

# Návrh spodnej stavby mostných objektov so zohľadnením zmien hladiny podpovrchových vôd

Poznanie charakteru podpovrchových vôd v okolí spodnej stavby predstavuje jeden z prvých problémov, ktoré treba vyriešiť pri projektovom plánovaní mostných objektov. Hoci je geologická a geomorfologická skladba územia Slovenska veľmi rozmanitá, skoro v každej časti územia sa stretávame s nepriaznivými účinkami podpovrchových vôd. O to náročnejšie je zaoberať sa touto problematikou v rovinnom geologickom prostredí s horizontálnym usporiadaním geologických vrstiev. Vo všeobecnosti je však nutné zdôrazniť, že vplyv podzemnej vody na zakladanie mostných objektov (či už plošne, alebo hĺbkovo) je značný a v drvivej väčšine nepriaznivý.

## Vplyv podpovrchových vôd na mostné objekty

Významná časť mostných objektov budovaných na Slovensku sa navrhuje z dôvodu preklenutia vodných tokov. V takýchto prípadoch je samozrejmé, že pri zakladaní musíme počítať s podpovrchovými vodami. To platí aj v prípade premostenia neúnosných bahenných a rašelinových území, ktoré sa nachádzajú na trase či v miestach s vyššou hladinou podpovrchovej spodnej vody. Často sa však v praxi stretávame s tým, že sa inžinierskogeologické a hydrogeologické prieskumy zanedbávajú. Nie pre nedostatočný počet kvalifikovaných inžinierskych geológov a hydrogeológov, ale pre nedostatok vyčlenených finančných zdrojov na vykonanie týchto prieskumov. A práve pri návrhu geotechnických a líniových stavieb sú tieto poznatky základom efektívneho, spoľahlivého a finančne menej náročného návrhu.

Podpovrchová voda pôsobí na spodnú stavbu mostných objektov viacerými faktormi. Nejde iba o ovplyvňovanie parametrov zemín a hornín nachádzajúcich sa v podloží alebo o zvýšenie pórových tlakov v okolí základovej škáry či hĺbkových základov. Vždy je nutné prihliadnuť aj na to, od akej, prípadne do akej hĺbky tieto negatívne javy

vplývajú na založenie mosta. Do úvahy treba vziať aj chemické vlastnosti, ktorými podpovrchová voda vplýva na stavebné konštrukcie a ktoré majú výrazný vplyv na degradáciu betónových a ocelových častí konštrukcie. V neposlednom rade je dôležitá aj schopnosť nasýtených hornín viesť elektrický prúd, a teda negatívne vplývať na konštrukciu bludivým prúdom.

## Návrh založenia mostných objektov

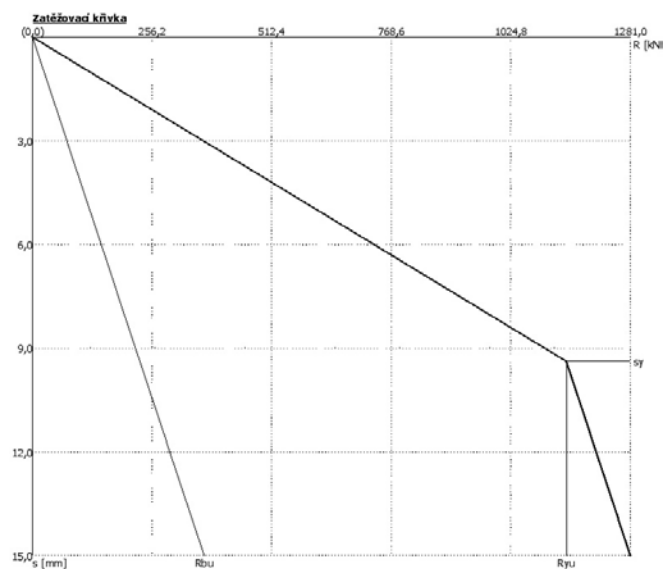
Výška hladiny podpovrchových vôd v podloží sa neustále mení. Spôsobujú to jednak klimatické vplyvy, ročné obdobia, ale aj ľudská činnosť v okolitom záujmovom území. Preto nie je správne, ak sa mostné objekty navrhované na dlhú životnosť 100 rokov posudzujú na stav hladiny podpovrchových vôd z jedného prieskumného vrtu. Je nevyhnutné uvedomiť si, že hladina môže kolísať už vplyvom striedania ročných období aj o dva metre. Takáto zmena hydrogeologických podmienok môže ovplyvniť statickú funkciu spodnej stavby mostného objektu.

