

AUTOMATIZÁCIA VYHODNOCOVANIA MERANÍ INTEGRÁLNEJ NETESNOSTI KONTAJNEROV C-30

AUTOMATION OF THE MEASUREMENT EVALUATION OF INTEGRAL LEAKAGE RATE OF CONTAINERS C-30

Pavol TANUŠKA – Peter MAKYŠ – Michal KEBÍSEK

Autori: Ing. Pavol Tanuška, PhD., Ing. Peter Makyš, Ing. Michal Kebísek

Pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky a automatizácie, Materiálovotechnologická fakulta STU

Adresa: Hajdóczyho 1, 917 24 Trnava

Tel.: 00421 33 544 77 34

Email: tanuska@mtf.stuba.sk, makys@mtf.stuba.sk, kebisek@mtf.stuba.sk

Abstract

This contribution deals with problem of the measurement evaluation of integral leakage rate of containers C-30. That containers serves on transport of nuclear fuel elements. In the article is described the evaluation methodic of integral leakage rate, then proposal of the process automation.

Tento článok pojednáva o problematike vyhodnocovania meraní integrálnej netesnosti kontajnerov C-30. Tieto kontajnery slúžia na transport palivových tyčí. V článku je najskôr popísaná metodika vyhodnocovania integrálnej netesnosti, a následne návrh automatizácie tohto procesu.

Key words

integral leakage, transport container, fuel gas, transfer, transport, relational database, server netesnosť integrálna, kontajnery transportné, tyče palivové, transfér, transport, databáza relačná, server

Úvod

Integrálna hodnota netesnosti transportného kontajnera typu C-30, ktorý slúži na transport palivových tyčí v EBO o.z., je jedným z najdôležitejších parametrov, ktoré sa pravidelne sledujú. Nevyhovujúca hodnota tohto parametra zabraňuje ďalšiemu používaniu kontajnera bez ohľadu na výsledky ostatných parametrov či skúšok. V článku riešime problematiku vyhodnocovania integrálnej hodnoty netesnosti po skončení integrálnej skúšky tesnosti.

Integrálna skúška netesnosti

Jedná sa o pneumatickú skúšku tesnosti. Slúži na zistenie netesností veka kontajnera a všetkých priechodiek cez transportný kontajner C-30. Táto skúška sa vykonáva po každých tridsiatich obehoch kontajnera alebo po štyroch rokoch prevádzky. Celková doba skúšky je 15 dní. V súčasnosti sa vykonáva podľa novej metodiky [Slug02a]. Metodika popisuje nový, kvalitatívne odlišný postup vychádzajúci zo štandardnej integrálnej skúšky tesnosti, pri použití nových prístrojov na meranie teplôt a tlakov minimalizujúcich chyby merania. Okrem toho sa zaoberá novým prístupom k detekcii priechodiek za pomoci héliového detektora HLT 260 Quality Test™. Cieľom skúšky je posúdenie prevádzkyschopnosti a tesnosti kontajnera C-30.

Postup merania, prístrojové zabezpečenie, zber výsledkov

Celá skúška sa skladá z nasledujúcich krokov:

1. meranie tesnosti priechodiek veka a nádoby héliovým testerom HLT 260Quality Test™,
2. meranie poklesu tlaku v medzipriestore tesnenia hlavného veka,
3. meranie poklesu tlaku dusíkovej podušky vo vnútornom priestore TKC 30 pod vekom, meranie teploty náplne a meranie parametrov prostredia určenie.

Integrálna veľkosť netesnosti sa po skončení skúšky vypočíta z hodnôt získaných počas merania č. 3. Ďalej sa budeme zaoberať iba týmto meraním, ktoré prebieha 15 dní. Je vykonávané po úspešnom ukončení predchádzajúcich meraní, pomocou veľmi presných prístrojov:

1. teplomer na meranie teploty okolia, termistor Grant model AG-UUVS5-0, rozsah 0 až +70°C, presnosť $\pm 0,1^\circ\text{C}$,
2. teplomer na meranie povrchu kontajnera, termistor EUS, povrchový, 18 mm x 8,5 mm,
3. teplomery na meranie teploty vo vnútri kontajnera, typ NTC THERMOMETRICS model "AS" prevedenie AX02082001, 0 až 60 °C, presnosť $\pm 0,001^\circ\text{C}$, špeciálny rozmer - dĺžka 960 mm,
4. manometer na meranie tlaku okolia, prevodník absolútneho tlaku KELLER model PAA-33X80794-1, senzor s rozsahom 0,8 až 1,2 Bar, trieda presnosti 0,03% z rozsahu,
5. manometer na meranie tlaku vo vnútri kontajnera, inteligentný prevodník tlaku PAROSCIENTIFIC, Typ 6000-22G, rozsah 0 až 22 psig (0 až 150 kPa), trieda presnosti 0,01% z rozsahu.

