

**Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Stavebná fakulta**

**ROZBOROVÁ ÚLOHA**  
**INTEGROVANÉ MOSTY NA CESTÁCH A DIAĽNICIACH**

**Objednávateľ:** Slovenská správa ciest  
Miletičova 19  
826 19 Bratislava

**Október 2019**

**OBSAH**

|          |                                                                             |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD .....</b>                                                           | <b>4</b>  |
| 1.1      | Predmet rozborovej úlohy (RU).....                                          | 4         |
| 1.2      | Účel RU .....                                                               | 4         |
| 1.3      | Špecifikácia RU .....                                                       | 4         |
| 1.4      | Vypracovanie RU.....                                                        | 4         |
| 1.5      | Súvisiace a citované normy.....                                             | 5         |
| 1.6      | Súvisiace a citované technické predpisy rezortu.....                        | 6         |
| 1.7      | Súvisiace zahraničné predpisy .....                                         | 6         |
| 1.8      | Súvisiaca odborná literatúra .....                                          | 6         |
| 1.9      | Použité skratky .....                                                       | 8         |
| <b>2</b> | <b>VŠEOBECNE .....</b>                                                      | <b>11</b> |
| 2.1      | Termíny a definície .....                                                   | 11        |
| 2.2      | Maximálna prípustná dĺžka integrovaných mostov .....                        | 12        |
| 2.3      | Konštrukčné zatriedenie integrovaných a semi-integrovaných mostov .....     | 13        |
| <b>3</b> | <b>PÔSOBNIE INTEGROVANÝCH MOSTOV .....</b>                                  | <b>15</b> |
| 3.1      | Špecifické namáhania v dôsledku integrácie opôr do nosnej konštrukcie ..... | 15        |
| 3.1.1    | Zmeny zemného tlaku na opory v dôsledku posunu konca mosta .....            | 15        |
| 3.1.2    | Zvýšenie namáhania nosnej konštrukcie .....                                 | 15        |
| 3.1.3    | Zvýšenie namáhania spodnej stavby a základov .....                          | 16        |
| 3.1.4    | Posun konca mosta .....                                                     | 16        |
| 3.1.5    | Pôdorysne zakrivené mosty .....                                             | 16        |
| 3.1.6    | Šikmé mosty .....                                                           | 18        |
| 3.1.7    | Dodatočne predpäté konštrukcie.....                                         | 19        |
| 3.1.8    | Seizmicita .....                                                            | 19        |
| <b>4</b> | <b>KONCEPCIA NAVRHOVANIA .....</b>                                          | <b>20</b> |
| 4.1      | Typy integrovaných mostov.....                                              | 20        |
| 4.1.1    | Integrované poddajné opory .....                                            | 21        |
| 4.1.2    | Integrované tuhé opory.....                                                 | 23        |
| 4.1.3    | Opory semi-integrovaných mostov .....                                       | 23        |
| 4.2      | Nosná konštrukcia .....                                                     | 24        |
| 4.3      | Spodná stavba.....                                                          | 25        |
| 4.3.1    | Piliere .....                                                               | 25        |
| 4.3.2    | Opory .....                                                                 | 25        |
| 4.3.3    | Krídla .....                                                                | 25        |
| 4.3.4    | Plošné zakladanie .....                                                     | 25        |
| 4.3.5    | Hĺbkové zakladanie – betónové pilóty .....                                  | 26        |
| 4.3.6    | Hĺbkové zakladanie – oceľové pilóty .....                                   | 26        |
| 4.4      | Prechodové dosky .....                                                      | 27        |
| 4.5      | Vozovka .....                                                               | 29        |
| 4.6      | Vplyv bludných prúdov pre koncepčný návrh integrovaných mostov .....        | 30        |
| 4.7      | Odvodnenie .....                                                            | 30        |
| <b>5</b> | <b>VOLBA TYPU INTEGROVANÉHO MOSTA .....</b>                                 | <b>31</b> |
| 5.1      | Stanovenie posunu konca mosta .....                                         | 32        |
| 5.1.1    | Veľkosť monotónneho vodorovného posunu .....                                | 32        |
| 5.1.2    | Veľkosť cyklických pohybov .....                                            | 32        |
| 5.2      | Približný výpočet posunu konca mosta .....                                  | 33        |
| <b>6</b> | <b>GEOTECHNICKÉ PREDPOKLADY NÁVRHU INTEGROVANÝCH MOSTOV .....</b>           | <b>36</b> |
| 6.1      | Geotechnické kategórie.....                                                 | 36        |
| 6.1.1    | Zložitosť základových pomerov .....                                         | 36        |
| 6.1.2    | Náročnosť stavebnej (mostnej) konštrukcie .....                             | 36        |
| 6.1.3    | Geotechnické kategórie .....                                                | 36        |

|       |                                                                                                                              |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2   | Návrhové postupy (DA) pre integrované mosty .....                                                                            | 37 |
| 6.2.1 | Odporúčania pre návrh integrovaných mostov .....                                                                             | 38 |
| 6.3   | Zaťaženie podpier integrovaných mostov zemným tlakom .....                                                                   | 39 |
| 6.3.1 | Teoretické predpoklady výpočtu zemných tlakov .....                                                                          | 39 |
| 6.3.2 | Výpočet zemného tlaku v pokoji .....                                                                                         | 43 |
| 6.3.3 | Výpočet aktívneho zemného tlaku .....                                                                                        | 43 |
| 6.3.4 | Výpočet pasívneho zemného tlaku (zemného odporu) .....                                                                       | 44 |
| 7     | ANALÝZA INTERAKCIE INTEGROVANÝCH MOSTOV S HORNINOVÝM PROSTREDÍM .....                                                        | 45 |
| 7.1   | Modely interakcie integrovaných konštrukcií s horninovým prostredím .....                                                    | 45 |
| 7.1.1 | Model nosnej konštrukcie a spodnej stavby .....                                                                              | 45 |
| 7.1.2 | Interakcia nosnej konštrukcie s horninovým (zemným) prostredím .....                                                         | 46 |
| 7.2   | Modelovanie zemného zásypu za mostnou oporou .....                                                                           | 46 |
| 7.2.1 | Zjednodušené výpočtové modely (metódy) .....                                                                                 | 47 |
| 7.2.2 | Všeobecné výpočtové modely (numerické metódy) .....                                                                          | 48 |
| 7.3   | Výpočet koeficientov zvislej, horizontálnej a rotačnej reakcie podložia .....                                                | 51 |
| 7.3.1 | Výpočet koeficientu zvislej reakcie podložia .....                                                                           | 51 |
| 7.3.2 | Výpočet koeficienta horizontálnej reakcie podložia .....                                                                     | 55 |
| 7.3.3 | Výpočet koeficienta rotačnej reakcie podložia .....                                                                          | 56 |
| 7.3.4 | Výpočet modulov reakcie podložia pre integrované mosty .....                                                                 | 57 |
| 8     | POŽIADAVKY NA SPRACOVANIE PROJEKTOVEJ DOKUMENTÁCIE .....                                                                     | 59 |
| 8.1   | Požiadavky na spracovanie projektovej dokumentácie, kontrolu realizácie, monitoring a údržbu integrovaných mostov .....      | 59 |
| 8.2   | Požiadavky na spracovanie projektovej dokumentácie, kontrolu realizácie, monitoring a údržbu semi-integrovaných mostov ..... | 61 |
| 9     | VZOROVÉ DETAILY KONŠTRUKCIE .....                                                                                            | 63 |
| 10    | ZÁVER .....                                                                                                                  | 65 |

## 1 ÚVOD

### 1.1 Predmet rozborovej úlohy (RU)

Predmetom tejto RU sú zásady a postupy pre navrhovanie a zhotovovanie integrovaných cestných mostných objektov.

### 1.2 Účel RU

Cieľom RU je stanovenie pravidiel, konštrukčných zásad a výpočtových postupov pre návrh integrovaných mostov na cestách a diaľniciach. Určenie typov nosných konštrukcií, pre ktoré bude možné navrhovať takéto mosty a stanoviť konštrukčné riešenia zakladania, spodnej stavby a nosnej konštrukcie v závislosti od očakávaných pohybov.

Medzi najčastejšie poruchy mostov patrí porucha ložísk a dilatačných záverov, ktoré majú životnosť niekoľkonásobne kratšiu ako samotná mostná konštrukcia. Je preto nutné počas plánovanej životnosti mosta ich niekoľkokrát vymeniť. Okrem toho, že výmena týchto častí mosta vyžaduje nemalé finančné prostriedky, je sprevádzaná aj obmedzením dopravy na moste, čo negatívne vplyva na plynulosť premávky a s ňou spojené komplikácie. Integrované mosty sú riešené tak, že v rámci ich konštrukcie sa nenachádzajú ani ložiská a ani dilatačné závery a sú tak v tomto smere z dlhodobého hľadiska bezúdržbové. Aj napriek tomu, že v rámci západnej Európy a Severnej Ameriky sa pre krátke mosty používajú integrované mosty bežne, v rámci Slovenska sa stavajú len sporadicky. Jedným z dôvodov je najmä absencia literatúry venujúcej sa danej problematike, absencia vzorových výpočtov a malý záujem investorov o daný typ konštrukcie aj napriek ich mnohým nesporným výhodám. Z hľadiska dlhodobo udržateľnej infraštruktúry predstavuje tento typ mostnej konštrukcie najlepšie riešenie pre mosty krátkych a stredných dĺžok. Potreba zavedenia tohto typu konštrukcie do bežnej projekčnej praxe na Slovensku je preto vysoko aktuálna.

### 1.3 Špecifikácia RU

Špecifikácia úlohy obsahuje:

- stanovenie typov konštrukcií a dĺžok, pre ktoré je možné navrhnúť mosty s integrovanými oporami,
- vypracovanie príkladov schém detailov (prechodová oblasť, opora, piliere, pilóty, vozovka),
- stanovenie odporúčaných výpočtových postupov pre návrh integrovaného mosta (interakcia spodnej stavby, nosnej konštrukcie a zemného telesa),
- spôsob stanovenia koeficientov horizontálnej, zvislej a rotačnej reakcie podložia.

Spracovanie RU vychádza z domácich skúseností s navrhovaním mostov, rešerše zahraničnej literatúry a technických predpisov zaoberajúcou sa integrovanými mostami. Princípy a konštrukčné riešenia boli prevzaté z krajín s podobnými klimatickými podmienkami v Európe (Švajčiarsko, Nemecko, Rakúsko, Česká republika) a vzhľadom na dlhodobé skúsenosti aj z krajín Severnej Ameriky (USA, Kanada).

### 1.4 Vypracovanie RU

Túto RU na základe objednávky Slovenskej správy ciest (SSC) vypracovala spoločnosť: Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava.

Zodpovední riešitelia:

doc. Ing. Viktor Borzovič, PhD., tel. č.: +421 2 59 274 542, e-mail: viktor.borzovic@stuba.sk

doc. Ing. Ľuboš Hruštinec, PhD., tel. č.: +421 2 59 274 678, e-mail: lubos.hrustinec@stuba.sk

Ing. Simona Šarvaicová, tel. č.: +421 2 59 274 705, e-mail: simona.sarvaicova@stuba.sk

Ing. Miroslav Pecník, tel. č.: +421 2 59 274 705, e-mail: miroslav.pecnik@stuba.sk

## 1.5 Súvisiace a citované normy

|                                     |                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STN 72 1001                         | Klasifikácia zemín a skalných hornín                                                                                                            |
| STN 73 0037                         | Zemný tlak na stavebné konštrukcie                                                                                                              |
| STN 73 0090                         | Geotechnický prieskum                                                                                                                           |
| STN 73 1001                         | Geotechnické konštrukcie. Zakladanie stavieb                                                                                                    |
| STN 73 1002                         | Pilótové základy                                                                                                                                |
| STN 73 6100                         | Názvoslovie pozemných komunikácií                                                                                                               |
| STN 73 6101                         | Projektovanie ciest a diaľnic                                                                                                                   |
| STN 73 6114                         | Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie                                                                             |
| STN 73 6133                         | Stavba ciest. Teleso pozemných komunikácií                                                                                                      |
| STN 73 6200                         | Mostné názvoslovie                                                                                                                              |
| STN 73 6201                         | Projektovanie mostných objektov                                                                                                                 |
| STN 73 3040                         | Geosyntetika. Základné ustanovenia a technické požiadavky                                                                                       |
| STN 73 3041                         | Horninové konštrukcie vystužené geosyntetikou. Technické požiadavky                                                                             |
| STN 73 6242                         | Vozovky na mostoch pozemných komunikácií. Navrhovanie a požiadavky na materiál.                                                                 |
| STN EN 13164+A1<br>(72 7203)        | Tepelnoizolačné výrobky pre budovy. Prefabrikované výrobky z extrudovanej polystyrénovej peny (XPS). Špecifikácia                               |
| STN EN 13670<br>(73 2400)           | Zhotovovanie betónových konštrukcií                                                                                                             |
| STN EN 1990<br>(73 0031)            | Eurokód: Zásady navrhovania konštrukcií                                                                                                         |
| STN EN 1991-1-1<br>(73 0035)        | Eurokód 1: Zaťaženie konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné zaťaženia – Objemová tiaž, vlastná tiaž a úžitkové zaťaženia budov                        |
| STN EN 1991-1-5<br>(73 0035)        | Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-5: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia účinkami teploty                                                     |
| STN EN 1991-2<br>(73 6203)          | Eurokód 1: Zaťaženie konštrukcií. Časť 2: Zaťaženie mostov dopravou                                                                             |
| STN EN 1992-1-1<br>+A1<br>(73 1201) | Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy                                               |
| STN EN 1992-2<br>(73 6206)          | Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 2: Betónové mosty. Navrhovanie a konštruovanie                                              |
| STN EN 1997-1<br>(73 0091)          | Eurokód 7: Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 1: Všeobecné pravidlá                                                                   |
| STN EN 1997-2<br>(73 0091)          | Eurokód 7: Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 2: Prieskum a skúšanie horninového prostredia                                           |
| STN EN 206+A1<br>(73 2403)          | Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda                                                                                                 |
| STN EN 14475<br>(73 1009)           | Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Vystužené zemné konštrukcie                                                                        |
| STN EN 14679<br>(73 1023)           | Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Hĺbkové zlepšovanie zemín                                                                          |
| STN EN 14731<br>(73 1008)           | Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Zlepšovanie zemín hĺbkovou vibráciou                                                               |
| STN EN 15237<br>(73 1024)           | Vykonávanie špeciálnych geotechnických prác. Zvislé odvodňovanie                                                                                |
| STN EN ISO 22<br>475-1<br>(73 1005) | Geotechnický prieskum a skúšky. Metódy odberu vzoriek a meranie hladín podzemnej vody. Časť 1: Technické zásady vykonávania (ISO 22475-1: 2006) |

*Poznámka: Súvisiace a citované normy vrátane aktuálnych zmien, dodatkov a národných príloh.*

## 1.6 Súvisiace a citované technické predpisy rezortu

|       |              |                                                                                                                            |
|-------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [T1]  | KLEaZ 1/2014 | Katalógové listy emulzií a zálievok, MDVRR SR: 2014 + Dodatok č. 1/2016 ku KLEaZ 1/2014, MDVRR SR: 2016;                   |
| [T2]  | TKP 0        | Všeobecne, MDVRR SR: 2012;                                                                                                 |
| [T3]  | TKP 2        | Zemné práce, MDVRR SR: 2011;                                                                                               |
| [T4]  | TKP 15       | Betónové konštrukcie všeobecne. MDV SR: 2018;                                                                              |
| [T5]  | TKP 31       | Zvláštne zemné konštrukcie, MDVRR SR: 2014;                                                                                |
| [T6]  | TKP 35       | Geotechnický monitoring pre objekty líniových častí pozemných komunikácií. MDVRR SR: 2016;                                 |
| [T7]  | TP 028       | Vykonávanie inžinierskogeologického prieskumu pre cestné stavby. MDVRR SR: 2008;                                           |
| [T8]  | TP 033       | Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek, MDPT SR: 2009 + Dodatok č. 1, MDVRR SR: 2015;                                  |
| [T9]  | TP 063       | Odvodnenie mostov na pozemných komunikáciách, MDVRR SR: 2012;                                                              |
| [T10] | TP 064       | Použitie geosyntetických a im podobných materiálov vo vrstvách asfaltových vozoviek, MDVRR SR: 2016;                       |
| [T11] | TP 081       | Základné ochranné opatrenia pre obmedzenie vplyvu bludných prúdov na mostné objekty pozemných komunikácií, MDVRR SR: 2014; |
| [T12] | TP 113       | Prechodové oblasti cestných a diaľničných mostov, MDV SR: 2019;                                                            |
| [T13] | VL 2         | Teleso pozemných komunikácií, MDVRR SR: 2016;                                                                              |
| [T14] | VL 4         | Mosty, MDV SR: 2018.                                                                                                       |

## 1.7 Súvisiace zahraničné predpisy

|      |                                           |                                                                                                                                                |
|------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [Z1] | TP 261 (ČR)                               | Technické podmienky - Integrované mosty, [Technické podmienky – Integrované mosty], 2017;                                                      |
| [Z2] | ČSN 73 6244                               | Přechody mostů pozemních komunikací, [Prechodové oblasti mostov pozemných komunikácií], 2010;                                                  |
| [Z3] | RVS 15.06.11                              | Brücken – Unterbau – Schleppplatten und Hinterfüllungen [Mosty – Dolná stavba – Prechodové dosky a zásypy];                                    |
| [Z4] | Katalog detali mostowych                  | Katalog detali mostowych [Katalóg mostných detailov];                                                                                          |
| [Z5] | ASTRA 12 004                              | Konstruktive Einzelheiten von Brücken – Kapitel 3: Brückenende [Konštrukčné detaily mostov – Kapitola 3: Ukončenie mostov];                    |
| [Z6] | Projektierungsgrundlagen Kunstbauten 2016 | Projektierungsgrundlagen Kunstbauten 2016 – 4400 Brückenabschluss [Podklady pre projektovanie inžinierskych stavieb 2016 – 4400 Mostný záver]; |
| [Z7] | BA 42/96 Part 12                          | The Design of Integral Bridges. Highways Agency, 2003 [Navrhovanie integrovaných mostov];                                                      |
| [Z8] | RE-ING, Teil 2, Brücken                   | Abschnitt 5, Integrale Bauwerke, 2017 [Integrované konštrukcie]                                                                                |

## 1.8 Súvisiaca odborná literatúra

|      |                                                                                                                                                                                                 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [L1] | AHMED AL QARAWI: The Application of EPS Geofoam in Mitigating the Approach Problems in Integral Abutment Bridges. PhD Thesis, Western Sydney University, 2016.                                  |
| [L2] | ARSOY, S.: Experimental and Analytical Investigations of Piles and Abutments of Integral Bridges :Doctoral Thesis. Blackburn : Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.       |
| [L3] | BAKEER, R. et al.: Evaluation of DOTD Semi-Integral Bridge and Abutment System [Report]. – New Orleans, Louisiana : Department of Civil and Environmental Engineering, Tulane University, 2005. |
| [L4] | BARKER, R.M. et al.: Manuals for the Design of Bridge Foundations. Transportation Research Board, Washington, 1991.                                                                             |

- [L5] BITTNAR, Z., ŠEJNOHA, J.: Numerické metody mechaniky – 1, 2. ČVUT, Praha, 1992
- [L6] BOLTEUS, L.: Soil-Structure Interaction. Developments in Geotechnical Engineering - Vol. 43.
- [L7] CLAYTON CHRIS R.I. et al.: Earth Pressure and Earth-Retainings Structures. Third Edition, CRC Press, Boca Raton, 2014.
- [L8] DRAHORÁD, M., FOGLAR, M.: Metodika návrhu integrovaných mostů, Metodický základ TP Integrované mosty, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2015.
- [L9] FELDMANN, M. et al.: Economic and durable design of composite bridges with integral abutments, European Commission, Research Fund for Coal and Steel, Contract No RFSR-CT-2005-00041, Final report. 2010.
- [L10] FELDMANN, M. et al.: Handbuch INTAB - Wirtschaftliche und dauerhafte Bemessung von Verbundbrücken mit integralen Widerlagern, University RWTH Aachen, Aachen, 2010.
- [L11] HASSIOTIS, S. et al.: Evaluation of Integral Abutments. Final Report. Department of Civil, Environmental and Ocean Engineering Stevens Institute of Technology, 2006. Zdroj: <https://trid.trb.org/view/814919>
- [L12] HORVATH, J. S.: Expanded Polystyrene (EPS) Properties for Geotechnical Engineering Applications. In International Geotechnical Symposium on Polystyrene Foam in Below-Grade Applications Proceedings, 1994.
- [L13] HORVATH, J.S.: The Compressible Inclusion Function of EPS Geofoam, Geotextiles and Geomembranes 15, p. 77-120, 1997.
- [L14] HRUŠTINEC, Ľ.: Analýza spolupôsobenia plošného základu s podloží. STU, Bratislava, 2003.
- [L15] HUANG, J., FRENCH, C., SHIELD, C.: Behavior of Concrete Integral Abutment Bridges, Final Report. University of Minnesota, 2004.
- [L16] CHRISTEMSSON, P.: Analysis of Jointless Bridges due to Horizontal Actions and Soil-Structure Interaction. Lunds Universitet, 2016.
- [L17] JENDŽELOVSKÝ N.: Modelovanie základových konštrukcií v MKP. STU v Bratislave, 2009.
- [L18] JESENÁK, J.: Mechanika zemín. STU v Bratislave, 1994.
- [L19] NISHIDA, H., MIYATA, H., KIMURA, S., KOHNO, T., NANAZAWA, T. and NAKATANI, S.: Design and construction guideline of integral abutment bridges for Japanese highways, 2012.
- [L20] KAUFMANN, W.: Integrale Brücken – Sachstandsbericht. Bundesamt für Strassen. 2008.
- [L21] KOLÁŘ, V. - NĚMEC, I.: Modeling of Soil Structure Interaction. ACADEMIA, Praha, 1989.
- [L22] KŘÍŽEK, J.: Integrované mosty. Dizertačná práca. ČVUT v Praha, 2009.
- [L23] KŘÍŽEK, J.: Integrované mosty. Spolupôsobenie so zeminou. Zdroj: <http://www.jaromirkrizek.eu>
- [L24] LAAKSONEN A.: Structural Behaviour of Long Concrete Integral Bridges. Tampere University of Technology. 2011. Zdroj: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/114020>
- [L25] LAMAN, J.A., KIM, W.S: Monitoring of Integral Abutment Bridges and Design Criteria Development. Final Report. Pennsylvania Department of Transportation, 2009. Zdroj: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/16952>
- [L26] LOCK, R.J.: Integral Bridge Abutments. M.Eng. Project Report, 2002.
- [L27] MASOPIST, J.: Vrtané piloty. ČENĚK a JEŽEK, 1994.
- [L28] REESE, L.C., MEYER, B.J.: Analysis of Single Piles Under Lateral Loading, Reserch Study 3-5-78-244, Texas State Department of Highways and Public Transportation, Austin, 1979.
- [L29] RHODES, S.: Integral Bridges and the Modelling of Soil-Structure Interaction. Zdroj: [https://www.lusas.com/papers/Integral\\_bridges\\_and\\_the\\_modelling\\_of\\_ssi\\_lusas\\_archive\\_rev\\_4.pdf](https://www.lusas.com/papers/Integral_bridges_and_the_modelling_of_ssi_lusas_archive_rev_4.pdf)
- [L30] RHODES, S., CAKABREAD, T.: Integral Abutment Bridges and the Modeling of Soil-Structure Interaction. In: Sustainable Bridge Structures - Proceedings of the 8th New York City, Bridges. CRC Press, 2015.
- [L31] ŠAFÁŘ, R.: Betonové mosty 2, ČVUT, Praha. 2017.

- [L32] SCOTT, E.G., ROLLINS, K.M., SCOTT, M.A., and RICHARDS, P.W.: Passive Force on Bridge Abutments and Geofoam Inclusions with Large-Scale Test, Brigham Young University, Department of Civil Engineering, 2015.
- [L33] SLÁVIK, I. – HRUŠTINEC, L.: Mechanika zemín – Laboratórne cvičenia I. – Geotechnický prieskum a základné fyzikálne vlastnosti. STU, Bratislava, 2012.
- [L34] SOBOTA, J.: Stavebná mechanika II. ALFA/SNTL, Bratislava, 1980
- [L35] STARK, T. D., ARELLANO, D., HORVATH, J. S. AND LESHCHINSKY, D.: Guidelines for Geofoam Applications in Embankment Projects, Final Report - The National Cooperation. Highway Resource Program Proj. 24-11. (2004), 2004.
- [L36] TERZAGHI, K., PECK, R.B.: Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley&Sons, New York, 1956.
- [L37] TEVEC, G.: Dilatácie sú pre mosty časovanou bombou. In Inžinierske stavby. Roč. 62, č. 1 (2014). ISSN 1335-0846.
- [L38] TEVEC, G.: Integrované mosty bez dilatácii, In Betonárske dni 2004, 2004.
- [L39] Xue, J.: Retrofit of Existing Bridges with Concept of Integral Abutment Bridge: Static and Dynamic Parametric Analysis. PhD Thesis, University of Trento, Università IUAV di Venezia, 2013. Zdroj: <http://eprints-phd.biblio.unitn.it/941/>
- [L40] WOOD, J., MURASHEV, A., PALERMO, A., AL-ANI, M., ANDISHEH, K. and GOODALL, D.: Criteria and guidance for the design of integral bridges in New Zealand, NZ Transport Agency, 2015.
- [L41] Manuál k výpočtovému programu GEO5. Zdroj: [www.fine.cz](http://www.fine.cz)

## 1.9 Použité skratky

|                  |                                                                                         |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| $A$              | plocha (základu, konštrukcie, prierezu)                                                 |
| $B, b$           | šírka (základu, konštrukcie)                                                            |
| $c$              | súdržnosť zeminy                                                                        |
| $C$              | súčiniteľ stlačiteľnosti                                                                |
| $C_1$            | súčiniteľ reakcie podložia, súčiniteľ ložnosti                                          |
| $C_2$            | súčiniteľ šmykového roznosu (Pasternakov), koeficient šmyku, šmyková tuhosť podložia    |
| $c_v$            | súčiniteľ konsolidácie                                                                  |
| $d$              | hĺbka založenia                                                                         |
| $D$              | dosková tuhosť základu                                                                  |
| $DA$             | návrhový postup                                                                         |
| $e$              | číslo pórovitosti                                                                       |
| $E, E_f$         | modul pružnosti materiálu stavebnej, resp. základovej konštrukcie                       |
| $E_{def}$        | modul pretvárnosti zeminy                                                               |
| $\bar{E}_{def}$  | vážený priemerný modul pretvárnosti základovej pôdy do hĺbky deformačnej zóny           |
| $E_{el}$         | modul pružnosti zeminy                                                                  |
| $E_{oed}$        | oedometrický modul pretvárnosti zeminy                                                  |
| $f, f_i$         | zvislé rovnomerné zaťaženie pružného polpriestoru                                       |
| $F, F_i$         | zaťaženie zvislou sústredenou silou                                                     |
| $G$              | modul šmykového pretvorenia                                                             |
| $GTK$            | geotechnická kategória                                                                  |
| $h$              | výška konštrukcie (násypu, zásypu)                                                      |
| $h_{sa}$         | vzdialenosť výslednice aktívneho zemného tlaku od spodného okraja (základu) konštrukcie |
| $h_{sp}$         | vzdialenosť výslednice pasívneho zemného tlaku od spodného okraja (základu) konštrukcie |
| $h_{sr}, h_{so}$ | vzdialenosť výslednice zemného tlaku v pokoji od spodného okraja (základu) konštrukcie  |
| $H$              | zaťaženie horizontálnou silou                                                           |
| $i, j$           | index                                                                                   |
| $I_D$            | relatívna hutnosť                                                                       |
| $I, I_f$         | moment zotrvačnosti stavebnej, resp. základovej konštrukcie                             |



|                  |                                                                                          |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $IM$             | integrovaný most                                                                         |
| $k$              | relatívna tuhosť základovej (stavebnej) konštrukcie a podložia                           |
| $k_{\phi}$       | rotačná tuhosť podložia                                                                  |
| $k_s, k_1$       | Winklerov modul reakcie podložia, modul ložnosti podložia, modul stlačiteľnosti podložia |
| $k_2$            | Pasternakova konštanta roznosu šmyku                                                     |
| $K_a$            | súčiniteľ aktívneho zemného tlaku                                                        |
| $K_p$            | súčiniteľ pasívneho zemného tlaku                                                        |
| $K_r, K_o$       | súčiniteľ zemného tlaku v pokoji                                                         |
| $K^*$            | modifikovaný súčiniteľ zemného tlaku (podľa metodiky BA 42/96 Part 12)                   |
| $KKR$            | kategória konštrukčného riešenia                                                         |
| $L, l$           | dĺžka (základu, konštrukcie)                                                             |
| $L_D$            | dilatujúca dĺžka nosnej konštrukcie mosta                                                |
| $L_{D,adm}$      | maximálna prípustná dilatujúca dĺžka nosnej konštrukcie mosta                            |
| $M, M_{max}$     | ohybový moment, maximálny ohybový moment                                                 |
| $NIM$            | neintegrovaný most                                                                       |
| $NK$             | nosná konštrukcia                                                                        |
| $q$              | intenzita spojitého plošného rovnomerného zaťaženia                                      |
| $p$              | reakcia podložia pôsobiaca na základovú konštrukciu                                      |
| $p_m$            | priemerná hodnota reakcie podložia pôsobiaca na základovú konštrukciu                    |
| $r$              | polomer                                                                                  |
| $s, w$           | sadnutie, zvislý posun                                                                   |
| $s_o$            | sadnutie pod osou základovej konštrukcie                                                 |
| $s_{ch}$         | sadnutie pod charakteristickým bodom základovej konštrukcie                              |
| $s_m$            | priemerné sadnutie                                                                       |
| $s_{max}$        | maximálna hodnota sadnutia                                                               |
| $\Delta s$       | nerovnomerné sadnutie                                                                    |
| $S$              | výslednica zemného tlaku (výsledná sila zemného tlaku)                                   |
| $S_a$            | výslednica aktívneho zemného tlaku                                                       |
| $S_p$            | výslednica pasívneho zemného tlaku                                                       |
| $S_r, S_o$       | výslednica zemného tlaku v pokoji                                                        |
| $SIM$            | semi-integrovaný most                                                                    |
| $T$              | tangenciálna sila                                                                        |
| $t$              | hrúbka (výška) základu                                                                   |
| $VK$             | výkonová kategória pozemnej komunikácie                                                  |
| $W$              | prierezový modul                                                                         |
| $x, y, z$        | súradnice bodu v priestore ( $x, y$ – vodorovné, $z$ – zvislá)                           |
| $u, v, w$        | posuny v smere osí $x, y, z$                                                             |
| $z$              | hlbka pod povrchom terénu alebo základovou škárou                                        |
| $z_z$            | deformačná zóna                                                                          |
| $\alpha$         | uhol odklonu rubu konštrukcie od zvislej roviny                                          |
| $\beta$          | uhol odklonu povrchu terénu od vodorovnej roviny                                         |
| $\gamma$         | objemová tiaž zeminy v prirodzenom uložení, objemová tiaž zasypania a násypu (zeminy)    |
| $\gamma_F$       | parciálny súčiniteľ zaťaženia                                                            |
| $\gamma_M$       | parciálny súčiniteľ parametra zeminy (materiálová vlastnosť)                             |
| $\gamma_R$       | parciálny súčiniteľ únosnosti (odolnosti)                                                |
| $\delta$         | tretí uhol medzi konštrukciou a zeminou, odklon výslednice od normály na rub konštrukcie |
| $\Delta$         | prírastok vodorovného posunu                                                             |
| $\Delta h$       | maximálny posun konca mosta                                                              |
| $\Delta h_{adm}$ | maximálny prípustný posun konca mosta                                                    |
| $+\Delta$        | prírastok aktívneho vodorovného posunu                                                   |
| $-\Delta$        | prírastok pasívneho vodorovného posunu                                                   |
| $+\Delta/h$      | pomerne vodorovné pretvorenie pri aktívnom zemnom tlaku                                  |

|                      |                                                                                      |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| $-\Delta/h$          | pomerné vodorovné pretvorenie pri pasívnom zemnom tlaku                              |
| $\varepsilon$        | pomerné pretvorenie                                                                  |
| $\nu$                | Poissonovo číslo                                                                     |
| $\sigma$             | normálové napätie                                                                    |
| $\sigma_a$           | vodorovné napätie od aktívneho zemného tlaku                                         |
| $\sigma_p$           | vodorovné napätie od pasívneho zemného tlaku                                         |
| $\sigma_r, \sigma_0$ | vodorovné napätie od zemného tlaku v pokoji                                          |
| $\sigma_k$           | normálové kontaktné napätie v zemine                                                 |
| $\sigma_m$           | priemerné normálové kontaktné napätie                                                |
| $\sigma_z$           | zvislé normálové napätie                                                             |
| $\tau$               | šmykové napätie                                                                      |
| $\vartheta_a$        | uhol, ktorý zvierá kritická šmyková rovina (aktívny zemný tlak) s vodorovnou rovinou |
| $\varphi$            | uhol vnútorného trenia zeminy                                                        |

## 2 VŠEOBECNE

Hlavným rozdielom medzi integrovanými mostami a konvenčnými, dilatovanými mostami je odstránenie pohyblivých konštrukčných prvkov s nižšou životnosťou (mostné závery a ložiská), ktoré sú v dôsledku cyklických pohybov a namáhání náchylné k výskytu porúch.

