

Obnova přístrojové techniky ve Výzkumném ústavu pro hnědé uhlí a.s. – rekonstrukce torzního smykového přístroje

Ing. Pavel Schmidt

Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; schmidt@vuhu.cz

Přijato: 27. 10. 2015, recenzováno: 11. 11. 2015 (2 posudky)

Abstrakt

Ve Výzkumném ústavu pro hnědé uhlí a.s. - zkušební laboratoři, se provádí standardní obnova měřicí techniky, zejména u nákladově náročnějších a investičních položek, s ohledem na její předpokládanou životnost podle schváleného dlouhodobého plánu obnovy, který je v současnosti platný do roku 2020. Jedním z investičně náročnějších přístrojů je i torzní smykový přístroj pro zjišťování parametrů smykové pevnosti zeminových vzorků, který je provozován v laboratoři testování hornin a u něhož většina konstrukčních prvků vykazovala stav na až za hranici životnosti. O rekonstrukci stávajícího přístroje bylo rozhodnuto ve vazbě na vysoké pořizovací náklady při možném zakoupení nového smykového přístroje a rovněž z důvodu nutných oprav a zlepšení metrologických vlastností přístroje.

Restoration of the instrumentation in the Research Institute of brown coal a.s. – reconstruction of torsional shear apparatus

The Research Institute of brown coal a.s. performs in its accredited testing lab the regular restoration of standard measuring techniques, in particular of the costly and investment ambitious items, with a view to their estimated service life in accordance with the approved long-term recovery plan, which is currently valid until the year 2020. One of the more ambitious investment was even a torsional shear unit for determination of the shear strength parameters of soil samples, which was operated by the laboratory of rock testing. Most components of this unit showed the status on to beyond its time of life. The reconstruction of the existing instrument was chosen based on comparison with the high cost of the possible purchase of a completely new unit and also due to necessary repairs and improvement of the metrological characteristics of the current device.

Erneuerung der Gerätetechnik im Forschungsinstitut für Braunkohle AG – Umbau des Torsionsschergerätes

Im Braunkohleforschungsinstitut AG – Prüflabor, erfolgt laufende Erneuerung der Messtechnik, insbesondere bei kosten- und investitionsintensiven Artikeln, mit Hinsicht auf deren vorausgesetzte Lebensdauer nach dem genehmigten langfristigen Erneuerungsplan, der in Gegenwart bis 2020 gültig ist. Ein der investitionsintensiveren Geräte ist auch das Torsionsschergerät für Ermittlung der Schubfestigkeitsparameter von Bodenproben, welches im Labor für Gesteinsprüfung betrieben ist und bei dem der Großteil von Konstruktionselementen den Zustand hinter der Lebensdauergrenzen ausgewiesen hat. Über Rekonstruktion des bestehenden Gerätes wurde in Bezug auf hohe Beschaffungskosten bei dem potentiellen Einkauf eines neuen Schergerätes sowie auch aus dem Grund notwendiger Reparaturen und der Verbesserung von Messeigenschaften des Gerätes entschlossen.

Klíčová slova: rekonstrukce, laboratoř, smyková pevnost, kalibrace.

Keywords: reconstruction, laboratory, shear strength, calibration.

1 Úvod

Ve zkušební laboratoři Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí a.s. (VÚHU a.s.) v Mostě je jednou z používaných zkoušek pro hodnocení vlastností výrobků, zejména na bázi popelovin (granuláty, stabilizáty, směsi stmelené hydraulickými pojivy, zásypové materiály apod.) nebo jiných zeminových vzorků, stanovení smykové pevnosti v torzním smykovém přístroji. Vlastní zkušební metoda je pak zakotvena v ČSN CEN ISO/TS 17892-10 [1]. V minulosti zkušební laboratoř disponovala celkem čtyřmi typy smykových přístrojů - „žilinský“ dvoustolicový krabicový translační přístroj s čtvercovým půdorysem smykové krabice, dvoustolicový „francouzský“ krabicový translační přístroj s kruhovým půdorysem smykové krabice, velkoobjemový vysokotlaký translační přístroj s čtvercovým půdorysem smykové krabice o objemu cca 3 000 cm³ a v roce 1989 byl pořízen z tehdejšího národního podniku BKK Senftenberg (NDR) první třístolicový automatický torzní smykový přístroj. Stejný typ přístroje byl na základě získaných zkušeností s jeho činností pořízen v roce 1995. Ze závodových laboratoří podniku Lausitzer Braunkohle AG byl

