

Přesnost určování prostorové polohy kola rýpadel

doc. Ing. Dana Vrublová, Ph.D.¹, Ing. Roman Kapica, Ph.D.², Ing. Martin Vrubel, Ph.D.³, doc. Ing. Eva Jiráňková, Ph.D.²

¹Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Institut kombinovaného studia v Mostě, Dělnická 21, Most, dana.vrublova@vsb.cz

²Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Institut důlního měřictví a geodézie, 17. listopadu 15, Ostrava

³Severočeské doly, a.s., Boženy Němcové 5359, Chomutov

Přijato: 31. 7. 2015, recenzováno: 11. a 17. 8. 2015

Abstrakt

Od roku 2006, kdy byl vyhlášen výzkumný úkol „Zjišťování polohy kola rýpadla K800/103/N1 pomocí GPS“, došlo k významnému posunu vpřed jak v oblasti rozvoje funkčnosti samotného systému, tak i počtu jeho nasazení na velkostroje. V současnosti je na Severočeských dolech a.s. využíván systém pro určování prostorové polohy kola rýpadel v reálném čase na celkem 20 kolesových rýpadlech. Pro použitelnost systému v praxi, při těžbě nadloží i hnědého uhlí, je velmi důležitá přesnost, s jakou jsou prostorové souřadnice kola rýpadel vypočteny. V článku je vysvětleno, jak byla tato oblast řešena a jak je dosažená přesnost ověřována.

Accuracy of the spatial position determination of excavator wheels

Since 2006, when the research task „Positioning of the wheel of the excavator K800/103/N1 via GPS“, started, the significant move forward appeared in the area of the development of the functionality of the system itself, as well as in the number of its deployment on the giant machines. Currently, the system for determining the spatial position of the excavator wheel is used in real time on a total of 20 excavators in Severočeské doly a.s. The accuracy with which the spatial coordinates of the excavator wheel are calculated is very important for the application of the system in practice in the overburden and lignite coal mining. The article explains the solution of this topic and the procedure of the verification of the achieved accuracy.

Die Genauigkeit der Bestimmung der räumlichen Lage des Schaufelrades des Baggers

Seit 2006, wenn die Forschungsaufgabe „Ermittlung der Schaufelradlage des Baggers K800/103/N1 mithilfe GPS“ ausgeschrieben wurde, kam es zu einer bedeutenden Voranbringung sowohl im Bereich Entwicklung der Funktionsfähigkeit des Systems selbst, als auch in der Zahl seines Einsatzes auf die Großgeräte. Zurzeit wird das System für Bestimmung der räumlichen Lage des Schaufelrades in einer realen Zeit auf 20 Schaufelradbagger eingesetzt. Um das System in Praxis verwenden zu können, bei dem Abbau des Abraumes sowie der Braunkohle, ist die Genauigkeit, mit welcher die räumlichen Koordinaten des Schaufelrades gerechnet werden, sehr wichtig. Im Artikel ist klargemacht, wie dieses Gebiet gelöst wurde und wie die erreichte Genauigkeit überprüft wird.

Klíčová slova: kolesové rýpadlo, analýza přesnosti, přesnost určování prostorové polohy kola, GNSS, zákon o hromadění chyb.
Keywords: bucket wheel excavator, analysis of precision, accuracy and precision of bucket wheel 3D position calculation, GNSS, error propagation law.

1 Úvod

Severočeské doly a.s. hledají další možnosti, jak zefektivňovat těžební proces. Jednou z cest, jak cíle dosáhnout, je snažit se lépe monitorovat, kontrolovat, plánovat a následně i řídit těžební postupy skrývkových i uhelných těžebních řezů. K tomu je potřeba geografickou pozici rýpadel co možná nejpodrobněji sledovat, vyhodnocovat dodržování báňských záměrů a v případě potřeby je korigovat. Přesná znalost polohy kola rýpadel umožní rozpoznat a případně eliminovat některá rizika. Jedná se např. o možnost minimalizovat nebezpečí sesuvů zemin na rýpadlo, v souvislosti s jeho pozicí vůči tektonickým liniím nebo zabránit kolizi kola s výstrojí vrtů. Důležitá je i znalost polohy kola s ohledem na hlubinná důlní díla apod. Od roku 2006, kdy byl vyhlášen výzkumný úkol „Zjišťování polohy kola rýpadla K800/103/N1 pomocí GPS“, došlo k významnému posunu vpřed jak v oblasti rozvoje funkčnosti samotného systému, tak i v počtu jeho nasazení na velkostroje. V současnosti je na Severočeských dolech a.s. využíván systém pro určování prostorové polohy kola rýpadel v reálném čase na celkem 20 kolesových rýpadlech. Pro použitelnost systému v praxi, při těžbě nadloží i hnědého uhlí, je velmi důležitá přesnost, s jakou jsou prostorové souřadnice kola rýpadel vypočteny.

2 Stručný popis systému

Technické detaily jednotlivých částí systému byly podrobněji popsány např. [2]. V tomto článku je stručně popsáno technické řešení u rýpadla K800/103, nasazeného pro těžbu uhlí na Dolech Nástup Tušimice.

