

Oporné múry vystužené geomrežami a dvojzákrutovou oceľovou sieťou vystavené vysokému zaťaženiu v seizmickej oblasti

Článok prezentuje pôsobivé vystužené horninové konštrukcie, ktoré sú momentálne vo výstavbe, s výškou až 16 m a so sklonom 80°, s dĺžkou viac ako 1 300 m, vystavené veľkým zaťaženiam (200 kPa). V článku sú opísané statické a seizmické analýzy, návrh konštrukcie a technológia výstavby, monitoring vybraných prierezov, výkresy, detaily a obrázky z výstavby.

ÚVOD

Nový majiteľ petrochemickej rafinérie – STAR Refinery A.S., ktorá sa nachádza v západnej časti Turecka, sa rozhodol pre jej rozšírenie. Výstavba nového komplexu rafinérie bola plánovaná v rámci projektu STAR Refinery Project v okrese Aliaga, v blízkosti obce Izmir, pozdĺž západnej časti areálu Petkim. Podľa výkresovej dokumentácie, dodanej klientom, hlavné zaťaženie pochádza z nádrží rôznych priemerov umiestnených v rôznych výškových úrovniach a ďalších ťažkých konštrukcií rafinérie.

Konštrukcia oporného múru bola navrhnutá metódou medznej rovnováhy s uvážením rôznych podmienok zaťaženia a rôznych geometrických vlastností konštrukcie. Stabilitná analýza v prípade seizmických účinkov bola riešená v súlade s BS8006 a Eurokód 8. Statické posúdenie konštrukcie je v súlade s Eurokódom 8 – Návrhový prístup 1.

VYSTUŽENÉ HORNINOVÉ KONŠTRUKCIE (VHK)

Terramesh® systém (TMS) je modulárny systém používaný pre vystužovanie hornín z prefabrikovaných modulárnych blokov vyrobených z dvojzákrutovej oceľovej siete, flexibilný a vhodný pre použitie použitý v seizmických oblastiach, aj napriek tomu, že múry sú vystavené veľkým zaťaženiam, ako je v tomto prípade zaťaženie 200 kPa.

Hybridný systém VHK, ktorý sa skladá z TMS a z vysokopevnostných geomreží ParaLink (PL), bol vyvinutý pre zvislé oporné konštrukcie a stabilizáciu strmých svahov v rafinérii. Systém je založený na princípe VHK, kde ťahové prvky, tj vysokopevnostné polymérové geomreže pôsobia v konštrukcii ako výstuha a udržiavajú horninu vo zvislej polohe alebo v strmom sklone na základe interakcie horniny a výstužných prvkov. Schematické usporiadanie obsahujúce tento hybridný systém je na obrázku 1. Lícové prvky sú vyrobené z dvojzákrutovej oceľovej siete s povrchovou úpravou Galmac (zliatina Zn-Al 5%) a PVC, priemer oceľového drôtu 2,7 mm, PVC 3,7 mm. Ich konečný tvar je dosiahnutý pripojením zadného dielu a priečky k základnému panelu, ktorý vytvára bunky obdĺžnikového tvaru, ktoré sa vyplňajú kameňom. Vysokopevnostné pásy, použité na zachytenie ťahových účinkov, sú vyrobené zo zväzkov polyesterovej priadze s vysokou molekulovou hmotnosťou a vysokou odolnosťou, ktoré sú potiahnuté polyetylénovou vrstvou. Vysokopevnostné geomreže ParaLink sú tvo-

rené jednoosovými vysokopevnostnými pásmi, ktoré sú spojené priečnymi polymérovými pásmi nižšej pevnosti. Tento odolný materiál je navrhnutý tak, aby mechanicky aj chemicky odolával biologickej degradácii v horninovej konštrukcii. PL je schválený BBA (British Board of Agreement) a má certifikát Road and Bridges Agreement Certificate No: 03/4065.