Zároveň je nutné správne zadefinovať hydrogeologické podmienky v prípade návrhu spodnej stavby pomocou analytických podmienok. Na myslí máme určenie, či sa

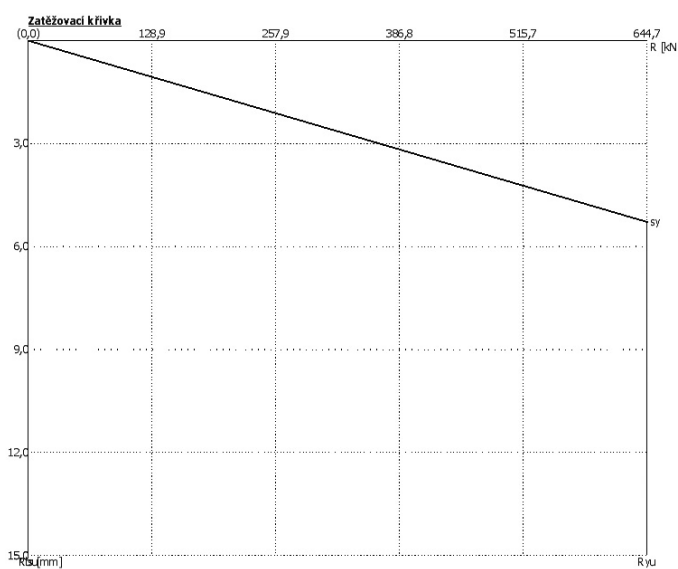
stavba nachádza v odvodnených alebo neodvodnených podmienkach. Zmenou výšky hladiny podpovrchových vôd môže dôjsť aj k zmene týchto základných podmienok ovplyvňujúcich správny výpočet.

Ako je zrejmé, problémy, ktoré vyvoláva zmena hladiny podpovrchových vôd v prípustných zeminách v homogénnom geologickom prostredí (napr. štrky), sú zanedbateľné oproti zmene hladiny podpovrchových vôd vo vrstevnatom prostredí striedania ílov a štrkov. Zmena pórových tlakov v danom prípade nepriaznivo vplýva na plášťové trenie pilóty a horninové prostredie, čo spôsobuje nadlimitné sadnutia opôr alebo podpíer mostného objektu. Aj zmena základových podmienok z odvodnených na neodvodnené má výrazný vplyv na sadnutie ešte nekonsolidovanej spodnej stavby.

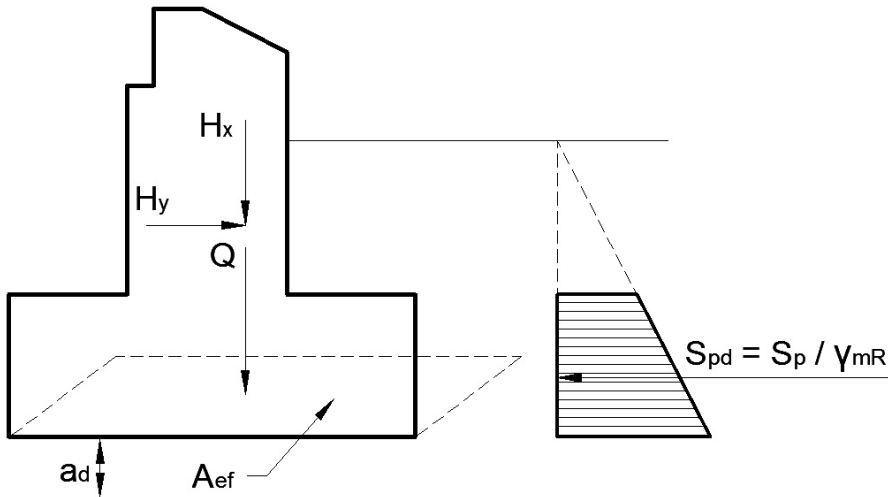
Zanedbávanie týchto vplyvov spôsobuje počas prevádzky a životnosti mostnej konštrukcie nemalé problémy. Ďalšie problémy vznikajú, ak sa zmení režim prúdenia podpovrchových vôd pri plošnom zakladaní mostných objektov. Odvedenie vody v neodvodnených podmienkach spôsobí ďalšie konsolidovanie horninového prostredia, s ktorým projekt nepočítal. Vzniká tak nutnosť realizovania sanačných prác for-