Medzi výhody integrovaných mostov patrí:

- zvýšená robustnosť a spoľahlivosť nosných konštrukcií,
- zvýšená dlhodobá používateľnosť nosných konštrukcií,
- zvýšenie jazdného komfortu a zníženie tvorby hluku,
- potenciálna redukcia nákladov na zhotovovanie,
- redukcia požiadaviek na údržbu a prehliadky,
- redukcia požiadaviek na obmedzenie dopravy z titulu údržby,
- odstránenie vizuálnych porúch zo zatekania v prípade porúch mostných záverov,
- celkovo nižšie náklady na zhotovenie a údržbu počas životnosti konštrukcie.

Návrh integrovaných mostov je však spojený so zložitejšou statickou analýzou vyplývajúcou z interakcie krajných opôr s cestným násypom a podložíom. Náročnosť analýzy je spojená aj s neistotami/variabilitou tuhostných parametrov zemín tvoriacich pružné podopretie a zásyp spolupôsobiaci s krajinou integrovanou oporou. Vysoký dôraz je tiež kladený na navrhovanie a zhotovovanie prechodových oblastí, ktoré musia absorbovať vodorovné pohyby mosta a rozhodujúcou mierou zabezpečujú bezpečnosť a komfort prejazdu dopravy.

Potrebu zavedenia integrovaných mostov do praxe na území Slovenska zhrnul vo svojej práci Ing. Gabriel Tevec [Tevec 2004, Tevec 2014]. Odvoláva sa na vlastné a domáce skúsenosti z výstavby a údržby mostov, z rešerše problematiky integrovaných mostov, životnosti mostných záverov a ložísk zo zahraničia.

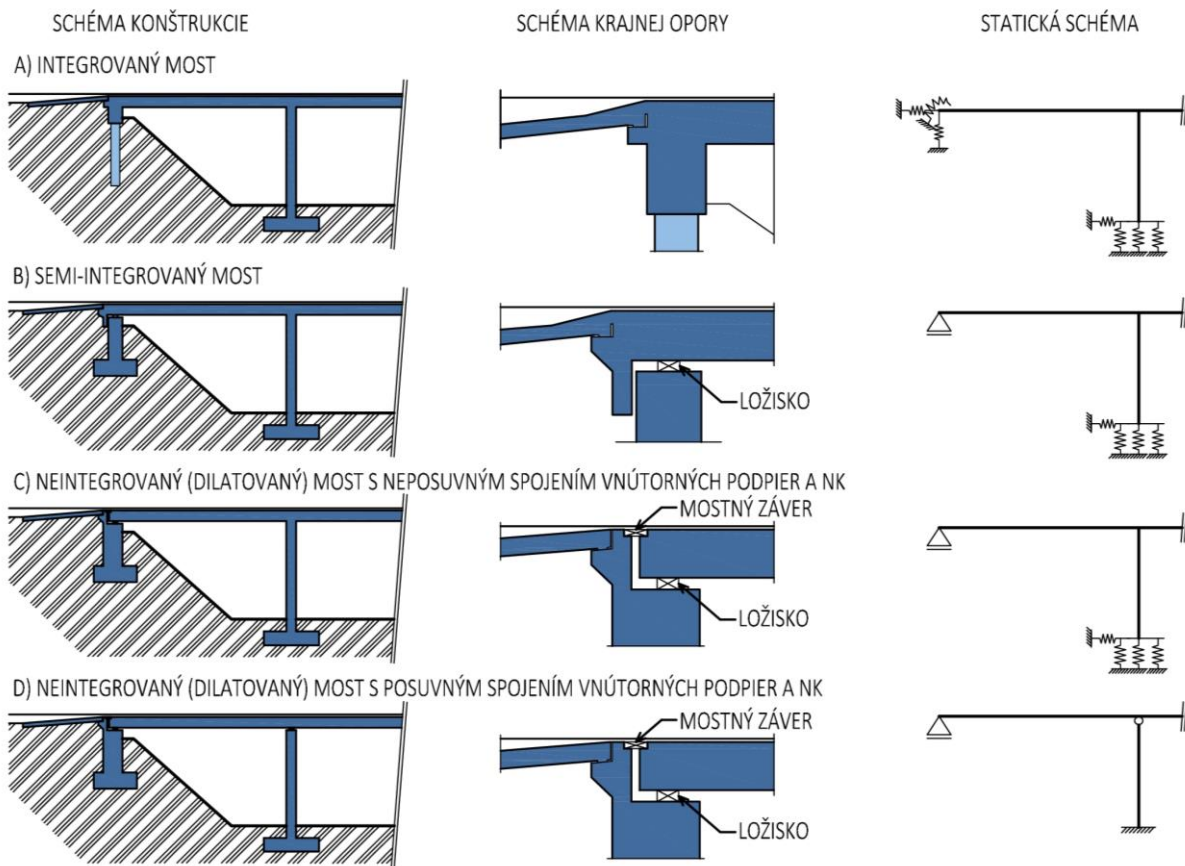
### 2.1 Termíny a definície

V terminológii integrovaných mostov a ich významov podľa rôznych zahraničných zdrojov a autorov je možné nájsť nesúlad. Týka sa to pojmov integrovaný (integral), semi-integrovaný most (semi-integral, jointless bridge). Na účely tejto RU platia nasledovné termíny a definície:

|                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Integrovaný most (IM)<br><i>Integral Bridge</i>            | Most, ktorého mostovka je neposuvne spojená so spodnou stavbou.<br>Nemá mostné závery ani ložiská, obr. 2.1.1 a).<br>Za IM je možné považovať aj most s integrovanou len jednou oporou v prípade, ak teplotná os nosnej konštrukcie nie je v mieste integrovanej opory. |
| Semi-integrovaný most (SIM)<br><i>Semi-integral Bridge</i> | Most bez mostného záveru, ktorého krajné opory sú spojené s mostovkou posuvne pomocou ložísk, obr. 2.1.1 b).                                                                                                                                                            |
| Neintegrovateľný most (NIM)<br><i>Conventional Bridge</i>  | Most s mostným záverom, ktorého krajné opory sú spojené s mostovkou posuvne pomocou ložísk, obr. 2.1.1 c,d).                                                                                                                                                            |
| Posun konca mosta                                          | Maximálne horizontálne premiestnenie konca integrovaného/semi-integrovaného mosta spôsobená priamymi a nepriamymi zaťažzeniami.                                                                                                                                         |
| Maximálny prípustný posun konca mosta                      | Maximálne dovolené horizontálne premiestnenie konca integrovaného/semi-integrovaného mosta.                                                                                                                                                                             |
| Pevný bod                                                  | Bod na nosnej konštrukcii mosta, ktorého horizontálne premiestnenie od stálych a teplotných zaťažení je nulové.                                                                                                                                                         |
| Dilatujúca dĺžka                                           | Dĺžka nosnej konštrukcie medzi koncom nosnej konštrukcie a pevným bodom.                                                                                                                                                                                                |
| Maximálna prípustná dilatujúca dĺžka                       | Maximálna dovolená dilatujúca dĺžka mosta odvodená na základe kritéria maximálne prípustného posunu konca mosta.                                                                                                                                                        |
| Výkonová kategória pozemnej komunikácie (VK)               | Parameter dopravného významu cesty stanovený v závislosti od úrovne dopravného zaťaženia a významu (tab. 2.3.3)                                                                                                                                                         |

Kategória konštrukčného riešenia (KKR)

Kategorie definujúce komplex požiadaviek na návrh, zhotovovanie a údržbu integrovaných a semi-integrovaných mostov (kap. 8)



Obr. 2.1.1 – Rozdelenie mostných konštrukcií podľa spôsobov integrácie spodnej stavby a nosnej konštrukcie

## 2.2 Maximálna prípustná dĺžka integrovaných mostov

V zahraničí sa všeobecne používajú dva prístupy pre stanovenie maximálnej prípustnej dĺžky integrovaných a semi-integrovaných mostov:

- priame: definovanie maximálnej dĺžky mosta, resp. dilatujúcej dĺžky mosta,
- nepriame: definovanie prípustnej hodnoty posunu konca mosta (veľkosť rozsahu dilatujúcich pohybov), ktorým je vystavená prechodová oblasť, alebo krajná opora. Z prípustných posunov konca mosta je možné overiť dilatujúcu dĺžku pre individuálny typ konštrukcie.

Oba prístupy majú za cieľ limitovať expanziu a kontrakciu prechodovej oblasti aj s konštrukciou vozovky.

Maximálnu prípustnú dĺžku integrovaných a semi-integrovaných mostov ovplyvňujú predovšetkým faktory ako celková dĺžka konštrukcie, šikmosť mosta, pôdorysné zakrivenie mosta a materiál nosnej konštrukcie. Maximálna prípustná dĺžka je obvykle udávaná samostatne pre oceľové a betónové mosty. Oba materiály majú približne rovnaký koeficient teplotnej rozťažnosti, avšak oceľ je vďaka svojim tenkostenným prierezom značne citlivejšia na zmeny teploty a naopak betón podlieha reologickým zmenám. Maximálne prípustné dĺžky integrovaných mostov, ktoré technické predpisy udávajú, majú značný rozdiel medzi štátmi Európy a Severnej Ameriky. Je možné konštatovať, že v Európe prevažujú konzervatívnejšie názory a maximálne hodnoty zriedka presahujú 70 m (Fínsko). V USA sa hodnoty pohybujú obvykle do 120 m, ale v niektorých štátoch sú povolené aj značne vyššie hodnoty ako napríklad 167 m (Illinois), alebo až 212 m (Vermont).

S ohľadom na spoločný základ v technických normách a predpisoch, podobnosť v realizačných technológiách a postupoch, sa v ďalších častiach tejto RÚ preberajú konštrukčné riešenia najmä z českého technického predpisu [TP 261 (ČR)]. Historicky spoločný základ, aj pre u nás používané riešenia prechodových oblastí konvenčných dilatovaných mostov, je vo švajčiarskych predpisoch.

### 2.3 Konštrukčné zatriedenie integrovaných a semi-integrovaných mostov

Pre účely tejto RÚ je maximálna dĺžka integrovaných a semi-integrovaných mostov definovaná nepriamo pomocou maximálne prípustného posunu konca mostov a závislosti od výkonovej kategórie pozemnej komunikácie (tab. 2.3.3). Maximálne hodnoty prípustných posunov konca mosta dosahujú hodnotu 20 mm pre VK1 a 30 mm pre VK2 v závislosti od typu integrovanej konštrukcie (obr. 4.1.1).

Integrované a semi-integrované mosty sa podľa materiálu nosnej konštrukcie, výkonovej kategórie pozemnej komunikácie (VK) a dilatujúcej dĺžky zatriedia do kategórie konštrukčného riešenia podľa tab. 2.3.1 a tab. 2.3.2. Kategórie konštrukčného riešenia (KKR) definujúce komplex požiadaviek na návrh, zhotovovanie a údržbu integrovaných a semi-integrovaných mostov. Pre mosty neobvyklého materiálového, konštrukčného riešenia alebo významne zakrivené mosty sa KKR zvýši o jeden stupeň. Medzi takéto konštrukcie sa radia napríklad spriahnuté drevo-betónové konštrukcie, nevyskúšané riešenia.

Hodnoty hraničných dilatujúcich dĺžok uvedených v tab. 2.3.1 a tab. 2.3.2 sa znížia o 5 m:

- za každých začatých 10° šikmosti pod šikmost' 70°,
- výrazne nesymetrický pozdĺžny rez mosta s viacerými poliami vzhľadom k pevnému bodu (bežne rozdiely väčšie ako 20 % oproti symetrii v rozpätiach polí mosta, výškach podpier, tuhosti nosnej konštrukcie, a pod.),
- veľmi tuhé podopretie nosnej konštrukcie v pozdĺžnom smere (napr. tuhá rámová stojka plošne založená na skale, tuhé krabicové opory, opory s veľkými votknutými krídlami, tuhý pilóťový základ), tento bod neplatí pre semi-integrované mosty,
- výrazne rozdielne tuhosti založenia jednotlivých podpier (zvyčajne o viac ako 30 %).

Pokiaľ sa uplatnia aspoň dva z vyššie uvedených bodov, alebo v prípade šikmosti mosta menšej ako 60°, konštrukcia sa namiesto zmenšenia hraničnej hodnoty dilatujúcej dĺžky zatriedi do najbližšej vyššej kategórie konštrukčného riešenia, minimálne do KKR3.

Tab. 2.3.1 – Zatriedenie integrovaných mostov do kategórie konštrukčného riešenia podľa materiálu NK a dilatujúcej dĺžky mosta, platí pre šikmost' mostov 70° - 90°

| Výkonová kategória pozemnej komunikácie                                       | Kategória konštrukčného riešenia | Materiál nosnej konštrukcie / dilatujúca dĺžka mosta $L_D$ |                                   |                            |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
|                                                                               |                                  | Monolitický železobetón                                    | Spriahnuté betónové konštrukcie * | Monolitický predpätý betón | Spriahnuté oceľ-betónové konštrukcie |
| VK1                                                                           | KKR1                             | < 15 m                                                     | < 15 m                            | -                          | < 15 m                               |
|                                                                               | KKR2                             | 15 - 25 m                                                  | 15 - 30 m                         | < 25 m                     | 15 - 35 m                            |
|                                                                               | KKR3                             | 25 - 40 m                                                  | 30 - 45 m                         | 25 - 40 m                  | 35 - 50 m                            |
|                                                                               | KKR4                             | > 40 m                                                     | > 45 m                            | > 40 m                     | > 50 m                               |
| VK2                                                                           | KKR1                             | < 20 m                                                     | < 20 m                            | -                          | < 20 m                               |
|                                                                               | KKR2                             | 20 - 35 m                                                  | 20 - 40 m                         | < 35 m                     | 20 - 45 m                            |
|                                                                               | KKR3                             | 35 - 50 m                                                  | 40 - 55 m                         | 35 - 50 m                  | 45 - 60 m                            |
|                                                                               | KKR4                             | > 50 m                                                     | > 55 m                            | > 50 m                     | > 60 m                               |
| * Železobetónové alebo predpäté prefabrikáty spriahnuté s monolitickou doskou |                                  |                                                            |                                   |                            |                                      |

Tab. 2.3.2 – Zatriedenie semi-integrovaných mostov do kategórie konštrukčného riešenia podľa materiálu NK a dilatujúcej dĺžky mosta, platí pre šikmosť mostov 70° - 90°

| Kategória konštrukčného riešenia                                              | Materiál nosnej konštrukcie / dilatujúca dĺžka mosta $L_D$ |                                   |                            |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
|                                                                               | Monolitický železobetón                                    | Spriahnuté betónové konštrukcie * | Monolitický predpätý betón | Spriahnuté oceľ-betónové konštrukcie |
| KKR1                                                                          | < 25 m                                                     | < 30 m                            | < 20 m                     | < 30 m                               |
| KKR2                                                                          | 25 - 50 m                                                  | 30 - 50 m                         | 20 - 40 m                  | 30 - 60 m                            |
| KKR3                                                                          | > 50 m                                                     | > 50 m                            | > 40 m                     | > 60 m                               |
| * železobetónové alebo predpäté prefabrikáty spriahnuté s monolitickou doskou |                                                            |                                   |                            |                                      |

Tab. 2.3.3 – Výkonová kategória pozemnej komunikácie

| Výkonová kategória pozemnej komunikácie | Trieda dopravného zaťaženia podľa STN 73 6114 | Orientačné špecifikácie pozemnej komunikácie |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| VK1                                     | I, II a III                                   | diaľnice, rýchlostné cesty, cesty I. triedy  |
| VK2                                     | IV, V a VI                                    | ostatné cesty                                |

### 3 PÔSOBNIE INTEGROVANÝCH MOSTOV

Tuhým a neposuvným spojením hornej a spodnej stavby mosta vzniká konštrukcia, ktorá má zvýšenú odolnosť proti priamym zaťaženiám (stále gravitačné zaťaženia, zaťaženie od dopravy, vietor). Zvyšuje sa statická neurčitosť konštrukcie a taktiež tzv. robustnosť konštrukcie, ktorá umožní v prípade preťaženia časti konštrukcie redistribúciu namáhania do menej zaťažených častí.

Zároveň však obmedzením možnosti voľnej deformácie konštrukcie vznikajú od nepriamych zaťažení dodatočné namáhania, ktoré je potrebné zohľadniť pri navrhovaní hornej aj spodnej stavby integrovaného mosta. Medzi nepriame zaťaženie ovplyvňujúce napätosť konštrukcie patria objemové zmeny (zmrašťovanie, dotvarovanie a teplotné účinky) a nerovnomerné sadanie. Zvýšená náročnosť statickej analýzy spočíva v zohľadnení obmedzujúcich okrajových podmienok reprezentujúcich okolité zemné teleso, t.j. zásyp za oporami a podložie základov.

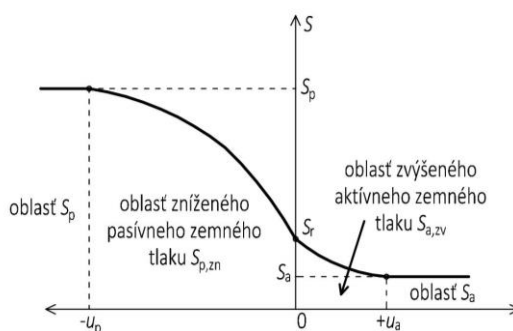
#### 3.1 Špecifické namáhania v dôsledku integrácie opôr do nosnej konštrukcie

V nasledujúcej časti sú uvedené špecifické namáhania integrovaných mostov, ktoré je potrebné uvažovať pri statickej analýze oproti konvenčným neintegrovaným mostom.

##### 3.1.1 Zmeny zemného tlaku na opory v dôsledku posunu konca mosta

Interakcia zemného násypu cestného telesa v prechodovej oblasti s krajinou oporou je hlavným rozdielom medzi integrovanými a neintegrovanými mostami a taktiež semi-integrovanými mostami. Posun konca mosta spolu s integrovanou krajinou oporou vyvoláva zmeny zemného tlaku. Pri zatlačaní opory do zemného telesa dochádza k zmene zemného tlaku v pokoji na pasívny tlak a naopak pri skrátení mosta, resp. oddaľovaní opory od zemného telesa dochádza k zmene zemného tlaku v pokoji na aktívny tlak. Veľkosť pôsobiaceho zemného tlaku je závislá od pomeru vodorovného posunu opory ku výške opory. Táto závislosť zobrazená na obr. 3.1.1 má nelineárny priebeh. Stanovenie veľkosti zemného tlaku je úlohou mechaniky zemín a podrobnejšie sa tomuto problému venuje kap. 6.3. Správne určenie zemného tlaku má najväčší vplyv na návrh krajných opôr a ich založenie.

K zmenám zemného tlaku prispieva aj dlhodobé dohutňovanie zásypu prechodovej oblasti. Cyklické posuny konca mosta v dôsledku prevažne teplotných zmien v spojení so zvislými účinkami dopravného zaťaženia spôsobuje postupné zhutňovanie zásypu v kontaktnej oblasti krajnej opory.



Obr. 3.1.1 – Závislosť zmeny zemného tlaku od relatívneho posunu opory

##### 3.1.2 Zvýšenie namáhania nosnej konštrukcie

Vplyvom obmedzenia vodorovných posunov a deformácií nosnej konštrukcie v dôsledku tuhého, neposuvného spojenia so spodnou stavbou a obmedzením dilatačných pohybov zemným telesom cestného násypu dochádza k zvýšeniu namáhania nosnej konštrukcie. V prípade predĺženia konštrukcie vzniká obmedzením voľného deformovania tlakové namáhanie so zanedbateľným pozitívnym účinkom pre betónové mosty. Pre štíhle oceľové mosty však môže ísť o rozhodujúce kritérium pre návrh neintegrovaného mosta. V opačnom prípade skrátenia konštrukcie vyvoláva

zvýšené ťahové namáhanie, ktoré je potrebné uvážiť pri posúdení hornej stavby. Snahou o elimináciu týchto javov je návrh štíhlej a flexibilnej spodnej stavby a taktiež návrh vrubových kĺbov v prípade nízkych podpier alebo viacpoľových mostov.

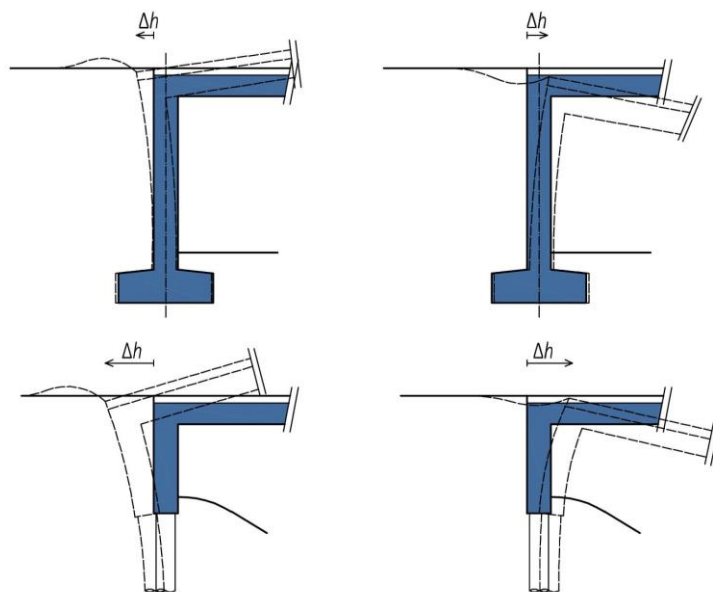
### 3.1.3 Zvýšenie namáhania spodnej stavby a základov

V dôsledku absencie ložísk umožňujúcich vodorovný pohyb hornej stavby bez prenosu zaťaženia na spodnú stavbu dochádza k zvýšenému šmykovo ohybovému namáhaniu pilierov a opôr, ktoré sa prenáša aj na základové konštrukcie. Pri plošných základoch dochádza k zvýšeniu šmykového namáhania v základovej škáre. V prípade hĺbkového založenia dochádza k zvýšeniu horizontálnych účinkov pôsobiacich v hlave pilót. Pri navrhovaní je snahou o vyvážený návrh tuhosti spodnej stavby a jej zakladania, ktorý zabezpečí dostatočnú odolnosť voči horizontálnym účinkom a rovnomerne rozdelí horizontálne účinky pre jednotlivé podpory a ich základy.

### 3.1.4 Posun konca mosta

V dôsledku absencie dilatačného zariadenia, mostného záveru, sa vodorovné posuny mosta prenášajú do prechodovej oblasti mosta. Tieto pohyby môžu viesť až k jej poškodeniu. Môže dôjsť k vzniku trhlín vo vozovke v mieste jej napojenia na nosnú konštrukciu, poprípade na konci prechodovej dosky. Zároveň dochádza ku vzniku zvislých deformácií v prechodovej oblasti (obr. 3.1.2). Správny návrh a zabezpečenie funkcie prechodovej oblasti je základným predpokladom funkčnosti integrovaného mosta.

Vodorovné posuny môžeme rozdeliť na monotónne a cyklické. Monotónne dlhodobé posuny nastávajú v dôsledku reologických javov betónu (zmrašťovanie, dotvarovanie). Cyklické posuny majú charakter premenného zaťaženia hlavne od teploty, poprípade od účinkov dopravy.



Obr. 3.1.2 – Deformácie krajnej opory a cestného násypu v dôsledku vodorovných posunov

### 3.1.5 Pôdorysne zakrivené mosty

Pôsobenie priamych a mierne zakrivených integrovaných mostov pri zmenách dĺžky konštrukcie je sprevádzané posunom konca mosta do zemného telesa a vznikom osových síl v nosnej konštrukcii. Veľkosť týchto síl je priamo úmerná tuhosti integrovaných podpier a odporu násypového telesa prechodovej oblasti. V prípade semi-integrovaných mostov nie sú posuny konca mosta obmedzované

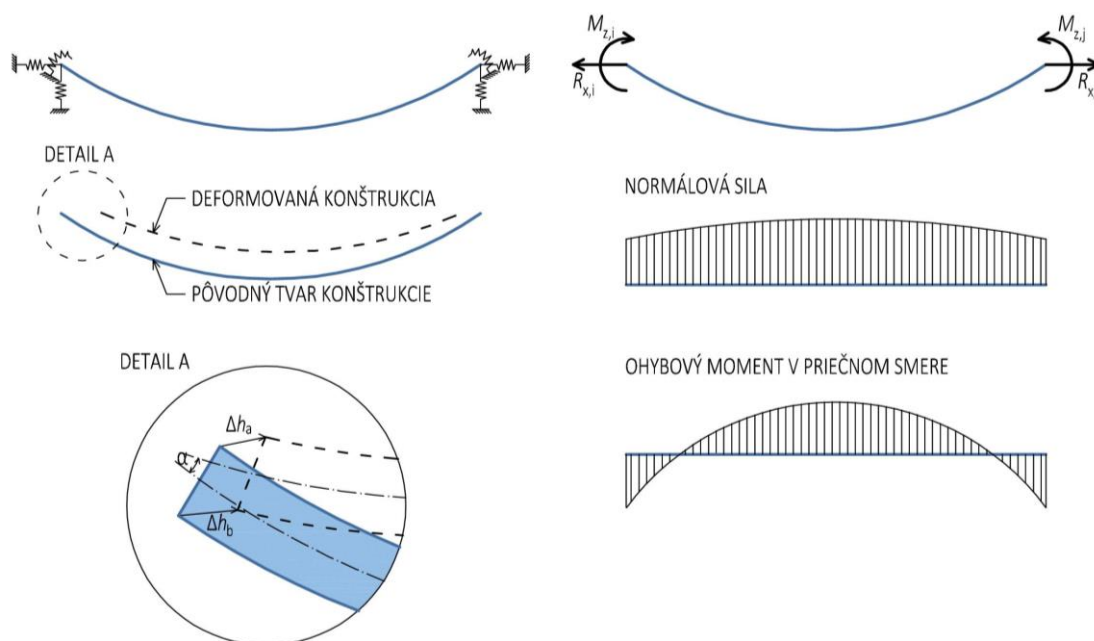


tuhosťou krajnej opory a ani odporom násypového telesa vzhľadom na malú výšku koncového priečnika a prechodovej dosky, preto sú vznikajúce osovú sily od dilatačných pohybov menšie.