odkoupěn použitý šestistolicový torzní smykový přístroj s rokem výroby 1986. Tento typ smykového přístroje pak zůstal jediným typem smykového zařízení, které zkušební laboratoř v současnosti využívá. Po dílčích úpravách tohoto přístroje v minulosti, které byly zaměřeny zejména na automatizaci a sběr měřených dat, stála pro rok 2015 zkušební laboratoř před rozhodnutím, zda pořídit úplně nový typ smykového přístroje nebo rekonstruovat stávající torzní přístroj, zejména pak s ohledem na zajištění lepších metrologických vlastností než byl dosluhující stávající systém měření a pořízení měřených dat. S ohledem na pořizovací ceny nových smykových přístrojů a odhad nutných finančních prostředků na rekonstrukci stávajícího torzního smykového přístroje bylo rozhodnuto ve prospěch rekonstrukce.

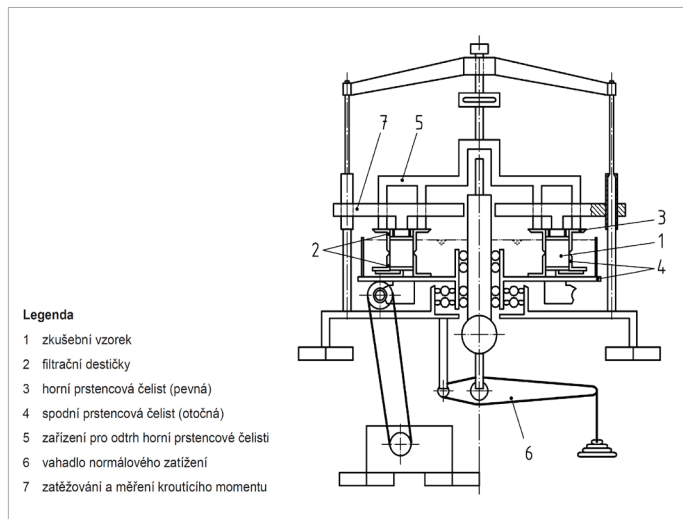
2 Popis přístroje

Vlastní torzní smykový přístroj patří konstrukčně mezi tzv. rotační smykové přístroje, jejichž výhodou je možnost měření efektivních vrcholových i reziduálních parametrů smykové pevnosti materiálů bez nutnosti reverzačních pohybů smykových

nádob (krabic) a beze změny velikosti smykové plochy. Výše uvedená ČSN CEN ISO/TS 17892-10 pak pro zkušební metodu uvádí následující definici:

- rotační smyková zkouška (ring shear test)
přímá smyková zkouška, při níž je prstencový zkušební vzorek vystaven rotačnímu smykání za působení svislého napětí.

Schematický příkladový náčrt takového zařízení je pak na obrázku č. 1.

