

## Interakcia mostnej konštrukcie SO 201 s podložím – návrh hĺbkového zakladania mostov

Príspevok sa zaoberá postupom návrhu hĺbkového zakladania mostných objektov na stavbe D55 (R55) 5508 Staré Město – Moravský Písek. V lokalite budúceho staveniska sú zložité základové pomery. Zvolený spôsob návrhu a posúdenia zakladania vychádza z aktuálneho softvérového vybavenia autorov – programov GE05 a midas Civil. Prezentované výsledky sú výsledkom riešenia mostného objektu SO 201, ktorý sa modeloval v interakcii s podložím.

### POPIS STAVBY

Spoločnosť Amberg Engineering Slovakia s.r.o. Bratislava v združení s firmami HBH Projekt spol. s r.o., Link projekt s.r.o. a Geotest (Česká republika) a s firmou Complex Projekt Sp. z o.o. (Poľsko) spracováva dokumentáciu na stavebné povolenie (DSP) časti diaľnice D55 (v predchádzajúcich stupňoch dokumentácie označená ako rýchlostná cesta R55) v Českej republike. Trasa existujúcej cesty I/55 sa nachádza v blízkosti viacerých miest, alebo dokonca prechádza ich centrami. Intenzita dopravy je vysoká s výhľadom jej ďalšieho rastu. Budúca diaľnica D55 spája mestá Olomouc – Píerov – Hulín – Břeclav. Celková dĺžka diaľnice je 101 km, rozdelená je na 15 stavieb, z toho v príprave je 82 km. Prepojenie D55 bude po dobudovaní z diaľnice D49 na diaľničnú sieť v Slovenskej republike na rýchlostnú cestu R6 štátna hranica ČR/SR – Púchov a na diaľnicu D2 štátna hranica ČR/SR – Kúty.

Stavba 5508 začína v Zlínskom kraji, v okrese Uherské Hradišče, pri meste Staré Město, v blízkosti ktorého sa nachádza Velehrad, centrum Veľkomoravskej ríše, s významnými archeologickými nálezmi. Koniec stavby je v Juhomoravskom kraji, v okrese Hodonín, pri meste Moravský Písek. Projekt D55 Staré Město – Moravský Písek má dĺžku 9,0 km. Kategória cesty je D (R) 25,5/120. Pre stavbu 5508 bolo vydané kladné stanovisko k dokumentácii EIA a bolo vydané územné rozhodnutie. V stupni DSP je riešených viac ako 120 objektov, z toho je 6 mostných objektov na diaľnici D55 a 3 mosty sú navrhnuté na preložkách ciest.

### POPIS MOSTA SO 201

Objekt SO 201 Most na D55 (R55) cez Zlechovský potok v km 17,63 sa nachádza na diaľnici D55. Most preklenuje Zlechovský potok a regionálny biokoridor, v budúcnosti sa uvažuje s výstavbou poľnej cesty pod mostom. Dĺžka premostenia je 49,50 m, dĺžka mosta je 66,70 m. Diaľnica D55 na moste je smerovo v prechodnici L = 557,78 m, priečny sklon vozovky je jednostranný 2,5%. Niveleta má premenný sklon, pretože sa most nachádza vo výškovom zakružovacom oblúku s polomerom R = 80 000 m. Voľná šírka vozovky je 11,75 m (ľavý aj pravý most), na vonkajších stranách mosta sa nachádzajú služobné chodníky šírky 0,75 m. Most má pravú šikmosť, úložný uhol a uhol kríženia sú približne rovnaké, asi 74,8 g.

### Nosná konštrukcia

Každý jazdný pás diaľnice D55 je umiestnený na samostatnej konštrukcii, rovnakej pre ľavý aj pravý most. Nosná konštrukcia je tvorená dodatočne predpätou plnou monolitickou doskovou konštrukciou s rozpätiami polí 15,00 + 21,00 + 15,00 m (obr. 1). Dĺžka nosnej konštrukcie je 52,80 m. Šírka dosky pri spodnom povrchu je 7,05 m, vyloženie konzolovej časti dosky je po 3,30 m. Celková šírka nosnej konštrukcie je 13,65 m. Hrúbka dosky je konštantná 1,00 m (obr. 2). Konzolová časť dosky má vo votknutí hrúbku 0,60 m, smerom k voľným okrajom sa hrúbka mení až na 0,25 m. Nad oporami sú navrhnuté koncové priečniky výšky 1,00 m s vybratím pre kotvenie mostného záveru. Horný povrch nosnej konštrukcie má podobne ako vozovka jednostranný sklon 2,5%.

