

Analýza otáčok vrtného nástroja s využitím Shewhartových diagramov

Flegner Patrik · Elektrotechnika, Strojárstvo

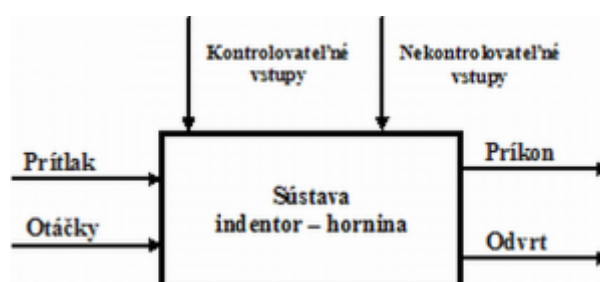
21.01.2013



V tomto príspevku je analyzovaná pomocou Shewhartových regulačných diagramov (Control Charts) dôležitá vstupná technologická veličina otáčky (ot.min^{-1}) vrtného nástroja. Otáčky vrtného nástroja majú dvojitý význam, z výkonnostného a ekonomického hľadiska. S otáčkami úzko súvisia dve merané technologické veličiny, a to prítlak $F(N)$ a rýchlosť vrtania $v(\text{mm.s}^{-1})$ horniny.

1. Model dynamickej sústavy nástroj - hornina pre aplikáciu regulačných diagramov

Jednoduchá schéma dynamickej sústavy indenter-hornina, na ktorú pôsobia dve rozhodujúce vstupné veličiny - prítlak a otáčky, je zobrazená na Obr. 1. Merateľným výstupom tejto sústavy sú veličiny príkon a odvrt. Všetky uvedené veličiny môžeme zaznamenávať ako časové rady charakterizujúce proces rozpojovania hornín. Do sústavy vstupujú tiež "poruchy", ktoré sú kontrolovateľné (napr. indenter, typ horniny) alebo nekontrolovateľné vstupy (vlastnosti hornín, vlastnosti rozpojovacieho nástroja, vlastnosti prostredia apod.). Všetky sledované veličiny sú zapisované a archivované v príslušných súboroch na počítači a po ukončení experimentov sú k dispozícii na ďalšie vyhodnocovanie [6], [7], [9], [11].



Obr.1 Schéma sústavy nástroj - hornina

1. Stručná charakteristika regulačných diagramov

Regulačné diagramy (1924 - Shewhart) (Control Charts) sa používajú ako preventívny prostriedok riadenia kvality procesov, akým je aj proces vrtania hornín (Obr.1, 2), u ktorých je problematické odlíšenie kolísania hodnôt kvalitatívnej premennej pod vplyvom náhodných a systematických (vymedziteľných) príčin a v ktorých sa predpokladá stabilizovaná - regulovaná úroveň príslušnej premennej v istom časovom

úseku, v istom „spôľahlivostnom páse“.

Vo všeobecnosti sú regulačné diagramy používané ako osvedčený prostriedok pri zlepšovaní kvalitatívnych parametrov produkcie a pri prevencii chýb, nezhôd v produkcii, vo výrobnom procese. Pomáhajú zabrániť zbytočnému, resp. nepotrebnému nastavovaniu zariadení, výrobných liniek v prípade, že príslušný proces je stabilný, čím by mohli vzniknúť prestoje a zvýšiť sa tým náklady na výrobný proces, čo je nežiaduci ekonomický efekt. Okrem toho zabezpečujú priebežné diagnostické údaje o variabilite procesov a umožňujú získať informácie o spoľahlivosti sledovaných procesov [1], [2], [3], [4].