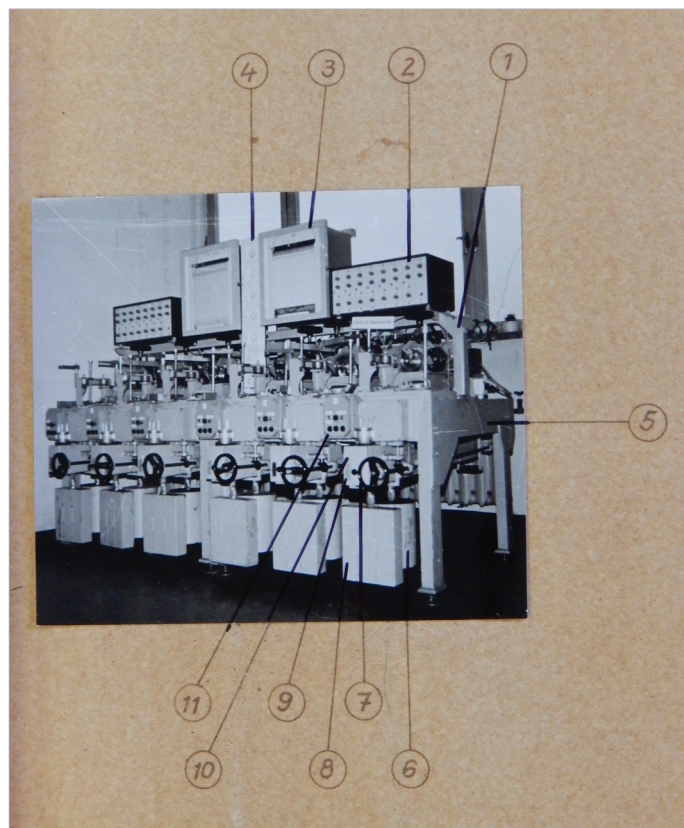


Obr. 1: Příklad rotačního smykového přístroje.

Při prvním pořízení tohoto typu smykového přístroje do VÚHU a.s. bylo hlavním záměrem využít tento přístroj zejména pro stanovení reziduálních charakteristik smykové pevnosti, které souvisely s hlavní náplní prací při řešení stabilitních podmínek provozování uhelných velkolomů v Severočeské hnědouhelné pánvi. V minulosti bylo ve VÚHU a.s. řešeno množství výzkumných úkolů, které se zabývaly řešením problematiky hodnocení geomechanických podmínek souvisejících s těžbou uhlí a budováním velkých výsypkových těles. Součástí výzkumných úkolů byly rovněž práce při návrzích nebo úpravách různých zkušebních metod nebo vývoji zkušebního zařízení pro hodnocení vlastností dobývaných zemin při těžbě uhlí. Ve VÚHU a.s. tak byl ke konci osmdesátých let minulého století vyvinut výše uvedený velkoobjemový vysokotlaký translační přístroj s čtvercovým půdorysem smykové krabice. Jedním z výzkumných úkolů pak bylo i vzájemné porovnání výsledků zkoušek prováděných s monotypy vybraných vzorků zemin na všech čtyřech typech smykových přístrojů, kterými v té době VÚHU a.s. disponoval. Ze závěrů provedených výzkumných prací pak bylo zjištěno, že nejprůběhavější a vzájemně srovnatelné výsledky poskytují laboratorní zkoušky realizované ve velkoobjemovém vysokotlakém translačním přístroji a právě v torzním přístroji. Dále se tedy pro laboratorní zkoušení přednostně využívaly tyto dva typy smykových přístrojů. Nevýhodou velkoobjemového vysokotlakého smykového přístroje byla malá produktivita počtu testovaných vzorků v čase (cca 1 vzorek za 14 až 21 dnů, včetně potřebné konsolidační fáze). U šestistolicového torzního smykového přístroje, při využití externích konsolidačních lavic, byla produktivita počtu až 5 vzorků za 7 dnů. I z těchto důvodů pak zůstal torzní smykový přístroj jediným typem přístroje používaným ve VÚHU a.s. do současnosti.

Z původní dokumentace dodané k torznímu smykovému

přístroji při jeho pořízení v roce 1995 je patrná jeho základní konfigurace (viz obrázek č. 2) [2]. Na obrázku č. 3 je pak patrný detail smykové nádoby a její spřažení přes ozubený pastorek a ozubený třmen s tahovou stolicí pro vývin kroutícího momentu.



Obr. 2: Původní konfigurace torzního smykového přístroje.

1 - nosník pro registrační a napájecí přístroj; 2 - měřicí ústředna, 3 - mechanický zapisovač; 4 - lišta pro spínače a hodiny automatiky; 5 - základní nosná konstrukce pro 3 smykové stolice; 6 - posuvatelé zátěžné závaží; 7 - otočné kolo k posunu závaží; 8 - vyrovnávací závaží, 9 - indikace vodorovné polohy závaží; 10 - zátěžné rameno; 11 - spínací skříňka.



Obr. 3: Detail původní konfigurace torzního smykového přístroje.

