GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM PODZÁKLADÍ MADRESY TILLA – KORI V SAMARKANDU

¹Shavkat Abdullaev, ¹Tohir Alikulov, ²Pavel Bláha

¹Shavkat Abdullaev, ¹Tohir Alikulov, Institut Gidroingeo, Taškent, Khodjibaeva 64, abdullaevs@mail.ru, takhir2004@mail.ru ²Pavel Blaha, GEOtest Brno, a.s., 28. října 287, Ostrava, blaha@geotest.cz

Abstract: The medieval architectonic buildings in the Central Asia have been damaged with a new phenomenon recently. The failures of buildings are caused by the thoughtless water management both by the surface waters and by the underground waters. The water regime changes in the subsoil of buildings carry to the destructions of the historical valued objects. The geophysics takes part to the investigation of these endangered buildings including their surroundings. There is some experience given in using geoelectrical and seismic methods in the Tilla-Kori madrassah investigation in the famous Registan square in the town of Samarkand mentioned this paper.

Úvod

Na území Uzbekistánu se nachází více než 2500 historických architektonických objektů. V současné době je více než 30 % z nich poznamenáno různými deformacemi. Základní příčiny vzniku deformací a jejich dalšího šíření je možné nalézt ve:

- zvyšování úrovně podzemní vody
- zavlažování okolních ploch
- úniky vody z vodovodu a kanalizace
- stékání dešťových srážek po stěnách budov a jejich vsakování pod základy.

K takto postiženým stavbám patří i jedna ze tří madres na náměstí Registan v Samarkandu – madresa "Tilla-Kori". Madresa Tilla-Kori byla postavena v létech 1640 – 1660. Stavba stojí na místě dřívějších karavanních hospod, stodol a dalších účelových staveb včetně budov starých trhovišť a různým typů středověkých obydlí. Madresa představuje rozsáhlý komplex budov přibližně čtvercového tvaru s vnitřním atriem. Celkový rozměr komplexu je 145 * 155 metrů. Pohled na jižní průčelí madresy je na obrázku 1.

Geologická stavba zájmového území

Z geomorfologického hlediska patří podzákladí madresy, stejně tak jako samotné historické jádro Samarkandu, ke starým dejekčním kuželům v povodí řeky Zeravšan. Tyto mocné kvartérní sedimenty překrývají starší podložní horniny. Čtvrtohorní zeminy jsou aluviálního, proluviálního, deluviálního a eluviálního původu, četné jsou jejich vzájemné přechody a směsi jednotlivých typů uloženin. Zeminy deluviálních kuželů jsou překryty sprašemi, hlínami, hlinitými písky, písky a různými typy štěrků. Mocnost celého kvartérního komplexu kolísá od 10 do 50 metrů, místy jsou mocnosti čtvrtohorních uloženin ještě větší.

Nejsvrchnější vrstva je na zkoumané lokalitě litologicky tvořena sprašovými vrstevnatými hlínami a písčitými či prachovitými hlínami. Ve struktuře zemin jsou často patrné makropóry. Na povrchu kvartérních zemin leží kulturní vrstva tvořená přemístěnými čtvrtohorními zeminami smíšenými se zbytky zdiva, střepů keramiky, zvířecích kostí a popela (20 - 25 %). Složení zemin je nehomogenní a obsahuje 10 - 15 % humusu, keramiky a dalších zbytků stavebních materiálů.

Mocnost navážek v okolí madresy Tilla-Kori dosahuje 7 až 15 metrů a na těchto antropogenních sedimentech je vlastní madresa založena. Pod severní a severozápadní částí stavby probíhá stará pohřbená úžlabina, která prochází i pod věží s kopulí (modrá kopule na obr. 1). Šířka úžlabiny je 17 až 20 metrů, hloubka 10 až 14 metrů. Prakticky celé



Obr. 1 Samarkand - madresa Tilla - Kori



Obr. 2 Změny hladiny podzemní vody ve vrtu 213

"koryto" úžlabiny je vyplněno antropogenními sedimenty. Antropogenní uloženiny jsou tvořeny nasypanými hlínami ve vrchní části a uloženinami zavlažovacího kanálu ve spodní části. Základní masa hlín a písčitých hlín je šedé až tmavě šedé barvy, charakter navážek je chaotický, sedimenty jsou kypré, místy dokonce sypké.

Podzemní vody do kvartérních uloženin stékají z předhůří a jsou doplňovány infiltrací z vodního díla Chišrau, zavlažovacích kanálů a městské vodovodní a kanalizační sítě. Dlouholeté sledování úrovně hladiny podzemní vody ve vrtu 213 ukázalo v létech 1964 – 2004 stálé stoupání HPV, a to ze 21 metrů do 17 metrů (obr. 2). Zvýšení úrovně podzemních vod je zapříčiněno nejen zvýšenou infiltrací, ale i zhoršením podmínek odtoku povrchových i podzemních vod vyvolaných vyrovnáváním terénu v širším okolí náměstí Registan.