Kontrola kvality produkcie pomocou regulačných diagramov sa využíva najmä pri opakovaných procesoch, keď pri relatívne stabilných podmienkach výroby (technológia, materiál, technické parametre strojov a zariadení,..) pôsobia aj ďalšie vplyvy (malé odchýlky od predpísanej technológie, malé odchýlky v kvalite materiálov, malá zhoda nastavenia parametrov strojov a zariadení,..), ktoré sa pri ich podstatnom prekročení prejavujú v určitých „rozumných“ medziach ako náhodné vplyvy [5], [6], [7], [8], [9]. Nevyhnutnosťou pri zostrojovaní regulačných diagramov je, na rozdiel od konštrukcie histogramov, zachovanie poradia získaných údajov v čase.

Základom regulačného diagramu - RD je zobrazenie údajov v dvojrozmernom súradnicovom systéme. Údaje sa navzájom spájajú do polygónu - priebehového diagramu (Runchart)- časového radu. Kľúčovým atribútom pri regulačných diagramoch je čas a racionálne zoskupenie údajov v ňom. V diagrame je znázornená aj trojica kritérií:

- stredná priamka - CL - Central Line,
- horná regulačná medza - UCL - Upper Control Limit,
- dolná regulačná medza - LCL - Lower Control Limit.

V regulačných diagramoch je šírka intervalu medzi UCL a LCL daná šesťnásobkom štandardnej odchýlky príslušnej štatistickej charakteristiky. Keďže sa prekročenie regulačných medzí považuje z hľadiska pravdepodobnosti za výnimočný stav, v prípade výskytu ktorého je potrebné okamžite zasiahnuť, nazývajú sa regulačné medze tiež akčné.

Pri analýze regulačného diagramu sa postupuje v zmysle normy STN ISO 8258 Shewhartove regulačné diagramy. Ak na sledovaný proces pôsobia iba náhodné príčiny, potom sa všetky body polygónu v regulačnom diagrame nachádzajú v intervale <LCL,UCL> a norma pre takúto situáciu používa označenie „proces je v štatisticky zvládnutom stave“. Body mimo regulačných hraníc signalizujú, že proces nie je v štatisticky zvládnutom stave, na proces pôsobia systematické príčiny, ktoré je potrebné identifikovať a odstrániť [10], [11], [12], [13], [14], [15]. Preto sa do diagramu často odporúča zakresliť aj tzv. varovné medze UWL, LWL - Upper a Lower Control Limit. Pri konštruovaní Shewhartových regulačných diagramov sme vychádzali zo skutočnosti, že údaje máme získané meraním, čím sú normou STN ISO 8258 Shewhartove regulačné diagramy definované dvojice diagramov [16], [17], [18], [19].



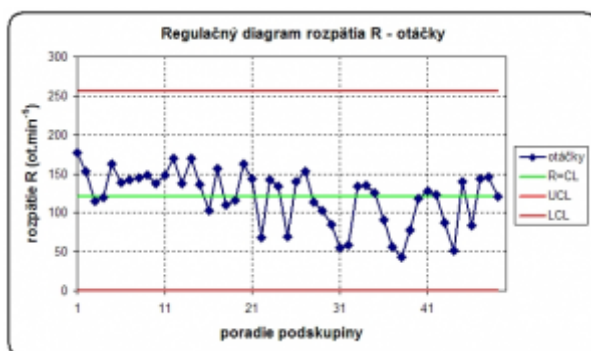
Obr. 2 Vrtná súprava (vrtný stand)



Obr. 3: Vrtná súprava (vrtný stand)

2. Regulačný diagram pre priemer $\bar{\bar{X}}$, rozpätie R, štandardnú odchýlku s a medián Me, ak základné hodnoty nie sú stanovené

Regulačné diagramy meraním sú pripravované a analyzované vo dvojiciach, a to jeden diagram pre polohu a druhý pre pásmo variability ($\pm 3\sigma$) parametra technologického procesu. Pri výpočtoch a konštrukcii regulačných diagramov pre veličinu otáčky (ot.min^{-1}) procesu vrtania je treba uvažovať aj s tým, že základné hodnoty nie sú stanovené. Prvý krok spočíva v zakreslení R - diagramu a analýze vstupných hodnôt pre menovité otáčky ($n=750 \text{ ot.min}^{-1}$), keď počet podskupín $k=49$ a rozsah podskupiny je $n=5$. Zostrojený regulačný diagram je na Obr. 4.