Tuhosť integrovaných podpier a opôr spolu s odporom cestného telesa prechodovej oblasti je však v porovnaní s osovou tuhosťou mostovky zanedbateľná a preto posun konca mosta integrovaných, semi-integrovaných a neintegrovaných mostov je približne rovnaká.

Pri pôdorysne významne zakrivených integrovaných mostoch dochádza vplyvom obmedzenia dilatačných pohybov okrem vzniku menších osových síl aj k vzniku priečných ohybových momentov. Zníženie osového namáhania je dôsledkom vzniku priečných vodorovných deformácií hornej stavby, ktoré súčasne redukuje aj posuny na koncoch mosta. Dochádza tu tiež k pootočeniu okolo zvislej osi a tým k rozdielnemu posunu voči zemnému telesu po šírke mosta. Vplyv nerovnomerného posunu na vnútornej a vonkajšej hrane nosnej konštrukcie je potrebné zohľadniť pri posúdení prechodovej oblasti mosta. Deformačný a silový stav priamych a zakrivených integrovaných mostov je znázornený na obr. 3.1.3.

Pôdorysné zakrivenie mosta sa môže využiť k redukcii posunov konca mosta a tým pádom k návrhu celkovo dlhších integrovaných mostov v porovnaní s priamymi mostami.



Obr. 3.1.3 – Pôsobenie zakrivených integrovaných mostov [ASTRA 12 004]

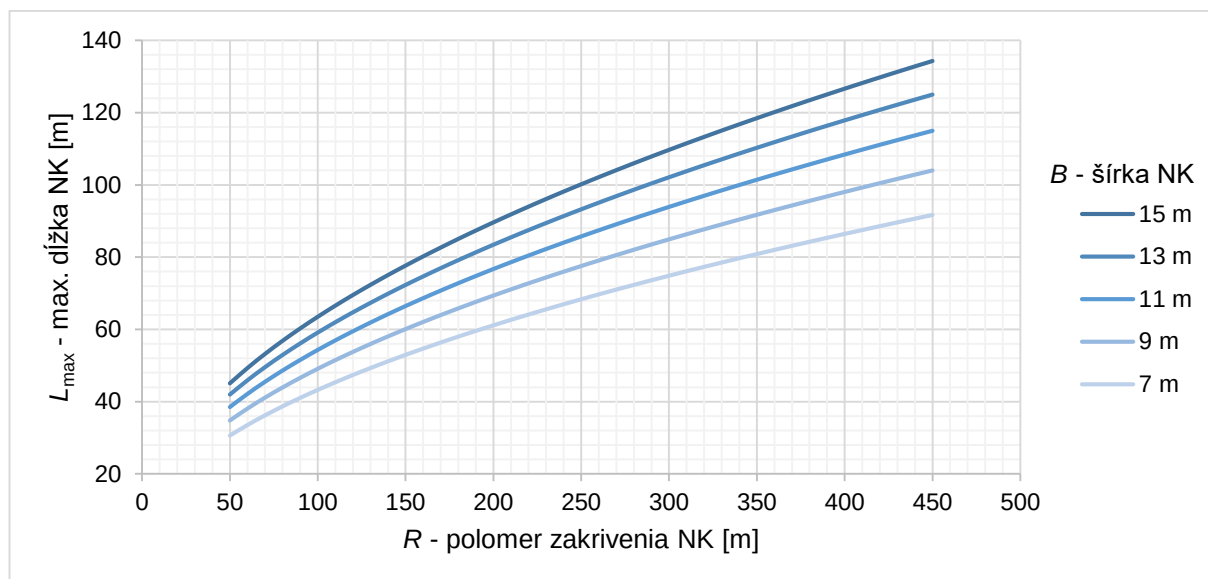
Vplyv pôdorysného zakrivenia pre analýzu namáhania integrovaného mosta je zvyčajne možné zanedbať v prípade dodržania geometrickej podmienky [TP 261 (ČR)]:

$$R \cdot \left(1 - \cos \frac{L}{2R}\right) \leq \frac{B}{3} \quad (3.1)$$

kde  $R$  – polomer pôdorysného zakrivenia mosta,  
 $L$  – dĺžka nosnej konštrukcie mosta,  
 $B$  – šírka nosnej konštrukcie mosta.

Z geometrickej podmienky (3.1) je možné odvodiť maximálnu dĺžku nosnej konštrukcie  $L_{\max}$ , pri ktorej je možné zvyčajne zanedbať pôdorysné zakrivenie mosta pre stanovenie vnútorných síl. Hodnoty maximálnej dĺžky nosnej konštrukcie pre rôzne šírky a polomery zakrivenia nosnej konštrukcie sú znázornené v grafe obr. 3.1.4.

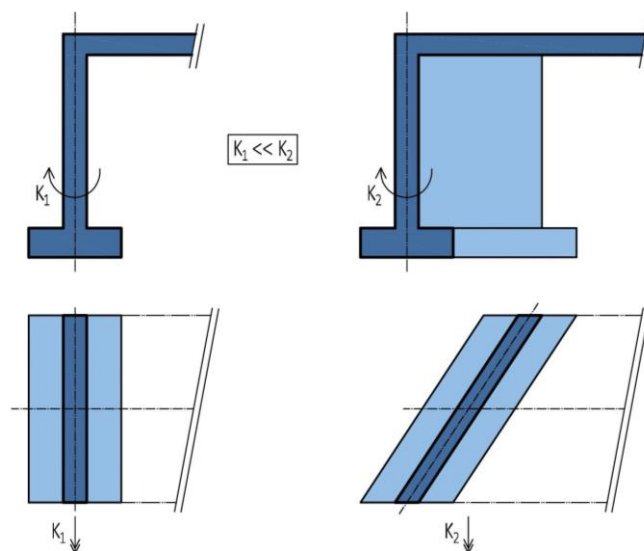
$$L \leq L_{\max} = 2R \cdot \arccos \left( 1 - \frac{B}{3R} \right) \quad (3.2)$$



Obr. 3.1.4 – Maximálna dĺžka zakrivených integrovaných mostov s možnosťou zanedbať vplyv geometria pôdorysného zakrivenia pre stanovenie vnútorných síl nosnej konštrukcie (NK)

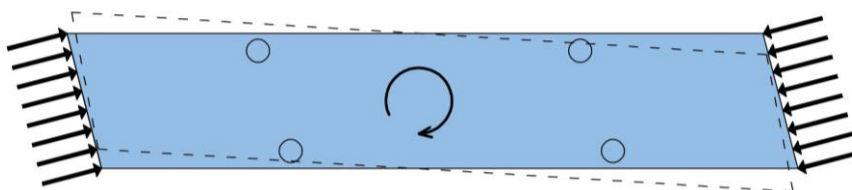
### 3.1.6 Šikmé mosty

Šikmosť integrovaných podpier a krajných opôr výrazne zvyšuje tuhosť spodnej stavby voči dilatáčnym pohybom nosnej konštrukcie (obr. 3.1.5). Zvyšuje sa tým priamoúmerne namáhanie nosnej konštrukcie osovými silami z obmedzenia voľnej deformácie.



Obr. 3.1.5 – Zvýšenie tuhosti integrovaných podpier a opôr vplyvom ich šikmosti

Vplyvom šikmosti krajných integrovaných opôr dochádza k pootočeniu celej nosnej konštrukcie a tým ku skoseniu posunu konca mosta podobne ako pri pôdorysne zakrivených integrovaných mostoch (obr. 3.1.6). Je tiež potrebné uvážiť vplyv zvislého dopravného zaťaženia na vodorovné deformácie opory. Pre návrh prechodovej oblasti je rozhodujúci vodorovný posun v smere kolmom na rub integrovanej opory, kolmo na os uloženia mosta.



Obr. 3.1.6 – Deformácia v dôsledku šikmosti integrovaných podpier a opôr

### 3.1.7 Dodatočne predpäté konštrukcie

Integráciou podpier a opôr s nosnou konštrukciou dochádza k technologickým problémom pri aplikácii dodatočného predpätia. Tuhosť integrovaných podpier znižuje hodnotu osovej sily od predpätia v nosnej konštrukcii. Elimináciu tohto efektu je možné dosiahnuť rôznymi konštrukčnými úpravami (obr. 4.2.2) a tiež voľbou semi-integrovannej konštrukcie.

V statickej analýze účinkov predpätia je nutné zohľadniť postup výstavby a vplyv tuhosti podpier.

### 3.1.8 Seizmicita

Integrované mosty vykazujú dobrú odozvu v oblastiach seizmického namáhania. Tieto skúsenosti majú predovšetkým Nový Zéland [Wood et al. 2015, L11] a Japonsko [Nishida et al. 2012, L12], pričom v Japonsku nikdy neprišlo k vážnemu poškodeniu integrovanej konštrukcie mosta [Nishida et al. 2012, L12]. Typickou poruchou pri seizmickej udalosti je vybočenie nosnej konštrukcie z úložného prahu. Táto porucha pri integrovaných mostoch nemôže nastať vzhľadom na monolitické spojenia pilierov a opôr. Pri kmitaní v horizontálnom smere je možné uvažovať so zvýšeným tlmením vďaka spolupôsobeniu integrovaného mosta so zásypom za oporou [Wood et al. 2015, L11].

## 4 KONCEPCIA NAVRHOVANIA

V úvodných stupňoch projekčného návrhu je potrebné rozhodnúť o možnosti integrácie nosnej konštrukcie so spodnou stavbou. Z priestorového usporiadania na moste a pod mostom sa navrhne vhodná konštrukcia, ktorá sa posúdi z hľadiska možnosti minimalizácie počtu ložísk a mostných záverov.

Z hľadiska navrhovania je vhodné uprednostniť riešenia, ktoré vedú na návrh integrovaných alebo semi-integrovaných mostov a v prípade menej významných ciest (poľné, lesné cesty) a menej významných tokov i za cenu úpravy smerového riešenia. Splnenie kritérií pre návrh integrovaných alebo semi-integrovaných mostov môže byť dosiahnuté návrhom strmých násypov z vystuženej zeminy.

Podmienky, kedy nie je možné navrhnuť integrovaný alebo semi-integrovaný most sú napríklad:

- maximálne posuny konca mosta mimo rozsahu použitia, dlhé mosty,
- zložité geologické podmienky s očakávaným významným rozdielnym sadaním podpier,
- tvarovo zložité konštrukcie.

### 4.1 Typy integrovaných mostov

Mosty môžeme deliť podľa spôsobu integrácie podpier a krajných opôr s hornou stavbou a podľa riešenia prechodovej oblasti. Výber typu konštrukcie závisí od geometrie mosta a veľkosti posunov konca mosta. V závislosti od spôsobu konštrukčného detailu prechodovej oblasti cestného mosta rozlišujeme tieto typy mostov:

- integrované mosty, pôdorysne priame alebo mierne zakrivené, typy IM1 až IM4 (poddajná spodná stavba bez mostných záverov a ložísk, obr. 4.1.2),
- integrované mosty, pôdorysne významne zakrivené, typ IM5 (tuhá spodná stavba bez mostných záverov a ložísk, obr. 4.1.3),
- semi-integrované mosty, typ SIM (bez mostných záverov, obr. 4.1.4),
- neintegrované mosty, typ NIM (konvenčné mosty s mostnými závermi a ložiskami).

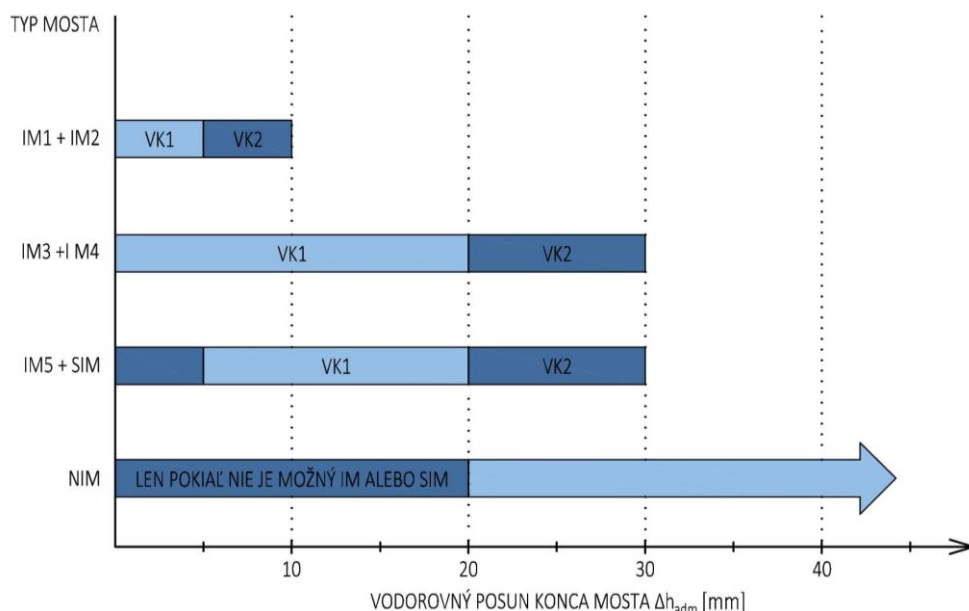
Tab. 4.1.1 – Prehľad typov mostov podľa konštrukčného napojenia prechodovej oblasti a mosta

| Typy integrovaných mostov                                   |     | Spôsob prechodu z mosta na cestné teleso | Konštrukcia kompletnej skladby cesty prechádza cez most | Prechodová doska | Mostný záver | Ložiská | Použitie                                            |
|-------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------|--------------|---------|-----------------------------------------------------|
| IM s poddajnými oporami, pôdorysne priame, mierne zakrivené | IM1 |                                          |                                                         |                  |              |         | Krátke mosty s nízkymi oporami                      |
|                                                             | IM2 | ✓                                        |                                                         |                  |              |         |                                                     |
|                                                             | IM3 |                                          | ✓                                                       |                  |              |         | Bežné priame mosty                                  |
|                                                             | IM4 | ✓                                        | ✓                                                       |                  |              |         | Krátke mosty                                        |
| IM s tuhými oporami, pôdorysne významne zakrivené           | IM5 |                                          | ✓                                                       |                  |              |         | Významne pôdorysne zakrivené mosty s tuhými oporami |
| Semi-integrované mosty                                      | SIM |                                          | ✓                                                       |                  |              | ✓       | Mosty s nízkymi oporami, tuhé podložie              |
| Neintegrované mosty                                         | NIM |                                          | ✓                                                       | ✓                | ✓            | ✓       | Dlhé mosty                                          |

Pokiaľ je z koncepcného hľadiska možné navrhnuť integrovaný alebo semi-integrovaný most, voľba typu je závislá hlavne od veľkosti vodorovného posunu konca mosta. Ten je ovplyvnený nasledujúcimi parametrami:

- dilatujúca dĺžka nosnej konštrukcie,
- pôdorysné vedenie a tvar (šíkmosť, polomer zakrivenia, atď.),
- materiál nosnej konštrukcie (železobetón, predpätý betón, spriahnutý prierez betón-betón, ocel-betón),
- tuhosť spodnej stavby, prechodovej oblasti a založenia mosta,
- postup výstavby, (obmedzenie pružných deformácií z predpínania, čiastočne z dotvarovania a zmrašťovania)
- priečna ohybová tuhosť (pôdorysne významne zakrivené mosty).

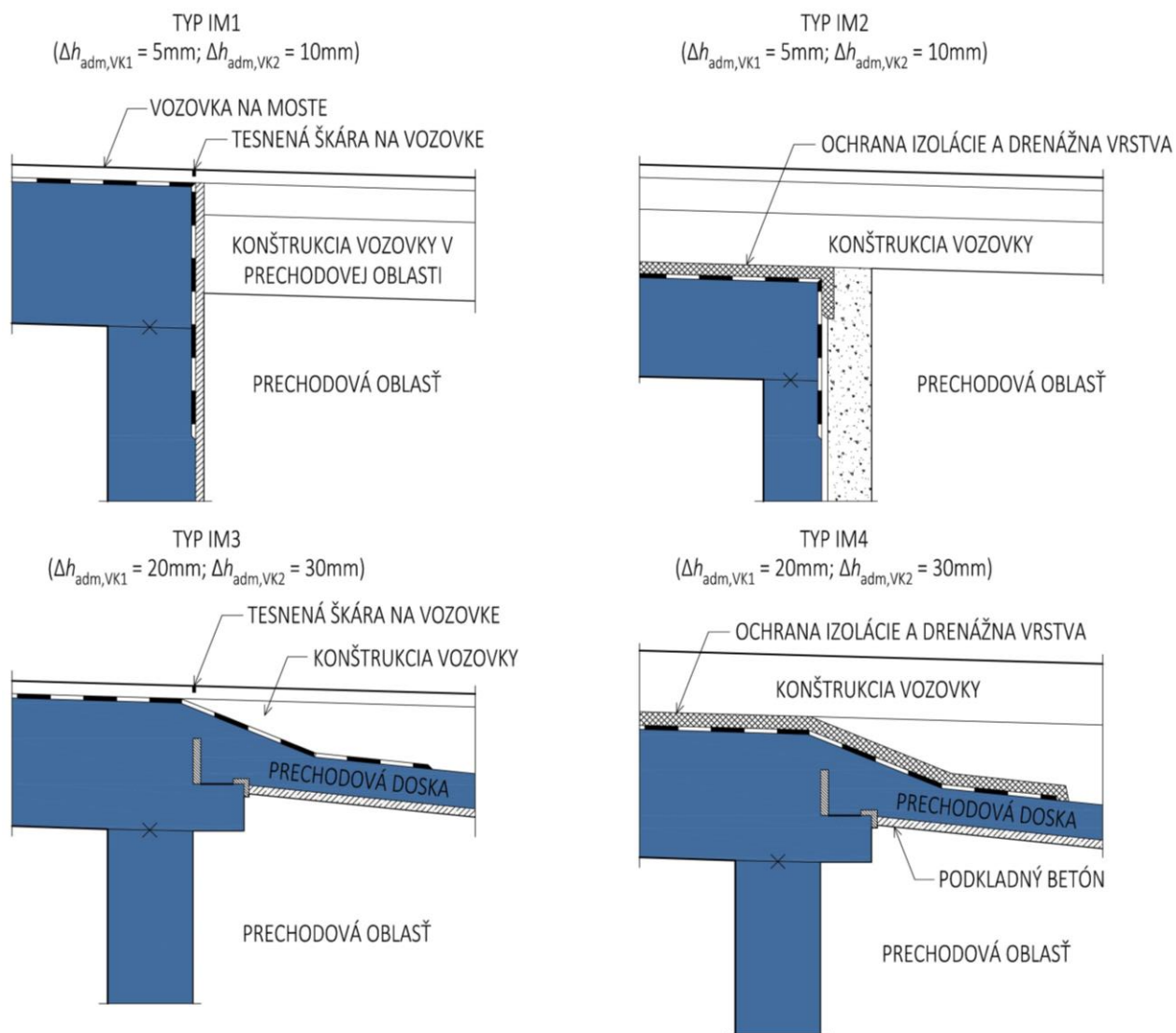
Maximálne prípustné hodnoty vodorovného posunu konca mosta sú znázornené na obr. 4.1.1 v závislosti od typu integrovanej konštrukcie a typu cestnej konštrukcie (hustota a intenzita dopravy) [ASTRA 12 004].



Obr. 4.1.1 – Oblasti použitia konštrukčných typov integrovaných mostov so smernými hodnotami prípustného maximálneho vodorovného posunu konca mosta

#### 4.1.1 Integrované poddajné opory

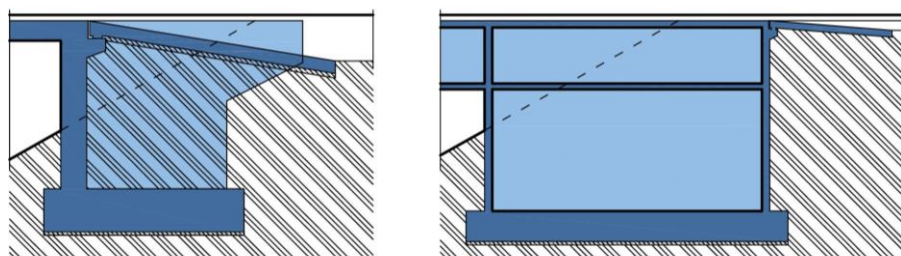
Konštrukčné riešenia uvedené v tejto kapitole sú vhodné pre pôdorysne priame, alebo mierne zakrivené integrované mosty. Na obr. 4.1.2 sú uvedené konštrukčné riešenia napojenia prechodovej oblasti na poddajné integrované opory, typ IM1 až IM4 podľa tab. 4.1.1.



Obr. 4.1.2 – Schémy napojenia prechodovej oblasti a poddajnej integrovanej opory, typ IM1 až IM4 [ASTRA 12 004, TP 261 (ČR)]

#### 4.1.2 Integrované tuhé opory

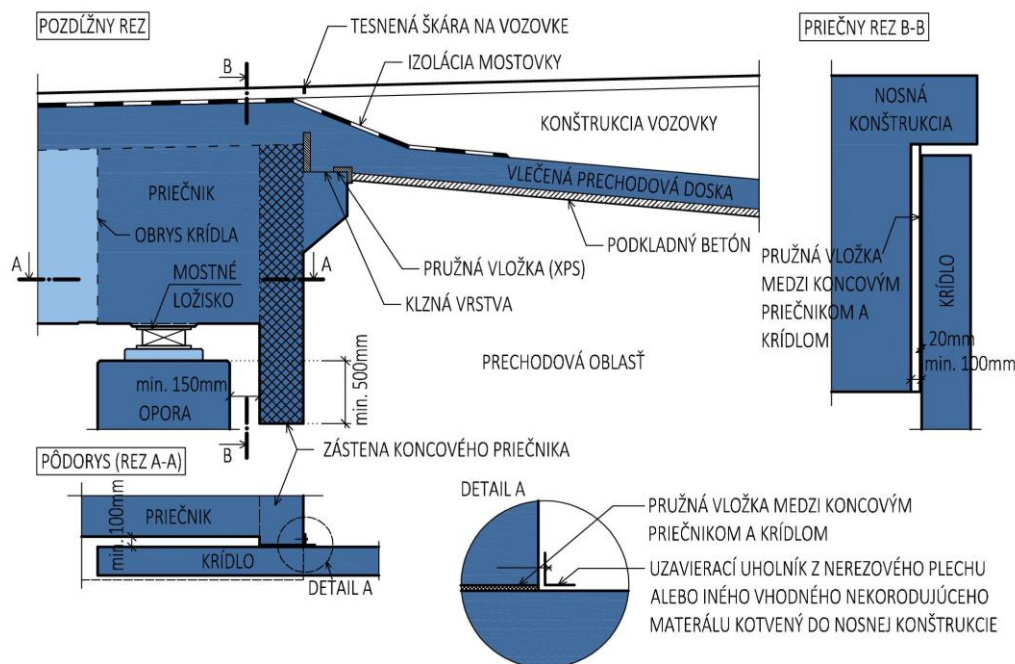
V prípade pôdorysne významne zakrivených mostov sa zvyčajne odporúča navrhnuť krajné opory čo možno najtužšie. Na obr. 4.1.3 sú znázornené dve schémy možného riešenia. Obe alternatívy predstavujú výraznú tuhosť pre zachytenie pozdĺžnych deformácií nosnej konštrukcie. V druhej alternatíve tuhosť krabicového systému tvorí aj dostatočnú tuhosť proti rotácii okolo zvislej osi. Toto riešenie zároveň vďaka svojej výraznej tuhosti predstavuje votknutie mostovky do opory umožňujúce návrh väčšieho rozpätia poľa oproti konvenčným proste uloženým neintegrovaným mostom.



Obr. 4.1.3 – Schéma variantov tuhých opôr významne zakrivených integrovaných mostov - typ IM5 [ASTRA 12 004, TP 261 (ČR)]

#### 4.1.3 Opory semi-integrovaných mostov

Na obr. 4.1.4 je znázornené napojenie krajnej opory semi-integrovaného mosta na zemné teleso, ktoré je vhodné pre nízke opory. Úložný prah je chránený z boku stienkou krídla a zo zadnej strany stienkou koncového priečnika. Pri tomto usporiadaní je potrebné brať do úvahy charakter bočného napojenia krídel a priečnika, ktorý musí umožňovať horizontálny posun nosnej konštrukcie a zároveň zabrániť prenikaniu zásypaného materiálu prechodovej oblasti cestného telesa.



Obr. 4.1.4 – Schéma napojenia semi-integrovaného mosta na teleso cestnej komunikácie [ASTRA 12 004, TP 261 (ČR)]



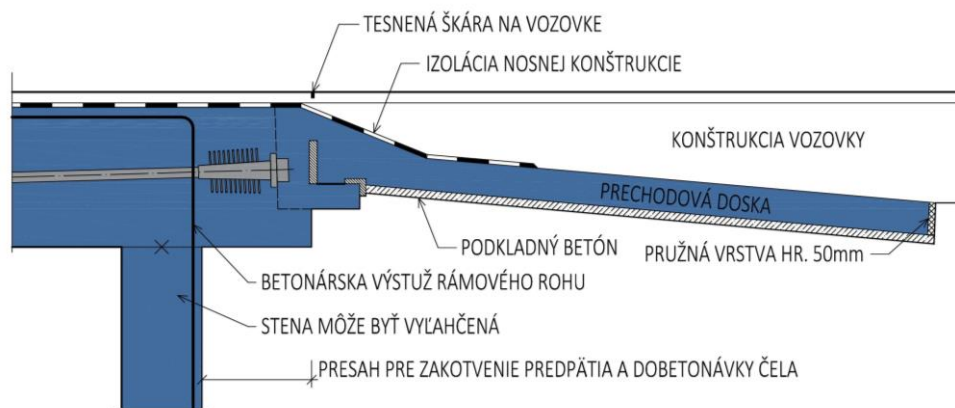
## 4.2 Nosná konštrukcia

Pri posúdení nosnej konštrukcie a spodnej stavby je potrebné uvážiť postup výstavby a interakciu s podloží a zásypom za integrovanou oporou. Integráciou opôr a podpier s nosnou konštrukciou významnou mierou vstupujú do posúdenia namáhania od nepriamych zaťažení (objemové zmeny, nerovnomerné sadanie).

Pre optimálny návrh konštrukcie sa odporúča navrhovať podpery a opory s malou tuhosťou v pozdĺžnom smere pre elimináciu nepriamych zaťažení. Preto sa odporúča navrhovať:

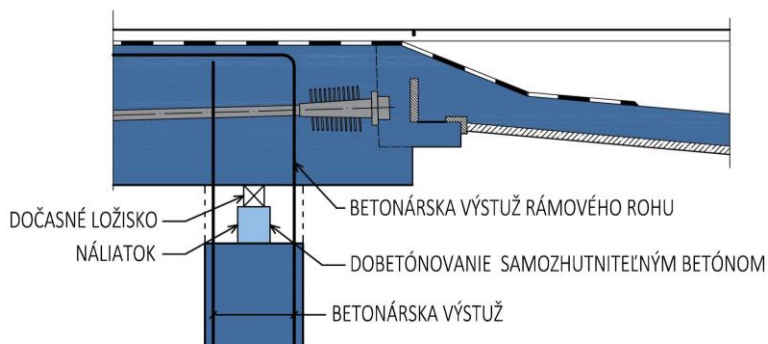
- uhol uloženia nosnej konštrukcie na podperách zvierajúci  $90^\circ$ ,
- navrhovať štíhle podpory. Minimalizovať tuhosti, resp. rozmery prierezov podpier pre namáhanie v pozdĺžnom smere.

Pri dodatočne predpätých mostoch v prípade zalícovania krajnej opory s koncom nosnej konštrukcie by dochádzalo ku konfliktu kotiev predpínacej výstuže a betonárskej výstuže zabezpečujúcej rámové pôsobenie styku opory a nosnej konštrukcie. Vhodné je konštrukčné riešenie podľa obr. 4.2.1 s predĺžením nosnej konštrukcie za oporou a plynulý prechod betonárskej výstuže rámového rohu.



Obr. 4.2.1 – Úprava vedenia dodatočného predpätia pre integrovanú krajnú oporu [ASTRA 12 004, TP 261 (ČR)]

Taktiež je vhodné obmedziť vnášanie pozdĺžnych pretvorení do nosnej konštrukcie po spojení so spodnou stavbou, napríklad pri dodatočne predpätých konštrukciách počas predpínania. Dosiahne sa tým efektívnejšie predopnutie nosnej konštrukcie a prípadne zmenšenie monotónneho vodorovného posunu konca mosta, ktoré umožní navrhnuť integrované mosty s väčšou dĺžkou. Technologicky je to možné dosiahnuť použitím dočasných ložísk a dodatočným dobetónovaním hornej časti integrovanej opory, čím sa dosiahne zmonolitnenie rámového styku. Betonáž uzavretého miesta je vhodné riešiť pomocou betónovacích a odvzdušňovacích otvorov v nosnej konštrukcii a s využitím samozhutniteľných betónov (obr. 4.2.2).



Obr. 4.2.2 – Použitie dočasných ložísk pre tuhé integrované opory v spojení s dodatočným predpínaním nosnej konštrukcie [TP 261 (ČR)]



V prípade nutnosti elektricky izolovaného oddelenia nosnej konštrukcie od spodnej stavby je možné využiť detail podľa VL4 303.01 Vrubový kĺb s izolačnou úpravou proti bludným prúdom.

### 4.3 Spodná stavba

Návrh spodnej stavby je neoddeliteľný od návrhu hornej stavby. Požiadavka na minimalizáciu tuhosti podpier a opôr v pozdĺžnom smere kvôli eliminácii nepriamych zaťažení je obmedzovaná požiadavkou dostatočnej tuhosti a posúdením na priame účinky ako sú napríklad brzdné sily, zemné tlaky a podobne.