Zber hodnôt prebieha automaticky vo vopred nastavenom intervale. Všetky prístroje sú pripojené k počítaču (prostredníctvom RS232), ktorý zaznamenáva namerané údaje do súboru. Každý záznam pozostáva z časovej známky (dátum a čas záznamu údajov) a šiestich meraných hodnôt:

- P1 – vnútorný tlak plynu [kPa],
- P2 – tlak okolia (atmosferický) [kPa],
- T1 – teplota plynu v kontajneri [$^\circ\text{C}$],
- T2 – teplota vody v kontajneri [$^\circ\text{C}$],
- T3 – teplota povrchu kontajnera [$^\circ\text{C}$],
- T4 – teplota okolia [$^\circ\text{C}$].

Spracovanie výsledkov

Integrálna veľkosť netesnosti je definovaná nasledovne:

$$L = \frac{\Delta p \cdot V}{t} [\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}], \quad (1)$$

Δp - netesnosťami spôsobená zmena tlaku,

V – objem odobratej demivody (objem plynového vankúša), spravidla 110 litrov,

t – čas medzi začiatočným a konečným meraním.

Kritériom pre úspešnosť merania integrálnej veľkosti netesnosti je $L = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Podľa [Slug02a] je potrebné nameraný rozdiel tlakov Δp_{mer} pomocou korekcií, Δp_O , $\Delta p_{T,Plyn}$, $\Delta p_{T,Obj}$, $\Delta p_{T,Para}$ upraviť a získať tak skutočný rozdiel tlakov Δp :

$$\Delta p = \Delta p_{mer} + \Delta p_O + \Delta p_{T,Plyn} + \Delta p_{T,Obj} + \Delta p_{T,Para}, \quad (2)$$

Δp_{mer} - nameraný rozdiel tlakov,

Δp_O - zmena tlaku okolia,

$\Delta p_{T,Plyn}$ - zmena tlaku spôsobená zmenou teploty plynovej výplne,

$\Delta p_{T,Obj}$ - zmena tlaku spôsobená zmenou objemu plynu, späté s teplotnou závislosťou objemu vody,

$\Delta p_{T,Para}$ - zmena tlaku spôsobená zmenou teploty na povrchu vodnej hladiny.

Po dosadení do (2) dostaneme:

$$\Delta p = (p_{P,Z} - p_{P,K}) + (p_{O,K} - p_{O,Z}) + (p_{NAS,K} - p_{NAS,Z}) + (p_{O,Z} + p_{P,Z} - p_{NAS,Z}) \times \left[\left(\frac{T_K + 273,15}{T_Z + 273,15} - 1 \right) + \left(\frac{V_{P,Z}}{V_{P,Z} - \left(\frac{\rho(H_2O; T_Z)}{\rho(H_2O; T_K)} - 1 \right) (5885 - V_{P,Z})} - 1 \right) \right], \quad (3)$$

$p_{P,Z}$, $p_{P,K}$ - tlak plynu začiatočný a konečný,

$p_{O,Z}$, $p_{O,K}$ - tlak okolia začiatočný a konečný,

$p_{NAS,Z}$, $p_{NAS,K}$ - pretlak nasýtených pár na povrchu vodnej hladiny na začiatku a na konci merania (určuje sa pomocou tabuľkových hodnôt alebo približovacích formúl),

T_Z , T_K - teplota vody na začiatku a na konci,

$V_{P,Z}$ - objem plynového vankúša na začiatku merania,

$\rho(H_2O; T_Z)$, $\rho(H_2O; T_K)$ - hustota vody pri začiatočnej a konečnej teplote.

Vypočítané Δp nakoniec spolu s počiatočným objemom plynovej výplne V a dĺžkou merania t dosadíme do (1) a určíme integrálnu hodnotu netesnosti L .

