**dynamické penetračné skúšky**

Na úlohe **„Rekonštrukcia ciest a mostov II/526 Devičie – Senohrad a II/527 Dobrá Niva – Senohrad – I. etapa – úseky ciest v okrese Krupina“** sme pre splnenie požiadaviek objednávateľa realizovali **23 ks** dynamických penetračných skúšok s celkovou metrážou **93,6 m**. Sondy boli realizované v blízkosti vybraných mostov na ceste II/526 a II/527.

Cieľom dynamických penetračných sond bolo overiť hrúbku jednotlivých litologických vrstiev a stanoviť ich deformačno-pevnostné parametre. Sondy dynamickej penetrácie dopĺňajú informácie získané z realizovaných prieskumných vrtov. Sondy dynamickej penetrácie vykonali pracovníci CAD-ECO a.s., Bratislava Ing. Š. Bondra, Mgr. Tomáš Cedzo a p. Š. Konkolovský v dňoch 20. 4. 2020 až 22. 4. 2020 ťažkou dynamickou penetračnou súpravou **DPH od fy STITZ GmbH.**

*Tabuľka 1 Prehľad sond dynamickej penetrácie*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Označenie sondy** | **Dátum realizácie** | **Súradnice v JTSK** | | | **Hĺbka (m)** | **Číslo prílohy** |
| **x** | **y** | **z** |
| DPSK-01A | 20.4.2020 | 1274571,52 | 427977,83 | 244,40 | 1,0 | 5.1.1 |
| DPSK-01B | 20.4.2020 | 1274571,52 | 427977,83 | 244,40 | 5,0 | 5.1.2 |
| DPSK-02 | 20.4.2020 | 1274602,65 | 427805,80 | 244,30 | 7,0 | 5.1.3 |
| DPSK-03 | 20.4.2020 | 1274563,62 | 427782,56 | 244,75 | 7,0 | 5.1.4 |
| DPSK-04 | 20.4.2020 | 1274254,76 | 425374,13 | 331,50 | 7,0 | 5.1.5 |
| DPSK-05 | 20.4.2020 | 1274262,28 | 425366,59 | 330,70 | 6,0 | 5.1.6 |
| DPSK-06 | 21.4.2020 | 1273839,63 | 423948,04 | 353,70 | 4,4 | 5.1.7 |
| DPSK-07A | 20.4.2020 | 1272740,25 | 421046,66 | 417,40 | 1,7 | 5.1.8 |
| DPSK-07B | 20.4.2020 | 1272740,25 | 421046,66 | 417,40 | 1,1 | 5.1.9 |
| DPSK-07C | 20.4.2020 | 1272740,25 | 421046,66 | 417,40 | 0,9 | 5.1.10 |
| DPSK-07D | 20.4.2020 | 1272725,70 | 421058,50 | 417,00 | 3,0 | 5.1.11 |
| DPSK-08 | 22.4.2020 | 1270226,82 | 416633,84 | 601,05 | 2,7 | 5.1.12 |
| DPSK-09 | 22.4.2020 | 1272016,09 | 416209,55 | 588,40 | 3,2 | 5.1.13 |
| DPSK-10A | 21.4.2020 | 1271019,53 | 416962,72 | 567,75 | 0,9 | 5.1.14 |
| DPSK-10B | 21.4.2020 | 1271019,53 | 416962,72 | 567,75 | 0,9 | 5.1.15 |
| DPSK-10C | 21.4.2020 | 1271019,53 | 416962,72 | 567,75 | 0,8 | 5.1.16 |
| DPSK-11 | 21.4.2020 | 1271041,71 | 416967,22 | 565,80 | 1,3 | 5.1.17 |
| DPSK-12 | 22.4.2020 | 1268177,35 | 417324,28 | 653,40 | 5,0 | 5.1.18 |
| DPSK-13 | 21.4.2020 | 1274221,55 | 425600,99 | 339,27 | 10,0 | 5.1.19 |
| DPSK-14 | 21.4.2020 | 1274215,91 | 425567,82 | 337,25 | 9,0 | 5.1.20 |
| DPSK-15 | 21.4.2020 | 1274208,34 | 425557,04 | 336,68 | 7,0 | 5.1.21 |
| DPSK-16 | 21.4.2020 | 1271232,56 | 418260,41 | 570,58 | 3,7 | 5.1.22 |
| DPSK-17 | 21.4.2020 | 1272460,02 | 415830,23 | 580,50 | 5,0 | 5.1.23 |

