

# Výpočet pilótového základu – interakcia mostnej konštrukcie s podložíím

Príspevok sa zaoberá postupom návrhu pilótového základu mostného objektu SO 205 na stavbe D55 (R55) 5508 Staré Město – Moravský Písek v Českej republike. Výpočet sa vykonal pomocou programov GEO5 v5.19 a midas Civil, pričom sa zohľadnilo spolupôsobenie mostnej konštrukcie s podložíím. Iteračný postup riešenia potvrdil už v dvoch krokoch v praxi veľmi dobre akceptovateľnú zhodu získaných výsledkov.

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, Písek, Hulín a Břeclav. Investícia je rozdelená do 15 stavieb, celková dĺžka diaľnice je 101 km, z toho v príprave je 82 km. Po dobudovaní bude D55 prepojená 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 sa začína v Zlínskom kraji, v okrese Uherské Hradiště, pri meste Staré Město. V jeho blízkosti sa nachádza Velehrad, centrum Veľkomoravskej ríše, s významnými archeologickými nálezmi. Stavba sa končí 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. Na stavbu 5508 bolo vydané kladné stanovisko k dokumentácii EIA a územné rozhodnutie. V stupni DSP sa rieši viac ako 120 objektov, z toho 6 mostných objektov je na diaľnici D55 a 3 mosty sú navrhnuté na preložkách ciest.

Príspevok sa podrobnejšie zaoberá postupom návrhu hĺbkového zakladania most-

ných objektov na tejto stavbe, kde sú v lokalite budúceho staveniska zložité základové pomery. Zvolený spôsob návrhu a posúdenia zakladania vychádza z aktuálneho softvérového vybavenia autorov – programov GEO5 a midas Civil. Prezentované výsledky sú výsledkom riešenia mostného objektu SO 205, ktorý sa modeloval v interakcii s podložíím.

## Opis mosta

Objekt SO 205 Most na D55 (R55) cez Polešovský potok v km 22,58 sa nachádza na diaľnici D55, preklenuje Polešovický potok, lokálny biokoridor a poľnú cestu. Dĺžka premostenia je 49,68 m, dĺžka mosta je 60,56 m. Diaľnica D55 je na moste smerovo v priamej, niveleta má premenný sklon, pretože sa most nachádza vo výškovom zakružovacom oblúku s polomerom  $R = 350\,000$  m. Vozovka má jednostranný priečny sklon 2,5 %. Voľná šírka vozovky je 11,75 m (ľavý aj pravý most), na vonkajších stranách mosta sa nachádzajú služobné chodníky. Most má ľavú šikmosť, úložný uhol a uhol kríženia sú približne rovnaké, asi 88,0g.

## Nosná konštrukcia

Každý jazdný pás diaľnice D55 je umiestnený na samostatnej konštrukcii, rovnakej pri ľavom aj pravom moste. Nosnú konštrukciu tvorí dodatočne predpätá plná monolitická dosková konštrukcia s rozpätiami 15,00 + 21,00 + 15,00 m (obr. 1). Dĺžka nosnej konštrukcie je 52,726 m. Šírka dosky pri spodnom povrchu je 7,65 m, vyloženie konzolovej časti dosky je po 3,00 m. Celková šírka nosnej konštrukcie je 13,65 m. Doska má konštant-

nú hrúbku 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 s výškou 1,00 m s vybratím na kotvenie mostného záveru. Horný povrch nosnej konštrukcie má, podobne ako vozovka, jednostranný sklon 2,5 %.