Problémy súčasného stavu

Jedným z dlhotrvajúcich problémov pri vykonávaní skúšky boli prístroje, z ktorých sa v potrebnom intervale museli hodnoty odčítavať a zapisovať manuálne. Problém bol odstránený zakúpením nových, presnejších prístrojov, ktoré je možné pomocou vhodného rozhrania pripojiť k počítaču a uvedený proces zautomatizovať. Výsledkom je spomínaný súbor obsahujúci namerané údaje.

V súvislosti so zvýšenou presnosťou merania bola vypracovaná nová metodika obsahujúca komplikovanejšie a pracnejšie výpočty ako predchádzajúca. Na vyhodnotenie skúšky je v podstate potrebný iba jeden výpočet integrálnej hodnoty netesnosti, v ktorom sú použité iba hodnoty začiatočného a konečného merania. Potrebné sú však aj priebežné výpočty netesnosti a rôzne prehľady, informujúce obsluhu o priebehu skúšky. Zodpovední pracovníci však všetky výpočty a prehľady vykonávali „manuálne“. Riešením by mohlo byť využitie tabuľkového procesora. To by však uvedenú problematiku podporilo iba čiastočne. Okrem toho by postupom času dochádzalo k neprehľadnostiam pri archivácii priebehu a výsledkov jednotlivých skúšok. Problematika sa javila oveľa širšia. Cieľom bola automatizácia načítania údajov (zo súboru s výsledkami merania) a výpočtov netesnosti. Ďalej bolo potrebné vyriešiť otázku archivácie nameraných a vypočítaných výsledkov. Dôležité bolo zabezpečiť rýchly a prehľadný prístup k predchádzajúcim meraniam a súčasne sa vyhnúť redundancii pri ukladaní dát. Bolo potrebné umožniť prezeranie priebehu a výsledkov meraní. Poslednou úlohou bola automatizácia tvorby príslušnej dokumentácie, týkajúcej sa vyhodnotenia jednotlivých meraní (protokoly s výsledkami meraní). Z uvedených dôvodov sme sa rozhodli navrhnúť a vytvoriť softvér, ktorý bude podporovať riešenie týchto problémov a automaticky vykonávať väčšinu činností.