Predmetom dynamickej penetračnej skúšky je stanovenie **mernej** (špecifickej) **hodnoty dynamického penetračného odporu** **qdyn**, ktorý vyjadruje počet úderov na vnik normou stanovenej hĺbky (v našom prípade 10 cm) baranom zarážaného sondovacieho sútyčia ukončeného penetračným hrotom do zeminy, tak v prirodzenom uložení ako aj v zhutnených, prípadne nezhutnených sypaninách vyťažených z horninového prostredia alebo vzniknutých ako odpadový materiál z priemyselnej výroby, respektíve úpravy nerastných surovín. Hmotnosť barana, výška jeho pádu, frekvencia jeho úderov za minútu ako aj rozmery penetračného hrotu sú normované.

Na základe korelačných vzťahov viacerých autorov a v zmysle **STN 72 1032**  „**Dynamická penetračná** **skúška“** a **STN EN ISO 22476-2: 2005 (Dynamic probing)** je možné z **qdyn** vypočítať viaceré geotechnické charakteristiky.

U nesúdržných zemín hlavne - uľahnutosť, modul pretvárnosti a uhol vnútorného trenia a u súdržných zemín hlavne – konzistenciu, modul pretvárnosti a neodvodnenú pevnosť.

Zistené charakteristiky by mali poskytnúť predovšetkým reálny priebeh stupňa konsolidácie v mieste realizácie sondy dynamickej penetrácie.

Skúšobné zariadenie – pre realizáciu sondy ťažkej dynamickej penetrácie od fy STITZ GmbH tvorí:

* pneumatický baran S – 100,
* prídavné zariadenie,
* vzduchový agregát S – 200,
* úderník,
* spriahnuté tri podpery pre fixáciu pneumatického barana,
* sondážne tyče,
* pevné a tzv. sondážne hroty „na strateno“,
* a ako doplňujúci prvok - odberný vzorkovač

Príprava realizácie sondy ťažkej dynamickej penetrácie spočíva v osadení spriahnutých troch podpier pre fixáciu pneumatického barana nad vytýčeným skúšobným miestom. Po montáži úvodnej sondážnej tyče s uchytením hrotu a úderníka nasleduje jej centrácia s podmienkou zabezpečenia osovosti pôsobiaceho pneumatického barana s prídavným zariadením (spolu 50 kg) na úderník úvodnej sondážnej tyče. Po splnení týchto podstatných kvalitatívnych podmienok sa vykoná prepojenie tlakovej hadice zo vzduchového agregátu (s motorom Honda) na pneumatický baran a naštartovanie motora s následnou realizáciou sondy dynamickej penetrácie.

*Parametre použitého prístroja :*

- priemer hrotu 43,70 mm

- vrcholový uhol hrotu 90°

- hmotnosť pneumatického barana s prídavným zariadením 50 kg

- výška pádu barana 50 cm, ± 3 cm

- priemer tyčí 32 mm

- dĺžka tyčí 1 m

- počet úderov za 1 min: 26 až 40 krát

- použitý hrot "na strateno"

*Postup prác :*

Pri kontinuálnom zarážaní skúšobného hrotu sa zaznamenával počet úderov barana (v sérii) potrebný k zarazeniu hrotu o každých 10 resp. 20 cm ( N10 resp. N20 ). Z počtu úderov potrebných na zarazenie sondy o 10 cm ( N10 ) a z parametrov prístroja bol vypočítaný merný dynamický penetračný odpor **qdyn** podľa tzv. holandského vzorca:

**qdyn** = Q2 x h / A x s x (Q + q) [kPa] [1]

kde :

### Q = tiaž barana [kN]

h = výška pádu barana [m]

q = tiaž penetračnej sondy [kN] = hrot + sútyčie + kovadlina + kôš

### A = prierezová plocha hrotu [m2]

N = počet úderov na vnik hrotu o 10 resp. 20 cm

s = vnik hrotu o 10 resp. 20 cm

V rovnici [1], ktorá je v súlade s čl.5.5 STN 72 1032 sú pre určitý parameter veličiny Q, h, s, A konštantné, pričom q rastie skokom v pravidelných intervaloch (1 m) pri pridávaní novej tyče. Rovnicu [1] možno potom zjednodušiť na tvar:

**qdyn** = a **.** N [2]

kde :

a = Q2 x h / A x s x (Q + q)