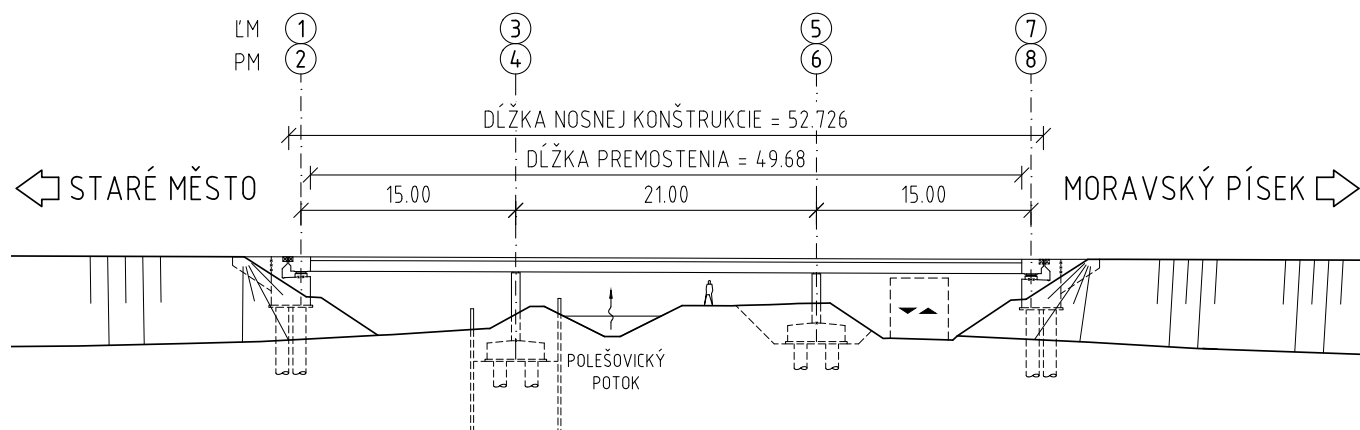
Nosná konštrukcia je pri oporách uložená prostredníctvom hrncových ložísk. Na každej opore sú navrhnuté dve všesmerné ložiská. Nad vnútornými podperami je nosná konštrukcia uložená pomocou vrubových kĺbov.

Nosná konštrukcia je navrhnutá z betónu triedy C 35/45. Pozdĺžne súdržné predpätie tvoria káble z 19 lán  $\varnothing L_s 15,7 - 1860$  MPa, káble vedú v oceľových rúrkach. Betonárska výstuž je triedy B 500B.

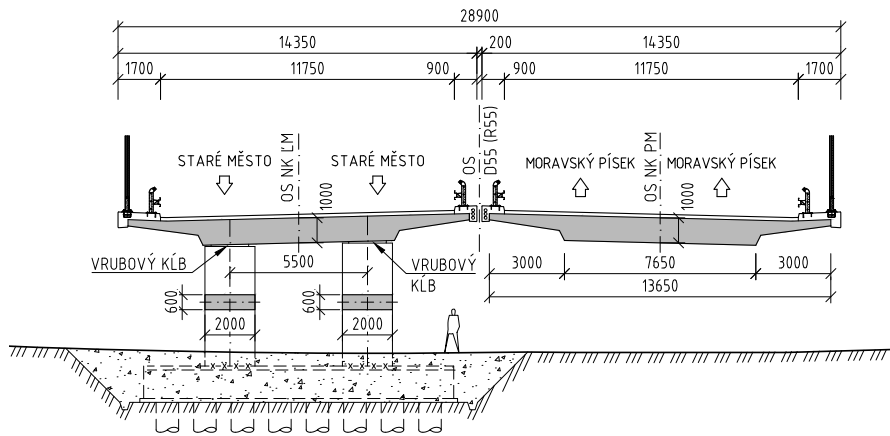
## Spodná stavba a zakladanie

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 podpory k závernému múriku v sklone 4 %. Na hornej ploche úložného prahu sú umiestnené bloky na osadenie mostných hrncových ložísk. Záverný múrik má hrúbku 0,75 m. Na jeho líčnej strane je vytvorené vybratie na kotvenie mostného záveru, na rubovej strane je priestor na uloženie prechodovej dosky. Mostné krídla sú navrhnuté ako zavesené, votknuté do drieku opory a záverného múrika.