Obr. 4 Regulačný diagram rozpätia R - otáčky

Diagram bol zostrojený na základe výpočtov pre centrálnu priamku (CL) ktorá predstavuje referenčnú hodnotu znázornenej štatistickej charakteristiky a pre ďalšie

dve priamky štatisticky stanovujúce regulačné medze - hornú (UCL) a dolnú (LCL) vo vzdialenosti $\pm 3\sigma$ od centrálnej priamky (CL), podľa nasledujúcich vzorcov:

$$CL = \bar{R} \quad (1)$$

$$UCL = D_4 \bar{R} \text{ a } LCL = D_3 \bar{R} \quad (2)$$

Hodnoty súčiniteľov $D_3=0$, $D_4=2,114$ získané z tabuliek pre $n=5$. Na základe takto vypočítaných hodnôt sme zostrojili priebeh $CL = \bar{R}$, UCL, resp. LCL pre ktoré platí vzťah:

$$UCL = CL + 3\sigma \quad (3)$$

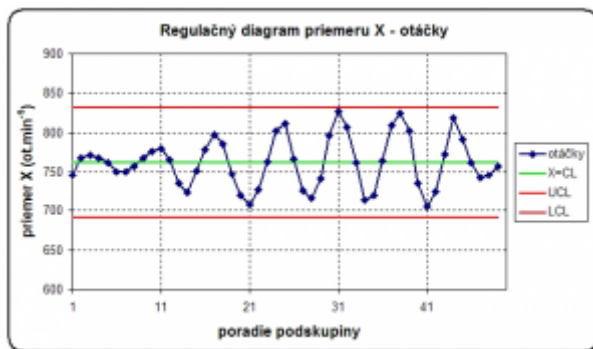
$$LCL = CL - 3\sigma \quad (4)$$

Z priebehu regulačného diagramu je zrejmé, že všetky namerané body ležia vo vnútri regulačných medzí pre \bar{R} . Hodnoty regulačných medzí sú pre $CL=120$, $UCL=255$ a $LCL=0$. Môžeme konštatovať, že pre daný priebeh sú otáčky (ot.min^{-1}) pri procese rozpojovania v štatisticky zvládnutom (stabilnom) stave. Hodnoty \bar{R} je možné použiť pre výpočet regulačných medzí pre \bar{X} - regulačný diagram (Obr. 5), podľa nasledujúcich vzorcov:

$$CL = \bar{\bar{X}} \quad (5)$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \text{ a } LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (6)$$

Hodnota súčiniteľa $A_2=0,577$ sa získa z tabuliek pre $n=5$. Hodnoty regulačných medzí sú pre $CL=761$, $UCL=831$ a $LCL=692$.



Obr. 5 Regulačný diagram priemeru \bar{X} - otáčky

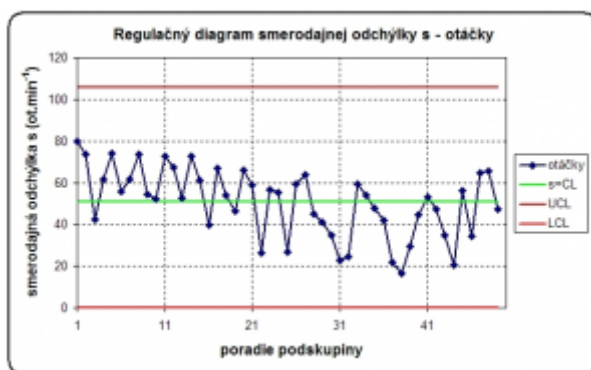
Zobrazený \bar{X} - diagram ukazuje, že všetky hodnoty ležia vo vnútri regulačných medzí. Je zrejmé, že otáčky (ot.min^{-1}) procesu vrtania sú v štatisticky stabilnom stave podľa uvedeného kritéria. Avšak je potrebné poznamenať, že z priebehu regulačného diagramu vyplýva periodická závislosť (periodicita). Ďalším skonštruovaným regulačným diagramom je diagram štandardnej odchýlky s . Ku konštrukcii tohto typu regulačného diagramu s využijeme nasledujúce vzťahy:

$$CL = \bar{s} \quad (7)$$

$$UCL = B_4 \bar{s} \text{ a } LCL = B_3 \bar{s} \quad (8)$$

Hodnoty súčiniteľov $B_3=0$, $B_4=2,089$ sa získavajú z tabuliek pre $n=5$. Regulačný

diagram štandardnej odchýlky s ukazuje, že otáčky (ot.min⁻¹) procesu sú v štatisticky zvládnutom stave. Hodnoty regulačných medzí sú pre CL=50, UCL=105 a LCL=0.



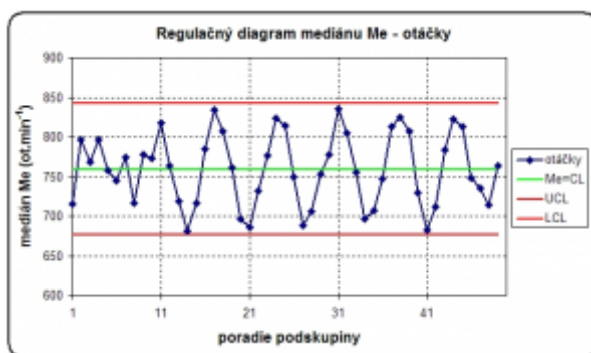
Obr. 6 Regulačný diagram štandardnej odchýlky s - otáčky

Alternatívami k regulačným diagramom \bar{X} , R, s je regulačný diagram mediánu Me. Poskytuje podobné závery o technologických veličinách procesov ako regulačné diagramy pre \bar{X} , R, s. A však regulačný diagram pre medián ukazuje rozmedzie otáčok (ot.min⁻¹) technologického procesu vrtania a dáva plynulý obraz o kolísaní otáčok samotného procesu. Regulačné medze sa vypočítajú podľa nasledujúcich vzorcov:

$$CL = \overline{Me} \quad (9)$$

$$UCL_{Me} = \overline{Me} - A_4 \overline{R} \quad a \quad LCL = \overline{Me} + A_4 \overline{R} \quad (10)$$

Hodnota súčiniteľa $A_4=0,69$ sa získa z tabuliek pre $n=5$. Regulačný diagram pre medián je znázornený na nasledujúcom Obr. 7.



Obr. 7 Regulačný diagram mediánu Me - otáčky

Na základe regulačného diagramu mediánu Me je možné povedať, že otáčky (ot.min⁻¹) procesu rozpojovania hornín rotačným vrtaním sú v štatisticky zvládnutom stave. Hodnoty regulačných medzí sú pre CL=759, UCL=842 a LCL=675. Opätovne je zvýraznený periodický charakter otáčok v regulačnom diagrame priebehu mediánu.

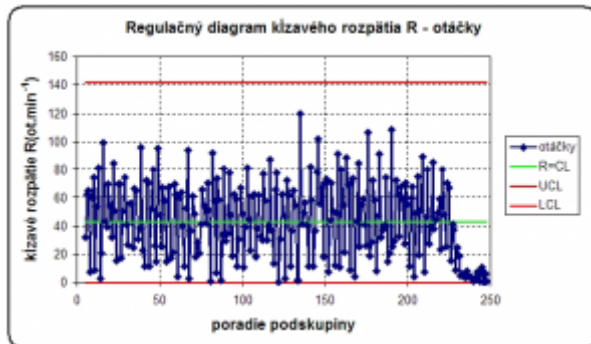
4. Regulačné diagramy pre individuálne hodnoty X, kľzavé rozpätie R a kľzavé priemery $\overline{\bar{X}}$, ak základné hodnoty nie sú stanovené