Obr. 1 Medzná zaťažovací krivka pilóty v odvodnených podmienkach



Obr. 2 Medzná zaťažovací krivka pilóty v neodvodnených podmienkach



Obr. 3 Schéma na výpočet únosnosti plošného základu

mou podchytávania základov opôr pomocou mikropilót alebo injektáže. Samozrejme, tieto práce sú finančne náročné a často sa aj pre ťažkú dostupnosť k základom náročne realizujú. Z dlhodobého hľadiska je princíp výpočtu pri odvodnených aj neodvodnených podmienkach prakticky nemenný a zakladá sa na efektívnych napätiach. V prípade krátkodobých návrhov je však pri odvodnených podmienkach podložia výpočet založený na efektívnych napätiach, v prípade neodvodnených podmienok už prevažne na totálnych napätiach. Princíp efektívnych napätí však platí len pri normálových napätiach  $\sigma$ , keďže šmykové napätia  $\tau$  voda v podloží neprenáša. Takisto je nutné počítať aj s podmienkou rozdielnych tlakov podpovrchových vôd. Ak je podpovrchová voda viazaná v póroch horninového prostredia v pokoji, je pórový tlak rovný hydrostatickému tlaku. Ak však voda v podloží prúdi, je tlak rovný hydrodynamickému. V prípade, ak horninové prostredie v podloží nie je plne saturované, musí sa vo výpočte počítať s tým, že pórový tlak nevzniká iba vo vode,

ale aj v póroch vyplnených vzduchom (alebo iným plynom).

### Vplyv zmeny hladiny podpovrchovej vody na spodnú stavbu

Pri hĺbkových základoch mostných objektov na pilótach sa počíta s limitnou hodnotou sily, ktorú môže preniesť pilóta na plášti. Hodnota je určená pomocou geostatickej napätosti  $\sigma_z$  v každom mieste pilóty. Limitné šmykové napätie je dané vzťahom

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

kde

- $c$  je súdržnosť zeminy v mieste pilóty,
- $\varphi$  – uhol vnútorného trenia zeminy v mieste styku zeminy a pilóty,
- $k$  – koeficient zväčšenia medzného plášťového trenia vplyvom technológie výstavby pilóty.

Ak sa však pilóta nachádza pod hladinou podpovrchovej vody, je nevyhnutné znížiť

predmetné limitné šmykové napätie o hodnotu pórového tlaku

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

kde

$u$  je hodnota pórového tlaku pod hladinou podpovrchovej vody.

V prípade plošného založenia spodnej stavby je nutné zvoliť aj správny postup výpočtu a prijať rôzne podmienky, ktoré môžu vzniknúť počas životnosti mostnej konštrukcie. Ak posudzujeme vodorovnú únosnosť základu podľa medzných stavov nerovnomernosti, vychádzame zo vzťahu

$$H < R_{\text{dh}} / \gamma_{\text{RH}} \quad (3)$$

kde

$R_{\text{dh}}$  je únosnosť základovej škáry,  
 $H$  – veľkosť normálovej sily.

Zároveň platí, že

$$R_{\text{dh}} = Q \cdot \operatorname{tg} \psi_d + a_d \cdot A_{\text{ef}} + S_{\text{pd}} \quad (4)$$

$$H = (H_x^2 + H_y^2)^{1/2} \quad (5)$$

kde

- $\psi_d$  je uhol vnútorného trenia medzi základom a horninovým prostredím,
- $a_d$  – súdržnosť medzi základom a zeminou,
- $A_{\text{ef}}$  – efektívna plocha základu,
- $S_{\text{pd}}$  – zemný odpor,
- $H_x, H_y$  – zložky zvislej a vodorovnej sily,
- $Q$  – extrémna výpočtová zvislá sila,
- $\gamma_{\text{RH}}$  – súčiniteľ vodorovnej únosnosti základu.

V zmysle STN EN 1997 sa v prípade výpočtu pri odvodnených podmienkach nepočíta so zložkou  $(a_d \cdot A_{\text{ef}})$ , t. j. nepočíta sa

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

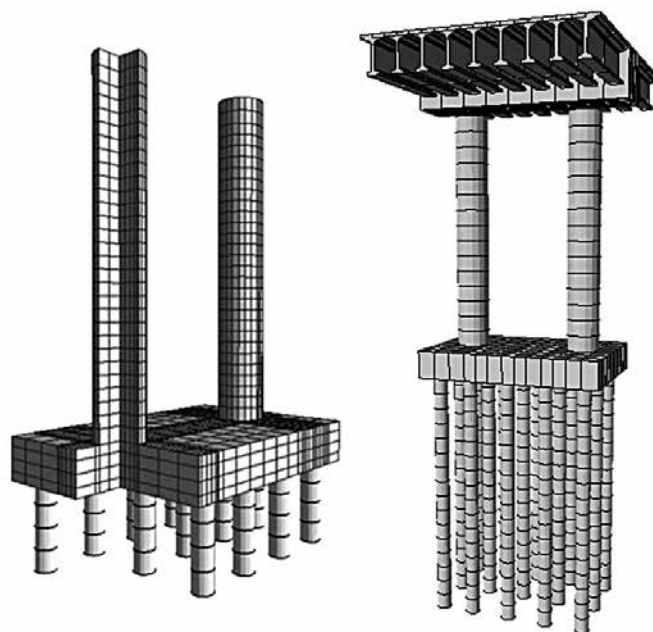
**REALIZUJEME**  
 inžiniersku, poradenskú a expertíznu činnosť, geotechnický monitoring, zameriavanie budov a tunelov, školenia a kurzy