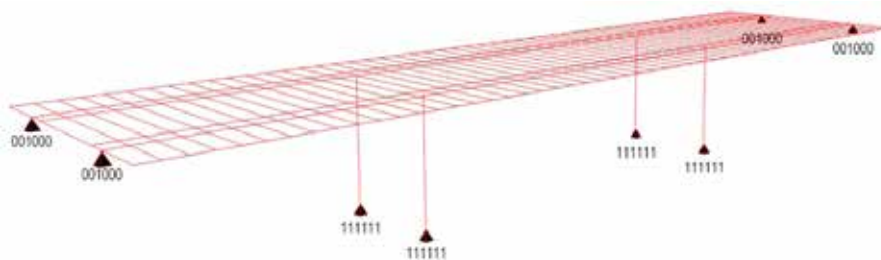
Vnúterné podpory tvorí dvojica stenových železobetónových prvkov s rozmer-



Obr. 1 Most 205 – pozdĺžny rez



Obr. 2 Most 205 – priečný rez nad podperou a v poli



Obr. 3 Model mosta s votknutými podperami



Obr. 4 Model mosta so základovými pätkami a pilótami

mi 2,00 × 0,60 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 10 %.

Navrhlo sa hĺbkové založenie mosta na vrtných veľkopriemerových pilótach Ø 900 mm. Hlavy pilót sú votknuté do opôr a základových pätičiek pilierov.

### Geologické a prírodné pomery v okolí stavby

Záujmové územie je geomorfologicky (Czudek et al. 1972) súčasťou sústavy Vnútorokarpatskej nížiny, podsústavy Viedenská panva, celku Dolnomoravský úval, podcelku Dyjskomoravská pahorkatina. Dyjskomoravská pahorkatina je situovaná medzi tokmi riek Morava a Dyje a Stredomoravskými Karpatmi a je to typická plochá nížinná pahorkatina eróznodenuďač-

ného charakteru so stopami periglaciálnej modelácie. Morfológia terénu je charakteristická širokými a plochými, nevysokými hrebeňmi, oddelenými pomerne širokými a plochými údoliami miestnych vodných tokov.

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

Základové pomery mostného objektu SO 205 sa hodnotia ako zložité. Dôvodom sú málo kvalitné, málo únosné, stlačiteľné, vysokoplastické a nebezpečne namrzavé základové pôdy. Podložie je zároveň charakteristické častým striedaním tenkých geologických vrstiev s odlišnými parametrami. V zmysle požiadavky geotechnického návrhu podľa STN EN 1997-1 ide o 2. geotechnickú kategóriu.

Vo vrchných vrstvách kvartéru s celkovou mocnosťou do 4,5 m tvoria podložie prevažne ílovito-piesčité fluviálne sedimenty (F4, F3) až ílovité (F6, F8), holocénne sedimenty. V nižších vrstvách podložia tvoreného kvartérnymi fluviálnymi sedimentmi v hĺbke od 4,5 do 11,0 m sa nachádzajú prevažne piesčité zeminy s premenlivým obsahom jemnozrnnej frakcie (S3, S4, S5) a štrkovité zeminy, takisto s premenlivým obsahom jemnozrnnej frakcie (G2 až G5) – terasové pleistocénne sedimenty. Tercier je prevažne piesčité s premenlivým obsahom jemnej frakcie (S3, S4, S5), v nižších polohách je štrkovitý (G3, G5).

### Výpočtové modely mosta a podložia

Na 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 pri návrhu priemeru, počtu a dĺžky pilót. Počet pilót sa navrhol podľa zásad platných na rozmiestnenie veľkopriemerových pilót. Pilóty sa posúdili ako jednotlivá pilóta v prostredí programu GEO5.

V druhom modeli sa 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 podpíer 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.

Na základe 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.