Pred skonštruovaním regulačného diagramu pre individuálne hodnoty X, je potrebné určiť regulačné medze na základe kľzavého rozpätia. Rozsah podskupiny pre regulačný diagram pre kľzavé rozpätie je $n=2$. Regulačné medze regulačných diagramov pre kľzavé rozpätie \overline{R} sa vypočítajú podľa nasledujúcich vzorcov:

$$CL = \bar{R} \quad (11)$$

$$UCL = D_4 \bar{R} \text{ a } LCL = D_3 \bar{R} \quad (12)$$

Hodnoty súčiniteľov $D_3=0$, $D_4=3,267$ sa získavajú z tabuliek pre $n=2$. Hodnoty regulačných medzí sú pre $CL=43$, $UCL=141$ a $LCL=0$. Regulačný diagram kľzavého rozpätia pre otáčky je na nasledujúcom Obr. 7.

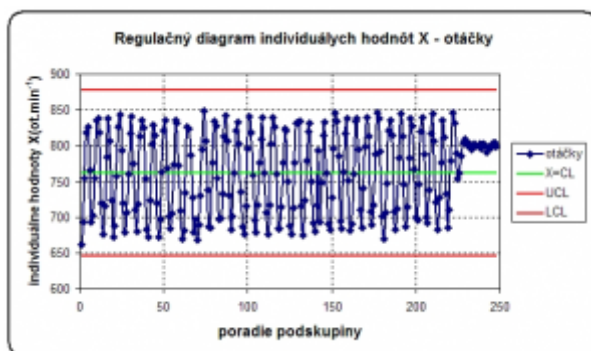


Obr. 8 Regulačný diagram kľzavého rozpätia R - otáčky

Následne je možné vytvoriť regulačný diagram otáčok pre individuálne hodnoty X a kľzavé priemery \bar{X} (Obr. 9 a Obr. 10). Hodnoty regulačných medzí pre individuálne hodnoty je možné vypočítať zo vzorcov:

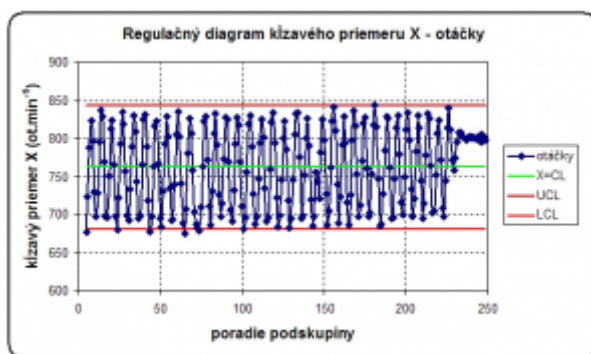
$$CL = \bar{X} \quad (13)$$

$$UCL = \bar{x} + E_2 \bar{R} \text{ a } LCL = \bar{x} - E_2 \bar{R} \quad (14)$$



Obr. 9 Regulačný diagram individuálnych hodnôt X - otáčky

Hodnoty regulačných medzí sú pre $CL=762$, $UCL=877$ a $LCL=647$.



Obr. 10 Regulačný diagram kľzavého priemeru \bar{X} - otáčky

Hodnoty regulačných medzí sú pre $CL=762$, $UCL=843$ a $LCL=681$. Regulačné

diagramy kĺzavého rozpätia, kĺzavého priemeru a individuálnych hodnôt ukazujú, že otáčky (ot.min⁻¹) procesu vrtania sú v štatisticky zvládnutom stave.

Poznámka:

Základné vzorce pre regulačné medze Shewhartových regulačných diagramov a hodnoty súčiniteľa $E_2=3/d=2,6596$ sú uvedené v norme STN ISO 8258, strana 13, v tabulkách 3 a 4.