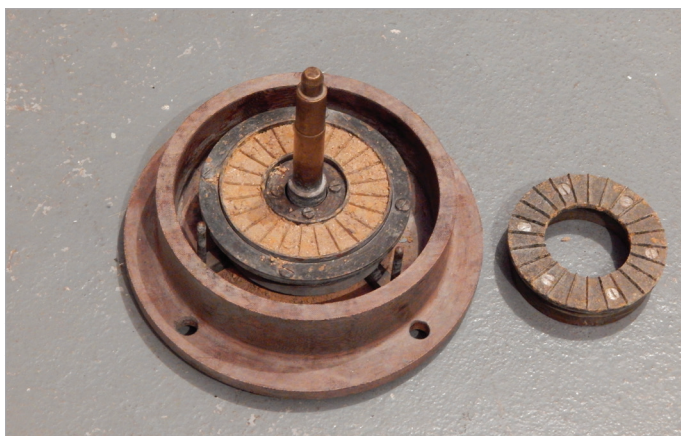
29 - smyková nádoba; 30 - nástavec s ozubeným pastorkem; 31 - ozubený třmen; 32 - přídržná deska na kulovém ložisku; 33 - přitlačná deska pro osazení úchylkoměru; 34 - ráhno zátěžného závaží; 35 - napínací ruční kolo; 36 - napínací matice spřažení s tahovou stolicí; 37 - průzor na stupnici hodnoty normálového zatížení; 38 - kluzné ložisko ozubeného třmenu.

V této konfiguraci tak byla na každé smykové stolici elektronicky snímána pouze smyková síla, která byla zaznamenávána na mechanickém zapisovači. Hodnota svislé deformace výšky vzorku ve smykové krabici byla zjišťována prostým odečtem na ručičkovém úchylkoměru a sloužila zejména ke kontrole konsolidace vzorku, pokud byl tento konsolidován přímo ve smykovém přístroji. Kalibrace snímačů síly byla prováděna speciálním kalibračním přípravkem a ze záznamů mechanického zapisovače byla následně vytvořena odečtová kalibrační měřítko pro každou smykovou stolicí přístroje. Již v roce 1998 pak byly odstraněny mechanické zapisovače a signály ze snímání síly z jednotlivých snímačů byly zpracovávány PC měřicí kartou a zobrazovány v měřicím software (měřicí karta PCA 1208, měřicí SW ScopeWin96). V dalším období pak byly prováděny prakticky pouze údržbové práce a opravy dílčích částí systému snímání smykových sil související se zastaráváním měřicí techniky, zejména náhrady měřicích můstků, měřicí karty a řídicího PC.

Vlastní torzní smykový přístroj umožňuje plynulou volbu normálového zatížení zkušebních vzorků v rozsahu $0 \div 1,6$ MPa, smykovou sílu lze snímat v rozsahu $0 \div 5$ kN a konstantní rychlost posuvu smyku lze nastavit volitelně v rozsahu 3; 0,3; 0,03; 0,003; 0,0003 mm.min⁻¹. Přístroj je konstruován pro délku smykové dráhy 40 mm.

Základní rozměrové parametry smykové krabice, resp. prostoru pro vložení testovaného vzorku prstencovitého tvaru, jsou vnější průměr 93,4 mm, vnitřní průměr 49,9 mm a základní výška prstence 22 mm. Účinná smyková plocha odpovídá velikosti cca 50 cm². V naprosté většině případů provedení smykových zkoušek zeminových materiálů se používají porušené vzorky, které se pak podle požadovaných podmínek realizace vlastní smykové zkoušky konsolidují, resp. rekonsolidují, na příslušný napětový stav, a to i z důvodu poměrně velmi pracné, zdlouhavé a v mnoha případech až nemožné přípravy zkušebních vzorků výše uvedeného prstencovitého tvaru jako původních neporušených (rostlých) vzorků zemin.

Osazení vzorku do smykové krabice - na čepy smykové nádoby se osadí spodní přitlačná deska a vloží se vnější a vnitřní smykací kroužek. Do vzniklého mezikruží se přetlačí původní neporušený vzorek nebo vloží porušený zkoušený vzorek (příp. připravený z původního např. drcením, strouháním, řezáním), prsty se jemně přitlačí a horní čelo se nožem zarovná. Přiloží se horní přitlačná deska. Vzorek je tak připraven ke konsolidaci viz obrázek č. 4.