### Návrh zakladania mosta

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 možno zadávať len ako centricky pôsobiace zaťaženie vzhľadom na osi základovej pätky (v skutočnosti pôsobí pod každým pilierom rôzne zložky zaťaženia), výpočet sa uskutočnil pomocou modulu Pilóta. Dôležitou súčasťou statického

posúdenia jednej pilóty bolo čo najpresnejšie zafinovanie geologickej skladby podložia s cieľom dosiahnuť čo najväčšiu presnosť výpočtového modelu.

Výpočet pilót sa vykonal pružinovou metódou založenou na princípoch metódy konečných prvkov. Takýto postup sa zvolil najmä z dôvodu dostupnosti vstupných údajov o horninovom prostredí a z toho dôvodu, že pilóta nezasahuje do nestlačiteľného podložia. Metóda umožňuje zohľadniť negatívne plášťové trenie, pri ktorom dochádza k 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

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

kde

- $\sigma_z$  je geostatické napätie v mieste pilóty (kPa),
- $k$  – koeficient zväčšenia medzného plášťového trenia vplyvom technológie (-),
- $\varphi$  – uhol vnútorného trenia zeminy v mieste pilóty (°),
- $c$  – súdržnosť zeminy v mieste pilóty (kPa).

V prípade, že je plášť pilóty pod hladinou podpovrchovej vody, limitné šmykové napätie sa zníži a vzťah sa definuje ako

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

kde

- $u$  je pórový tlak pod hladinou podpovrchovej vody (kPa).

Iteračným výpočtom zakladania mostného objektu SO 205 sa hneď v prvom kro-

ku určili úzke limity na optimalizáciu celej mostnej konštrukcie – išlo o stanovenie počtu a rozmiestnenia pilót v zmysle zásad na zabezpečenie maximálneho limitného sadnutia. Keďže boli v procese prvej iterácie známe zaťaženia na úrovni 95 % presnosti, do výpočtového modelu v programe midas Civil boli aplikované aj výsledné hodnoty s 95-percentnou presnosťou. V procese druhej iterácie sa do programu GEO5 opätovne zadali nové zaťaženia od spodnej stavby. Z daných zaťažení sa určili presné vnútorné sily pilót, deformácie a sadnutie pilóty. Výsledky z programu GEO5 pre osamelú pilótu sa prepočítali na skupinu pilót pomocou výpočtu fiktívneho plošného základu. Sadnutie sa vypočítalo ako súčet sadnutí „n“ počtu osamelých pilót na mobilizácii plášťového trenia a sadnutia fiktívneho základu v úrovni piat pilót, ktorých rozmer je daný rozmerom fiktívneho základu.

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

### Záver

Výpočet pilótového základu sa vykonal pomocou programov GEO5 v5.19 a midas Civil, pričom sa zohľadnilo spolupôsobenie mostnej konštrukcie s podložím. 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 možno dospieť už po dvoch iteráciách. Výhodou vytvoreného modelu mosta je optimalizovanie výstuže v základových pätkách a možnosť dodatočnej kontroly geotechnického výpočtu. Konštrukciu možno ďalej optimalizovať po zapracovaní výsledkov podrobného

inžiniersko-geologického prieskumu pri návrhu mosta v ďalšom stupni projektovej dokumentácie.

### Literatúra

1. Kolektív: SO 205 Most na D55 (R55) cez Polešovský potok v km 22,58, 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. – MICHALEK, Z.: Rychlostní silnice R 55, stavba 5508 Staré Město – Moravský Písek. Závěrečná zpráva. Podrobný geotechnický průzkum, Praha 2012.

TEXT: Lubomír Kožlej, Viktor Tóth,  
Konštantín Kundrát

OBRÁZKY: Amberg Engineering  
Slovakia, s. r. o.

Lubomír Kožlej, Viktor Tóth a Konštantín Kundrát  
působia v spoločnosti Amberg Engineering Slovakia,  
s. r. o.

### Design of pile foundation – synergies bridge construction with subsoil

The paper deals with the procedure design of pile foundation of a bridge SO 205 for road construction D55 (R55) 5508 Staré Město – Moravský Písek in the Czech Republic. The calculation is performed using the programs GEO5 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.