Záver

Regulačné diagramy odrážajú skutočný priebeh technologického procesu vrtania a podávajú o ňom dôležité informácie. Všeobecne je možné povedať, že ich priame využitie v praxi prispieva k optimalizácii ekonomických aspektov a taktiež k zvýšeniu efektívnosti vrtania horniny. Základom ekonomických a výkonnostných aspektov je stabilizácia technologického procesu vrtania.

Ak technologický proces zostane vo svojich parametroch stabilný/štatisticky zvládnutý, Shewhartov systém regulačných diagramov zaručuje, že rozpätie R a priemery \bar{X} , smerodajné odchýlky s a mediány Me jednotlivých podskupín sa budú meniť náhodne a zriedka budú ležať mimo regulačné medze. Z jednotlivých obrázkov vyplýva, že podľa \bar{X} - diagramu sú otáčky (ot.min⁻¹) technologického procesu vrtania centrované, stabilné, napriek tomu, že sa prejavuje zreteľne periodický charakter meranej veličiny. Je zrejmé, že Shewhartové diagramy odhaľujú nežiaduce kolísanie medzi podskupinami z hľadiska najmä ich priemerov, resp. mediánov.

DISKUSIA: Na základe výsledkov dosiahnutých využitím Shewhartových regulačných diagramov pre druhú merateľnú vstupnú riadiacu veličinu - otáčky (ot.min-1), je vhodné regulačné diagramy použiť na výstupné veličiny, ktorými sú hluk alebo vibrácie, ktoré sú sprievodnými znakmi procesu rozpojovania hornín.

Podakovanie

Článok bol podporený grantami MŠ VEGA 1/2578/12, 1/0746/11 a 1/0729/12 Slovenskej grantovej agentúry.

Použitá literatúra

1. BENKOVÁ, M.: Zabezpečovanie kvality procesov, Košice, Technická univerzita, F BERG, 2007.
2. BENKOVÁ, M. - FLOREKOVÁ, L. - BOGDANOVSKÁ, G.: Variabilita parametrov kvality a stratová funkcia. In: Acta Montanistica Slovaca. roč. 10, č. 1 (2005), s. 57-61.
3. BENKOVÁ, M. - FLOREKOVÁ, L. - BOGDANOVSKÁ, G.: Systémy riadenia kvality. Elfa, s.r.o, ISBN 987-80-8086-066-0, Košice, 2007.
4. FLOREKOVÁ, L. - BENKOVÁ, M. - BEDNÁROVÁ, D. - PLICHTOVÁ, B. - GONDOLOVÁ, L.: Metódy a prostriedky pre zabezpečovanie kvality. FPP- F BERG TU, ISBN 80-709-441-X, Košice, 1997.
5. FUTÓ, J. - KREPELKA, F. - IVANIČOVÁ, L.: Optimization of rock cutting process using the simulation methods. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). In: ICCO 2011 : proceedings of the 12th International Carpatian Control Conference : 25-28 May 2011,