Hodnoty súčiniteľa "a" sú pre jednotlivé hĺbkové intervaly dané dĺžkou tyčí a boli vypočítané vopred (zostavené do tabuľky). Dynamický odpor "N" bol dosadený do vzorcov a zmenšený o vplyv parazitného trenia sútyčia. Trenie na sútyčí bolo merané momentovým kľúčom typu Drehmomentschlüssel S-350, pričom z hodnôt nameraného krútiaceho momentu Mv je možné určiť počet úderov barana potrebný na prekonávanie plášťového trenia tzv. hodnotu "N" plášťové. Pre dynamický penetromer je možné podľa švédskych experimentov redukovať počet úderov o vplyv trenia podľa vzťahu:

N10 = x **.** Mv [3]

kde : Mv= krútiaci moment [Nm]

x = parameter podľa DIN, x = 0,04

Pri výpočte a vykreslení grafu výsledkov penetračných skúšok sme využili rovnice a vzťahy uvedené v STN 72 1032. Obdobne pre interpretáciu a určenie fyzikálno-mechanických vlastností, pričom na základe priebehu krivky merného dynamického odporu **qdyn** sme pre odčítané štatisticky priemerné hodnoty určovali jednotlivé parametre geotechnických vlastností v zmysle literatúry 2, 3 a 4 (pozri skúšobné protokoly v prílohe 5.1).

***Z analýzy výsledkov realizovaných sond dynamickej penetrácie vyplýva:***

**Most cez Mlynský potok (ev. č. 526-003) a most cez potok Krupinica pred obcou Bzovík (ev. č. 526-004)**

Sondami DPSK-01A,B (244,40 m n. m.) hĺbky 1,0-5,0 m, DPSK-02 (244,30 m n. m.) hĺbky 7,0 m a DPSK-03 (244,75 m n. m.) hĺbky 7,0 m boli overené fluviálne sedimenty charakteru ílu so strednou F6/CI až ílu s vysokou plasticitou F8/CH tuhej až pevnej konzistencie, ktoré môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 3,18 – 9,45 MPa s odporúčanou hodnotou 5 MPa. Íly majú v tejto lokalite priemernú mocnosť 4,4 m. Pod vrstvami ílu boli zistené polohy stredne až veľmi uľahnutých štrkov charakteru štrku ílovitého G5/GC a štrku s prímesou jemnozrnnej zeminy G3/G-F, ktoré môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 56,32 – 99,19 MPa s odporúčanou hodnotou 73 MPa. V hĺbkach od 4,6 m, resp. 6,4 m sa vyskytujú stredne až veľmi uľahnuté štrky zle zrnené G2/GP, ktoré môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 130,54 – 227,57 MPa s odporúčanou hodnotou 170 MPa. Sondami DPSK-01B a DPSK-02 v hĺbke cca 4,0 m bolo overená šošovka charakteru piesku ílovitého S5/SC až piesku siltovitého S4/SM stredne až veľmi uľahnutého, priemernej mocnosti 0,4 m. Piesky môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 6,96 – 13,68 MPa s odporúčanou hodnotou 10 MPa.

**Most cez Čekovský potok v obci Bzovík (ev. č. 526-005)**

Sondami DPSK-04 (331,50 m n. m.) hĺbky 7,0 m a DPSK-05 (330,70 m n. m.) hĺbky 6,0 m boli overené antropogénne navážky charakteru siltu piesčitého F3/MSY až siltu štrkovitého F1/MGY do hĺbky cca 0,5 m. Fluviálne sedimenty charakteru siltu štrkovitého F1/MG, ílu štrkovitého F2/CG a siltu piesčitého F3/MS pevnej konzistencie môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 12,13 – 27,14 MPa s odporúčanou hodnotou 16 MPa. Fluviálne íly so strednou plasticitou F6/CI mäkkej až pevnej konzistencie môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = = 2,37 – 11,27 MPa s odporúčanou hodnotou 5 MPa. Od hĺbky cca 4,8 m majú sedimenty charakter štrku ílovitého G5/GC, štrku siltovitého G4/GM a štrku s prímesou jemnozrnnej zeminy G3/G-F, ktorý môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 42,10 – 98,06 MPa s odporúčanou hodnotou 60 MPa.