POPIS PROJEKTU A ZADANÝCH VSTUPNÝCH DÁT

Geológia

Závod rafinérie bude postavený na svahovitom teréne, ktorý je tvorený aluviálnymi naplaveninami na východe a severo-južne stúpajúcimi kopcami, ktoré dosahujú výšku až 218 m a tvoria chrbticu polostrova Aliaga (obrázok 2).



Obr. 2 – Projekt rozšírenia rafinérie v Aliaga, západne Turecko

Podložie pod rafinériou a jej bezprostredného okolia sa skladá z hrubej vrstvy tufov z kyslých až intermediárnych hornín s menším podielom andezitu a čadičovej lávy, vulkanických brekcií a ojedinelými jazernými bridlicami a vápencami.

Geológiu oblasti rafinérie možno rozdeliť zhruba do dvoch častí. Južnej časti dominuje biela jemne až stredne zrnitá, zväčša hrubá, miestami tenká vrstva tufov. Smerom k severu, rady bieleho tufu bočne prechádzajú do heterogénnej medzivrstvy andezitu, čadičovej lávy, vulkanickej brekcie a ojedinelej bridlice.

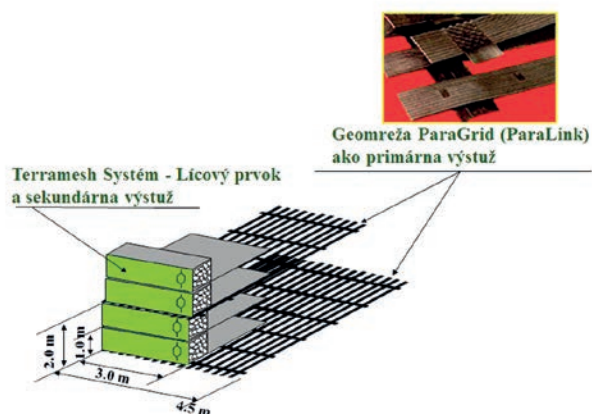
Seizmicita

Rafinéria Aliaga sa nachádza na juhozápade tektonického zlomu Bakırçay, ktorý je hlavným tektonickým rysom západnej Anatólskej plošiny.

Okolie zažilo v minulosti účinky niekoľkých stredne silných až silných zemetrasení, ktoré spôsobili značné škody. Z tohto dôvodu bola vykonaná podrobná analýza na stanovenie seizmického ohrozenia a magnitúdy zemetrasenia a na určenie vplyvu miestnych podmienok na charakteristiky zemetrasenia. Analýza ukázala, že pre miestne podmienky rafinérie a bezpečnostnú úroveň zodpovedajúcu používanému obdobiu 475 rokov, je špičkové zrýchlenie na povrchu PGA = 0,75 g.

Stavenisko a jeho charakteristiky

Celkovo bolo plánované zabezpečiť 13 terás nesúcich veľké nádrže uskladňujúce produkty výroby. Terasy sú v kopcovitom teréne a vzhľadom na rozdiely úrovní bolo potrebné vybudovať vysoké oporné konštrukcie.



Obr. 1 – Schematické usporiadanie Terramesh System a výstuže ParaLink

Oporná konštrukcia je navrhnutá ako VHK. Hlavným dôvodom pre výber tohto typu konštrukcie je najmä jej pružné správanie sa, keďže oblasť sa nachádza v seizmickej oblasti prvého stupňa. Pri návrhu bolo definované detailné seizmické ohrozenie pre danú oblasť a realizovaná podrobná analýza seizmickej odozvy, na základe ktorej bolo možné vypočítať seizmické koeficienty k_h a k_v použité v kvázi-statickej analýze. Priemerná hodnota špičkového zrýchlenia po výške opornej konštrukcie bola stanovená na základe podrobnej seizmickej odozvy pre každý múr jednotlivo.

Navrhnutých bolo dvadsať múrov s celkovou pohľadovou plochou takmer 81 000 m² dosahujúcich maximálnu výšku 16 m.

TECHNICKÉ RIEŠENIE

Výber vystužených horninových konštrukcií

Systém vybraný pre stavbu oporných konštrukcií by mal byť odolný voči zemetraseniu, vysokému pórovému tlaku aj pôsobeniu prúdenia spodnej vody.

