm 141,605 až 141,625 je poznačený tektonickým porušením. Ako prvý bol zasiahnutý zosunutím povrchovej vrstvy najviac postihnutej eróziou, pravdepodobne vplyvom dlhodobého a výdatného pôsobenia zrážkovej a podzemnej vody. V tomto rozmedzí staničení sa predpokladalo, že pred zosunutím svahu hrúbka poloskalných hornín R6 a sutín dosahovala hodnotu 2,5 až 3,0 m. Keďže došlo k zosunutiu časti svahu v mocnosti maximálne 2,0 m, v tomto úseku povrchovú vrstvu tvoria horniny R6 s hrúbkou maximálne 1,1 m. Pod R6 sa predpokladá výskyt poloskalnej horniny R5 s výrazným porušením do hĺbky 6,0 až 7,0 m od povrchu dnešného terénu. Následne sa až v hĺbke 6,0 – 7,0 m na základe priečných rezov spracovaných v IGP predpokladá výskyt poloskalnej horniny R4, ktorú charakterizuje veľká až veľmi veľká hustota diskon-

tinuít. Z uvedených dôvodov je úsek zabezpečený železobetónovými kotevnými rebrami v kombinácii s trvalými zemnými kotvami, sieťovaním a kĺncami. Vrchná časť zosunutej svahu sa v danej dĺžke zabezpečí striekaným betónom a zemnými kĺncami.

Pod plochou vytvorenou striekaným betónom sa vytvorí ryha, ktorá sa vyplní humóznou zemínou. Do nej sa vysadia vhodné popínave rastliny, čím sa zabezpečí zazenenie sivej plochy, ktorú tvorí striekaný betón.

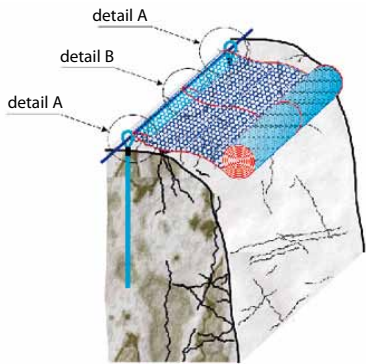
Pod striekaným betónom budú stabilitu zabezpečovať železobetónové kotevné rebrá v rozmeroch 0,5 × 0,7 m. Každé rebro bude kotevné dvoma trojpramennými kotvami, ktoré je potrebné predopnúť na silu 250 kN. Skúšobná predpínacia sila bude 1,25-násobok požadovanej sily predopnutia. Zapustenie Rebrá musí byť z dôvodu únosnosti podlažia zapustené do terénu minimálne 0,2 m. Do rebier na výstuž sa cez spojovacie krúžky z každej strany uchytí vysokopevnostná oceľová sieť.

V rámci projektu je navrhnuté odvodnenie celého miesta pomocou korogovaných drenážnych rúr DN 100, ktoré budú osadené do vyhlbených rýh s rozmermi 0,2 × 0,25 m. Rúry sa obalia netkanou geotextíliou predpísanej plošnej hmotnosti a obsypú drenážnym materiálom.

Bludné prúdy

Pretože sa sanácia realizuje pri trati s jednosmernou trakčnou sústavou, bolo nevyhnutné vybaviť všetky železobetónové konštrukcie zariadením na meranie korózneho potenciálu (účinkom blúdívých prúdov). Pre minimalizovanie týchto účinkov na oceľové siete je potrebné bloky siete fyzicky od seba oddeliť. Medzi sieťami musí vzniknúť priestor veľkosti 0,3 m bez vodivého prepojenia. Siete sa budú deliť po 30 až 35 m.

V sanovanom úseku trate bolo nevyhnutné staticky zabezpečiť všetky trakčné stožiare z dôvodu ich podkopania počas realizácie odvodňovacej priekopy. Statické zabezpečenie základov trakčných stožiarov bolo navrhnuté pomocou mikropilót. Vzhľadom na priebeh terénu je odvodnenie v päte sanácie navrhnuté pomocou prefabrikátov TZM.