**Most cez potok Jalšovík za obcou Bzovík (ev. č. 526-006)**

Sondou DPSK-06 (353,70 m n. m.) hĺbky 4,4 m boli overené fluviálne sedimenty charakteru ílu so strednou plasticitou F6/CI tuhej až pevnej konzistencie, ktoré môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 3,94 – 11,61 MPa s odporúčanou hodnotou 7 MPa. Od hĺbky 2,3 m majú sedimenty charakter kyprého štrku ílovitého G5/GC (EDPS = 39,13 MPa) a uľahnutého štrku siltovitého G4/GM (EDPS = 76,75 MPa). Vo vrstve štrkov sa objavujú balvanité polohy charakteru veľmi uľahnutého štrku zle zrneného G2/GP (EDPS = 240,97 MPa) a uľahnutého štrku dobre zrneného G1/GW (EDPS = 463,19 MPa).

**Most cez potok Vrbovčík pred obcou Senohrad (ev. č. 526-007)**

Sondou DPSK-07A,B,C (417,40 m n. m.) hĺbky 0,9-1,7 m boli overené antropogénne navážky charakteru siltu štrkovitého F1/MGY, ílu so strednou plasticitou F6/CIY a štrku zle zrneného G2/GPY. Sondou DPSK-07D (417,00 m n.m.) hĺbky 3,0 m sme overili vrstvu siltu piesčitého F3/MS (EDPS = 2,41 MPa) veľmi mäkkej konzistencie do hĺbky 0,5 m, vrstvu ílu so strednou plasticitou F6/CI (EDPS = 10,92 MPa) pevnej konzistencie do hĺbky 1,4 m, polohu stredne uľahnutého štrku ílovitého G5/GC (EDPS = 42,40 MPa) do hĺbky 2,0 m a fluviálne štrky charakteru stredne uľahnutého štrku s prímesou jemnozrnnej zeminy G3/G-F (EDPS = 79,91 MPa) do hĺbky 3,0 m.

**Most cez potok Litavica v obci Senohrad (ev. č. 526-008)**

Sondou DPSK-08 (601,05 m n. m.) hĺbky 2,7 m boli overené fluviálne sedimenty charakteru ílu s nízkou až strednou plasticitou F6/CL, CI pevnej konzistencie, ktoré môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 9,20 – 11,69 MPa s odporúčanou hodnotou 10 MPa. Od hĺbky 1,1 m sme overili vrstvu uľahnutého štrku ílovitého G5/GC (EDPS = 53,92 MPa), ktorú strieda v hĺbke 1,4 m silt štrkovitý F1/MG (EDPS=25,87 MPa) pevnej konzistencie. Od hĺbky 2,3 m sa vyskytuje stredne uľahnutý štrk zle zrnený G2/GP (EDPS = 139,29 MPa). Sonda bola ukončená v hĺbke 2,7 m pravdepodobne na balvanitej polohe.

**Úsek cesty II/526 v km 4,152 – 4,290**

Sondy DPSK-13 (339,27 m n. m.), DPSK-14 (337,25 m n. m.) a DPSK-15 (336,68 m n. m.) boli realizované na násypovom telese cesty. Násyp je tvorený materiálom charakteru ílu s vysokou F8/CHY až veľmi vysokou plasticitou F8/CVY tuhej až pevnej konzistencie, ktorý môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 2,50 – 6,35 MPa s odporúčanou hodnotou 4 MPa. V podloží násypu sa vyskytujú stredne uľahnuté až uľahnuté piesky ílovité S5/SC a piesky s prímesou jemnozrnnej zeminy S3/S-F, ktoré môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 6,36 – 15,44 MPa s odporúčanou hodnotou 9 MPa. Polohy piesku striedajú íly štrkovité pevnej konzistencie F2/CG, ktoré môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 17,36 – 24,49 MPa s odporúčanou hodnotou 21 MPa. Sondou DPSK-14 bola v podloží násypu overená vrstva charakteru veľmi uľahnutého štrku ílovitého G5/GC (EDPS = 58,88 MPa) v hĺbke od 8,2 – 9,0 m.

**Rámový priepust P22377**

Sondou DPSK-16 (570,58 m n. m.) hĺbky 3,7 m boli overené fluviálne sedimenty charakteru siltu piesčitého F3/MS, ílu so strednou plasticitou F6/CI a ílu s vysokou plasticitou pevnej až veľmi pevnej konzistencie, ktoré môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 7,03 – 13,99 MPa s odporúčanou hodnotou 9 MPa. Od hĺbky 1,6 m sme overili vrstvu veľmi uľahnutého piesku ílovitého S5/SC (EDPS = 10,17 MPa). Od hĺbky 2,2 m nastupujú polohy stredne uľahnutého až uľahnutého štrku ílovitého G5/GC, ktorý môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 41,77 – 54,34 MPa s odporúčanou hodnotou 47 MPa. Sonda bola ukončená v hĺbke 3,7m pravdepodobne na balvanitej polohe.