#### 4.3.1 Piliere

Ak integrovaný pilier nie je v blízkosti pevného bodu nosnej konštrukcie (teplotnej osi NK), veľkosť jeho ohybovej tuhosti v pozdĺžnom smere vplyva priamo na veľkosť namáhania od nepriamych zaťažení.

Tuhým spojením piliera a nosnej konštrukcie vo forme rámového styčníka dochádza k prenosu ohybových momentov z nosnej konštrukcie do spodnej stavby. V dôsledku pôsobenia dopravného cyklického zaťaženia je potrebné posúdiť oblasť styčníka na únavu.

Eliminácia únavových namáhání ako aj zníženie tuhosti piliera v pozdĺžnom smere je možná v prípade spojenia piliera a nosnej konštrukcie pomocou vrubového kĺbu.

#### 4.3.2 Opory

Pre integrované opory založené plošne je odporúčané použiť stenové opory s malou hrúbkou. Hrúbka je zvyčajne v rozsahu 1/15 až 1/10 z výšky opory. Eliminácia únavových namáhání ako aj zníženie tuhosti opory v pozdĺžnom smere je možná v prípade spojenia opory a nosnej konštrukcie pomocou vrubového kĺbu.

V prípade integrovaných opôr založených hĺbkovo je pre pôsobenie spodnej stavby rozhodujúca tuhosť zakladania, t.j. tuhosť pilót v zemnom prostredí. Krátke votknuté pilóty sú nepriaznivým prípadom vysokej tuhosti hĺbkového zakladania.

#### 4.3.3 Krídla

Monoliticky spojené krídla s integrovanou oporou zvyšujú tuhosť spodnej stavby a namáhanie zemným tlakom. V prípade mostov s rovnobežnými krídlami je potrebné z hľadiska trvanlivosti obmedziť pohyby na pozdĺžnom styku krídla a vozovky a tiež na konci krídla. Mosty so šikmými krídlami sú namáhané zvýšenými účinkami zemných tlakov kvôli väčšej ploche, kde dochádza k interakcii medzi integrovanou oporou a zemným násypom.

V prípade dilatovaných, samostatných krídel je potrebné sa venovať riešeniu dilatačných škár, a teda zabezpečiť dostatočnú kapacitu škáry voči pohybom konca mosta a tesnosť proti prienikom vody. Vhodným riešením samostatných krídel je gabionová konštrukcia, ktorá je odolná voči deformáciám a nie je potrebné tesnenie proti prienikom vody.

#### 4.3.4 Plošné zakladanie

Plošné zakladanie sa pre integrované mosty v zásade nelíši od neintegrovaných mostov. Pre integrované mosty sú však charakteristické zvýšené vodorovné namáhania v pozdĺžnom smere. Preto treba zvláštnu pozornosť venovať aj posúdeniu šmykových namáhání v základovej škáre a celkovo horizontálnej odolnosti plošných základov.

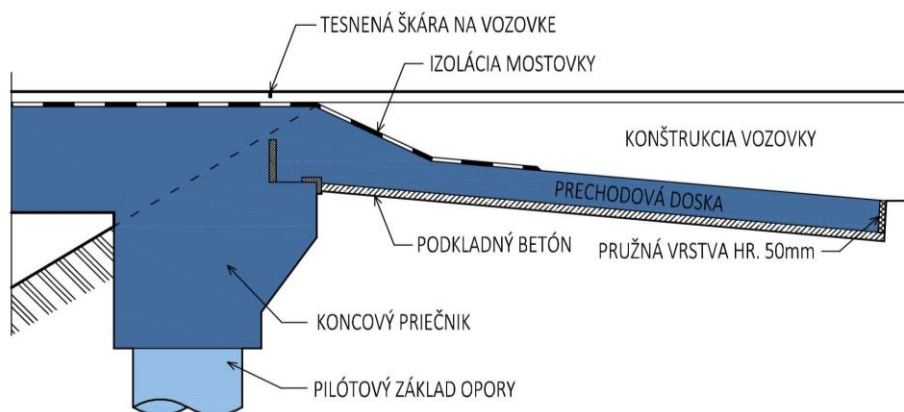
#### 4.3.5 Hĺbkové zakladanie – betónové pilóty

Horizontálne mäkké založenie v pozdĺžnom smere je možné dosiahnuť usporiadaním pilót v jednom rade. Typické zakladanie na pilótach je v násypoch s nízkymi koncovými priečnikmi alebo oporami (obr. 4.3.1).

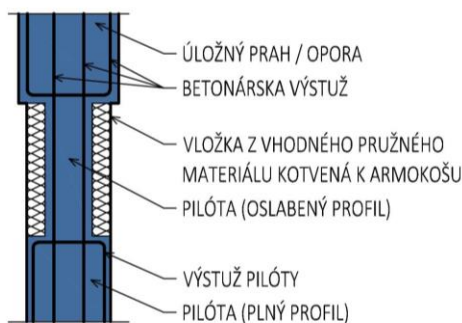
Ďalšie dodatočné zníženie ohybovej tuhosti pilót je možné dosiahnuť oslabením pilóty v hornej časti zmenšením jej účinného priemeru (obr. 4.3.2).

Pilóty integrovaných podpier a opôr sú rovnako ako plošné základy namáhané väčším vodorovným namáhaním v porovnaní s neintegrovanými mostami. Vodorovné namáhanie spôsobuje zároveň väčšie ohybové namáhanie a vznik trhlín. Trhliny v pilótach z pohľadu trvanlivosti vystužených betónových konštrukcií treba posúdiť podľa kritérií STN EN 1992-2.

V USA je považovaný spôsob založenia pomocou betónových pilót za menej výhodný. Používa sa v prípade kratších integrovaných mostov. V niektorých štátoch existuje obmedzenie maximálnej dĺžky integrovaného mosta založeného na betónových pilótach. Ako napríklad štát Illinois 61 m [Bakeer, et al. 2005].



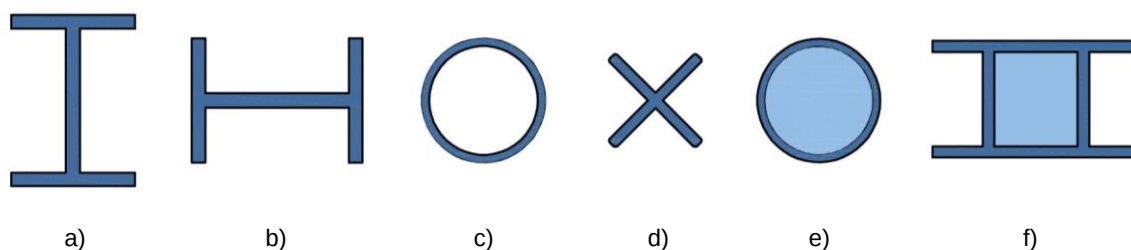
Obr. 4.3.1 – Schéma konca nosnej konštrukcie a vlečenej prechodovej dosky pre založenie krajnej opory na betónových pilótach



Obr. 4.3.2 – Konštrukčná úprava oslabenia betónovej pilóty

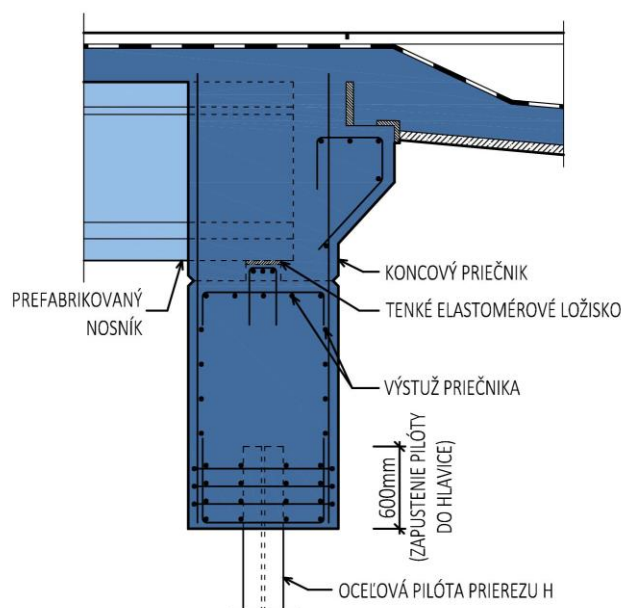
#### 4.3.6 Hĺbkové zakladanie – oceľové pilóty

Oceľové pilóty sú bežne používané pre integrované opory najmä v Severnej Amerike. Medzi európske štáty používajúce oceľové pilóty patria napríklad Fínsko, Anglicko, Írsko, Švédsko. Typické priečne rezy oceľových a oceľových pilót vyplnených betónom sú na obr. 4.3.3. V porovnaní s betónovými pilótami majú výrazne nižšiu tuhosť, ktorá je výhodná hlavne pre dlhšie integrované mosty. Pri návrhu oceľovej pilóty je potrebné zohľadniť vplyv korózie na zmenu hrúbky oceľových častí.



Legenda: a,b) H-pilóta s rôznou orientáciou v pozdĺžnom smere mosta, c) oceľová rúra, d) X-pilóta otočená o 45° voči pozdĺžnemu smeru mosta, e,f) oceľové pilóty s betónovou výplňou

Obr. 4.3.3 – Typické priečne rezy oceľových pilôt a oceľových pilôt s betónovou výplňou [Feldman et al. 2010]



Obr. 4.3.4 – Priečný rez integrovanej opory s oceľovými pilótami [Feldman et al. 2010]

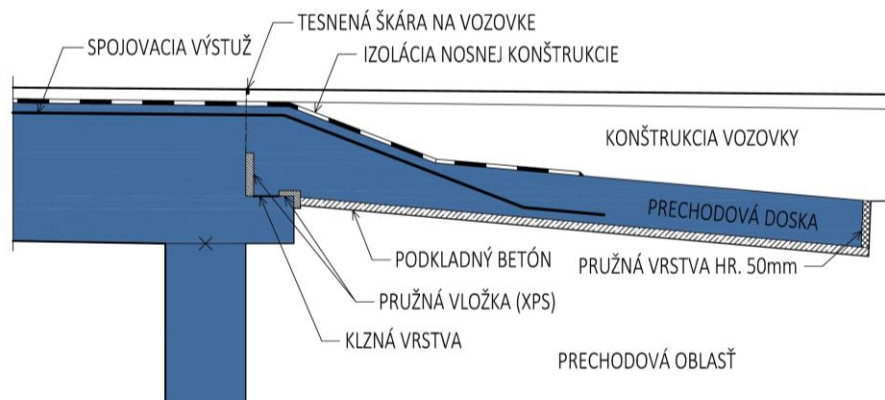
V Severnej Amerike sú najviac používané oceľové pilóty s priečnym rezom H. Je najlepšou voľbou aj na základe experimentálneho porovnania cyklického namáhania medzi oceľovou pilótou tvaru H, oceľovej rúry a vystuženej betónovej pilóty [Feldman et al. 2010, Arsoy 2000]. Typický detail integrovanej opory s oceľovou pilótou je na obr. 4.3.4. Výsledky výskumov otočenia priečného rezu silnejšou alebo slabšou stranou sú nejednotné.

#### 4.4 Prechodové dosky

Primárnou funkciou prechodovej dosky neintegrovaných mostov je eliminácia nerovnomerného sadania krajnej opory a príslušného cestného násypu prechodovej oblasti. Návrhom tohto typu prechodovej dosky a prechodovej oblasti sa zaoberá TP 113. Ďalšou funkciou prechodovej dosky pre integrované a semi-integrované mosty je prenesenie vodorovných dilatačných posunov konca mosta do cestného násypu. Preto sa odlišujú typy prechodových dosiek podľa ich účelu.

Prechodové dosky integrovaných a semi-integrovaných mostov sú spojené s nosnou konštrukciou pomocou neposuvného kĺbu, ktorý zabezpečí horizontálnou výstužou prenos namáhania vo vodorovnom smere. Zvislý účinok sa na oporu prenáša uložením prechodovej dosky cez klznú podložku na ozub krajnej opory. Funkčnosť kĺbového spojenia, umožnenia rotácie uloženia prechodovej dosky, sa zabezpečí doplnením pružnej vrstvy. Princíp vlečenej prechodovej dosky je znázornený na obr. 4.4.1. Riešenie je vhodné pre integrované a semi-integrované mosty typu IM1, IM3 a SIM, ktorých posun konca mosta je väčší ako 5 mm (VK1), resp. 10 mm (VK2). V ostatných prípadoch alebo pre

menšie posuny koncov mostov je možné navrhnuť prechodovú dosku a jej napojenie ako pre neintegrovane mosty podľa TP 113.



Obr. 4.4.1 – Schéma vlečenej prechodovej dosky, [ASTRA 12 004, TP 261 (ČR)]

Zníženie namáhania zemnými tlakmi je možné dosiahnuť použitím vystuženého násypu za oporou a umiestnením pružnej vrstvy na rubovej strane opory (obr. 4.4.2). Materiál použitý na vytvorenie takejto vrstvy musí spĺňať viaceré kritériá. Musí byť relatívne ľahko stlačiteľný, aby naakumuloval vzniknuté deformácie zapríčinené dĺžkovými zmenami mostovky. Optimálna hustota, od ktorej sa odvíjajú niektoré mechanické vlastnosti, ako napríklad medza klzu [Horvath 1994, L6], sa pohybuje okolo  $12 \text{ kg/m}^3$  (ak je hustota menšia ako  $10 \text{ kg/m}^3$  hrozí nedostatočné spojenie jednotlivých častíc materiálu) [Horvath 1997, L7]. Na mechanické vlastnosti materiálu vplyva aj teplota, pričom pri teplotách medzi  $0^\circ\text{C}$  a  $23^\circ\text{C}$  prichádza k miernemu poklesu tlakovej pevnosti a nad  $23^\circ\text{C}$  k jej nárastu o približne 7 % za každých  $10^\circ\text{C}$  [Stark et. al. 2004, L8]. Ťahová pevnosť materiálu sa obvykle neberie do úvahy. Poissonov súčiniteľ sa obvykle uvažuje blízky nule, avšak jeho hodnota je zvyčajne záporná [Scott 2015, L9].

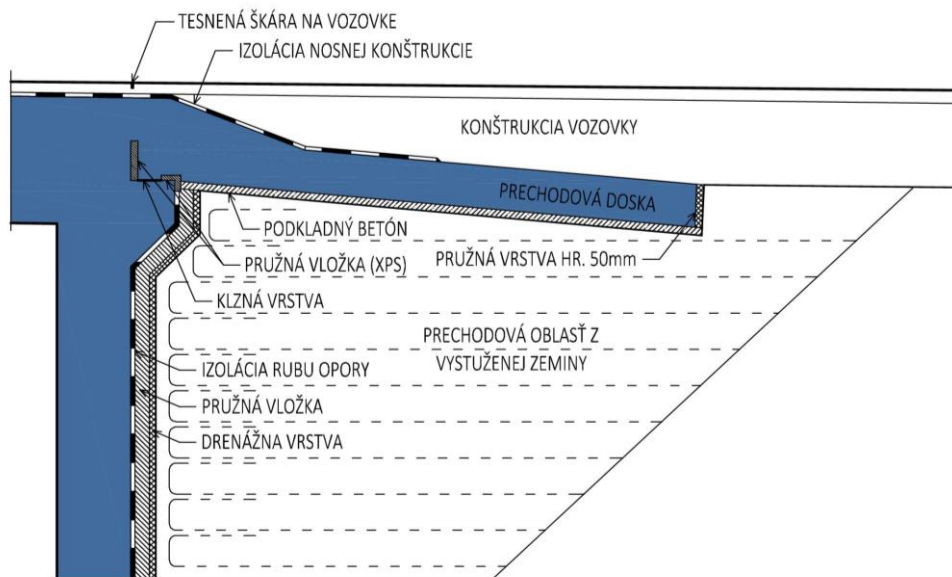
Pružná vrstva z extrudovaného polystyrénu XPS CS (10/Y)100 podľa STN EN 13164 sa navrhuje s hrúbkou v rozmedzí 100 mm – 200 mm [TP 261 (ČR)].

Návrh vlečenej prechodovej dosky vychádza z nasledovných požiadaviek:

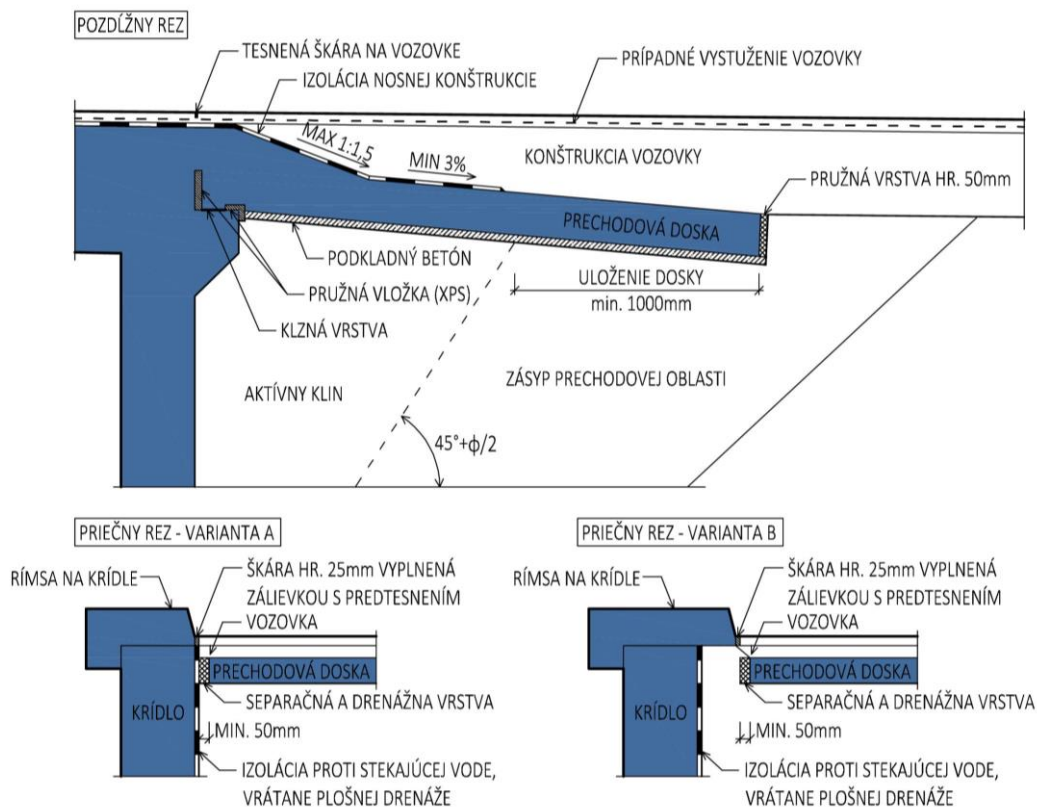
- návrh vystuženia vychádza z prenesenia zvislých zaťažení cez oblasť aktívneho klinu,
- napojenie vlečenej dosky musí preniesť horizontálne sily vznikajúce v dôsledku posunov konca mosta.

Konštrukčné požiadavky na vlečenú prechodovú dosku sú zhrnuté na obr. 4.4.3:

- uloženie prechodovej dosky je minimálne 1,0 m za hranou aktívneho klinu,
- horná hrana prechodovej dosky je na úrovni konštrukčnej pláne cestného telesa,
- minimálny sklon hornej hrany prechodovej dosky sú 3 % a zároveň minimálny rozdiel sklonu vozovky a hornej hrany prechodovej dosky sú 3 %,
- maximálny sklon hornej hrany za vrubovým kĺbom je 1:1,5,
- čakajúca výstuž vrubového kĺbu musí byť opatrená protikoróznou ochranou,
- čakajúca výstuž vrubového kĺbu musí umožniť zhutnenie prechodovej oblasti,
- na bočnej hrane prechodovej dosky sa navrhne separácia umožňujúca nezávislé pohyby prechodovej dosky voči krídlu, alebo materiálu medzi krídlom a bočnou hranou prechodovej dosky.



Obr. 4.4.2 – Prechodová oblasť z vystuženej zeminy a s pružnou vložkou, [TP 261 (ČR)]



Obr. 4.4.3 – Prechodová oblasť s vlečenou prechodovou doskou – konštrukčné detaily, [TP 261 (ČR)]

## 4.5 Vozovka

Časťou návrhu integrovaného mosta je aj riešenie konštrukcie vozovky vrátane prípadného vystuženia vozovky v mieste napojenia cestného telesa na nosnú konštrukciu. V tomto mieste je potrebné zaistiť dostatočnú odolnosť krytu komunikácie proti tvorbe trhlín. Trhliny môžu vzniknúť v dôsledku cyklických deformácií nosnej konštrukcie a lokálnych poklesov či vydutí vozovky

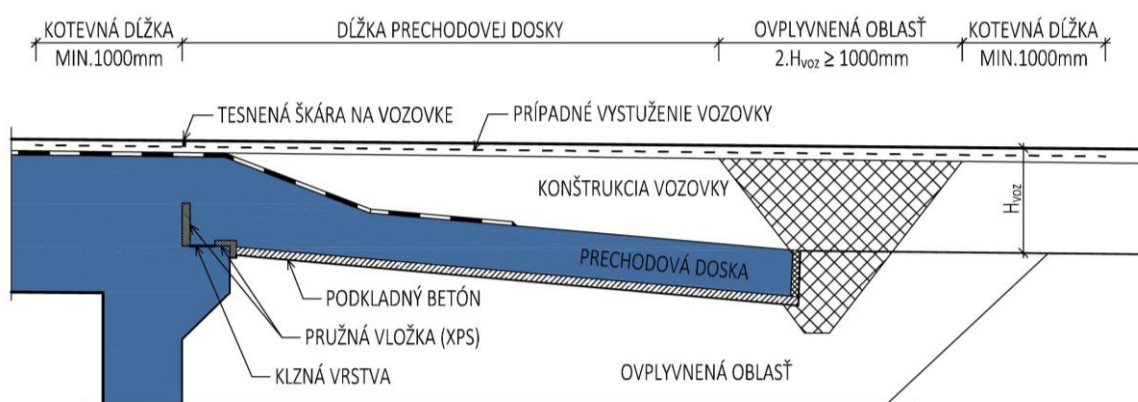


v prechodovej oblasti. Táto problematika sa týka návrhu integrovaných mostov bez presypávky, typ IM1, IM3 a semi-integrovaných mostov typ SIM.

Na obr. 4.5.1 je znázornená schéma vystuženia vozovky v prechodovej oblasti s prechodovou doskou. Vystuženie vozovky sa odporúča navrhovať, pokiaľ vodorovný posun mosta  $\Delta h$  presiahne 10 mm pre VK1, resp. 15 mm pre VK2, [TP 261 (ČR)].

Dĺžka vystuženej oblasti vozovky je určená z nutnosti zakotvenia vystuženia vozovky za okrajom nosnej konštrukcie a na opačnej strane za oblasťou, ktorá je ovplyvnená posunmi prechodovej dosky. Kotevná dĺžka výstužných prvkov je odvodená z únosnosti prvkov. Minimálna hodnota kotevnej dĺžky je 1 m. Preto dĺžka vystuženej oblasti by mala byť väčšia ako dĺžka prechodovej dosky plus 3 m.

V mieste koncov mostov sa navrhuje tesnená škára vo vozovke. Šírka rezanej škáry v obrusnej vrstve je odvodená od predpokladaných maximálnych pohybov v mieste škáry a vlastností jej zálievky. Odporúčaná šírka škáry je 10 mm pre vystužené vozovky, resp. 15 mm pre nevystužené vozovky. Hĺbka škáry je zvyčajne 2/3 z hrúbky obrusnej vrstvy, minimálne 25 mm. Škára nesmie poškodiť prípadný vložený výstužný prvok vozovky, [TP 261 (ČR)].



Obr. 4.5.1 – Schéma vystuženia vozovky v prechodovej oblasti mosta s prechodovou doskou, [TP 261 (ČR)]

#### 4.6 Vplyv bludných prúdov pre koncepčný návrh integrovaných mostov

Pri návrhu mostných konštrukcií z hľadiska ochrany proti bludným prúdom sa postupuje v súlade s TP 081.

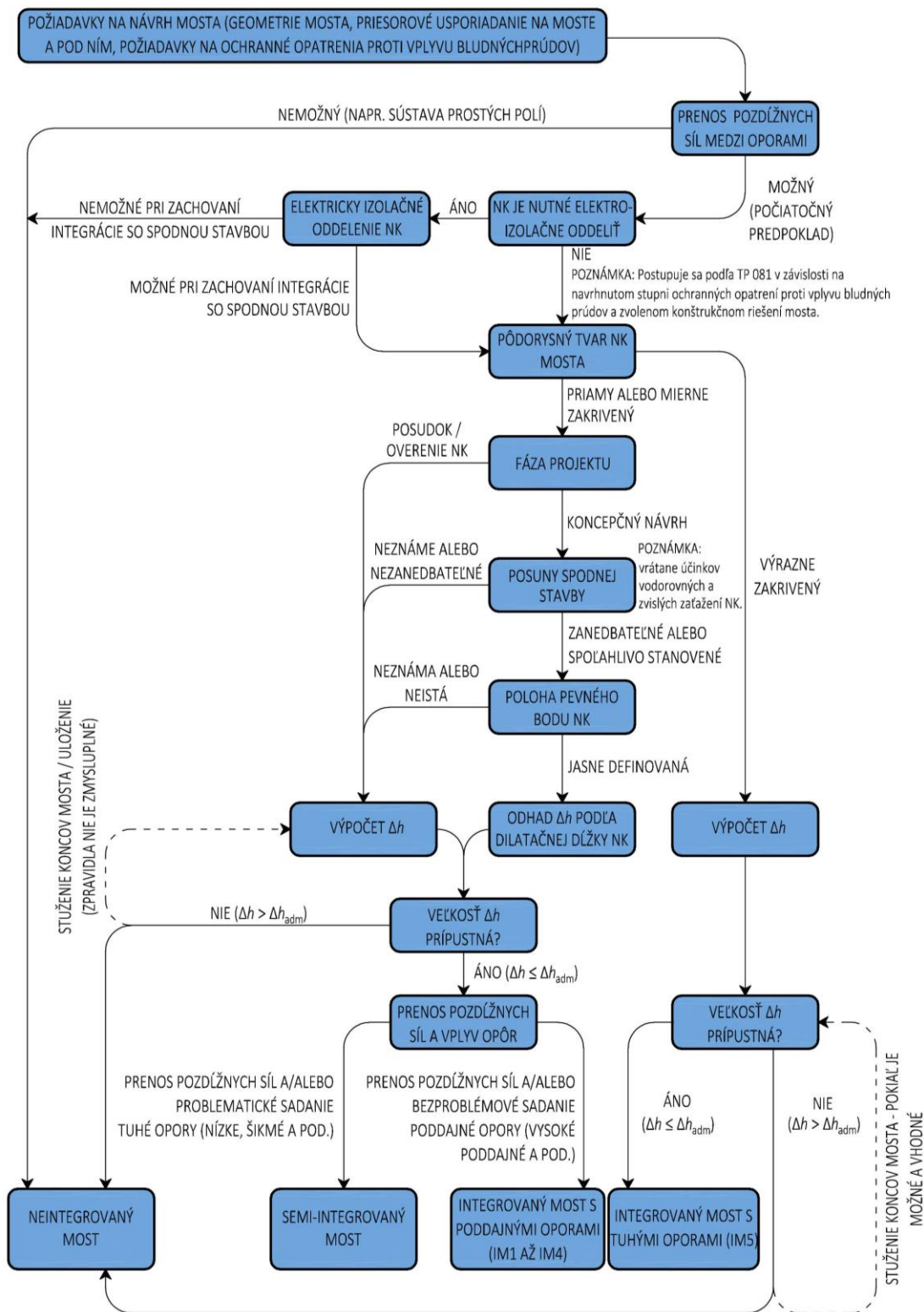
Z hľadiska koncepcie návrhu integrovaných mostov je potrebné stanoviť, či je nutné nosnú konštrukciu elektroizolačne oddeliť od spodnej stavby, resp. zemného prostredia. Pokiaľ je potrebné navrhnuť elektroizolačné oddelenie týchto častí, použije sa návrh integrovaného, resp. semi-integrovaného mosta s prvkami elektricky izolačného oddelenia medzi nosnou konštrukciou a spodnou stavbou, prípadne mostného príslušenstva. Pokiaľ takéto konštrukčné elektroizolačné oddelenie nie je možné navrhnuť pri zachovaní integrácie spodnej stavby a nosnej konštrukcie, navrhne sa neintegrovateľný most.

#### 4.7 Odvodnenie

Pre odvodnenie integrovaných a semi-integrovaných mostov platí TP 063.

## 5 VOĽBA TYPU INTEGROVANÉHO MOSTA

Spôsob voľby typu integrácie spodnej stavby s nosnou konštrukciou je znázornený na obr. 5.1.1 vo forme vývojového diagramu. Možnosť voľby integrovaného alebo semi-integrovaného typu mosta je podmienená splnením požiadavky maximálne prípustného posunu konca mosta  $\Delta h_{adm}$  s hodnotami podľa obr. 4.1.1.