Obr. 6 Ukladanie sietí na svahy

Na overenie predpokladov týkajúcich sa najmä úrovne rozhrania jednotlivých tried poloskálnych hornín sa v projekte špecifikovala potreba opísať zloženie geologickej skladby, pri vŕtáčich prácach na osadenie klinec, a to pri každom pätnástom klinci.

Výpočtové metódy

Ako hlavná výpočtová metóda sa na návrh sanácie použila metóda konečných prvkov (MPK). Programom sa posúdili celkové stability všetkých rezov a v prípade návrhu sietí a klinec sa dimenzačné hodnoty jednotlivých prvkov porovnali s klasickými výpočtami (analytická metóda). V prípade posúdenia a nadimenzovania rezu v tektonickom zlome, ktorý je zabezpečený kotvami kotviacimi železobetónové rebrá, klincami a sieťovaním, sa použila len metóda MKP.

Pri porovnaní výsledkov oboch metód možno skonštatovať, že pri metóde konečných prvkov sa zistili v klincoch a sieťach menšie sily. V klincoch boli menšie o 10 %, v sieťach o približne 15 %. Tieto rozdiely v namáhaní sú pravdepodobne spôsobené tým, že pri výpočte MKP dochádza k reálnejšiemu prerozdeleniu síl. Vychádza to zo skutočnosti, že sa modeluje celý posudzovaný rez s celým geologickým rozhraním. Pri klasickej výpočtovej metóde sa uvažuje len o jednom type zemín (hornín) a používa sa zjednodušená výpočtová metóda, ktorá sa môže od skutočného správania zemín mierne odlišovať. Klasická metóda definuje najnepriaznivejšie možné porušenie, a preto dáva pravdepodobne vyššie hodnoty namáhania.

Na základe opísaných skutočností nemožno jednoznačne povedať, že metóda MKP dáva vo všeobecnosti ekonomickejší návrh. Do výpočtu totiž vstupuje oveľa viac okrajových podmienok a pri iných parametroch horninového prostredia (sklonoch vrstiev, svahov, geologických vrstvách) nemožno vylúčiť, že sa ňou nezistia väčšie namáhania jednotlivých prvkov ako klasickou metódou.

Na vyslovenie jednoznačných záverov by sa mali spracovať rozsiahlejšie štúdie a porovnania. Jednoznačné závery nemožno urobiť na základe jedného konkrétneho návrhu zabezpečenia a porovnania dvoch metód. S veľkou pravdepodobnosťou by sa najefektívnejší návrh získal posúdením 3D modelu, ktorý vie zohľadniť pôsobenie namáhania

vo všetkých troch smeroch. Keďže takýmto programom nedisponujeme, túto skutočnosť nemôžeme ku dňu spracovania tohto článku overiť. V posúdení každého rezu sa uvažovalo aj o vplyve seizmicity.

Typ vysokopevnostných sietí

Na základe požiadaviek definovaných v projekte aplikuje hlavný dodávateľ stavby zabezpečenie zosuvného svahu siete od spoločnosti MACCAFERRI CENTRAL EUROPE. Pričná pevnosť celého systému je zabezpečená doplnením priečných a diagonálnych oceľových lán k sieťam Steelgrid HR30. Základné prvky nosného systému sietí sú opísané ďalej.

Oceľové lano

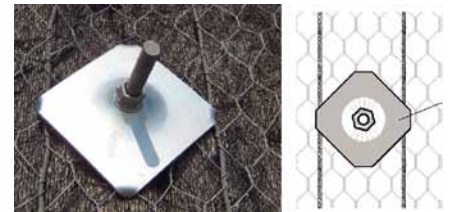
Oceľové lano (DIN 3060) je vinuté klasickým spôsobom so skladbou 6 × 19, s konopnou dušou, stredne ohybné, odolné proti oderu. Povrch drôtov je galvanicky pozinkovaný, trieda A. Priemer lana je 10 mm.