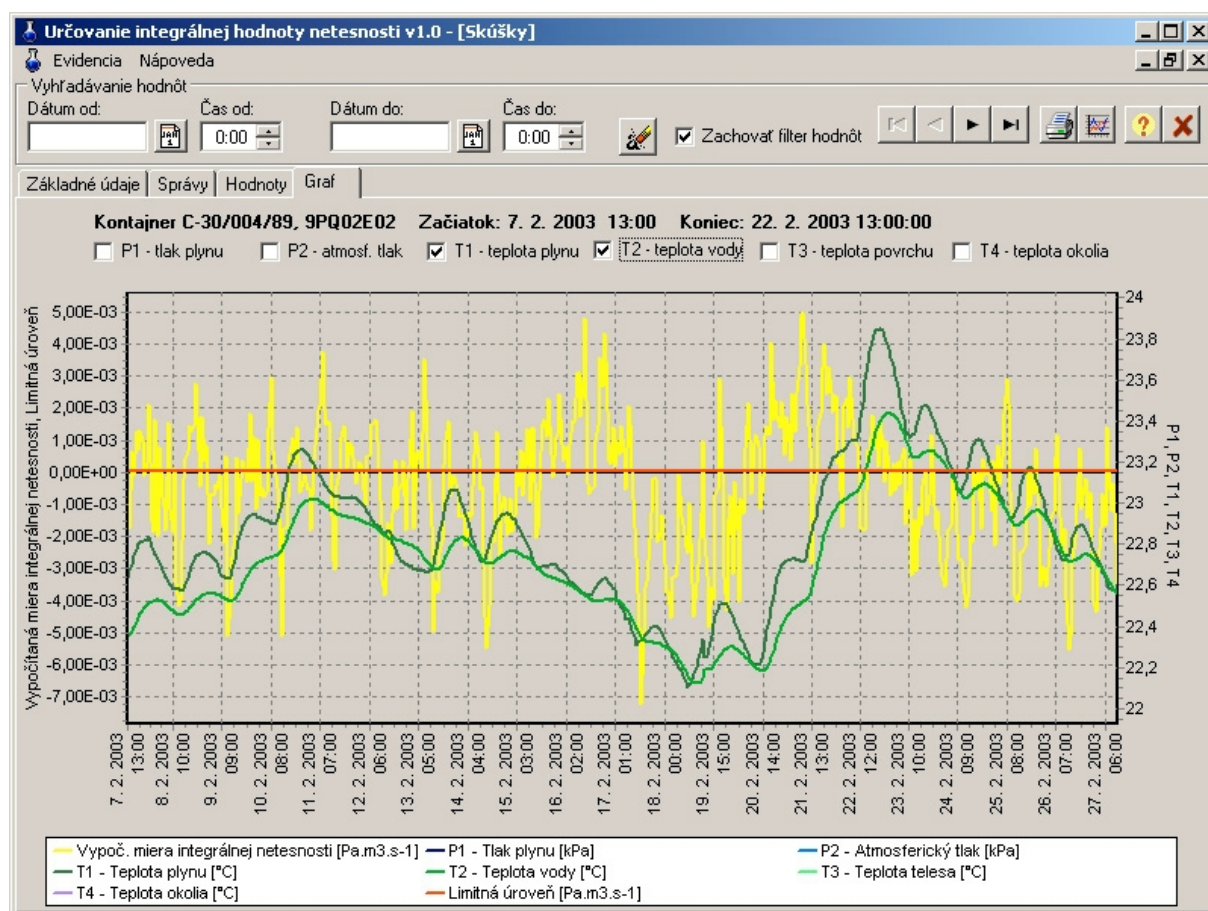
Návrh a realizácia riešenia

Ako z predchádzajúcej časti vyplýva, riešili sme najskôr problematiku automatického načítania výsledkov príslušného súboru. Meračí prístroj umožňuje zaznamenávať výsledky jednotlivých meraní v požadovaných časových intervaloch. Dohodli sme sa na päť minútovom časovom intervale. Tým sa dosiahol rozumný kompromis medzi zabezpečením dostatočného množstva potrebných údajov pre presné sledovanie priebehu skúšky a množstvom spracovávaných a archivovaných údajov. Keďže pri tvorbe súboru, ktorý prebieha taktiež automaticky, sú dodržané určité pravidlá, išlo v podstate o jednoduchý problém. Okrem toho bolo možné z našej strany požiadať o doladenie štruktúry súboru do požadovaného stavu. Vyriešenie importu údajov nastolilo otázku ako a kde ich čo najlepšie uložiť.

Rozhodli sme sa využiť možnosti štandardnej relačnej databázy. Po vytvorení vhodnej dátovej štruktúry je v tomto prípade okrem rýchleho a jednoduchého prístupu k dátam zároveň zabezpečená aj ich jednoduchá aktualizácia a potrebná úroveň zabezpečenia. Ďalšou výhodou je možnosť práce v prostredí klient-server, umožňujúcom súčasný prístup viacerých používateľov k tým istým údajom v tom istom čase. Rýchlosť práce s údajmi sme sa snažili predbežne zvýšiť aj indexovaním vhodných stĺpcov. Ďalšie doladenie výkonu je možné okrem uvedeného spôsobu dosiahnuť aj vhodným nastavením samotného databázového servera.

Štruktúra databázy umožňuje uloženie potrebných údajov o každom kontajneri. Ďalej je možné uložiť základné údaje o jednotlivých skúškach a vytvoriť vzťah priradujúci skúšku ku kontajneru. Nakoniec môžu byť do databázy vkladané jednotlivé namerané hodnoty