Obr. 4: Osazení vzorku do smykové

3 Rekonstrukce torzního přístroje

Jak již bylo uvedeno v úvodu, podnětem k rekonstrukci torzního přístroje byla zejména finanční náročnost při možném pořízení zcela nového smykového přístroje v minimální konfiguraci 4 stolic, která by několikanásobně převýšila odhad finančních nákladů na provedení rekonstrukce stávajícího torzního přístroje.

Před rekonstrukcí vykazoval torzní smykový přístroj již řadu problematických součástí. U jedné smykové stolice byl nefunkční hnací motor převodovky, resp. převodovka vykazovala nepravidelný chod, takže nebyla již zařazována do měřicí série. Projevovala se zároveň určitá nestabilita elektrických obvodů jednotlivých měřicích můstků řídicí elektronické ústředny (typ Hottinger), vyvažování a nulování můstků a rovněž dílčí výpadky signálů do USB měřicí karty pro zpracování záznamů měřených smykových sil. U jednoho snímače síly pak bylo nutno regulovat vnitřní odpor tenzometrického můstku tak, aby bylo možno vůbec provést nulování a vyvážení měřicího můstku. Často se projevoval též špatný chod elektrických stykačů pro spínání motorů převodovek. Na některých smykových stolicích byl zaznamenán horší chod kluzných nebo kuličkových ložisek pro minimalizaci třecích sil. Celý přístroj vykazoval dále rovněž místní povrchové oprýskání laku a napadení rzi, nejvíce pak v exponovaných částech umístění smykových krabic při jejich plnění vodou. Hlavním problémem pro udržení a plnění podmínek metrologických vlastností přístroje pak byla praktická nemožnost zajistit externí kalibraci jednotlivých snímačů síly, které s celým měřicím řetězcem prakticky nebylo možné bez totální demontáže z přístroje kalibrovat. Tato se prováděla za pomoci speciálního kalibračního přípravku se siloměrným třmenem, který se vkládal do přístroje na místo uložení smykových krabic. Přístroj rovněž nedisponoval možností kontinuálního měření deformace vzorků při smykové zkoušce, ani při konsolidaci. Dostupné byly pouze mechanické ručičkové úchylkoměry.

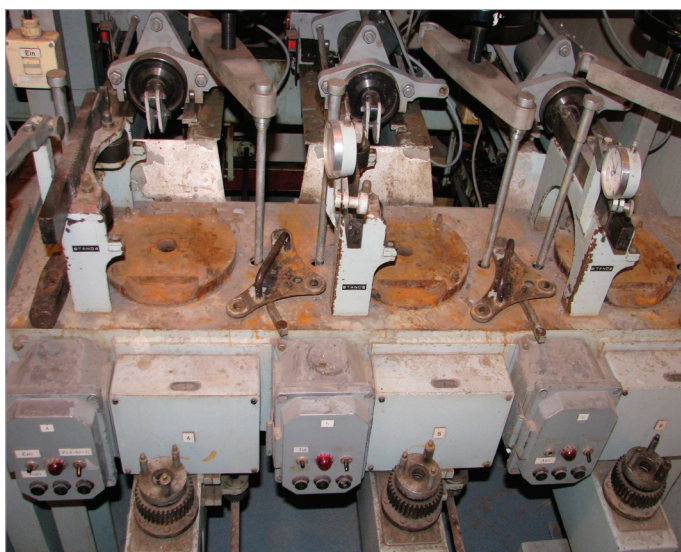
Odstranění všech těchto problémů tak bylo náplní plánované rekonstrukce přístroje.

Stav torzního přístroje před rekonstrukcí dokladuje následující fotografická dokumentace. Hlavní součásti přístroje a stav před rekonstrukcí uvádí obrázek č. 5.



Obr. 5: Celkový stav a konfigurace přístroje před rekonstrukcí.

Na obrázku č. 6 je pak detail míst pro uložení smykových krabic, patrné je zejména napadení exponovaných částí rzi a dílčí oprýskání laku jednotlivých částí (základní deska s čepy, pastorek, ozubený třmen, zachycovač reakce apod.).



Obr. 6: Detail míst pro uložení smykových krabic před rekonstrukcí.