Oporné múry z bežného muriva a valcovaného betónu (RCC) boli vylúčené kvôli prevažujúcim extrémnym podmienkam v oblasti. Flexibilná oporná konštrukcia s priepustným lícom je ideálnou voľbou v tomto teréne pre svoju schopnosť prispôbiť sa sadaniu a odolať vibráciám v dôsledku dynamických síl. Odvodnenie konštrukcie je zabezpečené charakterom podlažia, ktoré umožňuje efektívne odviezť vodu.

Návrh

Ako výplňový materiál pre vystužené zemné konštrukcie je použité drvené kamenivo z lokálneho kameňolomu. Tento typ materiálu sa zatrieďuje do triedy A1-a (AASHTO M 145-91 klasifikácia). Zhutnenie výplňového materiálu je kontrolované po zhutnení každej vrstvy. Z dôvodu variability geotechnických podmienok zodpovedá výpočtový model konštrukcie najhorším podmienkam. Vrstvy zemin v modeli boli redukované na tri vrstvy s charakteristikami v tabuľke 1.

Skúšky Terramesh Systému dovoľujú stanoviť ekvivalentnú súdržnosť celej jednotky. Vlastnosti materiálov ako aj súdržnosť získaná empirickými vzťahmi je zobrazená v tabuľke 1. Vlastnosti primárnej a sekundárnej výstuže použitej pre všetkých 20 múrov sú uvedené v tabuľke 2.

Vzhľadom na drenážne charakteristiky výplňového materiálu vystužených konštrukcií, ktorým je drvené kamenivo, možno uvažovať s vysokou až strednou priepustnosťou.

Tabuľka 1 - Parametre zemin

Vlastnosti / Druh zemin	Výplňový materiál	Podlažie	TMS kamenivo
Uhol vnútorného trenia	°	39	23
Súdržnosť	c (kPa)	0	75
Objemová tiaž	(kN/m ³)	20,45	18
			17,5

Tabuľka 2 - Primárna a sekundárna výstuž

	Typ	Medza pevnosti v ťahu	Dlhodobá návrhová pevnosť
Primárna výstuž	ParaLink 400	400 kN/m	263 kN/m
Sekundárna výstuž	Dvojjákrutová sieť	50 kN/m	38,5 kN/m



Obr. 3 - Pohľad na novú rafinériu a polohu vystužených horninových oporných múrov

Návrh zohľadňuje výskyt podzemnej vody iba v podlaží, výplňový materiál sa uvažuje ako samo-drenážny.

Princípy medzných stavov únosnosti sú aplikované v návrhu konštrukcie. Konštrukcie boli posúdené v dvoch prípadoch – statické a seizmické posúdenie. Parciálne súčinitele sú v súlade s EN 1997-1, charakteristické zaťaženia sú prenasobené súčinitelmi (definovanými v tabuľke 3c) γ_G a γ_Q a takto sú získané návrhové hodnoty zaťaženia. Vlastnosti výstužného materiálu alebo vlastnosti zemin sú redukované súčinitelmi materiálu γ_m (definovanými v tabuľke 3b). Šmykové odolnosti a únosnosti zemin sú predelené súčinitelmi odolnosti γ_R (rovný alebo väčší ako 1), ktoré sú zhrnuté v tabuľke 3a.

Na kontrolu stability bol použitý návrhový prístup 1:

- kombinácia 1 (STR): $A1 + M1 + R1$ (statická) alebo $A1 + M1 + R1 + k_h \pm k_v$ (seizmická)
- kombinácia 2 (GEO): $A2 + M2 + R2$ (statická) alebo $A2 + M2 + R1 + k_h \pm k_v$ (seizmická),

kde $A1, M1, R1, A2, M2, R2$ sú skupiny súčiniteľov (tabuľka 3a, 3b, 3c) a k_v a k_h sú horizontálne a vertikálne seizmické koeficienty.