konkrétnej skúšky. V tomto prípade sa každý záznam skladá z časovej známky a šiestich hodnôt. Po načítaní a uložení nameraných hodnôt sme zabezpečili, aby sa uložil do databázy aj samotný zdrojový súbor. Všetky súvisiace údaje sú tak uložené na jednom mieste a je k nim zabezpečený jednotný prístup. O ich fyzické ukladanie, zabezpečenie prístupu a poskytovanie sa stará systém riadenia bázy dát, nachádzajúci sa spolu s údajmi na databázovom serveri. Prácu s údajmi na používateľskej úrovni zabezpečuje aplikácia, ktorú sme následne vyvinuli. Táto pracuje s uvedenou databázou a jednoduchým spôsobom umožňuje používateľovi vykonávať základné operácie so spracúvanými údajmi (vkladanie, mazanie, úprava). Túto aplikáciu si budú inštalovať jednotliví používatelia na svoj počítač, je to klientská časť riešenia. Okrem základnej práce z údajmi aplikácia poskytuje množinu funkcií podporujúcich ostatné potrebné činnosti. Umožňuje spomínané automatické načítanie údajov zo súboru s výsledkami merania. Okamžite po načítaní sa zobrazuje priebeh jednotlivých meraných parametrov v závislosti od času. Zároveň sa v každom bode merania vykonávajú potrebné výpočty, určia sa hodnoty netesnosti a taktiež sa zobrazia v grafe (obr. 1). Obsluha má takto bez zbytočnej námahy k dispozícii všetky údaje o aktuálnom stave skúšky, vďaka čomu môže rýchlejšie rozhodovať o ďalšom postupe. Ak by bolo potrebné preskúmať konkrétny časový úsek skúšky je možné pomocou filtra údajov zobrazit' v grafe iba údaje z požadovaného obdobia a tak podrobnejšie sledovať priebeh jednotlivých meraných veličín, prípadne netesnosti.



Obr. 1 Sledovanie priebehu jednotlivých parametrov v aplikácii

Po uložení údajov v rozsahu aspoň 15 dní umožňuje aplikácia skúšku uzavrieť a vyhodnotiť integrálnu hodnotu netesnosti. Následne je možné s využitím údajov o kontajneri a skúške uložených v databáze vygenerovať v prostredí Microsoft Word 2000 potrebnú

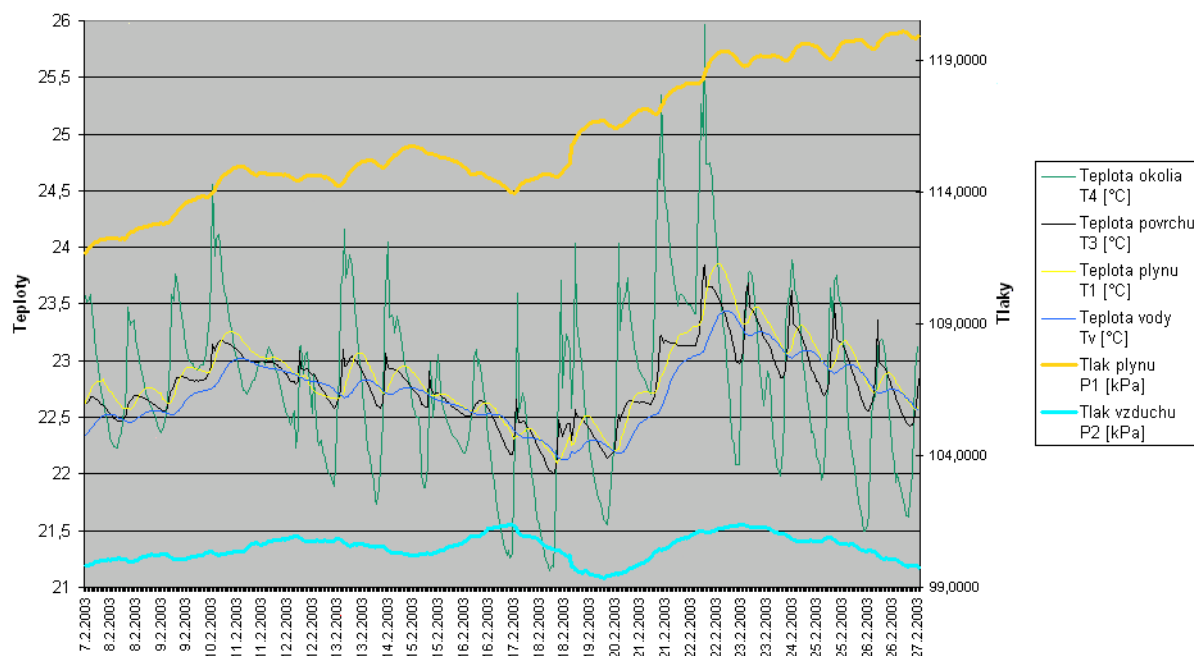
dokumentáciu súvisiacu s vyhodnotením skúšky. Hotový protokol je pred tlačou možné v tomto prostredí ešte upraviť do želaného stavu, resp. uložiť do súboru a distribuovať elektronickou poštou. Rovnako je možné generovať aj grafické priebehy jednotlivých parametrov do prostredia Microsoft Excel 2000, spolu s tabuľkou obsahujúcou zdrojové údaje.