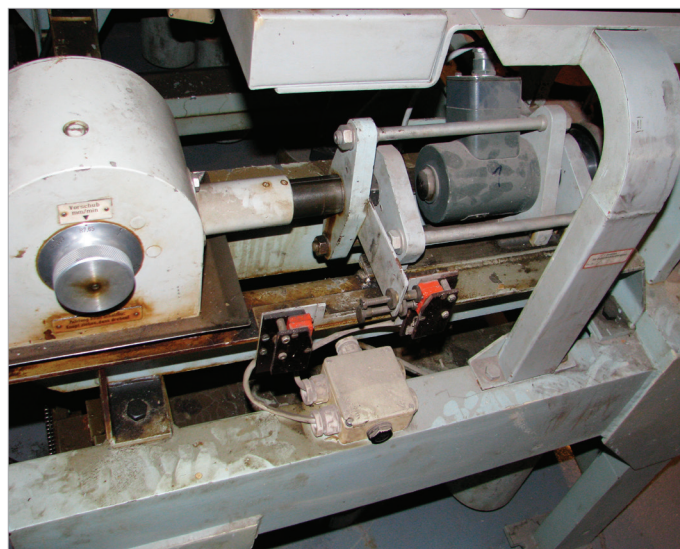
Na obrázku č. 7 je pak uvedena sestava měřících ústředěn – starší typ Robotron a novější, provozovaná do rekonstrukce, typ Hottinger.



Obr. 7: Měřicí ústředny pro přenos signálů snímačů síly.

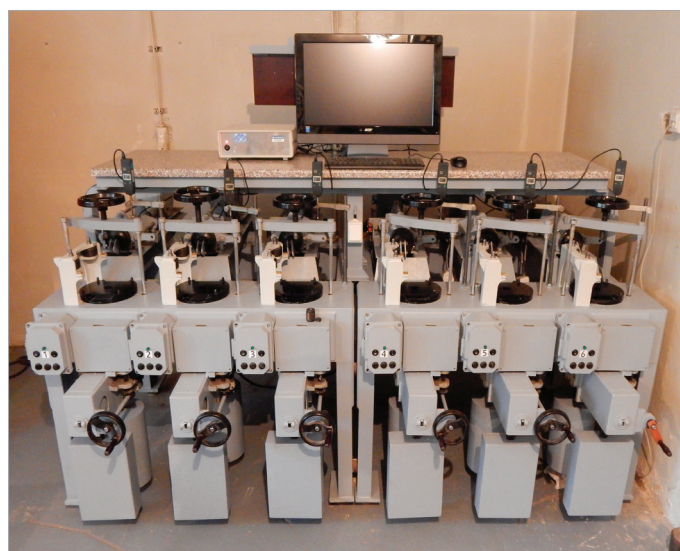
Na obrázku č. 8 je uveden detail uchycení snímače síly se skrytou kabeláží na pojízdných stolicích sprážených přes šnekový převod do převodovky, patrné jsou rovněž koncové spínače celkového posunu stolice.

V dalším sledu textové a obrazové dokumentace jsou dokladovány provedené úpravy smykového přístroje po rekonstrukci. Na obrázku č. 9 je celkový pohled na současný stav a konfiguraci přístroje. Patrná je zejména kompletní nová povrchová úprava stroje (mimo převodovkové skříně), miniaturní měřicí ústředna pro zpracování signálů nových snímačů síly a deformace, řídicí PC typu All In One pro úsporu místa.

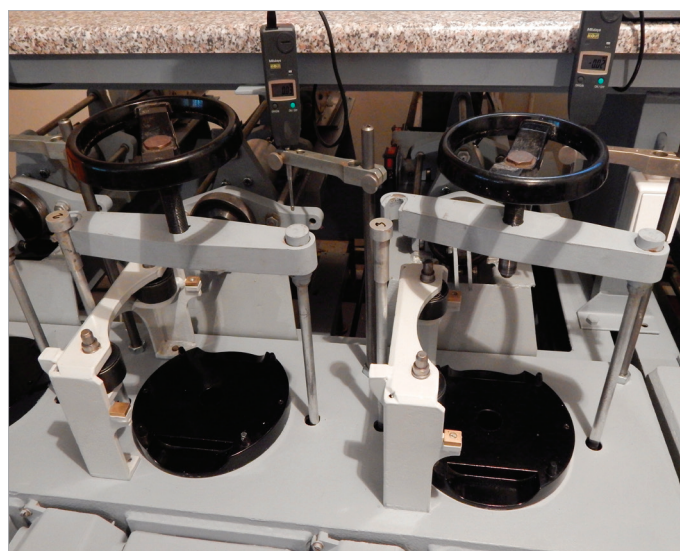


Obr. 8: Detail pojízdných stolic se snímačem síly a převodovkou.