Tabuľka 3a – Parciálne súčinitele odolnosti podľa STN EN 1997-1

γ_R	R1	R2	R3
Celková stabilita	1	1,1	1
Posunutie múru	1	1,1	1
Preklopenie	1	1	1
Únosnosť podlažia	1	1,4	1

Tabuľka 3b – Parciálne súčinitele redukujúce charakteristiky zemin podľa STN EN 1997-1

γ_M	M1	M2
Objemová tiaž	1	1
Uhol vnútorného trenia	1	1,25
Efektívna súdržnosť	1	1,25
Šmyková pevnosť za neodvodnených podmienok	1	1,4

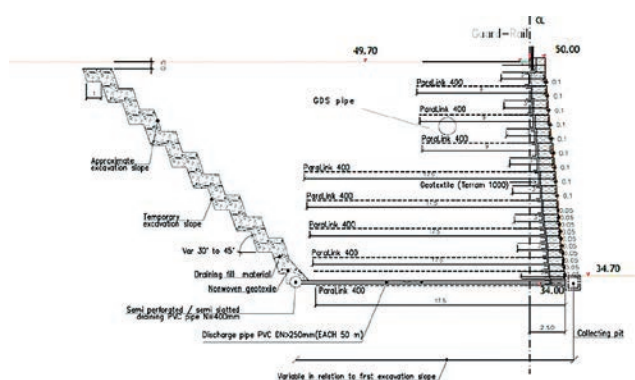
Tabuľka 3c – Parciálne súčinitele zaťaženia podľa STN EN 1997-1

γ_F	A1	A2
Trvalé-nepriaznivé	1,35	1
Trvalé-priaznivé	1	1
Premenné-nepriaznivé	1,5	1,3

Tabuľka 4 – Posúdenie stability najvyššieho prierezu múry D6

Kombinácia/ Posúdenie stability	Celková stabilita	Posunutie múry	Preklopenie múry	Únosnosť podložia	Vnútrná stabilita
Seizmická: $M2 + R1 (+ kv)$	1,115	1,141	2,607	1,313	1,096
Seizmická: $M2 + R1 (- kv)$	1,127	1,357	5,170	1,281	1,218
Statická : $A2 + M2 + R1$	1,583	3,335	7,220	2,531	1,464
Statická : $A1 + M1 + R1$	1,867	5,168	8,943	2,595	1,714

Z dôvodu množstva kombinácií zaťaženia a rôznorodnej topografie územia bolo analyzovaných viac ako 800 rôznych prierezov. Pričný rez najdlhšieho oporného múru D6, ktorého maximálna výška dosahuje 16,0 m, je znázornený na obrázku 4.



Obr. 4 – Charakteristický pričný rez – oporný múr D6

Múry boli navrhnuté a posúdené v programe MacStars, ktorý je založený na metóde medznej rovnováhy. Výstup z tohto programu je na obrázku 5 a obrázku 6, kde sú zobrazené potenciálne šmykové plochy, v závislosti od stupňa bezpečnosti sú farebne odlišené.

V návrhu sa uvažuje s rôznym vonkajším zaťažením:

- v miestach, kde neprebíha výroba: rovnomerné zaťaženie je rovné 50 kPa
- v miestach, kde prebieha výroba: rovnomerné zaťaženie je rovné 200 kPa (10 m od okraja svahu v prípade vedľajšej cesty, 12 m od okraja v prípade hlavnej cesty)
- v miestach, kde sú nádrže: uvažované je rovnomerné zaťaženie v dvoch prípadoch, v prípade plnej nádrže 200 kPa, v prípade prázdnej nádrže 0 kPa
- ťažké žeriavy: výnimočné zaťaženie rovné 85 kPa rovnomerne rozložené na ploche 12 m širokej a 1 m vzdalenej od vnútorného líca oporného múru.

Posúdenie stability pre najvyšší prierez ($H = 16$ m) je zhrnuté v tabuľke 4.