Geofyzikální měření

Geofyzikální měření bylo prováděno metodami mělké refrakční seismiky, seismické tomografie, vertikálního elektrického sondování a specificky používanou metodou "vertikálního elektrického profilování". Pro tuto metodu bývá ve Střední Asii používán termín "geofyzikální girlanda" (Abdullaev a Tursunmetov, 2000). Seismický profil byl veden u západní stěny komplexu. Seismická tomografie byla měřena okolo západního křídla madresy v místech, kde se nalézá mešita a byla aplikována v systému povrch – povrch. Vzdálenost mezi profilem se zdroji a profilem se snímači byla 30 metrů. Vertikální elektrické sondování bylo měřeno kolem celého obvodu madresy.

Vertikální elektrické profilování (geofyzikální girlanda) bylo měřeno ve vrtu u severozápadního rohu madresy. Metoda geofyzikální girlandy je založena na měření zdánlivého měrného odporu podél osy vrtu nebo šachtice. Takovýto vrt bývá většinou hlouben ručně. Girlanda elektrod s rozestupem 0,5 metru je zapuštěna až k počvě vrtu a následně je vrt zasypán materiálem, který byl z vrtu vytěžen při vrtání. Je snahou, aby při zasypávání byly zachovány litologické



XIV. 1-2 (2007)



7 - zóna zvýšené vlhkosti (W > 20%); 8 - obrys trhliny (1995)

Obr. 3 Schématická mapa geofyzikálního měření u madresy Tilla Kori (Samarkand)

hranice. Měření probíhá buď formou Wennerova uspořádání nebo uspořádání potenciálového. Krok všech měření bývá volen 0,5 metru. Při vrtání se s krokem 0,25 metru odebírají porušené vzorky pro laboratorní stanovení vlhkosti. Situace geofyzikálního měření je na obrázku 3.

Výsledky měření

Geoelektrické měření u západní stěny madresy, kde jsou hlavně rozvinuty deformační procesy, vyčlenilo čtyři vzájemně odlišné vrstvy (obr. 4). První dvě vrstvy odpovídají antropogenním sedimentům a dosahují mocnosti 7 – 12 metrů s tím, že u jihozápadního rohu madresy (jižní část profilu) se jejich mocnost zvyšuje až na 17 metrů. První vrstva



6 - šachtice; 7 - vrt

Obr. 4 Geoelektrický řez na profilu PIII

s měrnými odpory 9 až 52 ohmmetrů odpovídá suchým navážkám s přirozenou vlhkostí 10 - 15 %. Druhou vrstvu tvoří navážký vlhké s měrnými odpory 9 až 17 ohmmetrů (vlhkost 21 - 24 %). Podložní spraše a hlíny mají měrný odpor 5,0 až 7,2 ohmmetru a přirozenou vlhkost 18 až 22 %. V nejspodnější zachycené vrstvě jsou ve sprašových hlínách přítomné tenké čočky štěrků, které zvyšují měrný odpor této vrstvy na 11 až 13 ohmmetrů. Na obrázku 4 je patrné, že shoda mezi výsledky přímých průzkumných prací a výsledky geoelektrických metod je velmi dobrá.



Obr. 5 Seismický řez na profilu PV

Měření mělkou refrakční seismikou bylo provedeno pouze u západní stěny madresy (obr. 5). Je překvapující, že shoda mezi litologickými hranicemi zjištěnými z vrtu a šachtic není tak dobrá, jako tomu bylo u geoelektrických měření. Tuto skutečnost je možné zčásti vysvětlit větší vzdáleností přímých průzkumných děl od seismického profilu. Přes toto zjištění je patrné, že první dvě seismické vrstvy s největší pravděpodobností odpovídají navážkám. Rychlosti první vrstvy se pohybují v mezích 180 až 295 m/s. Tato vrstva nabývá největší mocnosti v místech, kde jsou ve zdivu západní stěny madresy patrné trhliny. V Uzbekistánu je pro tyto zeminy a tuto lokalitu odvozen vztah mezi rychlostí a objemovou hmotností. Z něho vychází přirozená objemová hmotnost první vrstvy v mezích 1,65 až 1,68 g/cm³. I z tohoto čísla je patrné, že se jedná o kypré zeminy, u kterých nepřekvapuje náchylnost k prosedání.

Druhá seismická vrstva má rychlosti 335 - 445 m/s, její mocnost kolísá mezi 5 až 9 metry. Tvar druhého refrakčního horizontu je velmi podobný prvnímu seismickému rozhraní. Ve staničení 30 metrů můžeme opět vidět zahloubení, které je pravděpodobně vázáno po oslabené místo v podložních spraších. Objemová hmotnost této vrstvy, stanovená obdobně jako u první vrstvy, se pohybuje v mezích 1,78 - 1, 89 g/cm³. V podložních hlinitých spraších stoupá rychlost na hodnoty 570 – 800 m/s. Ještě hlouběji je možné nalézt další hranici, na které je rychlostní gradient nejvyšší ze všech zjištěných refrakčních horizontů. Rychlost zde narůstá až na hodnoty 1470 až 2170 m/s. Toto lámavé rozhraní s největší



Obr. 6 Pole rychlostí na profilu PV

pravděpodobností odpovídá hladině podzemní vody.