Steelgrid HR30

Ide o geokompozit pozostávajúci z dvojzákrutovej oceľovej siete typu 8 × 10, pletenej z drôtu s priemerom 2,7 mm (EN 10218-2 a EN 10223-3). Je individuálne galvanicky chránená zliatinou Galmac (zinkovo-hliníková zliatina) v množstve presahujúcom 245 g/m². Integrované oceľové láná majú nominálny priemer 8,0 mm (EN 10264-2/DIN 3060/UNI ISO 2408), drôty lana majú nominálnu pevnosť 1 770 N/mm² a sú jednotlivo galvanizované zliatinou Galmac podľa EN 10264-2, trieda B. Oceľové láná sú z dôvodu zabezpečenia integrovanej celistvosti geokompozitu pozdĺžne vpletané do dvojzákrutovej siete počas procesu výroby. Vzdialenosť vpletených lán je 300 mm. Geokompozit sa dodáva v roľkách šírky 2,9 m a dĺžky 25 m.

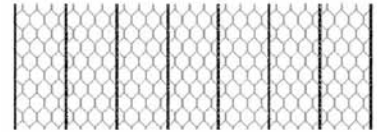
Steelgrid HR systémová platňa

Systémová platňa (obr. 7) je vysokopevnostný prvok s klenutým otvorom v strede a zahnutými rohmi na čo najlepšie uchytenie lán geokompozitu Steelgrid HR a najlepšiu smerovú variabilitu kotviacich prvkov. Rozmery platne sú 250 × 250 mm, priemer otvoru je 37 mm, hrúbka platne 8,0 mm. Trieda ocele je S235LRG2, galvanizovaná žiarovo podľa EN ISO 1461-2, s množstvom zinku najmenej 500 g/m².

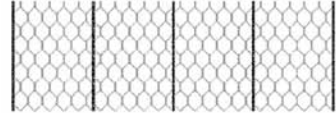


Obr. 7 Systémová platňa prichytávajúca siete

Steelgrid HR 30



Steelgrid HR 50



Obr. 8 Typy vysokopevnostných sietí

Záver

Dôvodom aktivizácie zosuvov boli s najväčšou pravdepodobnosťou klimatické pomery v danom roku. V období mája až augusta 2010 v predmetnom území padlo nadpriemerné množstvo zrážok. Zosunutiu sutín a povrchovej vrstvy bridlic napomohlo aj ich degradovanie procesom zvetrávania počas rokov od realizovania železničnej trate.

Do času spracovania tohto článku sa odlišnosti od projektovaných predpokladov nepotvrdili ani pri identifikácii zlomov, ani pri predpokladaných rozhraniach jednotlivých poloskálnych hornín vrátane mocnosti povrchového zvetrania a pevnostných parametrov hornín.

Sieťovanie strmých svahov tvorí v určitých prípadoch vhodnú alternatívu k striekaným betónom. Hlavnou výhodou je ich estetickjšie splynutie s okolitým terénom a rýchlosť realizácie.

Projektantom návrhu sanácie je spoločnosť PRODEX, spol. s r. o., a dodávateľom vysokopevnostných sietí pre sanáciu je spoločnosť MACCAFERRI CENTRAL EUROPE, s. r. o.

TEXT: Ing. Roman Kezman, Ing. Jozef Šňahničan
FOTO: PRODEX, MACCAFERRI CENTRAL EUROPE

Roman Kezman je vedúci oddelenia geotechniky v spoločnosti PRODEX, spol. s r. o.

Jozef Šňahničan je technický riaditeľ v spoločnosti MACCAFERRI CENTRAL EUROPE, s. r. o.

Redevelopment of the Slope in a Landslide Zone upon the Railway Košice – Žilina close to the Village Richnava

Submitted paper deals about proposal of redevelopment of the slope in an active landslide zone. The slope is located upon the main railway Košice – Žilina close to the village Richnava. Redevelopment of the slope consists of several types of static securing, in dependance on geology and violation of the rock, top rock mass layers weathering. The majority part of the redevelopment is secured by a high tensile steel meshes in combination with a permanent soil nails. The static elements design (soil nails, high tensile meshes, ...) was realized by classic computing methods in a combination with the finite element method software. The global stability assessment and the static securing proposal verification was processed with PLAXIS 2D 20120 software.