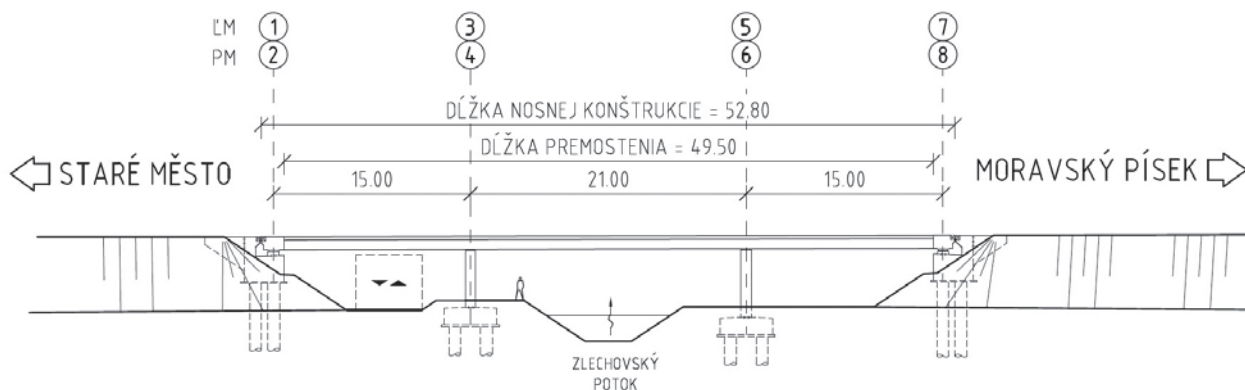
Uloženie nosnej konštrukcie pri oporách je prostredníctvom hrncových ložísk. Na každej opore sú navrhnuté dve všesmerné ložiská. Nad vnútornými podperami je nosná konštrukcia uložená pomocou vrubových klbov.

Nosná konštrukcia je navrhnutá z betónu triedy C 35/45. Pozdĺžne súdržné predpätie je tvorené káblami z 19 lán  $\varnothing$  Ls 15,7 – 1 860 MPa. Káble sú vedené v oceľových rúrkach. Betonárska výstuž je triedy B 500B.

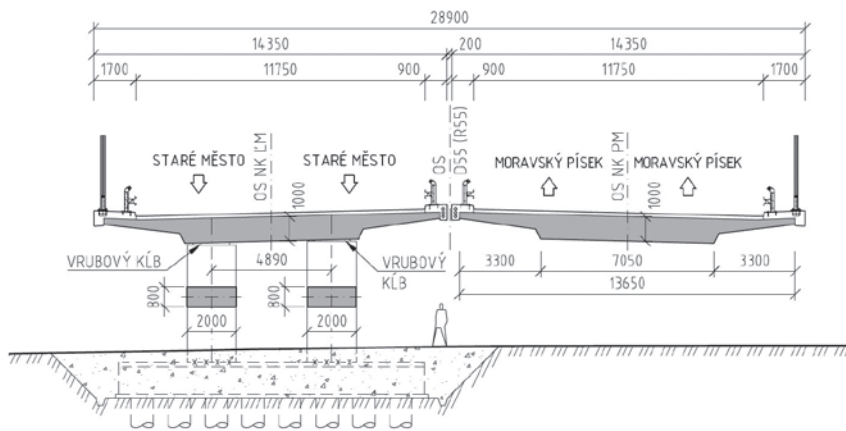
### Spodná stavba a zakladanie

Konštrukciu železobetónových monolitických opôr tvorí driek s úložným prahom, záverný múrik a zavesené krídla. Výška drieku opory je premenná. Horná plocha úložného prahu sleduje v priečnom smere sklon mostovky. V pozdĺžnom smere je plocha vyspádovaná od líca podpery k závernému múriku v sklone 4%. Na hornej ploche úložného prahu sú umiestnené bloky pre osadenie mostných hrncových ložísk. Záverný múrik má hrúbku 0,75 m. Na lícnej strane záverného múrika je vytvorené vybratie pre kotvenie mostného záveru, na rubovej strane je priestor pre uloženie prechodovej dosky. Mostné krídla sú navrhnuté ako zavesené, votknuté do drieku opory a do záverného múrika.