Obr. 5.1.1 – Metodika overenia a voľby typu integrácie nosnej konštrukcie mosta [ASTRA 12 004]



## 5.1 Stanovenie posunu konca mosta

Hodnota maximálneho posunu konca mosta  $\Delta h$  sa stanoví ako väčšia z dvoch hodnôt [TP 261 (ČR)]:

- celková veľkosť monotónneho vodorovného posunu (skrátene mosta)  $\Delta h_{\text{short}}$ ,
- veľkosť rozkmitu cyklických pohybov  $\Delta h_{\text{cycl}}$ .

$$\Delta h = \max(\Delta h_{\text{short}}, \Delta h_{\text{cycl}}) \quad (5.1)$$

### 5.1.1 Veľkosť monotónneho vodorovného posunu

Skrátene mosta pre účely voľby typu integrovaného mosta sa stanoví ako menej-častá kombinácia zaťažení na časovom úseku od okamihu zhotovenia vozovky prechodovej oblasti, pozostávajúca z nasledujúcich zaťažení:

- stále zaťaženia:
  - zmrašťovanie a dotvarovanie  $\Delta h_{C+S}$ ,
  - stále zaťaženia  $\Delta h_G$ ,
  - účinky predpätia  $\Delta h_P$ ,
- premenné zaťaženia:
  - zaťaženie teplotou, ochladenie  $\Delta h_{Q,Tmin}$ ,
  - iné nedopravné premenné zaťaženie  $\Delta h_{Qmin,i}$

Veľkosť monotónneho posunu je možné vyjadriť vzťahom (5.2), vo väčšine prípadov je možné vzťah zjednodušiť uvážením posunu od účinkov zmrašťovania, dotvarovania a účinkov ochladenia (5.3).

$$\Delta h_{\text{short}} = \Delta h_G + \Delta h_P + \Delta h_{C+S} + \Psi_{1,infq} \cdot \Delta h_{Q,Tmin} + \sum (\Psi_{2,i} \cdot \Delta h_{Qmin,i}) \quad (5.2)$$

$$\Delta h_{\text{short}} \approx \Delta h_{C+S} + \Psi_{1,infq} \cdot \Delta h_{Q,Tmin} = \Delta h_{C+S} + 0,8 \Delta h_{Q,Tmin} \quad (5.3)$$

### 5.1.2 Veľkosť cyklických pohybov

Rozkmit cyklických pohybov pre účely voľby typu integrovaného mosta sa stanoví ako častá kombinácia premenných zaťažení, pozostávajúca z nasledujúcich zaťažení:

- rozkmit účinkov normálovej zložky teploty  $\Delta h_T = \Delta h_{Tmax} - \Delta h_{Tmin}$ ,
- rozkmit účinkov ostatných nedopravných zaťažení  $\Delta h_{Q,i}$ ,
- rozkmit účinkov dopravných zaťažení  $\Delta h_{TS}$ ,  $\Delta h_{UDL}$ .

V prípade, ak je teplota hlavným zaťažením:

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{cycl},T} &= \Psi_{1,T} \cdot (\Delta h_{T,max} - \Delta h_{T,min}) + \Psi_{2,TS} \cdot \Delta h_{TS} + \Psi_{2,UDL} \cdot \Delta h_{UDL} = \\ &= 0,6 \cdot (\Delta h_{T,max} - \Delta h_{T,min}) + 0 \cdot \Delta h_{TS} + 0 \cdot \Delta h_{UDL} = 0,6 \cdot (\Delta h_{T,max} - \Delta h_{T,min}) \end{aligned} \quad (5.4)$$

V prípade, ak je doprava hlavným zaťažením:

$$\begin{aligned} \Delta h_{\text{cycl},Tr} &= \Psi_{1,TS} \cdot \Delta h_{TS} + \Psi_{1,UDL} \cdot \Delta h_{UDL} + \Psi_{2,T} \cdot (\Delta h_{T,max} - \Delta h_{T,min}) = \\ &= 0,75 \cdot \Delta h_{TS} + 0,4 \cdot \Delta h_{UDL} + 0,5 \cdot (\Delta h_{T,max} - \Delta h_{T,min}) \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\Delta h_{\text{cycl}} = \max(\Delta h_{\text{cycl},T}, \Delta h_{\text{cycl},Tr}) \quad (5.6)$$

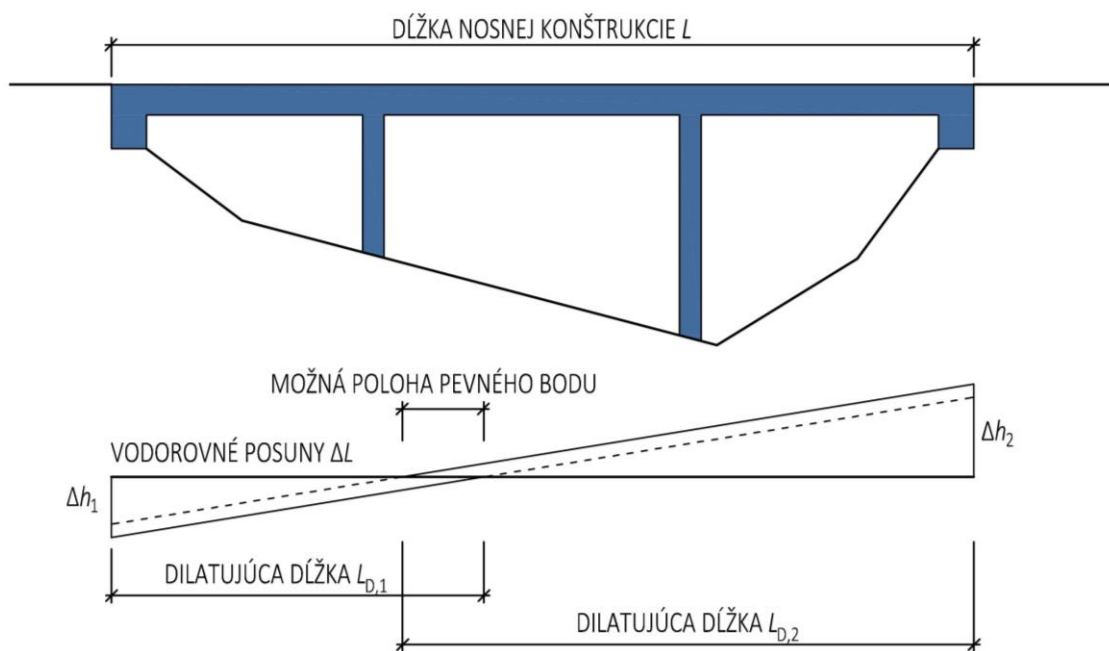
Poznámky k výpočtu posunov v kap. 5.1.1 a 5.1.2:

- Kombinačné pravidlá a kombinačné súčinitele ( $\Psi_1$ ,  $\Psi_2$ ) sa uvažujú podľa STN EN 1990 prílohy A2.
- Účinky dopravných zaťažení pre stanovenie vodorovných posunov reprezentujú zvislé zaťaženia modelu LM1.

- Vodorovné účinky dopravných zaťažení (brzdné a rozjazdné sily) majú kombinačnú hodnotu pre menej častú a častú hodnotu  $\Psi_{1,infq} = \Psi_2 = 0$ . Vodorovné zaťaženie dopravou môžeme väčšinou zanedbať vzhľadom na dostatočnú tuhosť integrovanej spodnej stavby a vodorovnú tuhosť prechodových oblastí.
- Posuny od vodorovných dopravných zaťažení je nutné overiť v prípade malých kontaktných plôch nosnej konštrukcie a prechodovej oblasti (semi-integrované mosty) a malej tuhosti spodnej stavby. Väčšinou je však stanovený rozkmit od teplotných zaťažení postačujúci.
- Zaťaženie teplotou sa stanoví podľa STN EN 1991-1-5. Hodnoty maximálnej a minimálnej normálovej teplotnej zložky sa stanoví s uvažovaním prídavku pre návrh dilatačných posunov  $\Delta T = 20^\circ\text{C}$  podľa STN EN 1991-1-5.

Pri stanovení vodorovných posunov konca mosta od objemových zmien (zmrašťovanie, dotvarovanie a teplota) je možné zanedbať vplyv spodnej stavby a vodorovnej tuhosti prechodových oblastí. V prípade priamych zaťažení (dopravné zaťaženie, a pod.) je potrebné zohľadniť skutočnú tuhosť spodnej stavby vrátane zakladania a pripojených konštrukčných prvkov ako sú krídla, uzatvárajúce stienky a podobne.

Určenie pevného bodu a tým odvodenie dilatujúcich dĺžok môže byť hlavne v prípade viacpoľových mostov zaťažené neistotami vyplývajúce z rozptylu vlastností podložia. Ak z citlivostnej analýzy vyplynie rôzna poloha pevného bodu, pre určenie posunu konca mosta sa vždy berie menej priaznivá poloha podľa obr. 5.1.2.



Obr. 5.1.2 – Neistoty v určení polohy pevného bodu a stanovenie dilatujúcich dĺžok viacpoľových mostov [ASTRA 12 004, TP 261 (ČR)]

## 5.2 Približný výpočet posunu konca mosta

Posun konca mosta  $\Delta h$  v úvodných koncepcných fázach návrhu mosta je možné stanoviť približnou metódou, ktorá nezahŕňa celkové pôsobenie integrovaného systému. Zjednodušená metóda zanedbáva vodorovnú tuhosť integrovanej sústavy, ktorá len mierne ovplyvňuje stanovenie posunu konca mosta a je na strane bezpečnej. Výpočet posunu podľa tejto zjednodušenej metódy je podmienený nasledujúcimi kritériami:

- most je priamy, resp. pôdorysne mierne zakrivený,
- šikmosť mosta je väčšia ako 60° pre VK1, resp. 45° pre VK2,
- poloha pevného bodu nosnej konštrukcie z geometrie mosta je zrejímavá,
- vodorovné posuny konca mosta od zvislých a vodorovných zaťažení sú zanedbateľné.

Približná metóda je založená na odhade pomerného pretvorenia nosnej konštrukcie  $\varepsilon_{NK,max}$  od zmrašťovania, dotvarovania a teplotných účinkov stanovených podľa pravidiel z kap. 5.1.1 a 5.1.2. Na základe dovolených posunov konca mosta  $\Delta h_{adm}$  (obr. 4.1.1) je možné odvodiť maximálnu dilatujúcu dĺžku nosnej konštrukcie  $L_{D,adm}$  podľa vzťahu 5.7 so zohľadnením šikmosti mosta a zvislých účinkov dopravy.

$$L_{D,adm} = \frac{\Delta h_{adm}}{\alpha \cdot \varepsilon_{NK,max}} \quad (5.7)$$

kde:  $\alpha$  – súčiniteľ vplyvu šikmosti mosta (tab. 5.1.2),  
 $\varepsilon_{NK,max}$  – predbežne určené maximálne pomerné pretvorenie nosnej konštrukcie.

Pre stanovenie maximálneho pomerného pretvorenia nosnej konštrukcie je možné využiť odporúčané hodnoty z tab. 5.1.1, alebo ich presnejšie určiť výpočtom podľa STN EN 1992-2, podľa presnej geometrie priečného rezu, predpätia a podmienok vonkajšieho prostredia.

Tab. 5.1.1 – Odporúčané hodnoty pomerných pretvorení nosnej konštrukcie [TP 261 (ČR)]

| Účinok \ Materiál NK                           | Pomerné pretvorenie nosnej konštrukcie |                                       |                                       |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
|                                                | Monolitická betónová konštrukcia       | Spriahnutá konštrukcia betón-betón    | Spriahnutá konštrukcia ocel'-betón    |
| Zmrašťovanie od hydratácie                     | -0,01 ‰                                | -0,10 ‰ $\times k_{cc}$ <sup>4)</sup> | -0,10 ‰ $\times k_{sc}$ <sup>5)</sup> |
| Autogénne zmrašťovanie                         | -0,08 ‰                                | -0,08 ‰ $\times k_{cc}$               | -0,08 ‰ $\times k_{sc}$               |
| Zmrašťovanie od vysychania                     | -0,30 ‰                                | -0,30 ‰ $\times k_{cc}$               | -0,30 ‰ $\times k_{sc}$               |
| Pružná def. od predpínania ( $\sigma_c=4$ MPa) | -0,11 ‰                                |                                       |                                       |
| Dotvarovanie predpätého betónu                 | -0,20 ‰                                | -0,10 ‰ $\times k_{cc}$               |                                       |
| Ohrievanie NK                                  | +0,01 ‰ /K                             |                                       |                                       |
| Ochladzovanie NK                               | -0,01 ‰ /K                             |                                       |                                       |

Hodnoty pomerného pretvorenia od zmrašťovania a dotvarovania uvedené v tab. 5.1.1 predstavujú celkové hodnoty na časovom úseku od konca ošetrovania, resp. od času vnesenia predpätia. Tieto hodnoty je potrebné redukovať podľa predpokladaného časového postupu zhotovovania, nakoľko relevantné deformácie sú od času zhotovenia vozovky v prechodovej oblasti.

Pre spriahnuté konštrukcie betón-betón sa vplyv spriahnutia na veľkosť pomerných pretvorení od reologických účinkov zohľadní súčiniteľom  $k_{cc}$  podľa nasledujúceho vzťahu:

$$k_{cc} = \frac{A_{c2} \cdot E_{c2}}{0,5 \cdot A_{c1} \cdot E_{c1} + A_{c2} \cdot E_{c2}} \quad (5.8)$$

kde:  $A_{c1}$  - plocha prefabrikovanej časti priečného rezu spriahnutého prierezu (nosník),  
 $A_{c2}$  - plocha monolitckej časti priečného rezu spriahnutého prierezu (doska),  
 $E_{c1}$  - modul pružnosti prefabrikovanej časti priečného rezu spriahnutého prierezu,  
 $E_{c2}$  - modul pružnosti monolitckej časti priečného rezu spriahnutého prierezu.

Pre spriahnuté konštrukcie ocel'-betón sa vplyv spriahnutia na veľkosť pomerných pretvorení od reologických účinkov zohľadní súčiniteľom  $k_{sc}$  podľa nasledujúceho vzťahu:

$$k_{sc} = \frac{A_c \cdot E_c}{A_s \cdot E_s + A_c \cdot E_c} \quad (5.9)$$

kde  $A_s$  - plocha ocelevej časti priečného rezu spriahnutého prierezu (nosník),  
 $A_c$  - plocha monolitckej časti priečného rezu spriahnutého prierezu (doska),  
 $E_s$  - modul pružnosti konštrukčnej ocele spriahnutého prierezu,  
 $E_c$  - modul pružnosti monolitckej časti priečného rezu spriahnutého prierezu.

Vplyv šikmosti mosta a zvislého dopravného zaťaženia sa v približnom výpočte zohľadnia pomocou súčiniteľa  $\alpha$ . Jeho hodnoty sú uvedené v tab. 5.1.2. Maximálna odporúčaná šikmosť pre VK1 je 60°.

Tab. 5.1.2 – Vplyv šikmosti mosta pre približné stanovenie maximálnej dilatujúcej dĺžky [TP 261 (ČR)]

| Rozsah použiteľnosti |     | Šikmosť mosta | $\alpha$ |
|----------------------|-----|---------------|----------|
| VK1                  | VK2 | 90°           | 1,00     |
|                      |     | 80°           | 1,02     |
|                      |     | 70°           | 1,06     |
|                      |     | 65°           | 1,10     |
|                      |     | 60°           | 1,15     |
|                      |     | 55°           | 1,22     |
|                      |     | 50°           | 1,31     |
|                      |     | 45°           | 1,41     |

Zvislé dopravné zaťaženie môže ovplyvniť približné stanovenie maximálnej dilatujúcej dĺžky podľa kombinačných pravidiel kap. 5.1.2 vzťah (5.5). Tento vplyv môže byť významný pre mosty s vysokými štíhlymi integrovanými oporami. V bežných prípadoch sa odporúča zohľadniť vplyv zvislého dopravného zaťaženia ako nárast  $\varepsilon_{NK,max}$  o 5 až 10 % stanovených podľa kap. 5.1.2.

## 6 GEOTECHNICKÉ PREDPOKLADY NÁVRHU INTEGROVANÝCH MOSTOV

### 6.1 Geotechnické kategórie

V zmysle STN EN 1997-1 a STN 73 1001 sa pri návrhu geotechnických konštrukcií rozlišujú **3 geotechnické kategórie** (GTK). Geotechnickou konštrukciou sa rozumie každá stavebná konštrukcia, ktorá je v interakcii (kontakte) s horninovým (zemným) prostredím, resp. so základovou pôdou (podložíom). Spodná stavba integrovaných a semi-integrovaných mostov, ktorá je v interakcii s horninovým (zemným) prostredím, patrí medzi geotechnické konštrukcie.

Zatriedenie do jednotlivých geotechnických kategórií (1. až 3. GTK) závisí od:

- zložitosti základových pomerov,
- náročnosti konštrukcie.

#### 6.1.1 Zložitosť základových pomerov

Podľa zložitosti základových pomerov sa rozlišujú:

- Jednoduché základové pomery - základová pôda sa v rozsahu stavebného objektu podstatne nemení, jednotlivé vrstvy majú približne rovnakú mocnosť a sú uložené vodorovne alebo takmer vodorovne. Podzemná voda neovplyvňuje usporiadanie objektov a návrh ich konštrukcie.
- Zložité základové pomery - základová pôda sa v rozsahu stavebného objektu podstatne mení, alebo vrstvy majú premenlivú mocnosť alebo sú nepravidelne uložené. Podzemná voda nepriaznivo ovplyvňuje návrh stavebných objektov a komplikuje postup a spôsob ich zakladania. Za zložité základové pomery sa považujú tiež prípady, keď základová pôda má nepriaznivé vlastnosti (ako napr. málo únosné a veľmi stlačiteľné zeminy) alebo ju tvoria zvláštne zeminy (napr. organické, presadavé, iné zvláštne a objemovo nestále zeminy) alebo skalné horniny (napr. krasové horniny).

**Horniny** (v geologickom zmysle) sú prírodné minerálne asociácie (zoskupenia) rôzneho zloženia a štruktúry, ktoré vznikli pôsobením rôznych geologických procesov v podobe rôznych horninových telies vytvárajúcich zemskú kôru.

**Horniny ako základové pôdy** sa v inžinierskom zmysle označujú ako zeminy v tom prípade, ak sú nespevnené alebo slabo spevnené, na rozdiel od dobre spevnených skalných hornín. Zeminy vznikajú rôznymi procesmi mechanického (balvany, kamene, štrky, piesky a silty) a chemického (íly) zvetrávania skalných hornín.

#### 6.1.2 Náročnosť stavebnej (mostnej) konštrukcie

Podľa náročnosti s prihliadnutím na statické kritéria sa stavebné konštrukcie rozdeľujú na:

- Nenáročné konštrukcie – nie sú citlivé na rozdiely v nerovnomernom sadnutí a majú dostatočnú rezervu spoľahlivosti v plastickej oblasti pretvorenia. Špecifickú podskupinu tvoria stavebné objekty nízke do dvoch podlaží (napr. zariadenia staveniska, rodinné domy, garáže a pod.).
- Náročné konštrukcie – sú všetky ostatné konštrukcie, predovšetkým výškové objekty a staticky neurčité stavebné objekty.

#### 6.1.3 Geotechnické kategórie

Zatriedenie geotechnických konštrukcií do geotechnických kategórií v závislosti od zložitosti základových pomerov a náročnosti konštrukcie je uvedené v tab. 6.1.1.

Tab. 6.1.1 – Zatriedenie geotechnických konštrukcií do geotechnických kategórií

| Kritérium                     | Geotechnická kategória (GTK) |            |           |         |
|-------------------------------|------------------------------|------------|-----------|---------|
|                               | 1. GTK                       | 2. GTK     |           | 3. GTK  |
| Zložitosť základových pomerov | jednoduché                   | jednoduché | zložité   | zložité |
| Náročnosť konštrukcie         | nenáročná                    | náročná    | nenáročná | náročná |

Integrované a semi-integrované mosty z hľadiska konštrukčného riešenia a statického pôsobenia sa spravidla zaraďujú medzi náročné konštrukcie. V závislosti od zložitosti základových pomerov zatriedujeme integrované a semi-integrované mosty do 2.GTK (jednoduché základové pomery) alebo 3.GTK (zložité základové pomery).

Pri návrhu a posudzovaní integrovaných a semi-integrovaných mostov je potrebné postupovať podľa pravidiel a zásad uvedených v STN EN 1997-1.

## 6.2 Návrhové postupy (DA) pre integrované mosty

V zmysle STN EN 1997-1 sa pri návrhu geotechnických konštrukcií používajú 3 návrhové postupy (DA1 až DA3).

Porovnanie jednotlivých postupov pre návrh integrovaných mostov v podmienkach Českej republiky je uvedené v [TP 261 (ČR)]. Z porovnania vyplývajú nasledujúce závery a odporúčania, ktoré je možné aplikovať aj pre podmienky Slovenskej republiky:

- Voľba návrhového postupu môže významne ovplyvniť veľkosť účinkov zaťaženia na spodnú stavbu IM, a to najmä pri vysokých mostných oporách s menšou ohybovou tuhosťou, ktoré sú významne zaťažené reakciou od zemného tlaku v dôsledku zatlačenia opôr do zásypu za oporami (pasívny zemný odpor).
- Všetky návrhové postupy sú z pohľadu STN EN 1997-1 rovnocenné, ale v závislosti od požiadaviek na posúdenie konštrukcie z hľadiska stanovenia parametrov a parciálnych súčiniteľov pre zaťaženia a odolnosť konštrukcie je možné konštatovať, že jednotlivé DA sú vhodné pre rôzne typy úloh (návrh geotechnických konštrukcií).

Pri návrhu integrovaných mostov je potrebné vyriešiť vo všeobecnosti dve nasledujúce základné geotechnické úlohy:

- Stanovenie (výstižné modelovanie) interakcie mostnej konštrukcie s horninovým (zemným) prostredím, z ktorého vyplynie zaťaženie nosných konštrukcií mosta od zemného tlaku pri zohľadnení tuhosti podoprenia konštrukcie.
- Návrh založenia mostného objektu.

Pre obidve úlohy sa odporúča použiť rovnaký DA, v opačnom prípade je potrebné uskutočniť návrh konštrukcie samostatne podľa jednotlivých DA.

- Návrhový postup DA1 je menej vhodný pre IM z dôvodu, že vyžaduje overenie dvoch nezávislých analýz pre dve rôzne kombinácie parametrov definujúcich zaťaženie a odolnosť (materiál). V obvyklých prípadoch DA1 sa zhoduje, alebo jeho výsledky sú veľmi podobné s obálkou návrhových postupov DA2 a DA3.
- Pri návrhových postupoch DA2 a DA3 sa vyžaduje iba jedna kombinácia parametrov definujúcich zaťaženie a odolnosť (materiál). Rozdiel medzi DA2 a DA3 je v použitých kombináciách parametrov, t.j. použitie návrhových hodnôt zaťaženia a pevnostných charakteristík zemín (tab. 6.2.1). Pri návrhu založenia mostného objektu je potrebné v závislosti od zvoleného DA použiť aj príslušné parciálne súčinitele pre odolnosť základovej pôdy.

Tab. 6.2.1 – Hodnoty parciálnych súčiniteľov pre zaťaženia a materiál podľa návrhových postupov DA pre oporné konštrukcie (podľa STN EN 1997-1)

| Návrhový postup | Parciálne súčinitele pre zaťaženia ( $\gamma_F$ ) |           |             |           | Parciálne súčinitele pre materiál ( $\gamma_M$ ) |           |
|-----------------|---------------------------------------------------|-----------|-------------|-----------|--------------------------------------------------|-----------|
|                 | Stále                                             |           | Premenné    |           | Uhol vnútorného trenia                           | Súdržnosť |
|                 | nepriaznivé                                       | priaznivé | nepriaznivé | priaznivé | $\tan \varphi$                                   | $c$       |
| DA2             | 1,35                                              | 1,00      | 1,50        | 0         | 1,00                                             | 1,00      |
| DA3             | 1,00                                              |           | 1,30        | 0         | 1,25                                             | 1,25      |

Pri nelineárnom výpočte (napr. analytické modely zásypu v prechodovej oblasti) je vo všeobecnosti možné pri DA2 uskutočniť analýzu s charakteristickými hodnotami zaťaženia a návrhové hodnoty účinkov zaťaženia stanoviť ako súčin charakteristických zaťaženia a príslušných parciálnych súčiniteľov zaťaženia  $\gamma_F$ .

Rozdiely pri použití DA2 a DA3 závisia na rozmeroch a parametroch zásypového materiálu za oporou. Pre nesúdržné piesčité a štrkovité zeminy sa rozdiely pohybujú približne do 20 % v prospech alebo neprospech použitého návrhového postupu. Významnosť rozdielu stanovených účinkov zaťaženia je závislý od geometrie mostnej opory, a to hlavne od pomeru výšky a šírky opory.

Z hľadiska použitia jednotlivých návrhových postupov je možné konštatovať, že pre bežné zásypové materiály a oporné konštrukcie s dominantným vplyvom zemného tlaku (t.j. pri vyšších oporách) sú konzervatívnejšie výsledky (t.j. na strane bezpečnosti návrhu) dosahované pri použití DA2.

### 6.2.1 Odporúčania pre návrh integrovaných mostov

V STN EN 1997-1 sú definované nasledujúce 3 hlavné typy oporných konštrukcií:

- gravitačné múry,
- votknuté steny,
- kombinované oporné konštrukcie.

Z pohľadu stavebno-konštrukčného riešenia a statického pôsobenia je možné konštatovať, že integrované a semi-integrované mosty nezodpovedajú ani jednému z uvedených 3 hlavných typov oporných konštrukcií. Z hľadiska spoľahlivosti založenia integrovaných mostov bude mať rozhodujúci význam najmä spoľahlivé stanovenie vodorovného zaťaženia od zemného tlaku na opory mostnej konštrukcie.

Pri návrhu IM a SIM je potrebné postupovať individuálne. Pri stanovení vodorovného zaťaženia od zemného tlaku je potrebné zohľadniť interakciu stavebnej (mostnej) konštrukcie s horninovým (zemným) prostredím. V interakčnom výpočte je potrebné zohľadniť hlavne:

- tuhosť stavebnej konštrukcie (t.j. geometrické a materiálové charakteristiky nosných konštrukčných prvkov),
- fyzikálno-mechanické (pevnostné a deformačné) vlastnosti prírodného horninového prostredia a zásypu za oporou,
- zaťaženia mostnej konštrukcie (stále a premenné, cyklické od dopravy a teploty),
- reologické procesy prebiehajúce v podloží a nosnej konštrukcii mosta (konsolidácia podložia a objemové zmeny v betóne).

V zmysle STN EN 1997-1/NA sa na Slovensku používa DA2. Výnimkou je posudzovanie celkovej stability (napr. pri posudzovaní stability svahov) a navrhovanie s využitím numerických metód, pri ktorých sa používa DA3.



### 6.3 Zaťaženie podpier integrovaných mostov zemným tlakom

V zmysle národnej prílohy STN EN 1997-1 (STN EN 1997-1/NA) sa pri stanovení medzných hodnôt zemných tlakov pôsobiacich na stavebné konštrukcie (zvislé steny) má postupovať v súlade s STN 73 0037 (Zemný tlak na stavebné konštrukcie).

#### 6.3.1 Teoretické predpoklady výpočtu zemných tlakov

Teoretické predpoklady a metódy výpočtu vodorovných zložiek zemných tlakov na stavebné konštrukcie (napr. oporné konštrukcie, podzemné steny, pažiace konštrukcie a pod.), ktoré sa používajú v inžinierskej praxi, sú podrobnejšie popísané napr. v lit. [Terzaghi, Peck 1956; Jesenák 1994; Clayton Chris 2014; Manuál k výpočtovému programu GEO5].

Na obr. 6.3.1a je uvedený fyzikálny model zvislej steny, na ktorý pôsobí vodorovná výsledná zložka zemného tlaku  $S$ . V závislosti od veľkosti a smeru vodorovného posunu steny  $\Delta$  môžu vo všeobecnosti nastať tri nasledujúce stavy:

- vodorovná deformácia  $\Delta = 0$ , v tom prípade bude na konštrukciu pôsobiť zemný tlak v pokoji  $S_0$  (resp.  $S_r$ ),
- vodorovná deformácia bude v smere pôsobenia zemného tlaku  $+\Delta > 0$ , v tom prípade bude na konštrukciu pôsobiť aktívny zemný tlak  $S_a$ ,
- vodorovná deformácia bude proti smeru pôsobenia zemného tlaku  $-\Delta > 0$ , v tom prípade bude na konštrukciu pôsobiť pasívny zemný tlak (odpor)  $S_p$ .

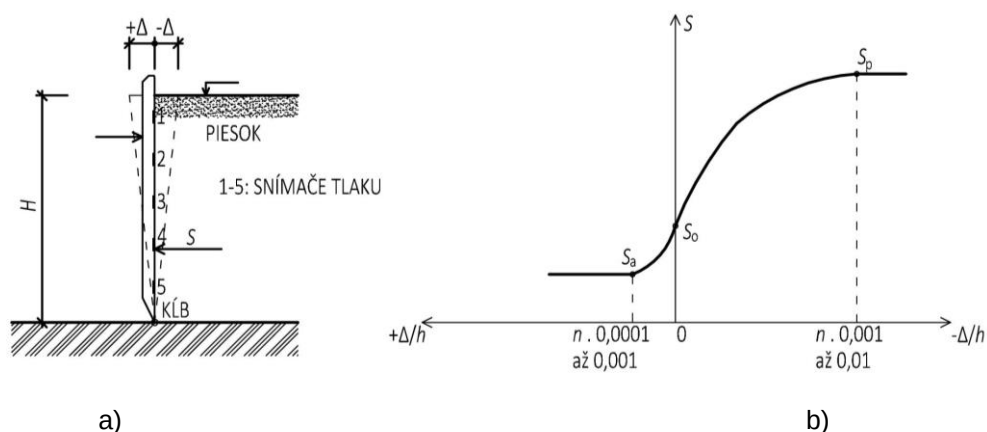
Na obr. 6.3.1b je uvedená závislosť mobilizácie veľkosti zemného tlaku od pomerného vodorovného pretvorenia  $\pm\Delta/h$ . Extrémnymi hodnotami zemného tlaku sú:

- minimálna hodnota aktívneho zemného tlaku  $S_a$ , ktorá sa dosahuje približne pri pomernom vodorovnom pretvorení  $+\Delta/h = n.0,0001$  až  $0,001$  (hodnoty  $0,0001$  platia pre pevné súdržné a hutné sypké zeminy, resp.  $0,001$  pre mäkké súdržné a kypré sypké zeminy),
- maximálna hodnota pasívneho zemného tlaku  $S_p$ , ktorá sa dosahuje približne pri pomernom vodorovnom pretvorení  $-\Delta/h = n.0,001$  až  $0,01$  (hodnoty  $0,001$  platia pre pevné súdržné a hutné sypké zeminy, resp.  $0,01$  pre mäkké súdržné a kypré sypké zeminy).

