

DYNAMICKÉ PENETRAČNÉ SKÚŠKY

Na úlohe „KE, Modernizácia električkových tratí MET v meste Košice, 2. etapa, UČS 17“ sme pre splnenie požiadaviek projektanta realizovali celkovo **34 ks** dynamických penetračných skúšok s celkovou metrážou 205,3 m.

Cieľom dynamických penetračných sond bolo overiť deformačné parametre konštrukčných vrstiev ako aj horninového prostredia tvoriace podložie koľajového zvršku. Sondy dynamickej penetrácie dopĺňujú informácie z prieskumných vrtov a statických zaťažovacích skúšok. Sondy dynamickej penetrácie vykonali pracovníci CAD-ECO a.s., Bratislava T. Cedzo a M. Sinak v dňoch 18. 4. 2021 až 19. 5. 2021 ťažkou dynamickou penetračnou súpravou **DPH od fy STITZ GmbH**.

Tabuľka 1 Prehľad sond dynamickej penetrácie

Označenie sondy	Dátum realizácie	Hĺbka (m)	Poznámka
DPS17-01	22.4.2021	6,0	cca 1,5 m od osi trate
DPS17-02	22.4.2021	6,0	v osi koľaje
DPS17-03	22.4.2021	6,0	v osi koľaje
DPS17-04	19.5.2021	6,0	pod mostom, otestovanie základovej škáry
DPS17-05	19.5.2021	6,0	pod mostom, otestovanie základovej škáry
DPS17-06	22.4.2021	6,0	v osi koľaje
DPS17-07	21.4.2021	6,0	v osi koľaje
DPS17-08	21.4.2021	6,0	v osi koľaje
DPS17-09	21.4.2021	6,0	v osi koľaje
DPS17-10	21.4.2021	7,0	v osi koľaje
DPS17-11	21.4.2021	6,0	odvrtaný betónový panel a asfaltobetón 30 cm
DPS17-12	21.4.2021	6,0	odvrtaný betónový panel a asfaltobetón 30 cm
DPS17-13	21.4.2021	5,4	odvrtaný betónový panel a asfaltobetón 30 cm
DPS17-14	21.4.2021	6,0	odvrtaný betónový panel a asfaltobetón 30 cm
DPS17-15	20.4.2021	7,0	realizovaná v zelenom páse, pri moste
DPS17-16	20.4.2021	7,0	realizovaná v zelenom páse, pri moste
DPS17-17	20.4.2021	6,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-18	20.4.2021	6,0	odvrtaný betónový panel a asfaltobetón 30 cm
DPS17-19	20.4.2021	6,0	odvrtaný betónový panel a asfaltobetón 30 cm
DPS17-20	20.4.2021	6,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-21	19.4.2021	6,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-22	19.4.2021	6,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-23	19.4.2021	6,2	odvrtaný betónový panel a asfaltobetón 30 cm
DPS17-24	21.4.2021	0,7	odvrtaný betónový panel 20 cm, ukončené z technologických dôvodov
DPS17-25	19.4.2021	6,0	odvrtaný betónový panel 20 cm
DPS17-26	19.4.2021	7,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-27	18.4.2021	7,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-28	20.4.2021	7,0	odvrtaný betónový panel a asfaltobetón 30 cm
DPS17-29	18.4.2021	6,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-30	18.4.2021	6,0	realizovaná v zelenom páse, odkopane do hĺbky 20 cm
DPS17-31	18.4.2021	6,0	odvrtaný betónový panel 20 cm
DPS17-32	18.4.2021	6,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-33	18.4.2021	7,0	realizovaná v zelenom páse
DPS17-34	18.4.2021	6,0	odvrtaný betónový panel 20 cm

Predmetom dynamickej penetračnej skúšky je stanovenie **mernej** (špecifickej) **hodnoty dynamického penetračného odporu q_{dyn}** , 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 nezahutnených 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 q_{dyn} vypočítať viaceré geotechnické charakteristiky.

U nesúdržných zemín (hlavne - uľahnutosť, modul pretvárnosti a uhol vnútorného trenia) a u súdržných zemín (hlavne – konzistencia, modul pretvárnosti a neodvodnená 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:

- pneumatiký baran S – 100,
- prídavné zariadenie,
- vzduchový agregát S – 200,
- úderník ,
- spriahnuté tri podpory pre fixáciu pneumatického barana,
- sondážne tyče,
- pevné a tzv. sondážne hroty „na stratenó“

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 pneumatiký 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 stratenó"

Postup prác :

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

$$q_{dyn} = Q^2 \times h / A \times s \times (Q + q) \quad [\text{kPa}] \quad [1]$$

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:

$$q_{\text{dyn}} = a \cdot N \quad [2]$$

kde :

$$a = Q^2 \times h / A \times s \times (Q + q)$$

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 TONA -TMK 03, pričom z hodnôt nameraného krútiaceho momentu M_v 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:

$$N_{10} = x \cdot M_v \quad [3]$$

kde :

M_v = 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 q_{dyn} sme pre odčítané štatisticky priemerné hodnoty určovali jednotlivé parametre geotechnických vlastností v zmysle literatúry 2, 3 a 4 (Príloha 6.1.1 až 6.1.28).