**Most cez potok Lúčky pred obcou Senohrad (ev. č. 527-034)**

Sondou DPSK-09 (588,40 m n. m.) hĺbky 3,2 m boli overené fluviálne sedimenty charakteru ílu s nízkou až strednou plasticitou tuhej až pevnej konzistencie, ktorý môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 3,77 – 7,25 MPa s odporúčanou hodnotou 5 MPa. Od hĺbky 1,4 m sme overili vrstvu ílu štrkovitého F2/CG (EDPS = 20,77 MPa) pevnej konzistencie, ktorú strieda v hĺbke 2,3 m stredne uľahnutý štrk ílovitý G5/GC (EDPS = 45,00 MPa).

**Most cez potok Litava v Senohrade (ev. č. 527-035)**

Sondami DPSK-10A,B,C (567,75 m n. m.) hĺbky 0,8 – 0,9 m bola overená iba časť násypového telesa cesty, ktoré do tejto hĺbky vykazovalo charakter siltu štrkovitého F1/MGY, piesku s prímesou jemnozrnnej zeminy S3/S-FY, štrku s prímesou jemnozrnnej zeminy G3/G-FY a štrku zle zrneného G2/GPY. Sonda DPSK-11 (565,80 m n. m.) hĺbky 1,3 m bola realizovaná v koryte potoka Litava. Sondou boli overené fluviálne štrky stredne uľahnuté charakteru štrku ílovitého G5/GC (EDPS = 41,72 MPa), štrku siltovitého G4/GM (EDPS = 64,18 MPa). Sonda bola ukončená v hĺbke 1,3 m pravdepodobne na balvanitej polohe charakteru štrku dobre zrneného G1/GW (EDPS = 256,29 MPa).

**Most cez potok Vrbovčík za obcou Senohrad (ev. č. 527-036)**

Sondou DPSK-12 (588,40 m n. m.) boli do hĺbky 1,9 m overené antropogénne navážky charakteru siltu s nízkou plasticitou F5/MLY a siltu štrkovitého F1/MGY. Do hĺbky 2,3 m sme odskúšali vrstvu ílu piesčitého F4/CS (EDPS = 11,40 MPa) pevnej konzistencie, do hĺbky 3,4 m polohu uľahnutého piesku siltovitého S4/SM (EDPS = 12,05 MPa), do hĺbky 4,3 m vrstvu uľahnutého štrku ílovitého G5/GC (EDPS = 50,56 MPa). Sonda bola ukončená v hĺbke 5,0 m na polohe zvetranej epiklastickej vulkanickej brekcie, ktorá vykazovala podľa EDPS = 115,35 MPa charakter stredne uľahnutého štrku zle zrneného G2/GP.

**Rámový priepust P21955**

Úvodných 30 cm sondy DPSK-17 (580,50 m n. m.) je tvorených ornicou charakteru siltu piesčitého F3/MS. V nasledujúcich 30-tich centimetroch sme overili polohu charakteru siltu s nízkou plasticitou F5/ML (EDPS = 8,56 MPa) pevnej konzistencie. Od hĺbky 0,6 m je možné pozorovať striedanie vrstiev stredne uľahnutého štrku ílovitého G5/GC, siltu štrkovitého F1/MG tuhej až pevnej konzistencie a veľmi uľahnutého piesku ílovitého S5/SC (EDPS = 11,84 MPa). Štrky ílovité G5/GC môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 44,08 – 58,66 MPa s odporúčanou hodnotou 48 MPa. Silty štrkovité môžeme charakterizovať odvodeným modulom pretvárnosti v intervale EDPS = 16,07 – 20,02 MPa s odporúčanou hodnotou 17 MPa. Sonda bola ukončená v hĺbke 5,0 m pravdepodobne na balvanitej polohe charakteru stredne uľahnutého štrku dobre zrneného G1/GW (EDPS = 282,17 MPa).

**Zoznam použitej literatúry:**

1. STN 72 1032: Dynamická penetračná skúška

2. STN 72 1001: Pomenovanie a opis hornín v inžinierskej geológii

3. STN 73 1001: Základová pôda pod plošnými základmi

4. STN EN ISO 22476-2: Dynamic probing

5. Matys, M., Ťavoda, O., Cuninka, M.: Poľné skúšky

V Žiline 21. 5. 2020 Ing. Štefan Bondra