Veľkosť vodorovnej zložky normálového napätia od zemného tlaku  $\sigma_x$  závisí od veľkosti zvislého napätia od vlastnej tiaže zeminy  $\sigma_z$  a súčiniteľa zemného tlaku  $K$  a vypočítame ju vo všeobecnosti podľa vzťahu:

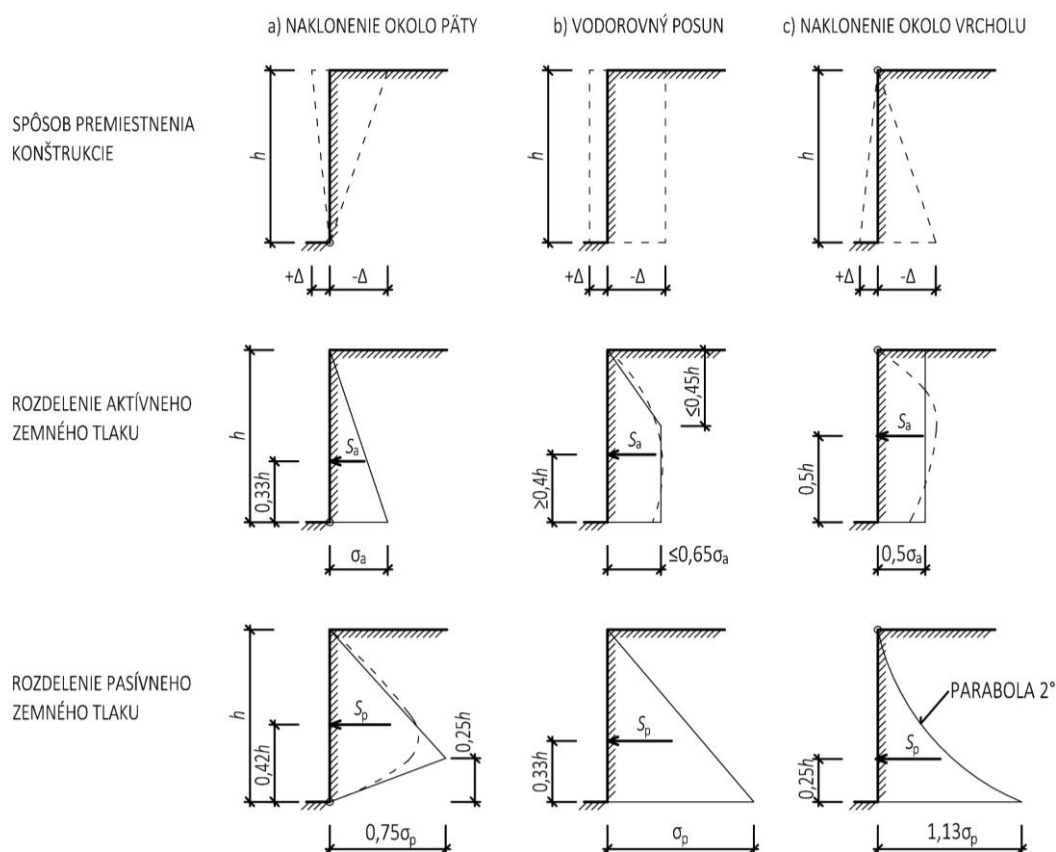
$$\sigma_x = \sigma_z \cdot K = \gamma \cdot h \cdot K \quad (6.1)$$

kde  $\gamma$  - objemová tiaž zeminy,  
 $h$  - výška opornej konštrukcie, resp. vzdialenosť od povrchu terénu.



Obr. 6.3.1a,b – Schéma fyzikálneho modelu a závislosť veľkosti zemného tlaku od vodorovného pretvorenia [Jesenák 1994]

Veľkosť a priebeh vodorovných napätí pre extrémne zemné tlaky (aktívny  $\sigma_a$ , pasívny  $\sigma_p$ ) a poloha výslednej sily zemného tlaku ( $S_a$ ,  $S_p$ ) závisí od spôsobu posunu opornej konštrukcie a veľkosti pomerného pretvorenia ( $+\Delta$ ,  $-\Delta$ ). Charakteristické priebehy vodorovných napätí a polohy výsledných síl v závislosti od spôsobu posunu opornej konštrukcie sú pre nesúdržné zeminy uvedené na obr. 6.3.2. V tab. 6.3.1 sú uvedené relatívne hodnoty posunu opornej steny  $\Delta/h$  potrebné na dosiahnutie príslušnej hodnoty zemného tlaku ( $0,5.S$  alebo  $1,0.S$ ) pre nesúdržné zeminy podľa STN 73 0037.

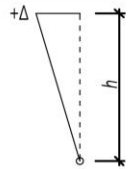
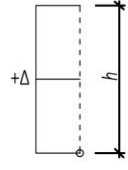
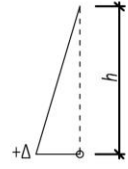
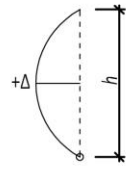


Obr. 6.3.2 – Schéma rozdelenia zemného tlaku pre nesúdržné zeminy [STN 73 0037]

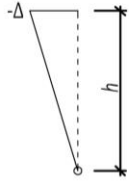
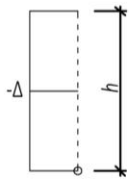
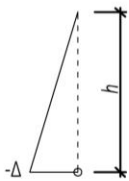
Tab. 6.3.1 – Relatívne hodnoty posunu opornej steny  $\Delta/h$  pre dosiahnutie hodnoty zemného tlaku pre nesúdržné zeminy [STN 73 0037]

| Výsledná sila zemného tlaku |                 | Nesúdržná zemina | Relatívna hodnota posunu opornej steny $\Delta/h$ pre dosiahnutie hodnoty zemného tlaku |                          |                    |                             |
|-----------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------|
|                             |                 |                  | Relatívny posun                                                                         | a) naklonenie okolo päty | b) vodorovný posun | c) naklonenie okolo vrcholu |
| Aktívny                     | $S_a$           | kyprá            | $+\Delta/h$                                                                             | 0,004 až 0,005           | 0,002 až 0,003     | 0,008 až 0,01               |
|                             |                 | uľahnutá         |                                                                                         | 0,001 až 0,002           | 0,0005 až 0,001    | 0,002 až 0,004              |
| Pasívny                     | $S_p$           | kyprá            | $-\Delta/h$                                                                             | 0,3                      | 0,1                | 0,15                        |
|                             | $0,5 \cdot S_p$ |                  |                                                                                         | 0,04                     | 0,005              | 0,01                        |
|                             | $S_p$           | uľahnutá         | $-\Delta/h$                                                                             | 0,1                      | 0,05               | 0,05                        |
|                             | $0,5 \cdot S_p$ |                  |                                                                                         | 0,025                    | 0,005              | 0,005                       |

Na obr. 6.3.3a,b sú uvedené relatívne hodnoty posunu opornej steny  $\Delta/h$  potrebné na dosiahnutie príslušnej hodnoty napätia od aktívneho ( $\sigma_a$ ) a pasívneho ( $\sigma_p$ ) zemného tlaku pre nesúdržné zeminy podľa STN EN 1997-1.

| Spôsob posunu steny                                                                        |                                                                                     | $+\Delta/h$<br>kyprá zemina<br>[-] | $+\Delta/h$<br>uľahnutá zemina<br>[-] |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| a)                                                                                         |   | 0,004 až 0,005                     | 0,001 až 0,002                        |
| b)                                                                                         |  | 0,002                              | 0,0005 až 0,001                       |
| c)                                                                                         |  | 0,008 až 0,01                      | 0,002 až 0,005                        |
| d)                                                                                         |  | 0,004 až 0,005                     | 0,001 až 0,002                        |
| kde $+\Delta$ je pohyb steny na mobilizovanie aktívneho zemného tlaku,<br>$h$ výška steny. |                                                                                     |                                    |                                       |

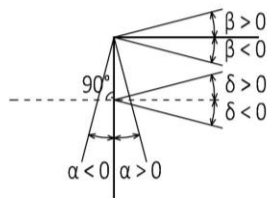
Obr. 6.3.3a – Relatívne hodnoty posunu opornej steny  $+\Delta/h$  potrebné na dosiahnutie hodnoty napätia od aktívneho ( $\sigma_a$ ) zemného tlaku pre nesúdržné zeminy podľa [STN EN 1997-1]

| Spôsob posunu steny                                                                                                                                                          |                                                                                   | $-\Delta / h$ ( $\Delta / h$ pre $0,5\sigma_p$ )<br>kyprá zemina<br>[-] | $-\Delta / h$ ( $\Delta / h$ pre $0,5\sigma_p$ )<br>ufahnutá zemina<br>[-] |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| a)                                                                                                                                                                           |  | 0,07 (0,015) až<br>0,25 (0,04)                                          | 0,05 (0,011) až<br>0,1 (0,02)                                              |
| b)                                                                                                                                                                           |  | 0,05 (0,009) až<br>0,1 (0,015)                                          | 0,03 (0,005) až<br>0,06 (0,01)                                             |
| c)                                                                                                                                                                           |  | 0,06 (0,01) až 0,15<br>(0,015)                                          | 0,05 (0,005) až<br>0,06 (0,013)                                            |
| kde $\Delta$ je posunutie steny,<br>$-\Delta$ pohyb steny potrebný na mobilizovanie pasívneho odporu,<br>$h$ výška steny,<br>$\sigma_p$ plne mobilizovaný pasívny zemný tlak |                                                                                   |                                                                         |                                                                            |

Obr. 6.3.3b – Relatívne hodnoty posunu opornej steny  $-\Delta/h$  potrebné na dosiahnutie hodnoty napätia od pasívneho ( $\sigma_p$ ) zemného tlaku pre nesúdržné zeminy podľa [STN EN 1997-1]  
 (Poznámka: hodnoty relatívnych posunov v zátvorke sú uvedené pre polovičné napätia  $\sigma_p$ )

Pri navrhovaní integrovaných mostov je spravidla povrch terénu za oporou vodorovný a opora je zvislá. Zásyp za oporou je spravidla zhotovený zo zhutnenej sypkej zeminy, t.j. súdržnosť  $c = 0$ . V závislosti od drsnosti povrchu rubu opornej konštrukcie a veľkosti uhlu vnútorného trenia zeminy dochádza k mobilizácii trenia a odklonu výslednice zemného tlaku od vodorovnej osi o uhol  $\delta$ . Pri výpočte veľkosti zemného tlaku sa odporúča uvažovať s hodnotou uhlu  $\delta = 0$ , čo je na strane bezpečnosti návrhu. Z uvedeného dôvodu sú v ďalšom texte výpočty zemných tlakov platné pre (obr. 6.3.4):

- zvislú opornú konštrukciu ( $\alpha = 0$ ) a vodorovný povrch terénu ( $\beta = 0$ ),
- sypkú zeminu (uhol vnútorného trenia  $\varphi > 0$ , súdržnosť  $c = 0$ ),
- odklon výslednej sily od vodorovnej osi  $\delta = 0$ .



Obr. 6.3.4 – Orientácia uhlov  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$

Všeobecné prípady výpočtu zemných tlakov pre sklonený povrch terénu ( $\beta \neq 0$ ), naklonenú opornú konštrukciu ( $\alpha \neq 0$ ), pôsobenie trenia medzi opornou konštrukciou a zeminou ( $\delta \neq 0$ ) a súdržnú zeminu ( $c > 0$ ) sú uvedené v STN 73 0037. Rovnako zohľadnenie rôznych spôsobov priťaženia povrchu terénu (napr. od dopravy) na výpočet zemných tlakov je uvedené v STN 73 0037.

Výpočet zemných tlakov uvedený v ďalšom texte platí pre zaťažovaciu šírku, resp. dĺžku opornej konštrukcie 1 m.

### 6.3.2 Výpočet zemného tlaku v pokoji

Vodorovné napätie od zemného tlaku v pokoji  $\sigma_r$  pôsobiace na zvislú stenu v hĺbke  $h$  pod povrchom terénu sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\sigma_r = \gamma \cdot h \cdot K_r = \sigma_z \cdot K_r \quad (6.2)$$

kde:  $K_r$  - súčiniteľ zemného tlaku v pokoji.

Pre sypkú zeminu sa vypočíta  $K_r$  podľa vzťahu:

$$K_r = 1 - \sin \varphi \quad (6.3)$$

Výsledná sila zemného tlaku v pokoji  $S_r$  sa vypočíta podľa vzťahu:

$$S_r = 0,5 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_r = 0,5 \cdot \sigma_r \cdot h \quad (6.4)$$

Pôsobisko výslednice  $S_r$  bude v  $1/3 \cdot h$  od spodného okraja, t.j. v ťažisku trojuholníkového obrázka vodorovných napätí.

### 6.3.3 Výpočet aktívneho zemného tlaku

Vodorovné napätie od aktívneho zemného tlaku  $\sigma_a$  pôsobiace na zvislú stenu v hĺbke  $h$  pod povrchom terénu sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\sigma_a = \gamma \cdot h \cdot K_a = \sigma_z \cdot K_a \quad (6.5)$$

kde:  $K_a$  - súčiniteľ aktívneho zemného tlaku.

Pre sypkú zeminu sa vypočíta  $K_a$  podľa vzťahu:

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (6.6)$$

Výsledná sila aktívneho zemného tlaku  $S_a$  sa vypočíta podľa vzťahu:

$$S_a = 0,5 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_a = 0,5 \cdot \sigma_a \cdot h \quad (6.7)$$

Pôsobisko výslednice  $S_a$  bude v  $1/3 \cdot h$  od spodného okraja, t.j. v ťažisku trojuholníkového obrázka vodorovných napätí (obr. 6.3.2).

#### 6.3.4 Výpočet pasívneho zemného tlaku (zemného odporu)

Vodorovné napätie od pasívneho zemného tlaku  $\sigma_p$  pôsobiace na zvislú stenu v hĺbke  $h$  pod povrchom terénu sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\sigma_p = \gamma \cdot h \cdot K_p = \sigma_z \cdot K_p \quad (6.8)$$

kde:  $K_p$  - súčiniteľ pasívneho zemného tlaku.

Pre sypkú zeminu sa vypočíta  $K_p$  podľa vzťahu:

$$K_p = \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (6.9)$$

Výsledná sila pasívneho zemného tlaku  $S_p$  sa vypočíta podľa vzťahu:

$$S_p = 0,5 \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_p = 0,5 \cdot \sigma_p \cdot h \quad (6.10)$$

Pôsobisko výslednice  $S_p$  bude v  $1/3 \cdot h$  od spodného okraja, t.j. v ťažisku trojuholníkového obrázka vodorovných napätí (obr. 6.3.2).

## 7 ANALÝZA INTERAKCIE INTEGROVANÝCH MOSTOV S HORNINOVÝM PROSTREDÍM

Problematika interakcie stavebnej konštrukcie s horninovým prostredím je veľmi komplexná a zložitá. V odbornej literatúre (napr. kap. 1.8) sú uvedené rôzne prístupy a metódy riešenia interakčných problémov rôznych typov stavebných konštrukcií s horninovým prostredím (podloží). Vybrané metódy riešenia interakcie stavebných konštrukcií s horninovým prostredím používané v inžinierskej praxi na Slovensku sú uvedené v kap. 7.1. Analýzou interakcie integrovaných mostov s horninovým prostredím sa komplexnejšie zaoberá [Drahorád, Foglar 2015] a [TP 261 (ČR)].

### 7.1 Modely interakcie integrovaných konštrukcií s horninovým prostredím

Výber a voľba vhodného typu integrovanej konštrukcie je v rozhodujúcej miere ovplyvnená komplexnou analýzou spolupôsobenia mostnej konštrukcie s okolitým horninovým prostredím, ktoré je tvorené spravidla vrstevnatým podloží a zemným zásypom za oporou. Pri výbere vhodného modelu interakcie je potrebné zohľadniť všetky podstatné faktory (geometriu a materiál navrhovanej konštrukcie, vlastnosti horninového prostredia, zaťaženia a pod.), ktoré sú často známe len čiastočne a s pomerne veľkou neistotou (najmä vlastností prírodného horninového prostredia). Riešenie interakčnej úlohy je navyše komplikované nutnosťou zohľadnenia špecifických stavov namáhania, ktoré sú spravidla veľmi premenlivé v čase (teplotné zmeny, zaťaženia dopravou, reologické procesy v betóne a podloží, a pod.).

#### 7.1.1 Model nosnej konštrukcie a spodnej stavby

Zo stavebno-konštrukčného riešenia integrovaných mostov vyplýva, že nosnú konštrukciu a spodnú stavbu mosta je potrebné modelovať v interakčnom výpočte spoločne. Výnimku môžu tvoriť časti semi-integrovaných mostov, ktoré sú oddelené od nosnej konštrukcie ložiskami alebo mostnými závermi (napr. oddielované časti podpier, krídla opory a pod.).

Pri tvorbe výpočtového modelu nosnej konštrukcie je potrebné zohľadniť všetky rozhodujúce okrajové podmienky, ktoré majú vplyv na spoľahlivosť návrhu, a to najmä:

- postup výstavby (napr. zmeny statickej schémy a jej vplyv na redistribúciu účinkov zaťaženia v nosných konštrukciách, rôzne aj dočasné zaťažovacie stavy a pod.),
- zmeny tuhosti v závislosti na stave namáhania (napr. zmeny tuhosti železobetónových častí konštrukcie vplyvom vzniku a otvárania trhlin),
- časovo závislé zmeny vlastností konštrukcie, horninového prostredia a okrajových podmienok (napr. vplyv dotvarovania a zmrašťovania betónu, konsolidácie podložia, zmeny vlastností vplyvom cyklického zaťaženia a pod.).

Pri tvorbe výpočtového modelu je potrebné zohľadniť skutočnosť, že niektoré materiálové vlastnosti konštrukcie a horninového prostredia nie je možné stanoviť jednou konštantnou hodnotou (napr. modul deformácie a pružnosti, vplyv konsolidácie na zmenu pevnostných charakteristík súdržných zemín a pod.). Iné vlastnosti (napr. tuhosť železobetónových prierezov, zmena deformačných charakteristík zemín s ohľadom na stav napätosti) sú ovplyvnené spôsobom namáhania a veľkosťou pôsobiaceho zaťaženia. Uvedené faktory majú vplyv na väčší počet analyzovaných výpočtových modelov, ktoré sú ovplyvnené rôznymi neistotami vyplývajúcimi z interakcie konštrukcie s horninovým prostredím (kap. 7.1.2).

Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že interakčné analýza konštrukcie s horninovým prostredím má byť realizovaná minimálne pre extrémne (najnepriaznivejšie) kombinácie možných vlastností konštrukcie, zaťažovacích stavov a ďalších nezanedbateľných okrajových podmienok z hľadiska posúdenia spoľahlivosti návrhu. Konečný návrh a posúdenie konštrukcie sa uskutočňuje pre interval (obálku) extrémnych hodnôt účinkov zaťaženia získaných analýzou jednotlivých výpočtových modelov. V prípade, že rozptyl výsledkov analýzy jednotlivých modelov je príliš veľký, je potrebné



uskutočniť podrobnejšiu analýzu (napr. s podrobnejším delením intervalom vlastností konštrukcie a horninového prostredia, podrobnejšie definovanie tých okrajových podmienok, ktoré významne vplyvajú na presnosť výpočtu).

### 7.1.2 Interakcia nosnej konštrukcie s horninovým (zemným) prostredím

Vo všeobecnosti sa interakciou nosnej konštrukcie s horninovým (zemným) prostredím rozumie vzájomné spolupôsobenie a ovplyvňovanie s ohľadom na vzájomnú zmenu napätostného stavu a deformácií v nosnej konštrukcii a horninovom prostredí. Interakcia nosnej konštrukcie s horninovým prostredím je spravidla vyvolané deformáciou časti nosnej konštrukcie, ktoré sú v kontakte s horninovým prostredím (základy s položími, opory so zásypom a pod.). V dôsledku deformácie nosnej konštrukcie sa zmení kontaktné napätie na styku konštrukcie a horninového prostredia a následnou zmenou vonkajšieho zaťaženia nosnej konštrukcie, ktoré sa opäť prejaví zmenami napätosti a deformácie celej konštrukcie.

Interakcia nosnej konštrukcie s horninovým prostredím je základnou charakteristikou pôsobenia integrovaných mostov, ktorá musí byť pri návrhu nosnej konštrukcie zohľadnená. Vplyvom interakcie dochádza k redistribúcií účinkov zaťaženia na nosnú konštrukciu, čo spravidla predstavuje priaznivejší stav, ktorý umožňuje návrh subtilnejšej konštrukcie a spodnej stavby. Zároveň dochádza v horninovom prostredí k väčšiemu namáhaniu a deformáciám, ktoré sa prenášajú na prechodovú oblasť, čo má vplyv na podrobnejšiu napätostno-deformačnú analýzu tejto oblasti a zároveň vplyv na podrobnejší (komplexnejší) a spoľahlivejší návrh. Z hľadiska správania sa horninového prostredia sú pri integrovaných mostoch významné aj časovo závislé (reologické) procesy, najmä vplyv na zmeny veľkosti zemných tlakov, deformácie a tuhosť horninového prostredia.

Z hľadiska pôsobenia zaťaženia a interakčnej analýzy konštrukcie je potrebné rozlišovať dve základné oblasti správania sa horninového (zemného) prostredia, a to oblasť dlhodobého a krátkodobého stavu namáhania.

Oblasť dlhodobého stavu namáhania horninového prostredia je charakteristická relatívne malým množstvom pôsobiacich zaťažení (vlastná tiaž a ostatné zložky stáleho zaťaženia) a vysokou náročnosťou výpočtových modelov. Z hľadiska posúdenia konštrukcie a horninového prostredia dochádza k pôsobeniu viacerých nelineárnych javov (napr. dotvarovanie betónu, dlhodobé zmeny vo veľkosti zemných tlakov, konsolidácia podložia a pod.), ktoré je potrebné analyzovať z hľadiska ich vplyvu na nosnú konštrukciu. Neistoty v okrajových podmienkach výpočtových modelov (vo výpočtových metódach a materiálových modeloch) spravidla ovplyvňujú tvorbu viacerých výpočtových modelov definujúcich minimálnu a maximálnu hranicu vplyvu na konštrukciu (kap. 7.2).

Oblasť krátkodobého stavu namáhania horninového prostredia je naopak charakteristická veľkým množstvom pôsobiacich zaťažení (premenné zaťaženia) a relatívne jednoduchým chovaním horninového prostredia. Pre krátkodobé namáhanie horninového prostredia sa spravidla používa predpoklad pružného pôsobenia zásypu konštrukcie. Tento predpoklad vychádza z požadovaného chovania sa konštrukcie, najmä požiadavky na dlhodobú stabilitu tvaru prechodovej oblasti.

## 7.2 Modelovanie zemného zásypu za mostnou oporou

Potreba interakčného výpočtu nosnej konštrukcie so zásypom (resp. prechodovou oblasťou) pri integrovaných mostoch je základným rozdielom v porovnaní s neintegrovanými mostami. Pre spoľahlivú statickú analýzu je nevyhnutné reálne a správne vystihnúť spolupôsobenie zemného telesa s nosnou konštrukciou mosta vrátane stanovenia spoľahlivých geotechnických údajov o zemnom telese za oporou.

V závislosti od použitej miery zjednodušenia a podrobnosti riešenia je možné modelovať pôsobenie zásypu na nosnú konštrukciu v zásade nasledujúcimi dvoma spôsobmi:

- Zjednodušené výpočtové modely (metódy) pre plošné aj prútové modely nosných konštrukcií (kap. 7.2.1).

- Všeobecné výpočtové modely (metódy) pre plošné aj priestorové modely zásypu a nosných konštrukcií (kap. 7.2.2).

### 7.2.1 Zjednodušené výpočtové modely (metódy)

Zjednodušené výpočtové modely sú dostatočne výstižné a použiteľné pre integrované mosty s posunmi koncov mosta  $\Delta h$  vyhovujúcim podmienkam uvedeným na obr. 4.1.1.

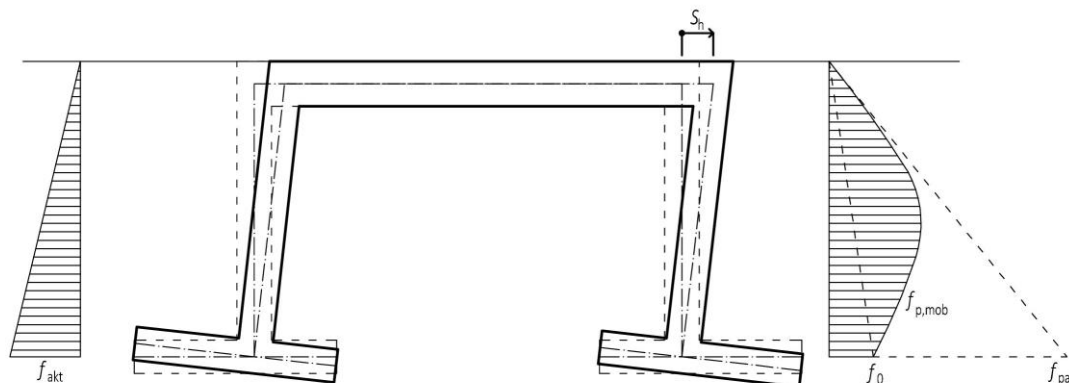
V závislosti od spôsobu zohľadnenia interakcie zeminy s nosnou konštrukciou sa zjednodušené výpočtové modely delia na:

- modely (metódy) založené na náhradnom zaťažení,
- modely (metódy) založené na náhradnej tuhosti podoprenia,
- kombinované modely (metódy).

#### a) Výpočtové modely (metódy) založené na náhradnom zaťažení

Modely (metódy) založené na náhradnom zaťažení vo všeobecnosti nahrádzujú pôsobenie zeminy vonkajším zaťažením od zemného tlaku pôsobiaceho na zasypané časti nosnej konštrukcie (obr. 7.2.1). Výhodou uvedeného modelu je hlavne použitie iba jednej statickej schémy nosnej konštrukcie a možnosť použitia lineárnej analýzy. Nevýhodou je spravidla použitie väčšieho množstva zaťažovacích stavov vyplývajúcich rôzneho priebehu zemných tlakov v závislosti od deformácie nosnej konštrukcie (zemný tlak v pokoji, aktívny alebo pasívny, kap. 6.3) a potreba zohľadnenia rôznych stavov namáhania nosnej konštrukcie z analýzy.

Tieto výpočtové modely (metódy) je spravidla vhodné používať pre analýzu plošne založených nosných konštrukcií, resp. pre modelovanie interakcie plošných (stenových) konštrukcií so zeminou, pri ktorých je vo väčšine prípadov možné použiť teoretické predpoklady klasickej mechaniky zemín a na stanovenie ekvivalentného zaťaženia použiť metódy bežne používané pre stanovenie zemných tlakov. Metódy výpočtu zaťaženia stavebných konštrukcií zemnými tlakmi (v pokoji, aktívnym a pasívnym) sú podrobne a komplexne popísané v STN 73 0037 (podrobnejšie viď kap. 6.3).



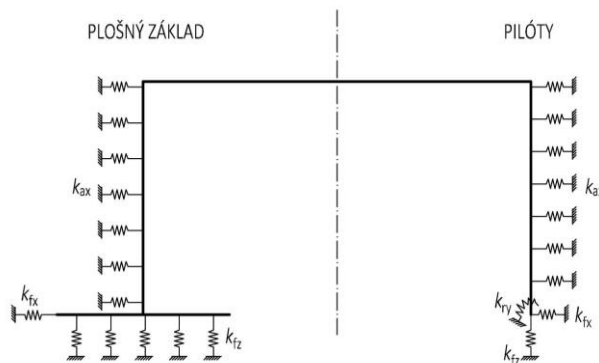
Obr. 7.2.1 – Príklad modelu integrovaného mostu založeného na náhradnom zaťažení (modelované zaťaženie simuluje interakciu so zemným prostredím) [TP 261 (ČR)]

#### b) Výpočtové modely (metódy) založené na náhradnej tuhosti podoprenia

Modely (metódy) založené na náhradnej tuhosti podoprenia vo všeobecnosti nahrádzujú zeminu zásypu integrovaného mostu pružnými (lineárnymi prípadne nelineárnymi) pružinami (obr. 7.2.2). Výhodou uvedeného postupu je zjednodušenie analýzy vplyvom zníženia počtu zaťažovacích stavov. Nevýhodou je potreba podrobnejšieho zohľadnenia postupu výstavby hlavne s ohľadom na pôsobenie jednotlivých nosných častí mostnej konštrukcie pri zasypávaní a pôsobení zemného tlaku v pokoji.

Tieto výpočtové modely (metódy) je spravidla vhodné používať pre analýzu hĺbkovou založených nosných konštrukcií, resp. pre modelovanie interakcie pilót s horninovým (zemným) prostredím, a to z dôvodu výrazne nelineárnej závislosti medzi vodorovným odporom pilóty a jej

posunom. Niektoré vybrané metódy výpočtu náhradnej tuhosti podopretia v rôznych smeroch (tzv. koeficientov zvislej, horizontálnej a rotačnej reakcie podložia), ktoré sa používajú v inžinierskej praxi, sú podrobnejšie popísané napr. v lit. [Sobota 1980, Kolář, Němec 1989, Masopust 1994, Jendželovský 2009, Hruštinec 2003, Křížek 2009, Manuál k výpočtovému programu GEO5]. Vybrané metódy stanovenia náhradnej tuhosti pre plošný základ a pilóty sú uvedené v kap. 7.3.