Na obrázku č. 10 je uveden detail míst pro uložení smykových krabic. Povrch všech součástí byl upraven otryskáním



Obr. 9: Celkový stav a konfigurace přístroje po rekonstrukci.



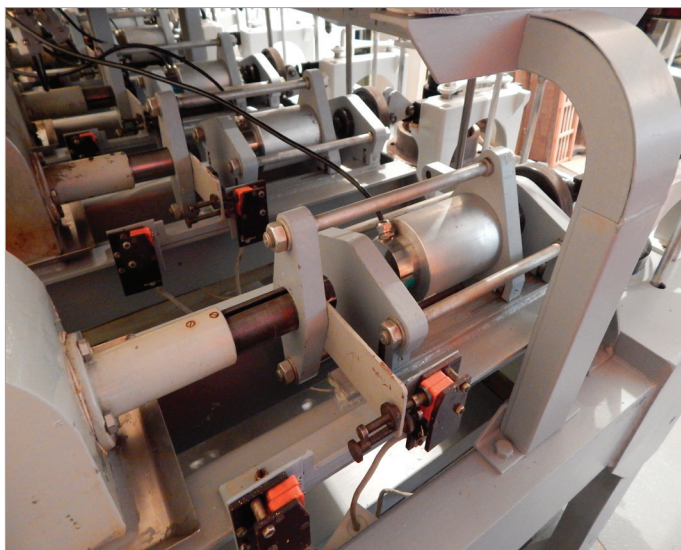
Obr. 10: Detail míst pro uložení smykových krabic po rekonstrukci.

a nástřikem speciální tvrdou práškovou barvou. Údržba byla provedena na všech pohyblivých a kluzných částech, instalováno bylo nové uchycení držáků snímačů deformace. Detail plného uložení smykové krabice do přístroje s instalovaným digitálním snímačem deformace je uveden na obrázku č. 11.



Obr. 11: Osazená smyková krabice.

Staré snímače síly byly nahrazeny novými miniaturizovanými typy o stejném měřicím rozsahu 0-5 kN, které byly vyrobeny na zakázku v požadované třídě přesnosti a pro jejich snadnější montáž a demontáž z přístroje pro provedení externí kalibrace nebo mezikalibrační kontroly. Na posuvných stolicích



Obr. 12: Detail pojezdých stolic s novým uchycením snímače

byla opravena, případně vyměněna, vodící ložiska pro minimalizaci třecích sil. Detail nového uložení snímače síly s podstavným elementem pro zachování rozměrových charakteristik je uveden na obrázku č. 12.

V elektrických ovládacích skříňkách pro spouštění třífázových motorů posunu smykových stolic byla provedena náhrada starých poruchových stykačů, výměna páčkových spínačů a náhrada původních signalizačních doutnavek 230 V za modernější a světelně výraznější LED signálky. Nová měřicí ústředna pro sběr a zpracování signálů snímačů síly a deformace je zpracována na modulárním systému měřicích karet s LAN přenosem měřených dat do řídicího PC. Tato varianta byla zvolena zejména s ohledem na nízkou poruchovost a rovněž vysokou stabilitu přenosu signálu i při dlouhotrvajících zkouškách v řádu dnů až desítek dnů a bezproblémového obnovení činnosti (např. při výpadku elektrického proudu). Ovládací software v řídicím PC byl zpracován na platformě univerzálního ovládacího SW Uniprot na základě předložených požadavků k možnostem ovládaní smykového přístroje. Tento SW byl vybrán rovněž pro jeho snadnou modulární úpravu v případě potřeby a rovněž na základě zkušeností s provozovanou další měřicí technikou ve VÚHU a.s., která je tímto SW vybavena (geotechnické lisy, statická zatěžovací deska).