**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 6930 8261  
 e-mail: info@amberg.sk  
 www.amberg.sk



Obr. 4 Príklad zmeny hydrogeologických podmienok – podpery mosta SO 206-00 na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka založené v navrhovanom zaplavnom území



Obr. 5 Výpočtový model spodnej stavby mostného objektu SO 206-00 na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka



- hladina podzemnej vody po období výrazných zrážok,
- maximálny možný pokles hladiny podzemnej vody,
- smer prúdenia podzemnej vody,
- určenie polohy a výdatnosť prameňov podzemnej vody,
- geologická skladba záujmového územia, zistenie tektonického porušenia horninového prostredia,
- vodivosť a účinky blúdivých prúdov.



Obr. 6 Príklad zmeny hladiny podpovrchovej vody pri založení mosta SO 206-00 na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka

so súdržnosťou medzi základom a zeminou a efektívnou plochou základu. Pri neodvodnených podmienkach sa vo výpočte zasa nepočíta s trením medzi základom a zeminou a tangensom uhla vnútorného trenia medzi základom a zeminou ( $Q \cdot \tan \psi_s$ ).

Pri každom návrhu zakladania mostného objektu je nutné počítať minimálne s týmito vplyvmi, ktoré pôsobia na plošné, resp. hĺbkové založenie:

- stupeň agresivity povrchovej a podpovrchovej vody,
- stupeň agresivity horninového prostredia,
- hladina podzemnej vody po období bez výrazných zrážok,

Pri vyššie uvedenom návrhu však nemožno uplatniť predpoklad, že jeden typ spodnej stavby vyhovuje všetkým prípadom, ktoré môžu v podloží vzniknúť. Preto treba zvážiť všetky riziká a vplyvy, ktoré môžu pôsobiť na konštrukciu počas jej životnosti, a teda navrhnúť taký typ zakladania, ktorý bude minimalizovať všetky prípadné riziká. Na správny výber typu základovej konštrukcie treba vykonať inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum v patričnom časovom predstihu pred začatím prác na podrobnom návrhu mostnej konštrukcie. Je mylné domnievať sa, že na správny návrh postačí poznať len výšku hladiny podzemnej vody počas vykonania predbežného inžinierskogeologického prieskumu. Čím rozsiahlejšie a podrobnejšie sa vykonajú prieskumné práce, tým efektívnejšie možno navrhnúť stavebnú konštrukciu tak, aby si vyžadovala minimálne náklady na údržbu.

### Záver

Problematika podpovrchovej vody a jej vzťahu k návrhu spodnej stavby mostov je zložitá (obr. 6). Pri podcenení účinkov vplyvov podpovrchových vôd na založenie mostných objektov môžu vzniknúť neprimerane vysoké náklady na dodatočné opatrenia počas budo-

vania konštrukcie alebo sa môže vyžadovať finančne nákladné udržiavanie konštrukcie počas celej jej návrhovej životnosti. Zároveň možno predpokladať aj výrazné predimenzovanie ochranných opatrení, ak poznáme len okrajové podmienky a vlastnosti podzemných vôd. Je preto namieste zamyslieť sa, či naozaj nie je už na základe doterajších skúseností ten správny čas na vynaloženie zvýšených finančných prostriedkov na podrobné prieskumné práce s vedomím, že predmetné prostriedky sa počas realizácie mnohonásobne vrátia a v budúcnosti nevzniknú dodatočné náklady na sanáciu konštrukcií.

TEXT: Ing. Viktor Tóth, Ing. Ľubomír Kožlej, Ing. Konštantín Kundrát, CSc.

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

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

### Design foundation of bridges with consideration changes in groundwater levels

Knowing the character subsurface water near the bottom of the building is one of the first problems to be solved in the project planning bridges. Geological and geomorphological structure of the territory of Slovakia is very diverse, but almost every part of the area are facing the adverse effects of ground water. The more difficult it is with these issues in a planar geological environment of horizontal design geological strata. However, it should be stressed that the impact of groundwater on the foundation of bridges is significant and overwhelmingly negative.