Při interpretaci mělké refrakční seismiky s použitím metody pronikání vychází ve staničení 10 metrů v hloubkách pod 5 metrů zóna s vysokými rychlostmi (obr. 6). S největší pravděpodobností je tato anomálie způsobena pohřbenými zbytky starého zdiva nebo základů budov z období, které předcházelo stavbě madresy.

Seismická tomografie (Bláha P. et al., 1994) byla měřena pod částí madresy, kde je umístěna mešita spolu s věží a kopulí (obr. 7). Z výsledků seismické tomografie můžeme vyčíst, že zóny nízké rychlosti (pod 280 m/s), leží převážně v místech, kde jsou zaznamenány projevy deformace madresy. Na základě těchto měření není možné říci, zda porušení bylo vázáno na oslabenou zónu zeminového masivu, nebo zda jde o projevy mladé, svázané s prosedáním spraší způsobeným zvyšováním úrovně podzemní vody a zvyšováním vlhkosti vrchních vrstev sedimentárního komplexu. Existenci zón s vyššími rychlostmi vysvětlují uzbečtí kolegové existencí pohřbených zbytků starého zdiva či základů (podobně jako v předchozím příkladě).



1 - bod "výbuchu"; 2 - geofon; 3 - obrys medresy; 4 - porucha stavby druhý cyklus



třetí cyklus



Obr. 7 Pole rychlostí z opakované seismické tomografie



Obr. 8 Grafy změn měrného odporu a vlhkosti v geofyzikálních girlandách

Z opakovaných měření seismické tomografie je patrné, že rozložení rychlostí podélných vln pod západním křídlem madresy se v čase nemění.

Pro určení změny vlhkosti zeminového masívu bylo uskutečněno měření s "geofyzikální girlandou" umístěnou v severozápadním rohu zkoumaného prostoru (Durdyeva a Abdullaev, 2006). Výsledky naměřených zdánlivých měrných odporů a přirozené vlhkosti jsou na obrázku 8. V intervalu 0,0 až 2,0 metry byla v dubnu přirozená vlhkost 19 až 20 %, potom v říjnu se zvýšila na 27 %. V hloubkách 2,0 až 3,5 metru zůstává ve všech etapách měření vlhkost stejná a dosahuje hodnot 18 - 19 %. V intervalu 3,4 – 4,5 metru se od dubna do října vlhkost zvětšila z 20 % na 24 %, ještě hlouběji (5,25 m) se vlhkost změnila ještě výrazněji, a to z 22 % na 28 %.

Závěr

Geofyzikální měření podalo v oblasti madresy Tilla-Kori základní obraz o geologické stavbě území. Metodika geofyzikálních prací byla uzpůsobena charakteru archeologického průzkumu, včetně opakování některých měření v průběhu jedné měřické sezóny.

Geoelektrická měření ukázala na zvýšenou vlhkost zejména antropogenních sedimentů v severozápadní části zkoumaného území. Největší vlhkosti byly zjištěny v říjnu 2003. Zvýšení vlhkosti je důsledkem zavlažování a zalévání na okolních pozemcích v období relativního sucha (červen – září).

V místech, kde již byly zaznamenány deformace madresy bylo zjištěno snížení rychlostí podélných vln v povrchových vrstvách, případně i v podložních spraších. Z výsledků seismické tomografie se výrazně vyděluje zóna nízkých rychlostí, která odpovídá oblasti s poruchami stavby. Rozměr zóny je 12 x 15 m a tato zóna se nachází pod jednou z nejexponovanějších částí stavby, pod místem, kde stojí věž s kopulí. Toto pásmo nízkých rychlostí souhlasí s polohami, ve kterých byla zjištěna zvýšená vlhkost zemin. Zvýšení vlhkosti zeminového masivu se stalo příčinou snížení pevnosti a následně deformací stavby.

Literatura

- Abdullaev S. H. a R. A. Tursunmetov, 2000: Možnosti geofyzikálních metod při výzkumu historických památníků. In Sborník mezinárodního sympozia: Vliv zasolení zemin a podzemních vod na histiroclé památníky Střední Asie, UNESCO, Samarkand, s. 52 – 56.
- Bláha P., Kottas J. a J. Sochor 1994: Geologické nehomogenity v seismické tomografii., In Sborník: 7th International Congress IAEG, Balkema, Rotterdam, s. 79-87.
- Durdyeva G. C. a S. H. Abdullaev 2006: Komplexní geologicko-geofyzikální sledování základů historických architektonických památníků v Chivě., Vydavatelství Chorezemské akademie "Mabmuna", Chiva, 72 s.