Obr. 7.2.2 – Príklad modelu integrovaného mostu založeného na náhradnej tuhosti podopretia (modelované pružiny simulujúce interakciu so zemným prostredím) [TP ČR 261]

#### c) Kombinované výpočtové modely (metódy)

Kombinované výpočtové modely (metódy) sú tvorené spojením modelov založených na náhradnom zaťažení a náhradnej tuhosti podopretia. V inžinierskej praxi sa často používa v prvom integračnom kroku stanovenie počiatočného namáhania (stavu napätosti) s použitím modelu s náhradným zaťažením zemným tlakom v pokoji (za predpokladu tuhého založenia, t.j. votknutia podpory do podložia). Pre nasledujúce zaťažovacie stavy (iterácie) sa použije výpočtový model s náhradnou tuhosťou, ktorá je stanovená na základe výsledkov (t.j. vypočítaných kontaktných napätí a posunov nosnej konštrukcie) získaných z predchádzajúcich iterácií.

### 7.2.2 Všeobecné výpočtové modely (numerické metódy)

V inžinierskej praxi sa navrhujú a realizujú stále náročnejšie stavebné konštrukcie v zložitejších základových pomeroch (3.GTK). Pri takýchto komplikovaných okrajových podmienkach nepostačuje posudzovanie interakcie nosnej konštrukcie so zemným prostredím pomocou zjednodušených výpočtových modelov, resp. metód (kap. 7.2.1), ale je potrebné využiť komplexnejšie a sofistikovanejšie výpočtové metódy a postupy, medzi ktoré patrí aj numerická metóda konečných prvkov (MKP).

Na stavebnom trhu existuje veľké množstvo výpočtových programov využívajúcich matematický aparát MKP, ktoré sa špecializujú na riešenie aj náročných geotechnických úloh a problémov, so zložitými geometrickými, materiálovými a statickými okrajovými podmienkami. Medzi používané komerčné geotechnické výpočtové programy na Slovensku patria napr. GEO5 (modul MKP – 2D), Plaxis (2D a 3D), Midas (2D a 3D) a ďalšie.

Medzi hlavné výhody využitia MKP na analýzu interakcie nosnej konštrukcie s horninovým (zemným) prostredím patrí najmä možnosť:

- zohľadnenia postupného procesu výstavby vrátane výkopov (odľahčenie podložia) a následné postupné priťažovanie podložia mostnou konštrukciou a zemným násypom a zásypom, t.j. reálne zohľadnenie zmeny stavu napätosti a jej vplyv na pretvorenie podložia a stavebných konštrukcií,

- definovania zložitých geometrických, materiálových a statických okrajových podmienok, ktoré sa môžu meniť v rôznych etapách výstavby (veľká variabilita definovania rôznych zaťažovacích stavov),
- definovania fyzikálnych vlastností zemín aj pomocou zložitých konštitučných vzťahov, ktoré rešpektujú závislosť medzi tenzorom napätia, tenzorom pretvorenia a časom (reologické procesy),
- zohľadnenie spojitých a nespojitých oblastí jednotlivých konštrukčných prvkov (betónové konštrukcie, zásyp zo zeminy, horninové podložie a pod.) pomocou použitia tzv. kontaktných ("interface") prvkov,
- variabilné statické a dynamické interakčné analýzy aj pri zohľadnení prúdenia vody v horninovom prostredí.

K nevýhodám geotechnických výpočtových programov spravidla patrí nemožnosť zohľadnenia reologických procesov v betónových konštrukciách.

Pri pôsobení extrémne zložitých okrajových podmienok (napr. kombinácia zložitých základových pomerov a veľkých posunov koncov mostu) sa odporúča vypracovať komplexnú analýzu celej konštrukcie mostu vrátane interakcie s horninovým (zemným) prostredím.

#### a) Zásady numerického modelovania

Medzi základné úlohy pri vytváraní výpočtového modelu patrí rozhodnutie, či bude úloha riešená ako rovinná (2D) alebo priestorová (3D). Vo všeobecnosti platí, že priestorové riešenie je komplexnejšie a presnejšie, ale zároveň je časovo a numericky náročnejšie. V inžinierskej praxi je všeobecne používané kritérium pre voľbu rovinného riešenia v prípade, že pomer dĺžky k šírke modelovanej konštrukcie je väčší ako 6, resp. 10 násobok. Spravidla platí, že pri niektorých konštrukčných prvkoch (napr. pri krídlach mostnej opory) nebudú podmienky pre 2D splnené. Preto sa odporúča aspoň základné overenie výstižnosti rovinného (2D) modelu konštrukcie vzhľadom na priestorový model (3D). Pri numerických analýzach je možné využiť aj tzv. metódu submodelovania, keď sa celá konštrukcia (kde sú splnené 2D podmienky) namodeluje a vyrieši ako 2D úloha a následne sa tie časti konštrukcie, kde nie sú splnené podmienky pre 2D riešene, modelujú ako 3D úloha, pričom výsledky z 2D riešenia vstupujú ako okrajové podmienky (deformácie, napätia) pri 3D úlohe.

Ak sa pri globálnej analýze interakcie zemného prostredia s mostnou konštrukciou použijú všeobecné (numerické) výpočtové modely (2D alebo 3D), odporúča sa predovšetkým:

- podrobná analýza postupu výstavby vo vzťahu k horninovému (zemnému) prostrediu (t.j. odľahčovanie a priťažovanie), vrátane overenia zmien napätosti v rozhodujúcich fázach výstavby,
- nezávislé posúdenie 1. a 2. Medzného stavu pre všetky možné kombinácie účinkov zaťaženia (potrebné je zohľadniť možnú variabilitu zmeny vlastností zemín s ohľadom na prebiehajúce konsolidačné procesy v horninovom prostredí ak môže nastať),
- preverenie vplyvu rôznych návrhových postupov v zmysle STN EN 1997-1,
- preverenie vplyvu rôznych konštitučných modelov používaných pre definovanie zemín,
- preverenie vplyvu spôsobu modelovania interakcie systému "pilota – horninové prostredie" ak je navrhnuté hĺbkové založenie mosta,
- overenie vplyvu použitia rôznych vlastností (normálovej a šmykovej tuhosti) kontaktného prvku modelujúceho styk medzi "oporou a zásypom".

Faktorov ovplyvňujúcich výsledky interakčnej analýzy môže byť v závislosti od zložitosti a charakteru riešeného problému podstatne viac. Preto sa veľmi odporúča realizovať aj tzv. citlivostnú analýzu pre tie okrajové podmienky (geometrické, materiálové, statické), ktoré majú nezanedbateľný vplyv na presnosť výsledkov a spoľahlivosť návrhu.

#### b) Geotechnické údaje (vlastnosti zemín)

Pri definovaní vlastností zemín je potrebné zohľadniť skutočnosť, že časť horninového prostredia je tvorená prírodným (tzv. rastlým) horninovým prostredím (spravidla základová pôda tvoriaca podložie mostnej konštrukcie) a časť zhutnenou zeminou tvoriacou zásyp za oporou (prípadne násyp). Uvedená skutočnosť má vplyv na kvalitu a spoľahlivosť stanovenia vstupných údajov do výpočtových modelov a interakčných analýz.

Kvantitatívne a kvalitatívne požiadavky na definovanie vlastností zemín pre interakčnú analýzu závisia od zložitosti a typu použitého konštitutívneho materiálového modelu. Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že množstvo a druhy materiálových charakteristík použitých vo výpočtových modeloch narastajú so zvyšujúcou sa zložitou a komplexnosťou výpočtového modelu.

Vo všeobecnosti je možné geotechnické údaje rozdeliť do troch základných skupín:

- Charakteristiky potrebné pre posúdenie 1. Medzného stavu, t.j. pevnostné charakteristiky zemín a skalných hornín (napr. uhol vnútorného trenia, súdržnosť, pevnosť v prostom tlaku, atď.).
- Charakteristiky potrebné pre posúdenie 2. Medzného stavu, t.j. deformačné charakteristiky, ktoré definujú tuhosť zemín a skalných hornín (napr. modul deformácie a pružnosti, oedometrický modul deformácie a pružnosti, Poissonove číslo, atď.).
- Charakteristiky reprezentujúce hydrologické a konsolidačné vlastnosti zemín (napr. koeficient filtrácie, súčiniteľ konsolidácie).

Geotechnické údaje o prírodnom horninovom prostredí sa získavajú v rámci realizácie geotechnického prieskumu pre jednotlivé etapy projektovej prípravy stavebného diela. Požiadavky na ciele, rozsah a obsah geotechnického prieskumu sú podrobne definované STN EN 1997-1 a STN EN 1997-2. K hlavným cieľom geotechnického prieskumu patrí objasnenie geologických a hydrogeologických pomerov, stanovenie vlastností zemín a hornín a získanie ďalších doplňujúcich relevantných geotechnických údajov a informácií o záujmovom území (lokalite), ktoré sú potrebné pre spoľahlivý a hospodárny návrh stavebnej (geotechnickej) konštrukcie.

Pre stanovenie geotechnických údajov pre prírodného horninové prostredie existuje množstvo štandardných a špeciálnych terénnych a laboratórnych skúšok. Od kvality naplánovania a realizácie geotechnického prieskumu závisí aj spoľahlivosť a reprezentatívnosť stanovenia vlastností zemín, ktoré vstupujú do výpočtových modelov a majú rozhodujúci vplyv na správnosť a výstižnosť geotechnických výpočtov. Preto je potrebné problematike stanovenia reprezentatívnych geotechnických údajov venovať veľkú pozornosť.

V prípade "umelo" zhutneného zásypu za oporou závisia vlastnosti zemín hlavne od použitého materiálu, a tiež od spôsobu a kvality realizácie zásypu na stavenisku, ktoré pri geotechnickom návrhu iba predpokladáme na základe projektovaných parametrov, t.j. projektovanej (predpísanej) miery zhutnenia a zrnitostného zloženia zásypového materiálu (t.j. triedy zeminy). V závislosti od zložitosti riešeného problému sa odporúča v rámci numerickej analýzy stanoviť aspoň tri rôzne odhady vlastností zemín, a to:

- minimálnu hodnotu vlastnosti,
- maximálnu hodnotu vlastnosti,
- priemernú hodnotu vlastnosti.

Uvedené hodnoty majú byť stanovené štandardnými štatistickými metódami v súlade s STN EN 1997-1 v rámci realizácie a vyhodnotenia geotechnického prieskumu. Minimálne a maximálne hodnoty vlastností zemín sa použijú pre návrh konštrukcie na 1. Medzný stav (posúdenie únosnosti a stability) a priemerné hodnoty sa použijú pre návrh konštrukcie na 2. Medzný stav (posúdenie použiteľnosti).

#### c) Kalibrácia (verifikácia) výpočtového modelu

Kalibráciu (verifikáciu) výpočtového modelu konštrukcie a zemného prostredia je možné uskutočniť v závislosti od poznania vlastností zemného prostredia viacerými spôsobmi. Ak sú známe údaje z merania obdobnej konštrukcie v podobných geotechnických pomeroch je optimálne uskutočniť

numerickú analýzu posudzovanej konštrukcie a dosiahnuté výsledky overiť (tzv. porovnateľná skúsenosť) na:

- spoľahlivosť navrhutej konštrukcie z hľadiska pôsobenia zaťaženia zemným tlakom,
- spoľahlivosť navrhutej konštrukcie z hľadiska vývoja deformácií a pretvorení.

V prípade, že nie je známa porovnateľná skúsenosť s obdobnou konštrukciou, tak je možné uskutočniť čiastočnú kalibráciu výpočtového modelu na základe geotechnických údajov získaných z laboratórnych alebo in-situ skúšok realizovaných v rámci geotechnického prieskumu. Kalibráciu konštitutívneho materiálového modelu je možné uskutočniť pomocou definovania výpočtového modelu definovaného pre okrajové podmienky realizovanej skúšky (napr. triaxiálnej, oedometrickej, presiometrickej a pod.).

Podobným spôsobom je možné uskutočniť aj kalibráciu výpočtového modelu (materiálového modelu) aj pre modelovanie zhutneného zásypu. Aj pri zhutnenom zásype je možné využiť porovnateľnú skúsenosť s podobnými konštrukciami, pre ktoré už boli realizované v in-situ podmienkach kontrolné merania (napr. zaťažovacie skúšky, geodetické merania posunov a pod.).

V prípade, že nie je známa porovnateľná skúsenosť je možné v etape realizácie zásypu využiť aj čiastkové výsledky z kontrolných skúšok realizovaných v rámci geotechnického monitoringu. S ohľadom na význam z hľadiska spoľahlivosti návrhu sa veľmi odporúča overiť návrh spätným výpočtom, prípadne v pôvodnom návrhu vytvoriť dostatočnú rezervu na prípadne neistoty vyplývajúce z nesprávneho predpokladu vlastností zásypového materiálu spôsobeného nekvalitným zabudovaním zásypu (najmä nedodržaním zrnitostného zloženia a nekvalitným zhutňovaním).

### 7.3 Výpočet koeficientov zvislej, horizontálnej a rotačnej reakcie podložia

Niektoré vybrané metódy výpočtu koeficientov zvislej, horizontálnej a rotačnej reakcie podložia (tzv. náhradnej tuhosti podopretia v rôznych smeroch), ktoré sa používajú v inžinierskej praxi, sú podrobnejšie popísané napr. v lit. [Sobota 1980; Kolář, Němec 1989; Masopust 1994; Jendželovský 2009; Hruštinec 2003; Křížek 2009, Manuál k výpočtovému programu GEO5].

#### 7.3.1 Výpočet koeficientu zvislej reakcie podložia

V odbornej literatúre zaoberajúcej sa interakciou základových konštrukcií s podložíom (napr. Jendželovský 2009; Kolář, Němec 1989; Hruštinec 2002 a ďalší), sa modely podložia využívajúce tzv. náhradnú tuhosť podopretia vo zvislom smere pomocou koeficienta reakcie podložia (označovaný aj pojmami: Winklerov modul reakcie podložia, koeficient ložnosti podložia, modul stlačiteľnosti podložia) spravidla rozdeľujú na:

- jednoparametrický model podložia (tzv. Winklerov model),
- dvojparametrický model podložia (tzv. Winkler-Pasternakov model).

##### a) Jednoparametrické modely podložia (tzv. Winklerov model)

Winklerov model sa nazýva tiež hypotéza koeficientov ložnosti (koeficient tuhosti podložia), podľa ktorej sa predpokladá, že v každom bode podložia je zaťaženie  $p$  priamo úmerné priehybu  $w$  v tomto bode a je nezávislé od priehybov v ostatných bodoch. Winklerov model nepočíta so spolupôsobením celého okolia konštrukcie. Potom sa lineárny vzťah medzi kontaktným napätím  $p$  a deformáciou  $w$  vyjadrí rovnicou [Jendželovský 2009]:

$$p(x,y) = k_s \cdot w(x,y) \quad (7.1)$$

kde:  $k_s$  - koeficient ložnosti, resp. koeficient zvislej reakcie ( $\text{kN/m}^3$ ),  
 $p$  - zvislé kontaktné napätie, resp. zvislé zaťaženie ( $\text{kPa}$ ),  
 $w$  - priehyb, resp. zvislý posun (sadnutie) základu (m).

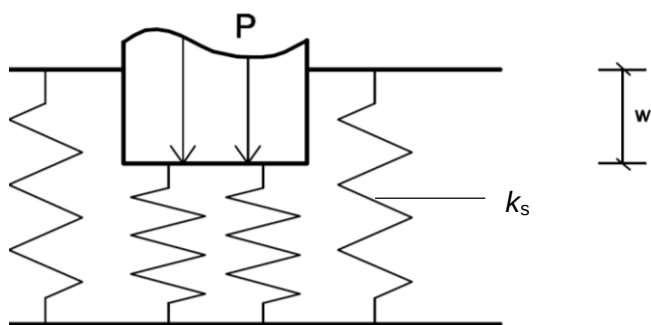
Potom koeficient zvislej reakcie podložia sa vypočíta podľa vzťahu:

$$k_s = \frac{p(x,y)}{w(x,y)} \quad (7.2)$$

V prípade, že máme vypočítané sadnutie základovej konštrukcie  $s$  a kontaktné napätie v základovej škáre  $p$ , môžeme použiť na výpočet upravený vzťah:

$$k_s = \frac{p}{s} \quad (7.3)$$

Winklerov model podložia sa spravidla znázorňuje sústavou pružín, ktoré nie sú navzájom pospájané (obr. 7.3.1). Tlak v ľubovoľnej pružine je priamo úmerný jej zatlačeniu a je nezávislý od tlakov v ostatných pružinách. Okrem toho sa predpokladá, že pružný podklad sa správa rovnako pri tlakovom, ako aj pri ťahovom zaťažení. Vplyv šmykových napätí v kontakte sa zanedbáva.



Obr. 7.3.1 – Schéma Winklerovho modelu podložia

Výpočtom koeficienta zvislej reakcie podložia sa zaoberali aj mnohí ďalší autori, ktorí uvádzajú nasledujúce vzťahy pre jeho výpočet:

Gorbunov-Posadov:

$$k_s = \frac{2.E}{(1-\nu^2) \cdot \pi} \cdot \frac{1}{R} \quad (7.4)$$

kde:  $E$  - modul pružnosti podložia (kPa),  
 $\nu$  - poissonove číslo (-),  
 $R$  - polomer kruhového základu (m).

Pre pravouhlý základ šírky  $B$  a dĺžky  $L$  vypočítame náhradný polomer  $R$  pomocou ekvivalentnej plochy  $B.L$  nasledovne:

$$R = \sqrt{\frac{B.L}{\pi}} \quad (7.5)$$

Pasternak:

$$k_s = \frac{E}{H.(1-\nu^2)} \quad (7.6)$$



kde:  $H$  - hrúbka v (m) stlačiteľnej vrstvy zeminy (pri tenších stlačiteľných vrstvách zeminy na nestlačiteľnom podloží), alebo hĺbka deformačnej zóny pri väčších stlačiteľných vrstvách stanovená v zmysle metodiky STN 73 1001.

Barvašová:

$$k_s = \frac{E}{H \cdot (1-\nu)} \quad (7.7)$$

Vlasov-Leontiev:

$$k_s = \frac{E \cdot (1-\nu)}{H \cdot (1+\mu) \cdot (1-2\mu)} = \frac{E_{\text{oed}}}{H \cdot (1-\mu^2)} \quad (7.8)$$

kde:  $E_{\text{oed}}$  - oedometrický modul pružnosti podložia (kPa),  
 $\mu$  - Poissonova konštanta (-).

Praksm (pre základy väčších pôdorysných rozmerov – základové dosky):

$$k_s = \frac{1,13 \cdot E}{1-\nu^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{A}} \quad (7.9)$$

kde:  $A$  - plocha základu (m<sup>2</sup>).

Odporúčané koeficienty zvislej reakcie podložia v závislosti od typu podložia (kategórie, resp. triedy zeminy alebo horniny) podľa [Sobotu 1980] sú:

|                                               |                                    |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|
| • neúnosné bahno (organická pôda) .....       | 5 000 – 10 000 kN/m <sup>3</sup>   |
| • hlina, íl, piesčitá hlina (plastické) ..... | 10 000 – 20 000 kN/m <sup>3</sup>  |
| • hlina, íl (tuhšie) .....                    | 20 000 – 40 000 kN/m <sup>3</sup>  |
| • pevné hliny a íl .....                      | 40 000 – 100 000 kN/m <sup>3</sup> |
| • kypré piesky .....                          | 10 000 – 15 000 kN/m <sup>3</sup>  |
| • uľahlé piesky .....                         | 15 000 – 25 000 kN/m <sup>3</sup>  |
| • uľahlé štrky .....                          | 25 000 – 40 000 kN/m <sup>3</sup>  |
| • polopevné horniny .....                     | 40 000 – 50 000 kN/m <sup>3</sup>  |

Uvedené hodnoty platia pre základové pätky, resp. pásy, pri základových doskách na tej istej základovej pôde hodnoty koeficientu zvislej reakcie podložia výrazne poklesnú.

#### b) Dvoiparametrické modely podložia (tzv. Winkler-Pasternakov model)

Pasternak modifikoval Winklerov model podložia tak, že pre kontaktné napätie  $p$  napísal diferenciálnu rovnicu v tvare [Jendželovský 2009]:

$$p(x,y) = C_1 \cdot w(x,y) - C_2 \left( \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial y^2} \right) \quad (7.10)$$

kde:  $w(x,y)$  - prieťahová plocha základu vo zvislom smere,  
 $C_1$  - koeficient odporu vo zvislom smere, resp. Winklerov koeficient (N/m<sup>3</sup>),  
 $C_2$  - koeficient šmykového roznosu zaťaženia, resp. Pasternakov koeficient (N/m).

Pasternakova modifikácia odstraňuje hlavný nedostatok jednoparametrického modelu a to, že model umožňuje zohľadniť aj deformácie podložia mimo základu.

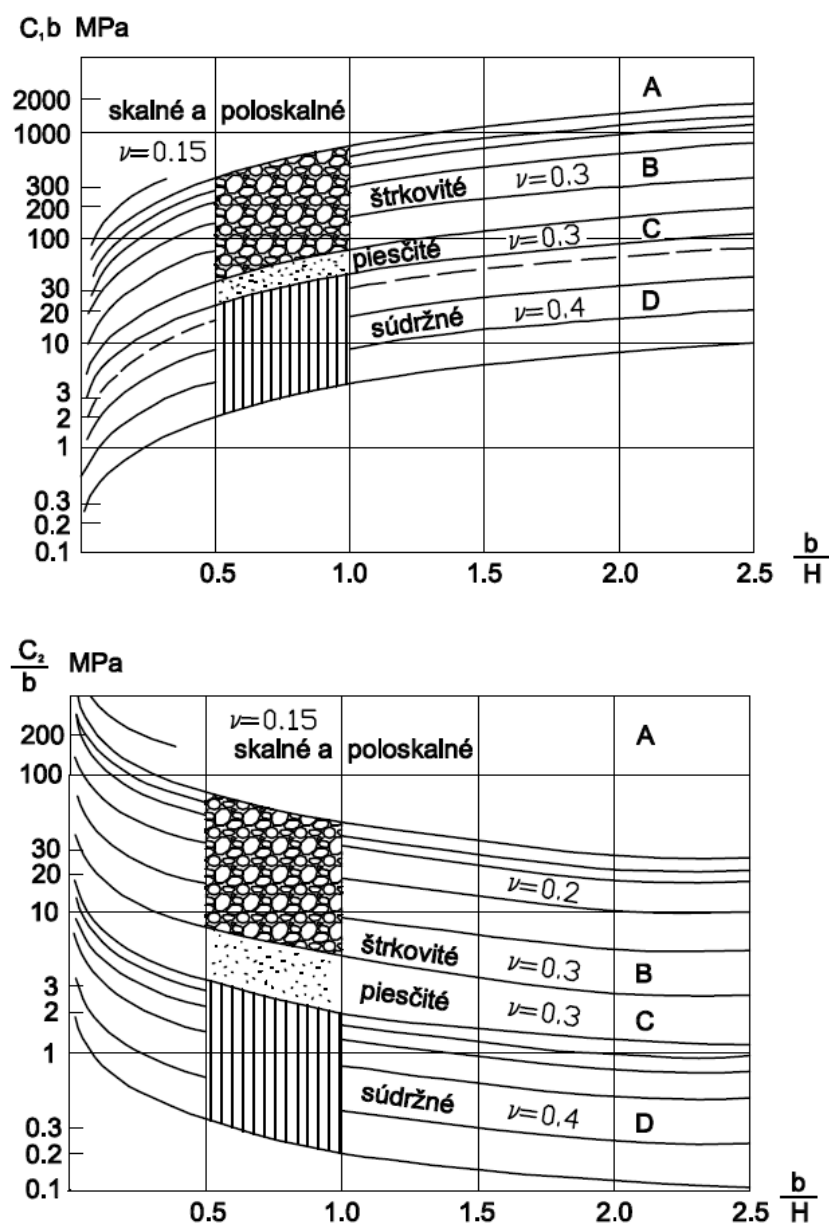
V statických programoch používaných na území Čiech a Slovenska sa často používa dvojparametrický model podložia, ktorý definovali [Kolář, Němec 1989]. Pre dvojparametrický model podložia boli odvodené hodnoty  $C_1$  a  $C_2$ :

$$C_1 = \frac{E_{\text{oed}}}{H} = \frac{E \cdot (1-\nu)}{H \cdot (1+\nu) \cdot (1-2 \cdot \nu)} \quad (7.11)$$

$$C_2 = \frac{E \cdot H}{6 \cdot (1+\nu)} \quad (7.12)$$

kde:  $E$  - modul pružnosti podložia (kPa),  
 $E_{\text{oed}}$  - oedometrický modul pružnosti podložia (kPa),  
 $H$  - hrúbka vrstvy zeminy (m).

Nomogramy pre stanovenie hodnôt koeficientov  $C_1$  a  $C_2$  v závislosti od modulu pružnosti  $E$ , Poissonoveho čísla  $\nu$ , hrúbky vrstvy zeminy  $H$ , šírky základu  $2b$  ( $b$  je polovičná šírka základu) pre rôzne kategórie zemín a skalných hornín uvádzajú [Bittnar, Šejnoha 1992], obr. 7.3.2.



Obr. 7.3.2 – Nomogramy na určenie koeficientov  $C_1$  a  $C_2$  podľa [Bittnar, Šejnoha 1992]

### 7.3.2 Výpočet koeficienta horizontálnej reakcie podložia

Fyzikálna podstata stanovenia koeficienta horizontálnej reakcie podložia  $k_x$  je v zásade rovnaká ako pri zvislej reakcii podložia. V prípade, že máme vypočítaný vodorovný posun  $x$  stavebnej konštrukcie (opory alebo základu) a vodorovné normálové kontaktné napätie  $\sigma_x$  na zvislú plochu konštrukcie, môžeme na výpočet  $k_x$  použiť vzťah:

$$k_x = \frac{\sigma_x}{x} \quad (7.13)$$

kde:  $k_x$  - koeficient horizontálnej reakcie (kN/m<sup>3</sup>),  
 $\sigma_x$  - vodorovné normálové kontaktné napätie (kPa),  
 $x$  - vodorovný posun základu alebo opornej konštrukcie (m).

Vodorovné normálové kontaktné napätia a vodorovné posuny môžeme vypočítať analytickými alebo numerickými metódami, alebo namerať v in-situ podmienkach.

Podľa lit. [Jendželovský 2009] je možné tiež približne stanoviť hodnotu  $k_x$  ako polovičnú z hodnoty vo zvislom smere, t.j.:

$$k_x = 0,5 \cdot k_s \quad (7.14)$$

Problematikou stanovenia súčiniteľa horizontálnej reakcie podložia  $k_h$  pre rôzne tuhé vŕtané pilóty sa podrobnejšie zaoberá lit. [Masopust 1994]. Veľkosť  $k_h$  vo všeobecnosti závisí od typu zeminy (resp. jej tuhosti vyjadrenej modulom deformácie zeminy  $E_{def}$ ) a priemeru pilóty ( $d$ ). Uvádza nasledujúce vzťahy pre výpočet  $k_h$ :

- Pre súdržné zeminy platí empirický vzťah:

$$k_h = \frac{2 \cdot E_{def}}{3 \cdot d} \quad (7.15)$$

- Podľa DIN 4014 platí empirický vzťah (súdržné zeminy):

$$k_h = \frac{E_{def}}{d} \quad (7.16)$$

kde:  $d \leq 1,0$  m, pre  $d > 1,0$  sa dosadzuje  $d = 1,0$  m za predpokladu, že maximálna vodorovná deformácia v hlave pilóty  $u_a = 20$  mm, resp.  $u_a = 0,03 \cdot d$  (platí menšia hodnota).

- Pri nesúdržných zeminách sa predpokladá lineárny nárast vodorovného modulu reakcie s hĺbkou ( $z$ ) pod terénom, pričom platí vzťah:

$$k_x = \frac{z}{d} \cdot n_h \quad (7.17)$$

kde:  $n_h$  - konštanta podľa tab. 7.3.1 (MN.m<sup>-3</sup>),  
 $z$  - hĺbka pod terénom (m).