Vnútorne podpery tvorí dvojica stenových železobetónových prvkov s rozmermi 2,00 × 0,80 m. Drieky podpier sú votknuté do spoločnej železobetónovej základovej pätky s pôdorysnými rozmermi 12,40 × 4,00 m. Výška pätky v mieste votknutia pilierov je 1,30 m, horný povrch základu má sklon 4%.



Obr. 1 – Most 201 – pozdĺžny rez



Obr. 2 – Most 201 – priečný rez nad podperou a v poli

Založenie mosta sa navrhlo hĺbkové na vŕtaných veľkopriemerových pilótach  $\varnothing$  900 mm. Hlavy pilót sú do opôr a do základových pätiék pilierov votknuté.

### GEOLOGICKÉ A PRÍRODNÉ POMERY V OKOLÍ STAVBY

Zájumové územie geomorfologicky (Czudek et al. 1972) je súčasťou sústavy Vnútrokarpatskej nížiny, podsústava Viedenská panva, celok Dolnomoravský úval, podcelok Dyjskomoravská pahorkatina. Dyjskomoravská pahorkatina je situovaná medzi tokmi rieky Morava a Dyje a Stredomoravskými Karpatmi a je to typická plochá nížinná pahorkatina eróznó-denudačného charakteru so stopami periglaciálnej modelácie. Morfológia terénu je typická širokými a plochými, nevysokými hrebeňmi, oddelenými pomerne širokými a plochými údoliami miestnych vodných tokov.

Základové pomery mostného objektu SO 201 sú vyhodnotené ako zložité. Dôvodom sú vyskytujúce sa málo kvalitné, málo únosné, stlačiteľné, vysoko plastické a nebezpečne namázavé základové pôdy. Taktiež je podložie tvorené častým striedaním tenkých geologických vrstiev odlišných parametrov. V zmysle požiadavky geotechnického návrhu podľa ČSN EN 1997-1 sa jedná o 2. geotechnickú kategóriu.

Vo vrchných vrstvách kvartéru celkovej mocnosti do 2,90 m je podložie tvorené prevažne ílovito-piesčivými fluviálnymi sedimentmi (F4) až ílovitými sedimentmi (F8) – holocénné sedimenty. V nižších vrstvách podložia tvoreného kvartérnymi fluviálnymi sedimentmi v hĺbke od 2,90 do 11,30 m sa nachádzajú piesčité (S4), ílovité (F4) a štrkovité (G3) zeminy s premenlivým obsahom jemnozrnej frakcie – terasové pleistocénne sedimenty. Tercier od hĺbky 11,30 m je prevažne piesčivý s premenlivým obsahom jemnej frakcie (S3, S4, S5), v nižších polohách sa nachádza viacero ílovitých šošoviek (F6). Hladina podpovrchovej vody bola narazená v hĺbke 6,30 m.

V zmysle platnej ČSN EN 1998 Navrhování konstrukcí odolných proti zemetřesení patří vyššie uvedená oblasť do kategórie podložia triedy D. Jedná sa o sedimenty z kyprých až stredne uľahnutých nesúdržných zemín, alebo z prevažne mäkkých až pevných súdržných zemín.

### NÁVRH ZAKLADANIA MOSTNEJ KONŠTRUKCIE

Pri návrhu zakladania mostného objektu sa vychádzalo z najnepriaznivejšej kombinácie zaťažovacej schémy mostnej konštrukcie, model mosta s votknutím. Výpočet sa vykonal v programe GEO5 v5.19. Nakoľko v module Skupina pilót nie je možné počítať s premenlivou tuhosťou roznašacieho prvku (v danom prípade železobetónovej základovej pätky) a zaťaženie je možné zadávať len ako centricky pôsobiace zaťaženie vzhľadom na osi základovej pätky (v skutočnosti pod každým pilierom pôsobia rôzne zložky zaťaženia), výpočet sa uskutočnil pomocou modulu Pilóta. Dôležitou súčasťou static-

kého posúdenia jednej pilóty bolo čo najpresnejšie zadefinovanie geologickej skladby podložia, aby bol výpočtový model čo najpresnejší. Výpočet pilót sa vykonal pružinovou metódou založenej na princípoch metódy konečných prvkov.