Monitoring vybraného prierezu

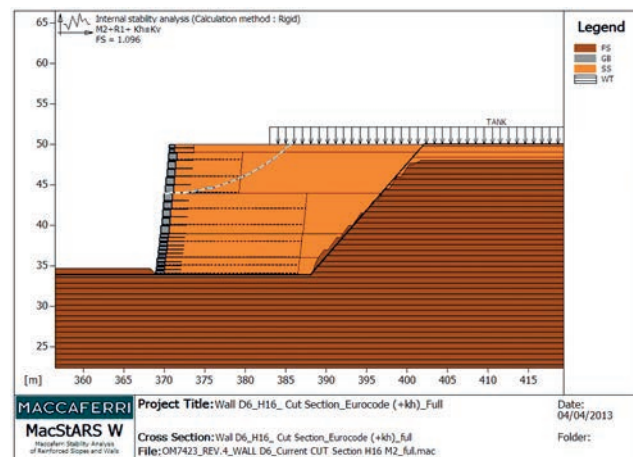
V priereze H16 oporného múru D6 boli umiestnené monitorovacie prostriedky. Na lícovej strane boli vertikálne umiestnené cieľové značky na meranie deformácií, a to každé 2 metre. Na geomrežu a dvojzákrutovú sieť boli osadené snímače sily. Extenzometre na meranie horizontálnych deformácií sa nachádzajú v tretinách výšky VH. Dlhodobé sledovanie konštrukcie prinesie presnejšie informácie

o statickej a seizmickej stabilite konštrukcie, o prenášaní síl vo vnútri konštrukcie a tiež jej deformáciách. Výsledky tohto výskumu budú použité na optimalizáciu návrhovania konštrukcií v budúcnosti.

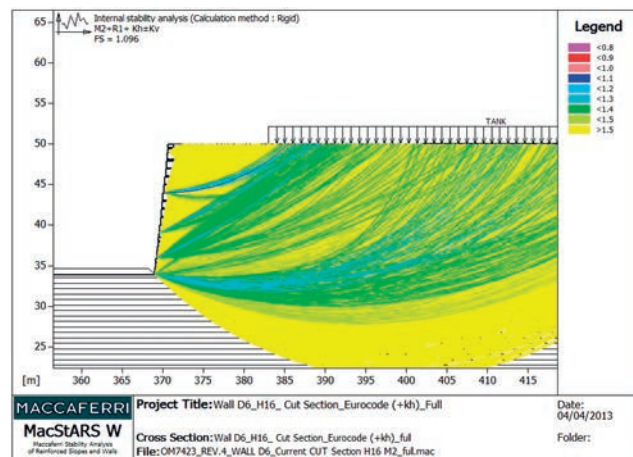
TECHNOLÓGIA VÝSTAVBY

Príprava staveniska a inštalácia geomreží

Podložie, na ktoré je Terramesh® Systém uložený, musí byť upravené do úrovne a stavu stanoveného projektovou dokumentáciou, povrch musí byť hladký, bez nerovností, vegetácie a nevhodnej zeminy. Geomreža ParaLink je uložená smerom od vonkajšieho líca kolmo na lícové. Šírka rolky geomreže je 4,5 m a dĺžka sa upravuje odrezaním podľa návrhu.