- Velké Karlovice, Czech Republic. - S.l. : IEEE, 2011 P. 124-126. - ISBN 978-1-612-4-359-9
6. FUTÓ, J. - KREPELKA, F. - IVANIČOVÁ, L., [et al.]: Simulation of optimal control of rock drilling process in laboratory environment. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). In: SGEM 2011: 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference : Conference Proceedings : Volume 1: 20-25 June, 2011, Bulgaria. - Sofia: STEF92 Technology, 2011 P. 933-940. ISSN 1314-2704.
 7. FUTÓ, J. - KREPELKA, F. - IVANIČOVÁ, L., [et al.]: Využitie štatistických metód hodnotenia kvality nameraných veličín pri procese rozpojovania hornín. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). In: Riadenie tekutinových systémov 2011 : 11. medzinárodná vedecká a odborná konferencia: 11.-13.5.2011, Zuberec, Slovensko. - Žilina: Hydropneutech, 2011 P. 25-32. ISBN 978-80-968150-9-8.
 8. FLOREKOVÁ, L.: Metódy štatistického hodnotenia kvality - SPC. Acta Montanistica Slovaca, vol. 1, 1998, s. 1-20.
 9. HANZELOVÁ, M., FLOREKOVÁ, L.: Environmental performance evaluation. In 5th International Control Conference 2004. Zakopane, Poland, 25. - 28. may 2004, pp. 915 - 918. ISBN 83-89772-00-0.
 10. KAČUR, J. - LACIAK, M. - DURDÁN, M.: Meranie relevantných veličín v procese podzemného splyňovania uhlia. In: AT&P journal. Roč. 17, č. 11 (2010), s. 51-55. ISSN 1335-2237
 11. KAČUR, J. - LACIAK, M. - DURDÁN, M.: Remote monitoring and control of the UCC process. - 1 elektronický optický disk (CD-ROM). In: ICCC 2011: Proceedings of the 12th International Carpatian Control Conference : 25. - 28. May 2011, Velké Karlovice, Czech Republic. - S.l. : IEEE, 2011 P. 180-184. ISBN 978-1-61284-359-9.
 12. LEŠŠO, I. - FLEGNER, P. - LACIAK, M. - FERIANČIKOVÁ, K.: Hilbert spaces as an efficient instrument for signal processing in geotechnics application of vector quantisation method in Hilbert space for effective and quality process control of rock disintegration by rotary drilling. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). In: ICCC 2011: Proceedings of the 12th International Carpatian Control Conference : 25. - 28. May 2011, Velké Karlovice, Czech Republic. - S.l. : IEEE, 2011 P. 253-256. ISBN 978--61284-359-9.
 13. PAVLÍČKOVÁ, M. - BOGDANOVSKÁ, G.: Pozícia metrologie a merania pre podporu kvality výrobkov. In: Manažment v teórii a praxi: On-line odborný časopis o nových trendoch v manažmente. roč. 3, č. 4 (2007), s. 79-85.
 14. PETRÁŠ, I. - BEDNÁROVÁ, D.: Control of fractional-order nonlinear systems. In: Acta Mechanica et Automatica. Vol. 5, no. 2 (2011), p. 96-100. ISSN 1898-4088. Spôsob prístupu: http://www.actawm.pb.edu.pl/vol5no2/PETRAS_BEDNAROVA_EN_2011_015.pdf
 15. PETRÁŠ, I. - BEDNÁROVÁ, D.: Total least squares approach to modeling: A Matlab toolbox. In: Acta Montanistica Slovaca. Roč. 15, č. 2 (2010), s. 158-170. ISSN 1335-1788. Spôsob prístupu: <http://actamont.tuke.sk/pdf/2010/n2/8petras.pdf>
 16. PINKA, J. - WITTENBERGER, G.: Equipment and technology for the core drilling in Slovakia. In: The national magazine of natural gas. Vol. 10 (2009-2010), p. 46-62. - ISSN 1454-2692
 17. PLURA, J: Plánování a neustálé zlepšování jakosti, Computer Press 2001, s. 244. ISBN 80-7226-543-1.
 18. STN ISO 8258:1995: Shewhartove regulačné diagramy, Slovenská technická norma,

1995.

19. WITTENBERGER, G. - ŠKVAREKOVÁ, E. - ČULKOVÁ, K.: Creation and protection over incrustation and rusting on the hot-water pipeline during using of geothermal water from Ďurkov at the GTD-1, 2, 3 drill holes. 1 elektronický optický disk (CD-ROM). In: SGEM 2011: 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference : conference proceedings: Volume 1 : 20-25 June, 2011, Bulgaria, Albena. Sofia : STEF92 Technology Ltd., 2011 P. 407-412. - ISSN 1314-2704.

Spoluautorom článku je Ing. Gabriela Bogdanovská, PhD., Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Technická univerzita v Košiciach