Výpočtový postup pomocou pružinovej metódy sa zvolil hlavne kvôli dostupnosti vstupných údajov o horninovom prostredí a preto, že pilóta nezasahuje do nestlačiteľného podložia. Metóda umožňuje zohľadniť negatívne plášťové trenie, pri ktorom dochádza ku zvýšenému sadnutiu pilóty bez nárastu zaťaženia. Výhodou tejto metódy je aj definovanie šmykovej únosnosti plášťa pilóty. Limitné šmykové napätie nad hladinou podpovrchovej vody je dané vzťahom:

$$\tau = \sigma_z \cdot k \cdot tg \varphi + c \quad (1)$$

pričom:

- $\sigma_z$  – geostatické napätie v mieste pilóty [kPa]
- $k$  – koeficient zväčšenia medznej plášťového trenia vplyvom technológie [-]
- $\varphi$  – uhol vnútorného trenia zeminy v mieste pilóty [°]
- $c$  – súdržnosť zeminy v mieste pilóty [kPa].

V prípade, ak je plášť pilóty pod hladinou podpovrchovej vody, limitné šmykové napätie sa zníži a vzťah je definovaný ako:

$$\tau = (\sigma_z - u) \cdot k \cdot tg \varphi + c \quad (2)$$

pričom:

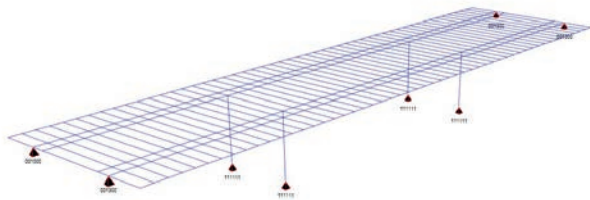
- $u$  – pórový tlak pod hladinou podpovrchovej vody [kPa].

Iteračným výpočtom zakladania mostného objektu SO 201 sa hneď v prvom kroku určili úzke limity pre optimalizáciu celej mostnej konštrukcie. Jednalo sa o stanovenie počtu a rozmiestnenie pilót v zmysle zásad pre zabezpečenie maximálneho limitného sadnutia. Nakoľko boli v procese prvej iterácie známe zaťaženia na úrovni 95 % presnosti, boli aj výsledné hodnoty s 95 % presnosťou aplikované do výpočtového modelu v programe midas Civil. V procese druhej iterácie sa opätovne do programu GEO5 zadali nové zaťaženia od spodnej stavby. Z daných zaťažení sa určili presné vnútorné sily pilót, deformácie a sadnutie pilóty. Výsledky z programu GEO5 pre samostatnú pilótu sa prepočítali na skupinu pilót pomocou výpočtu fiktívneho plošného základu. Sadnutie sa vypočítalo ako súčet sadnutí „n“ počtu jednotlivých pilót na mobilizácii plášťového trenia a sadnutia fiktívneho základu v úrovni piat pilót, ktorých rozmer je daný rozmerom fiktívneho základu.

Z výstupov aplikovaných späť do programu midas Civil môžeme usúdiť, že zakladanie mosta je navrhnuté s dostatočnou presnosťou výpočtu. Pri ďalších krokoch iterácie by nedochádzalo ku významným odchýlkam, preto bol proces po druhom kole iterácie ukončený.

### VÝPOČTOVÉ MODELY MOSTA A PODLOŽIA

Pre stanovenie reakcií v spodnej stavbe sa vytvorili dva priestorové modely mosta v programe midas Civil. V oboch prípadoch model pozostával z roštového modelu nosnej konštrukcie a pilierov. V prvom modeli sa podoprenie modelovalo ako votknutie (obr. 3). Pomocou tohto modelu sa určili maximálne reakcie pre návrh priemeru, počtu a dĺžky pilót. Počet pilót sa navrhol podľa zásad platných pre rozmiestnenie veľkopriemerových pilót. Pilóty sa posúdili ako jednotlivá pilóta v prostredí programu GEO5. V druhom modeli sa



Obr. 3 – Model mosta s votknutými podperami



Obr. 4 – Model mosta so základovými pätkami a pilótami

namiesto votknutia modelovali základové pätky spolu s pilótami (obr. 4). Plášťové trenie na pilótach sa modelovalo v programe midas Civil ako poddajné podoprenie po celej dĺžke pilót, pričom jednotlivé tuhosti poddajných podpier zodpovedali príslušnej geológii v danej vrstve geologického profilu. V oboch modeloch sa okrem zaťaženia zohľadnil aj postup výstavby, vplyv dotvarovania, zmršťovania, ako aj účinky predpätia.