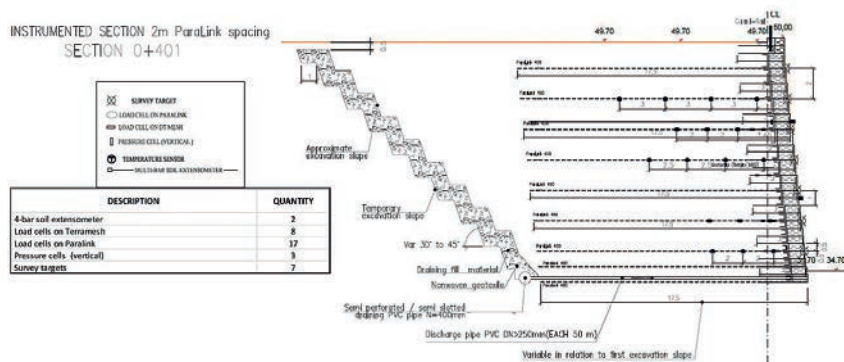
Obr. 5 – Výstup z programu MacStars



Obr. 6 – Šmykové plochy múry D6

Inštalácia Terramesh® Systému

Rozložené bloky sú vytiahnuté z balíka a položené na tvrdý, rovný podklad. Terramesh® Systém bloky sú roztvorené do ich originálneho predurčeného tvaru. Čelný, bočný a zadný panel sú zdvihnuté do vertikálnej polohy. Panely sú spojené pomocou hrubšieho spojovacieho hranovacieho drôtu vyčnievajúceho z rohov každého panelu. Spojenie sa vytvorí pevným obočným drôtom. Vnútrná deliaca priečka je uložená do vertikálnej polohy a zaistená tým istým spôsobom. Všetky hrany deliacej priečky a zadného panelu sú spojené s čelným panelom C-krúžkami.



Obr. 7 – Monitorovaný priečný rez – oporný múr D6

Plnenie gabionových košov kameňom

Životnosť a funkčnosť kameniva musí byť rovnaká po celú dobu návrhovej životnosti stavby a musí presahovať životnosť gabionov. Veľkosť kameňa je 1,5 – 2,0 násobok priemeru oka siete. Na čelnú pohľadovú stranu sa viazacím drôtom pripievajú pomocné dočasné debnenie. Doporučuje sa prefabrikované debnenie so zvislými a horizontálnymi priečkami vyrobené z ocelových uholníkov alebo pevných drevených hranolov. Po naplnení a zhutnení sa debnenie demontuje.



Obr. 8 – Rôzne etapy výstavby

Materiál zásypu

Pred začatím tejto etapy bola položená filtračná geotextília na zadnú časť gabionového koša v kontakte so sypaninou. Hutnenie v blízkosti do 1 m od čelnej časti je vykonávané s čo najvyššou opatrnosťou, pomocou ľahších hutniacich zariadení, aby sa predišlo vzniku porúch v múre, alebo v jeho pohľadovej ploche. Nesmie byť použitý hutniaci valec vo vzdialenosti menšej ako 1,0 m od zadnej steny koša.

ZÁVERY

1. Systémom hybridnej vystuženej horninovej konštrukcie bol navrhnutý 16 m vysoký oporný múr v seizmickej oblasti.
2. Terramesh® Systém je zložený z geomreže a lícových prvkov z dvojjákrutovej siete, ktoré spolu vytvárajú pružnú VHK.
3. Tento systém je, čo sa týka flexibility a prepracovanosti, najlepší na trhu a môže byť ľahko použitý v seizmických oblastiach, aj napriek tomu, že oporné múry sú vystavené vonkajším zaťaženiam, a to až 200 kPa.
4. Kombinácia geosyntetickej výstuže a dvojjákrutovej ocelevej siete je ekonomicky výhodná a praktická z hľadiska inštalácie.
5. Samodrenážne líce je ideálnou voľbou pre konštrukcie nachádzajúce sa v hornatom teréne so strmými svahmi pre svoju schopnosť prispôbiť sa nerovnomerným sadaniam a vibráciám vznikajúcim pri zemetraseniach.

Ing. Katarína Dolinajová, PhD.
FOTO: MACCAFERRI CENTRAL EUROPE

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY:

- [1] Dolinajová K., Sňahníčan J.: Oporné múry vystužené geomrežami a dvojjákrutovou ocelovou sieťou vystavené vysokému zaťaženiu v seizmickej oblasti, Geotechnická konferencia 2015
- [2] AASHTO M 145-91 (2012) Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes
- [3] ASTM D1557 – 12 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort
- [4] BS 8006: 2011 – Code of practice for strengthened/reinforced soils EN 1997 – Eurocode 7: Geotechnical design

Geogrid and Double Twist Steel Mesh Reinforced Soil Walls Subjected to High Loads in a Seismic Area

The paper intends to present the most impressive reinforced soil structures designed and under construction, up to 16 m high and 80° face inclination, more than 1.300 m long, subject to large loads producing overburden pressures of 200 kPa. Static and seismic analyses, the design layout and the construction techniques are introduced, monitoring of typical cross-sections, showing drawings, details and picture during construction.