4 Kalibrace přístroje

Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, až do doby rekonstrukce smykového přístroje nebyla prakticky možná kalibrace snímačů síly externím způsobem (akreditovanou kalibrační laboratoří) a tato byla prováděna pouze za pomoci speciálního kalibračního přípravku s kalibrovaným siloměrným třmenem. Sestava kalibračního přípravku při jeho osazení ke kalibraci do samotného smykového přístroje je uvedena na obrázku č. 13.



Obr. 13: Kalibrační přípravek se siloměrným třmenem.

Kalibrační zařízení je vybaveno pastorkem stejné velikosti jako při instalované smykové krabici. Uložení pastorku je na kuličkovém ložisku, rovněž tak ozubená spojovací tyč volně klouže po ložisku. Přes ozubený třmen je sprážené motorické vratné zařízení (saně), které tlačí na siloměrnou hlavu a je volně pohyblivé v kolejničkách opět přes kuličková ložiska. Tím je minimalizováno tření v pohyblivých segmentech smykového přístroje. Vlastní kalibraci pomocí siloměrného třmenu (v definovaných zatěžovacích stupních) se pro jednotlivé siloměrné hlavy ze všech stolic stanovovaly kalibrační křivky výstupních napětí na vstupu do měřících obvodů měřicího modulu (PC měřicí karty). Vlastní kalibrační přípravek byl v minulosti rovněž rekonstruován (byla zesílena jeho konstrukce, přidána opěrná ložiska), protože jeho původní konstrukce způsobovala při vyšších zatěžovacích stupních (cca nad 3,5 kN) boční deformace a docházelo k vychýlení ozubeného třmenu až přeskočení v ozubení ve spojení s pastorkem. Dílčí deformace kalibračního přípravku při vyšším zatížení rovněž způsobovaly určité obtíže při nastavení zvoleného zatěžovacího stupně siloměrného třmenu (složitě udržení konstantní síly otáčením ručního kola).

Jedním z hlavních úkolů prováděné rekonstrukce torzního přístroje tak bylo zajistit jednodušší možnost externí kalibrace. Pro tyto účely bylo inovováno uchycení nových snímačů síly na smykových stolicích pro snadnější vyjmutí z přístroje a rovněž dostatečně dlouhá kabeláž tak, aby bylo možné vlastní vyjmutý snímač síly umístit do pořízeného kalibračního zatěžovacího rámu (viz obrázek č. 14).



Obr. 14: Kalibrační zatěžovací rám.

Zatěžovací rám umožňuje jak elektrické ovládání posunu (zdvihu), tak boční připojení ručním otočným kolem pro nastavení potřebného zatěžovacího stupně při kalibraci snímačů za pomoci siloměrného etalonu externí kalibrační laboratoře nebo rovněž pro možnost mezikalibrační kontroly kalibrovaným siloměrným třmenem.

Digitální snímače deformace pak mohou být z přístroje demontovány ke kalibraci zcela jednoduše a po jejich externí kalibraci bude překontrolována pouze jejich odezva (zobrazení hodnoty) v ovládacím software torzního smykového přístroje.

Prvotní kalibraci nových snímačů síly a deformace po rekonstrukci torzního přístroje provedla Akreditovaná kalibrační laboratoř č. 2230 a ze závěrů a naměřených hodnot odezvy jednotlivých snímačů lze dokladovat, že všechny snímače splňují s dostatečnou rezervou třídu přesnosti 1 (1%).

5 Závěr

Provedená rekonstrukce torzního smykového přístroje, používaného ve zkušební laboratoři VÚHU a.s. v Mostě, splnila plánované cíle obnovy zkušebního zařízení určeného pro zkoušení a hodnocení vlastností testovaných materiálů a výrobků při činnosti Autorizované osoby a Certifikačního orgánu VÚHU a.s. Hlavním cílem, kromě potřebné údržby a oprav dílčích konstrukčních prvků přístroje, bylo zajištění souladu s metrologickými požadavky na tento typ přístrojové techniky a zajištění metrologické návaznosti měřících prvků přístroje bezproblémovou externí kalibrací akreditovanou kalibrační laboratoří.

Literatura

- [1] ČSN CEN ISO/TS 17892-10: Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 10: Křabicová smyková zkouška; duben 2005.
- [2] Dokumentation zum Torsionsschergeräte, Bauart Spreetal; VEE BKK Senftenberg vč. překladu do českého jazyka Návod obsluhy torzního smykače.