Z výsledkov získaných z priestorového modelu so základovými pätkami a pilótami (obr. 4) sa následne vyhľadali najnepriaznivejšie účinky kombinácií zaťaženia zahŕňajúce premenné zaťaženia na najviac namáhanú pilótu v rámci jednej podpory. Najnepriaznivejšie účinky kombinácií zaťaženia zahŕňali najnepriaznivejšiu polohu pohyblivého zaťaženia nielen v pozdĺžnom, ale aj v priečnom smere mosta.

## ZÁVER

Výpočet pilótového základu sa vykonal pomocou programov GE05 v5.19 a midas Civil, pričom sa zohľadnilo spolupôsobenie mostnej konštrukcie s podložíom. Porovnaním návrhových osových síl z geotechnického výpočtu a osových síl získaných z priestorového modelu mosta sa zistilo, že rozdiel tvorí 0,5 %. K takejto presnosti výpočtu je možné dospieť už po dvoch iteráciách. Výhodou vytvoreného modelu mosta je optimalizovanie výstuže v základových pätkách a možnosť dodatočnej kontroly geotechnického výpočtu. Ďalšia optimalizácia konštrukcie je možná po zapracovaní výsledkov podrobného inžiniersko-geologického prieskumu pri návrhu mosta v ďalšom stupni projektovej dokumentácie.

Ing. Ľubomír Kožlej,  
lkozlej@amberg.sk,

Ing. Viktor Tóth,  
vtoth@amberg.sk,

Ing. Konštantín Kundrát, CSc.,  
kkundrat@amberg.sk,

Amberg Engineering Slovakia, s. r. o.

## LITERATÚRA:

- [1] Kolektív: SO 201 Most na D55 (R55) přes Zlechovský potok v km 17,63 Dokumentace pro vydání stavebního povolení, Košice 2016
- [2] ČSN EN 1536 Provádění speciálních geotechnických prací – Vrtané piloty
- [3] ČSN EN 1992-2 Eurokód 2. Navrhování betonových konstrukcí – Část 2. Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady
- [4] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7. Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla
- [5] ČSN EN 1998 Eurokód 8. Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení
- [6] VAŠÁK, A., MICHALEC, Z.: Rychlostní silnice R 55, stavba 5508 Staré Město – Moravský Písek. Závěrečná zpráva. Podrobný geotechnický průzkum, Praha 2012.

### Interakcia mostnej konštrukcie SO 201 s podložíom – návrh hĺbkového zakladania mostov

The paper deals with the procedure design of pile foundation of a bridge SO 201 for road construction D55 (R55) 5508 Staré Město – Moravský Písek in the Czech Republic. The calculation is performed using the programs GE05 v5.19 and midas Civil, whereby was allowed synergies bridge construction with subsoil. Iterative solution procedure already confirmed in two steps very well in practice acceptable compliance of the results obtained.

## PROJEKTUJEME

pozemné, vodohospodárske, inžinierske, dopravné stavby, geotechnické konštrukcie, vrátane statických výpočtov, rizikové analýzy, vizualizácie a animácie



## REALIZUJEME

inžiniersku, poradenskú a expertíznu činnosť, geotechnický monitoring, zameriavanie budov a tunelov, školenia a kurzy



## DOZORUJEME

diaľnice, železnice, mosty, vodovody, kanalizácie, ČOV, tunely, priemyselné parky a iné inžinierske a pozemné stavby, vrátane ich technologického vybavenia



AMBERG ENGINEERING SLOVAKIA, s.r.o.  
Somolického 1/B, 811 06 Bratislava  
tel.: +421 2 5930 8261  
e-mail: info@amberg.sk  
www.amberg.sk