Sondy dynamickej penetrácie boli na začiatku úseku, kde je koľajový zvršok budovaný koľajovým kamenivom, realizované v osi koľaji. V úseku, kde koľajový zvršok je budovaný z betónových panelov boli sondy realizované buď v osi trate, kedy bol betónový panel ako aj podkladná asfaltobetónová vrstva predvŕtaná, alebo v zeleni, tesne vedľa (do 30 cm) koľajnicových pásov. Umiestnenie je uvedené v tabuľke 1 v stĺpci poznámka.

UČS 17 tvorí úsek trate medzi križ. VSS (mimo) – Obratisko Važecká (mimo). Električková trať je od zastávky pod cestným nadjazdom v križ. VSS vedená v násype, ktorý tvorí nájazd na nadjazd ponad železničnú trať, most je dvojkoľajový. Po zjazde z násypu je trať vedená pod dvomi cestnými nadjazdmi komunikácií 1. triedy E58 až do zastávky Levočská. Následne v celej dĺžke pokračuje v samostatnom koridore pozdĺž ul. Slanecká, po jej ľavej strane. Existujúci zvršok je prejazdny, od začiatku po zastávku Levočská je tvorený otvorenou konštrukciou s koľajnicami na betónových podvaloch a od zastávky Levočská takmer v celom rozsahu je zvršok tvorený panelmi BKV s blokovými koľajnicami, pod ktorými je vrstva asfaltobetónu.

V úseku s otvorenou konštrukciou sú konštrukčné vrstvy tvorené štrkom zle zrným až štrkom ílovitým (G2/GPY, G5/GCY), ktoré sú uložené na fluvialných íloch a pieskoch. Íly majú charakter ílov piesčitých až strednej plasticity (F4/CS, F6/CI), piesku majú charakter

pieskov ílovitých (S5/SC). V časti, kde je trať vedená v násype, je násyp tvorený zeminami rovnakého charakteru ako sú fluviálne jemnozrnné sedimenty. V podloží boli overené fluviálne štrky charakteru prevažne štrkov s prímесou jemnozrnnéj zeminy (G3/G-F), menej štrkov zle zrnených a štrkov ílovitých (G2/GP, G5/GC) s polohami pieskov s prímесou jemnozrnnéj zeminy až pieskov ílovitých (S3/S-F, S5/SC).

Z analýzy výsledkov realizovaných sond dynamickej penetrácie vyplýva:

- konštrukčné a podkladové vrstvy koľajového zvršku v úseku s otvorenou konštrukciou sú budované zo štrku zle zrneného až štrku ílovitého (G2/GPY, G5/GCY), lokálne sú silno znečistené jemnozrnnou frakciou a majú charakter až ílov štrkovitých (F2/CGY). Hrúbka vrstiev je cca 1 m. Štrky sú stredne uľahnuté až veľmi uľahnuté ($I_D = 0,35 - 1,00$) s odvodeným modulom pretvárnosti $E_{DPS} = 23 - 184$ MPa s odporúčanou hodnotou $E_{DPS} = 65$ MPa;
- teleso násypu v km 0,170 – 0,790 je budované zo zemín charakteru pieskov ílovitých až ílov piesčitých (S5/SCY, F4/CSY) a ílov so strednou plasticitou (F6/CIY). Íly sú pevnej konzistencie, piesky stredne až veľmi uľahnuté ($I_c = 0,67-1,29$, $I_D = 0,37-1,00$) s odvodeným modulom pretvárnosti $E_{DPS} = 4,2 - 61,4$ MPa s odporúčanou hodnotou $E_{DPS} = 11$ MPa;
- fluviálne íly so strednou plasticitou až íly štrkovité (F6/CI, F2/CG) sú prevažne pevnej konzistencie ($I_c = 0,26 - 1,32$) s odvodeným modulom pretvárnosti $E_{DPS} = 1,2 - 27,8$ MPa s odporúčanou hodnotou $E_{DPS} = 10$ MPa;
- fluviálne štrky a piesky až íly boli sondami dynamickej penetrácie overené do hĺbky 7,0 m. Štrky sú charakteru štrku s prímесou jemnozrnnéj zeminy a štrku zle zrneného (G3/G-F, G2/GP), sú prevažne stredne uľahnuté ($I_D = 0,30 - 1,00$) s odvodeným modulom pretvárnosti $E_{DPS} = 34,5 - 329,6$ MPa s odporúčanou hodnotou $E_{DPS} = 95$ MPa. Piesky sú charakteru piesku s prímесou jemnozrnnéj zeminy (S3/S-F) až piesku ílovitého lokálne s prechodmi až do ílu piesčitého (S5/SC, F4/CS). Piesky sú prevažne stredne uľahnuté ($I_D = 0,30-0,96$) s odvodeným modulom pretvárnosti $E_{DPS} = 3,24 - 44,8$ MPa s odporúčanou hodnotou $E_{DPS} = 13$ 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.: | Polné skúšky |

V Žiline 15. 6. 2021

Ing. Martin Sinak