Aplikáciu je možné používať aj na prenosnom počítači, bez pripojenia k databáze. V tomto prípade je umožnené načítanie údajov zo súboru a zobrazenie priebehov jednotlivých meraných parametrov spolu s možnosťou si tieto údaje pretransformovať do prostredia Microsoft Excel 2000. Takto má obsluha možnosť sledovať priebeh skúšky v ľubovoľnom čase a na základe jej priebehu sa rozhodnúť o pokračovaní v skúške, prípadne o jej prerušení.

Praktické skúsenosti

Funkčnosť aplikácie sme štandardne testovali, pričom sme kládli dôraz hlavne na overenie správnosti výpočtov. Už počas vývoja sme komunikovali so zadávateľom a podieľali sa na priebežnom vyhodnocovaní práve prebiehajúcej skúšky, ktorá sa mala vyhodnocovať ako prvá podľa novej metodiky. Po získaní skutočných údajov z merania sme zistili, že priebežné hodnoty netesnosti spravidla nevyhovujú novostanovenému kritériu, ktoré je prísnejšie ako doteraz (pôvodné $2,66 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, nové $5 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Väčšina hodnôt bola väčšia alebo naopak záporná. Výsledná integrálna hodnota netesnosti bola taktiež záporná. Spolu s autorom metodiky sme hľadali problém. Najskôr sme predpokladali, že výsledky sa v dlhšom časovom horizonte zlepšia, neskôr sme upravili aj výpočty, situácia sa však nezlepšila. V našej aplikácii pri výpočte netesnosti chyba nevznikla.

Problém je v tom, že ak po niekoľkých dňoch merania sú teplota aj tlak na rovnakých hodnotách ako na začiatku, mal by sa i vnútorný tlak vrátiť na pôvodnú hodnotu. Nie je to tak. Vnútorný pretlak síce kopíruje priebeh teploty, ale mierne vzrastá (obr. 2). Netesnosť vychádza záporná, teda z kontajnera nič neuniká. Dochádza však k rozdielom tlakov. Otázkou zostáva, prečo sa vnútorný pretlak nevráti do východzej hodnoty a systematicky narastá aj keď sú podmienky okolia rovnaké ako na začiatku.



Obr. 2 Problém stúpajúceho tlaku plynu

Odpoveď na túto otázku by mali poskytnúť ďalšie merania, experimenty a analýzy. Keďže samotné spracovávanie nameraných hodnôt a výpočet netesnosti je veľmi zložitá a pracná činnosť, zavedenie vyvinutej aplikácie do praxe sa určite stane dobrým pomocníkom, ktorý urýchli proces spracovania výsledkov, umožní ich porovnávanie a analyzovanie. Tieto činnosti si doteraz vyžadovali najviac času a energie pri vyhodnocovaní výsledkov integrálnej skúšky netesnosti transportného kontajnera.

Záver

Pri riešení úlohy sme kládli dôraz na to, aby bolo komplexné a práca s aplikáciou bola intuitívna, rýchla a prehľadná. Používateľ sa k potrebným údajom dostane rýchlo a sú mu predložené v prehľadnej grafickej podobe. V prípade nejasností môže samozrejme sledovať aj zdrojové údaje, z ktorých sú prehľady vytvorené. Väčšina zložitých, pracných či opakujúcich sa činností je automatizovaná. Vzniklo ucelené riešenie, podporujúce proces vyhodnocovania integrálnej hodnoty netesnosti, s možnosťou ďalšieho rozširovania napríklad v oblasti analýzy výsledkov.

Literatúra:

- [1] SLUGENĽ, V. *Metodika integrálnej skúšky tesnosti transportného kontajnera typu C-30. Kombinácia štandardnej IST a héliového detektora*. Bratislava, 11.11.2002.
- [2] MAKYŠ, P., KEBÍSEK, M. Softvérová podpora vyhodnocovania výsledkov meraní vypínačov. Software support of results evaluation of breakers measurements. In *CO-MAT-TECH 2002*. Časť 2. Bratislava: STU, 2002, s. 324 – 328. ISBN 80-227-1768-1.