Tab. 7.3.1 – Konštanta  $n_h$  pre nesúdržné zeminy

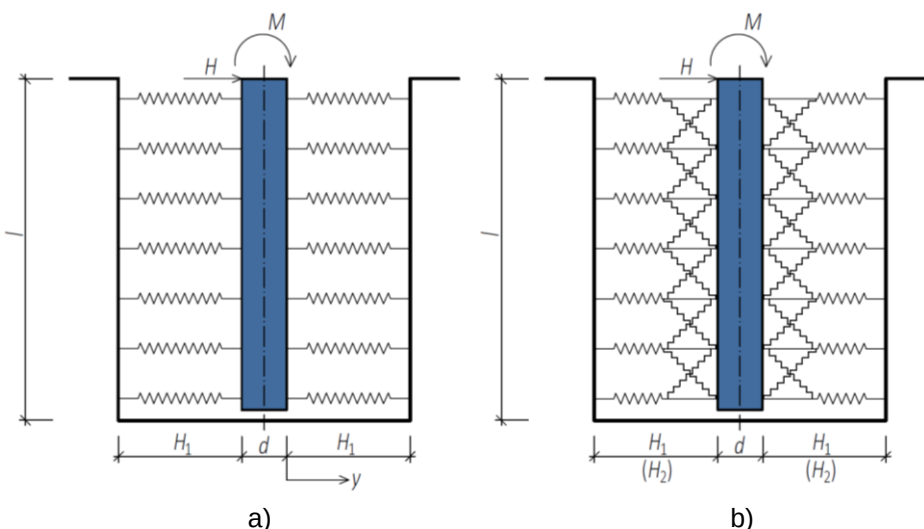
| Druh zeminy         |                             | Relatívna uľahnutosť $I_D$ ( - ) |      |      |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|------|------|
|                     |                             | 0,33                             | 0,50 | 0,90 |
| Suchý piesok a štrk | $n_h$ (MN,m <sup>-3</sup> ) | 1,5                              | 7,0  | 18,0 |
| Vlhký piesok a štrk | $n_h$ (MN,m <sup>-3</sup> ) | 2,5                              | 4,5  | 11,0 |

- Pre jednoparametrický (Winklerov) a dvojparametrický (Winkler-Pasternakov) model podložia (obr. 7.5 a,b) sa vypočítajú koeficienty  $C_1$  a  $C_2$  podľa vzťahov:

$$C_1 = \frac{E_{\text{def}}}{H_1(1-\nu^2)} \quad (7.18)$$

$$C_2 = \frac{E_{\text{def}} \cdot H_2}{6 \cdot (1-\nu^2)} \quad (7.19)$$

kde:  $E_{\text{def}}$  - modul deformácie zeminy (kPa),  
 $\nu$  - Poissonove číslo (-),  
 $H_1, H_2$  - sú vzdialenosti (m) merané od pilóty (vo vodorovnom smere), v ktorých sú vodorovné deformácie a napätia nulové (obr. 7.3.3 a,b),  
 $C_1$  - koeficient odporu vo zvislom smere, resp. Winklerov koeficient (kN/m<sup>3</sup>),  
 $C_2$  - koeficient šmykového roznosu zaťaženia, resp. Pasternakov koeficient (kN/m).



Obr. 7.3.3 a,b – Schematické znázornenie Winklerovho (a) a Winkler-Pasternakovho (b) modelu podložia pre pilótu

### 7.3.3 Výpočet koeficienta rotačnej reakcie podložia

V prípade, že máme vypočítané alebo namerané pootočenie stavebnej konštrukcie (opory alebo základu) okolo zvislej osi o uhol  $\psi$  a poznáme veľkosť pôsobiaceho momentu v smere pootočenia, je možné na výpočet rotačnej reakcie podložia  $k_\psi$  použiť vzťah:

$$k_\psi = \frac{M_\psi}{\psi} \quad (7.20)$$

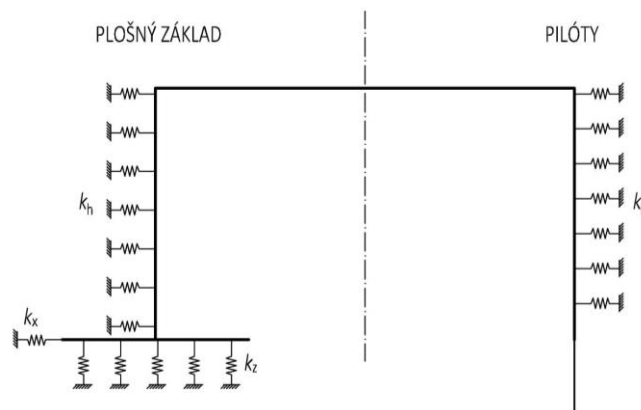
kde:  $k_\psi$  - koeficient rotačnej reakcie (kNm/rad),  
 $\psi$  - pootočenie v smere pôsobiaceho momentu  $M_\psi$  (rad),  
 $M_\psi$  - moment v smere pootočenia  $\psi$  (kNm).

Moment v posudzovanom smere na stavebnú konštrukciu (oporu, základ) a zodpovedajúce pootočenie môžeme vypočítať analytickými alebo numerickými metódami, alebo namerať v in-situ podmienkach.

### 7.3.4 Výpočet modulov reakcie podložia pre integrované mosty

Stanovením modulov reakcie podložia vo zvislom a vodorovnom smere pre integrované (priame a šikmé) mosty založené plošne a hĺbkovo sa pomerne komplexne zaoberal [Křížek 2009]. Autor odvodil metodiku, pomocou ktorej je možné vypočítať (obr. 7.3.4):

- $k_h$  – modul reakcie podložia na oporách vo vodorovnom smere vyjadrujúci odpor zeminy zásypu pri zatláčaní opôr do zeminy, t.j. pre pasívny zemný tlak,
- $k_z$  – modul reakcie podložia pod plošným základom vo zvislom smere zohľadňujúci stlačiteľnosť zeminy v podloží, t.j. odpor zeminy vo zvislom smere,
- $k_x$  – modul reakcie podložia pod plošným základom vo vodorovnom smere vyjadrujúci odpor základovej pôdy v úrovni základovej škáry proti vodorovným posunom.



Obr. 7.3.4 – Pružné podoprenie integrovaných mostov [Křížek 2009]

a) Pre homogénne podložie boli odvodené vzťahy:

- modul reakcie  $k_z$  (MN/m<sup>3</sup>) vo zvislom smere:

$$k_z = \left( \frac{K}{L + f_z} + M \right) \cdot \frac{E_{\text{ref}}}{N} \cdot W_z \quad (7.21)$$

kde:  $K, L, M, N$  - súčinitele závislé od rozmerov základu a typu zeminy (viď. tab. C.1 až C.4 prílohy C uvedenej v citovanej práci),  
 $W_z$  - súčiniteľ zohľadňujúci úroveň hladiny podzemnej vody (viď. tab. E.1 prílohy E uvedenej v citovanej práci),  
 $E_{\text{ref}}$  - referenčný modul deformácie podložia (MPa),  
 $f_z$  - priemerné zvislé napätie v základovej škáre (kPa).

- modul reakcie  $k_y$  (MN/m<sup>3</sup>) vo vodorovnom smere:

$$k_x = \left( \frac{P \cdot f_x \cdot f_z - Q \cdot f_x}{R} - S \cdot f_z + T \right) \cdot \frac{G_{\text{ref}}}{U} \cdot W_z \quad (7.22)$$

kde:  $O, P, R, S, T, U$  - súčinitele závislé od rozmerov základu a typu zeminy (viď. tab. D.1 až D.4 prílohy D uvedenej v citovanej práci),  
 $W_z$  - súčiniteľ zohľadňujúci úroveň hladiny podzemnej vody (viď. tab. E.1 prílohy E uvedenej v citovanej práci),

$G_{\text{ref}}$  - referenčný šmykový modul zeminy podložia (MPa),  
 $f_z, f_x$  - priemerné zvislé ( $f_z$ ) a vodorovné ( $f_x$ ) napätie v základovej škáre (kPa).

b) Pre vrstevnaté podložie boli odvodené vzťahy:

- modul reakcie  $k_{zs}$  (MN/m<sup>3</sup>) vo zvislom smere:

$$k_{zs} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{zi}} \right)^{-1} \quad (7.23)$$

- modul reakcie  $k_{xs}$  (MN/m<sup>3</sup>) vo vodorovnom smere:

$$k_{xs} = \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{xi}} \right)^{-1} \quad (7.24)$$

kde:  $k_{zi}, k_{xi}$  - zvislé ( $k_{zi}$ ) a vodorovné ( $k_{xi}$ ) moduly reakcie i-tej vrstvy podložia.

Moduly reakcie jednotlivých vrstiev sa vypočítajú podľa vzťahov:

$$k_{zi} = \frac{k_z}{u_{rTz} - u_{rBz}} \quad (7.25)$$

$$k_{xi} = \frac{k_x}{u_{rTx} - u_{rBx}} \quad (7.26)$$

kde:  $k_z, k_x$  - zvislé ( $k_z$ ) a vodorovné ( $k_x$ ) moduly reakcie homogénnej vrstvy vo vrstevnatom podloží,

$u_{rTz}, u_{rTx}$  - relatívny zvislý (z) a vodorovný posun (x) na hornom okraji i-tej vrstvy (bod T, obr. 4.1 uvedený v citovanej práci) (-),

$u_{rBz}, u_{rBx}$  - relatívny zvislý (z) a vodorovný posun (x) na dolnom okraji i-tej vrstvy (bod B, obr. 4.1 uvedený v citovanej práci) (-).

Všeobecná metodika výpočtu modulu reakcie vo vodorovnom smere po výške pilóty  $k_h$  je komplexnejšia a uvedenie podrobného postupu výpočtu presahuje rozsah tejto práce. Podrobný postup výpočtu je uvedený v lit. [Křížek 2009].

## 8 POŽIADAVKY NA SPRACOVANIE PROJEKTOVEJ DOKUMENTÁCIE

Požiadavky na spracovanie projektovej dokumentácie, kontrolu realizácie, monitoring a údržbu integrovaných mostov závisia od dilatujúcej dĺžky, typu mostnej konštrukcie a kategórie konštrukčného riešenia (kap. 2.3).

### 8.1 Požiadavky na spracovanie projektovej dokumentácie, kontrolu realizácie, monitoring a údržbu integrovaných mostov

Požiadavky na spracovanie súvisiacej projektovej dokumentácie, realizáciu a monitoring integrovaných mostov s uvedením zodpovedných subjektov za ich plnenie sú uvedené v tab. 8.1.1.

Tab. 8.1.1 – Požiadavky na spracovanie súvisiacej projektovej dokumentácie, realizáciu a monitoring integrovaných mostov

| P. č. | Popis požiadavky                                                                                                                                                                                                    | Kategória konštrukčného riešenia |   |     |   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---|-----|---|
|       |                                                                                                                                                                                                                     | 1                                | 2 | 3   | 4 |
| 1.    | <b>1. Základné geotechnické požiadavky (spracovateľ geotechnického prieskumu)</b>                                                                                                                                   |                                  |   |     |   |
|       | 1. Geotechnický prieskum "GP" (resp. Inžinierskogeologický prieskum "IGP")                                                                                                                                          | X                                | X | X   | X |
|       | 2. Prieskum pre zisťovanie zdrojov bludných prúdov v rozsahu TP 081                                                                                                                                                 | X                                | X | X   | X |
|       | 3. Posúdenie vhodnosti základových pomerov z hľadiska návrhu integrovaného mosta v zmysle STN EN 1997-1 (dôraz kladený na spoľahlivosť a hospodárnosť, t.j. optimálnosť návrhu)                                     | X                                | X | X   | X |
|       | 4. Zabezpečenie (meranie) deformačných charakteristík horninového (zemného) prostredia pre účely stanovenia priemerných hodnôt zvislej a vodorovnej tuhosti spodnej stavby a podložia                               | X                                | - | -   | - |
|       | 5. Zabezpečenie (meranie) deformačných charakteristík horninového (zemného) prostredia pre účely stanovenia minimálnych a maximálnych hodnôt zvislej a vodorovnej tuhosti spodnej stavby a podložia                 | -                                | X | X   | X |
| 2.    | <b>2. Vypracovanie projektovej dokumentácie (spracovateľ PD)</b>                                                                                                                                                    |                                  |   |     |   |
|       | 1. Návrh založenia mostného objektu pri zohľadnení interakcie konštrukcie s horninovým (zemným) prostredím                                                                                                          | X                                | X | X   | X |
|       | 2. Zhodnotenie geotechnických údajov a stanovenie charakteristík horninového (zemného) prostredia (minimálne a maximálne pevnostné a deformačné charakteristiky) autorizovaným stavebným inžinierom pre geotechniku | -                                | - | X   | X |
|       | 3. Posúdenie návrhu založenia pri zohľadnení interakcie spodnej stavby s horninovým (zemným) prostredím autorizovaným stavebným inžinierom pre geotechniku v etape vypracovania PD                                  | -                                | - | -   | X |
|       | 4. Návrh ochranných opatrení pre obmedzenie vplyvu bludných prúdov v zmysle TP 081                                                                                                                                  | X                                | X | X   | X |
|       | 5. Použitie zjednodušeného postupu podľa kapitoly 5.2 v etape spracovania DUR                                                                                                                                       | X                                | X | (X) | - |
|       | 6. Použitie všeobecnej metodiky podľa kapitoly 5.1 v etape spracovania DUR (zohľadnenie materiálových charakteristík horninového prostredia na základe etapy predbežného GP, resp. IGP)                             | -                                | - | X   | X |
|       | 7. Použitie všeobecnej metodiky podľa kapitoly 5.1 v etape spracovania DSP, DRS                                                                                                                                     | X                                | X | X   | X |
|       | 8. Analýza zemných tlakov zjednodušenými metódami (kap. 7.2.1)                                                                                                                                                      | X                                | X | X   | - |
|       | 9. Analýza zemných tlakov všeobecnými metódami (kap. 7.2.2) aj so zohľadnením časovo závislých javov (reológie)                                                                                                     | -                                | - | -   | X |
|       | 10. Analýza interakcie nosnej konštrukcie, spodnej stavby a horninového (zemného) prostredia s použitím priemerných hodnôt deformačných charakteristík horninového prostredia                                       | X                                | - | -   | - |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   |     |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----|---|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 11.                                                  | Analýza interakcie nosnej konštrukcie, spodnej stavby a horninového (zemného) prostredia s použitím minimálnych a maximálnych hodnôt deformačných charakteristík horninového prostredia                                                                                                           | - | X | X   | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 12.                                                  | Požiadavky na kontrolný a skúšobný projekt (KSP) obsahujúci požiadavky na skúšky materiálov, kontrolu realizácie a monitoring počas výstavby a prevádzky, špeciálne požiadavky na zaťažovacie skúšky a plán údržby, požiadavky vypracované v rámci zadávacej dokumentácie                         | X | X | X   | X |
| 3.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>3. Realizácia (zhotoviteľ stavby)</b>             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   |     |   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1.                                                   | Kontrola požiadaviek na KSP a vypracovanie KSP pre výstavbu (podľa bodu 2.12)                                                                                                                                                                                                                     | X | X | X   | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2.                                                   | Geodetické monitorovanie konštrukcie po dobu výstavby (podľa KSP)                                                                                                                                                                                                                                 | X | X | X   | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3.                                                   | Kontrola predpokladov projektu počas realizácie (stanovenie a overenie skutočných vlastností horninového prostredia, aktualizácia modelov konštrukcie pri zohľadnení skutočných zaťažení, použitých materiálov a technológií, monitoring konštrukcie počas výstavby) a pred uvedením do prevádzky | X | X | X   | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 4.                                                   | Overenie predpokladov projektu pred uvedením do prevádzky - zaťažovacia skúška                                                                                                                                                                                                                    | - | - | X   | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 5.                                                   | Merania vplyvov bludných prúdov počas výstavby (v zmysle požiadaviek TP 081)                                                                                                                                                                                                                      | X | X | X   | X |
| 4.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>4. Monitoring a údržba (v nadväznosti na KSP)</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   |     |   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1.                                                   | Geodetický monitoring konštrukcie po uvedení do prevádzky (vrátane vyhodnotenia a záverečnej správy)                                                                                                                                                                                              | X | X | X   | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2.                                                   | Monitoring zemných tlakov na koncových priečnikoch (po uvedení do prevádzky)                                                                                                                                                                                                                      | - | - | (X) | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3.                                                   | Monitoring napätosti v zemnom telese prechodovej oblasti (po uvedení do prevádzky)                                                                                                                                                                                                                | - | - | (X) | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 4.                                                   | Zhodnotenie stavu prechodovej oblasti pred ukončením záruky na stavebné dielo                                                                                                                                                                                                                     | X | X | X   | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 5.                                                   | Zhodnotenie stavu prechodovej oblasti po 10-tich rokoch od uvedenia do prevádzky                                                                                                                                                                                                                  | - | - | (X) | X |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 6.                                                   | Merania vplyvov bludných prúdov počas prevádzky (v zmysle požiadaviek TP 081)                                                                                                                                                                                                                     | X | X | X   | X |
| <b>Poznámka:</b> (X) - iba v opodstatnených prípadoch                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   |     |   |
| <b>Použité skratky:</b><br>GP - geotechnický prieskum<br>IGP - inžinierskogeologický prieskum<br>PD - projektová dokumentácia<br>DUR - dokumentácia pre územné rozhodnutie<br>DSP - dokumentácia pre stavebné povolenie<br>DRS - dokumentácia pre realizáciu stavby<br>KSP - kontrolný a skúšobný projekt (projekt monitoringu) |                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |   |     |   |

## 8.2 Požiadavky na spracovanie projektovej dokumentácie, kontrolu realizácie, monitoring a údržbu semi-integrovaných mostov

Požiadavky na spracovanie súvisiacej projektovej dokumentácie, realizáciu a monitoring semi-integrovaných mostov s uvedením zodpovedných subjektov za ich plnenie sú uvedené v tab. 8.2.1.

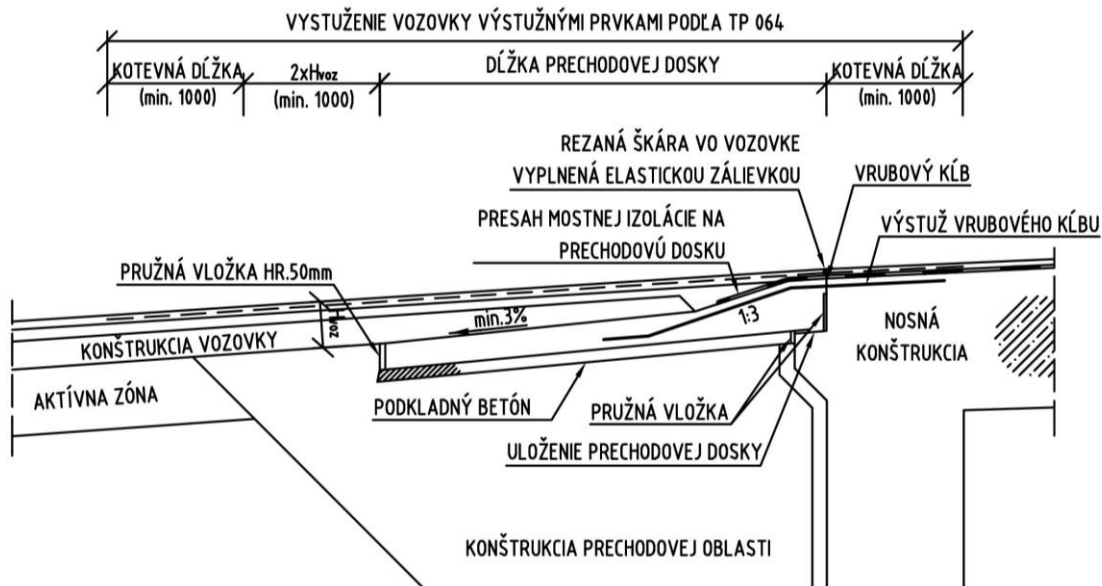
Tab. 8.2.1 – Požiadavky na spracovanie súvisiacej projektovej dokumentácie, realizáciu a monitoring semi-integrovaných mostov

| P. č. | Popis požiadavky                                                                                                                                                                                                    | Kategória konštrukčného riešenia |   |   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---|---|
|       |                                                                                                                                                                                                                     | 1                                | 2 | 3 |
| 1.    | <b>1. Základné geotechnické požiadavky (spracovateľ geotechnického prieskumu)</b>                                                                                                                                   |                                  |   |   |
|       | 1. Geotechnický prieskum "GP" (resp. Inžinierskogeologický prieskum "IGP")                                                                                                                                          | X                                | X | X |
|       | 2. Prieskum pre zisťovanie zdrojov bludných prúdov v rozsahu TP 081                                                                                                                                                 | X                                | X | X |
|       | 3. Posúdenie vhodnosti základových pomerov z hľadiska návrhu integrovaného mosta v zmysle STN EN 1997-1 (dôraz kladený na spoľahlivosť a hospodárnosť, t.j. optimálnosť návrhu)                                     | X                                | X | X |
|       | 4. Zabezpečenie (meranie) deformačných charakteristík horninového (zemného) prostredia pre účely stanovenia priemerných hodnôt zvislej a vodorovnej tuhosti spodnej stavby a podlažia                               | X                                | X | X |
|       | 5. Zabezpečenie (meranie) deformačných charakteristík horninového (zemného) prostredia pre účely stanovenia minimálnych a maximálnych hodnôt zvislej a vodorovnej tuhosti spodnej stavby a podlažia                 | -                                | X | X |
| 2.    | <b>2. Vypracovanie projektovej dokumentácie (spracovateľ PD)</b>                                                                                                                                                    |                                  |   |   |
|       | 1. Návrh založenia mostného objektu pri zohľadnení interakcie konštrukcie s horninovým (zemným) prostredím                                                                                                          | X                                | X | X |
|       | 2. Zhodnotenie geotechnických údajov a stanovenie charakteristík horninového (zemného) prostredia (minimálne a maximálne pevnostné a deformačné charakteristiky) autorizovaným stavebným inžinierom pre geotechniku | -                                | X | X |
|       | 3. Posúdenie návrhu založenia pri zohľadnení interakcie spodnej stavby s horninovým (zemným) prostredím autorizovaným stavebným inžinierom pre geotechniku v etape vypracovania PD                                  | -                                | - | X |
|       | 4. Návrh ochranných opatrení pre obmedzenie vplyvu bludných prúdov v zmysle TP 081                                                                                                                                  | X                                | X | X |
|       | 5. Použitie zjednodušeného postupu podľa kapitoly 5.2 v etape spracovania DUR                                                                                                                                       | X                                | X | - |
|       | 6. Použitie všeobecnej metodiky podľa kapitoly 5.1 v etape spracovania DUR (zohľadnenie materiálových charakteristík horninového prostredia na základe etapy predbežného GP, resp. IGP)                             | -                                | - | X |
|       | 7. Použitie všeobecnej metodiky podľa kapitoly 5.1 v etape spracovania DSP, DRS                                                                                                                                     | X                                | X | X |
|       | 8. Analýza zemných tlakov zjednodušenými metódami (kap. 7.2.1)                                                                                                                                                      | X                                | X | - |
|       | 9. Analýza zemných tlakov všeobecnými metódami (kap. 7.2.2) aj so zohľadnením časovo závislých javov (reológie)                                                                                                     | -                                | - | X |
|       | 10. Analýza interakcie nosnej konštrukcie, spodnej stavby a horninového (zemného) prostredia s použitím priemerných hodnôt deformačných charakteristík horninového prostredia                                       | X                                | - | - |
|       | 11. Analýza interakcie nosnej konštrukcie, spodnej stavby a horninového (zemného) prostredia s použitím minimálnych a maximálnych hodnôt deformačných charakteristík horninového prostredia                         | -                                | X | X |

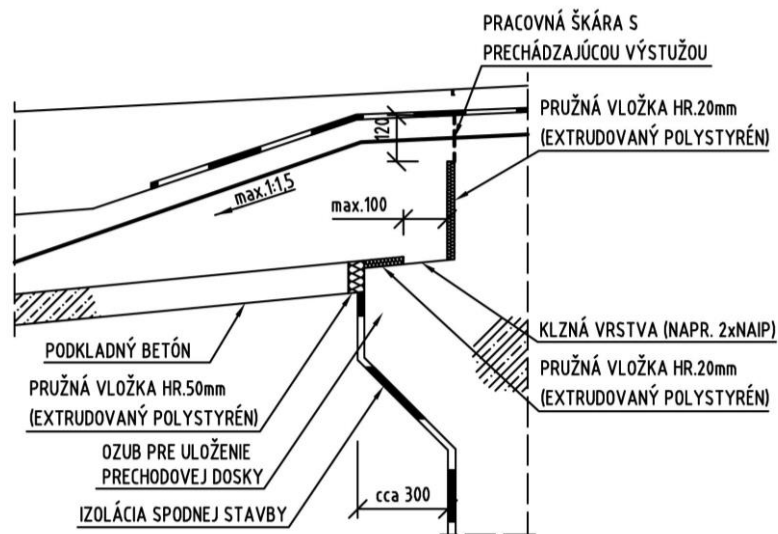
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |     |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|---|
| 12.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Požiadavky na kontrolný a skúšobný projekt (KSP) obsahujúci požiadavky na skúšky materiálov, kontrolu realizácie a monitoring počas výstavby a prevádzky, špeciálne požiadavky na zaťažovacie skúšky a plán údržby, požiadavky vypracované v rámci zadávacej dokumentácie                         | X | X   | X |
| <b>3. Realizácia (zhotoviteľ stavby)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |     |   |
| 1.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kontrola požiadaviek na KSP a vypracovanie KSP pre výstavbu (podľa bodu 2.12)                                                                                                                                                                                                                     | X | X   | X |
| 2.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Geodetické monitorovanie konštrukcie po dobu výstavby (podľa KSP)                                                                                                                                                                                                                                 | X | X   | X |
| 3.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kontrola predpokladov projektu počas realizácie (stanovenie a overenie skutočných vlastností horninového prostredia, aktualizácia modelov konštrukcie pri zohľadnení skutočných zaťažení, použitých materiálov a technológií, monitoring konštrukcie počas výstavby) a pred uvedením do prevádzky | X | X   | X |
| 4.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Overenie predpokladov projektu pred uvedením do prevádzky - zaťažovacia skúška                                                                                                                                                                                                                    | - | -   | X |
| 5.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Merania vplyvov bludných prúdov počas výstavby (v zmysle požiadaviek TP 081)                                                                                                                                                                                                                      | X | X   | X |
| <b>4. Monitoring a údržba (v nadväznosti na KSP)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |     |   |
| 1.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Geodetický monitoring konštrukcie po uvedení do prevádzky (vrátane vyhodnotenia a záverečnej správy)                                                                                                                                                                                              | X | X   | X |
| 2.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Monitoring zemných tlakov na koncových priečnikoch (po uvedení do prevádzky)                                                                                                                                                                                                                      | - | (X) | X |
| 3.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Monitoring napätosti v zemnom telese prechodovej oblasti (po uvedení do prevádzky)                                                                                                                                                                                                                | - | (X) | X |
| 4.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zhodnotenie stavu prechodovej oblasti pred ukončením záruky na stavebné dielo                                                                                                                                                                                                                     | X | X   | X |
| 5.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Zhodnotenie stavu prechodovej oblasti po 10-tich rokoch od uvedenia do prevádzky                                                                                                                                                                                                                  | - | X   | X |
| 6.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Merania vplyvov bludných prúdov počas prevádzky (v zmysle požiadaviek TP 081)                                                                                                                                                                                                                     | X | (X) | X |
| <b>Poznámka:</b> (X) - iba v opodstatnených prípadoch                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |     |   |
| <b>Použité skratky:</b><br>GP - geotechnický prieskum<br>IGP - inžinierskogeologický prieskum<br>PD - projektová dokumentácia<br>DUR - dokumentácia pre územné rozhodnutie<br>DSP - dokumentácia pre stavebné povolenie<br>DRS - dokumentácia pre realizáciu stavby<br>KSP - kontrolný a skúšobný projekt (projekt monitoringu) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |     |   |

## 9 VZOROVÉ DETAILS KONŠTRUKCIE

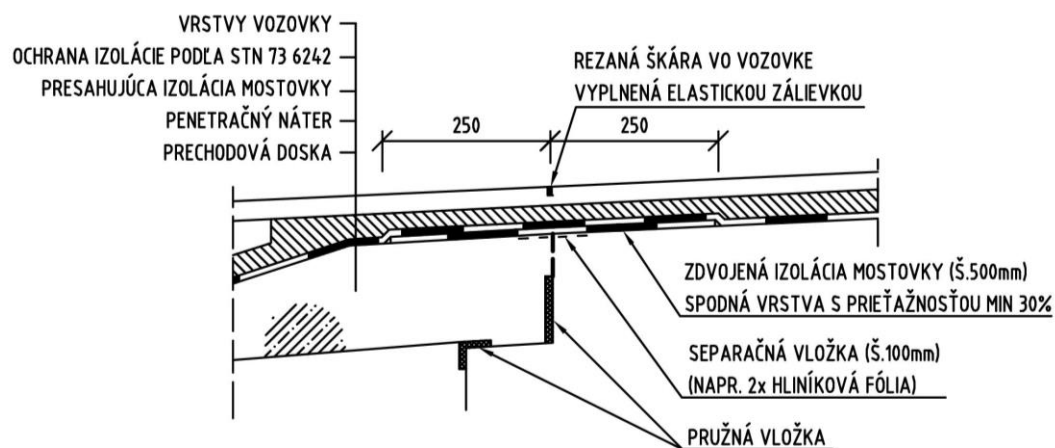
Vzorové detaily vlečenej prechodovej dosky integrovaných a semi-integrovaných mostov by sa mali začleniť do sústavy vzorových listov mostov VL4.



Obr. 9.1 Vlečená prechodová doska integrovaného mosta [TP 261 (ČR)]



Obr. 9.2 Detail uloženia vlečenej prechodovej dosky [TP 261 (ČR)]



Obr. 9.3 Detail izolácie mostovky, tesnenie pracovnej škáry vrubového kĺbu vlečenej prechodovej dosky [TP 261 (ČR)]

## 10 ZÁVER

Skúsenosti z realizovaných integrovaných mostov s dĺžkou do 60 m v zahraničí ale aj na Slovensku sú veľmi dobré. Preto pri návrhu nových mostov alebo rekonštrukcii existujúcich mostov sa má zvážiť možnosť integrácie nosnej konštrukcie so spodnou stavbou.

Je vhodné vychádzať z predpokladu integrovaného riešenia pre mosty s dĺžkou nosnej konštrukcie do 35 m pre výkonovú kategóriu 1 (VK1), kategóriu konštrukčného riešenia 1 a 2 (KKR1, KKR2) a pre mosty s dĺžkou nosnej konštrukcie do 60 m pre výkonovú kategóriu 2 (VK2), kategóriu konštrukčného riešenia 1 až 3 (KKR1, KKR2, KKR3). V prípade mostov s väčšími dĺžkami nosnej konštrukcie (konvenčných dilatovaných mostov) by malo byť snahou eliminácia, prípadne zníženie počtu ložísk a mostných záverov [TP 261 (ČR)].