Systém pro výpočet prostorové polohy kola se skládá ze tří základních prvků [6]:

- měřicí segment (GNSS přijímače, sklonoměry, kontrolní jednotka),
- komunikační segment (přenos dat – GPRS, radiomodem),
- uživatelský segment (vyhodnocovací software – Báňský model, Technologický model KVAS).

Při instalaci jednotlivých komponent měřicího segmentu bylo nutné najít takové umístění (obrázek č. 1), aby bylo možné z dílčích měření počítat prostorovou polohu středu osy kola v jakékoliv poloze rýpadla a jeho kolesového výložníku.

Na obrázku č. 2, kde je naznačen typický postup rýpadla K 800/103, je těžen výškový řez. Těžené hmoty jsou od kola dopravovány pásovým dopravníkem na nakládací výložník a nakládány na pásový dopravník. Před postupem rýpadla je vrt s po-



Obr. 1: Rozmístění přijímačů GNSS a přijímačů na rýpadle K 800/N1/103.

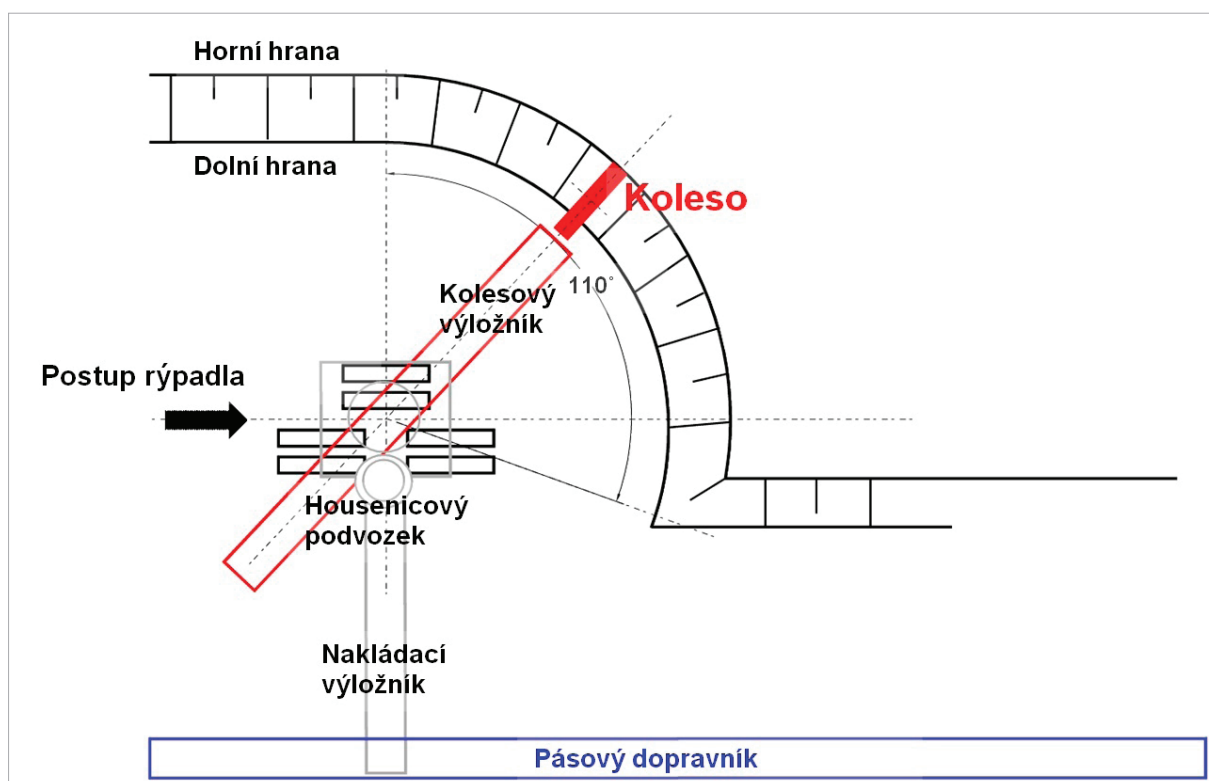
Legenda: 1,2 - GNSS přijímače (GPS1, GPS2), 3 - IRC, 4,5 - sklonoměry, 6 - vyhodnocovací jednotka.

nechanou výstrojí a tektonická porucha-zlom. Rýpadlo pojíždí po pracovní pláni pomocí housenicového podvozku. Horní stavba rýpadla se pohybuje otáčivě kolem vertikální osy a pomocí lan se kolesový výložník pohybuje nahoru a dolů. Měřicími přístroji je nutno tuto dynamiku vystihnout a neustále sledovat.

Pomocí přijímačů GNSS (GNSS Trimble SPS 851) je měřena poloha dvou bodů na kolesovém rýpadle v platném souřadnicovém systému S-JTSK a nadmořská výška ve výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv). Sklonoměry (SITALL Electronic) je

měřen sklon celého rýpadla i kolesového výložníku a výsuv kolesového výložníku pomocí inkrementálního snímače otáček (LARM a.s.).

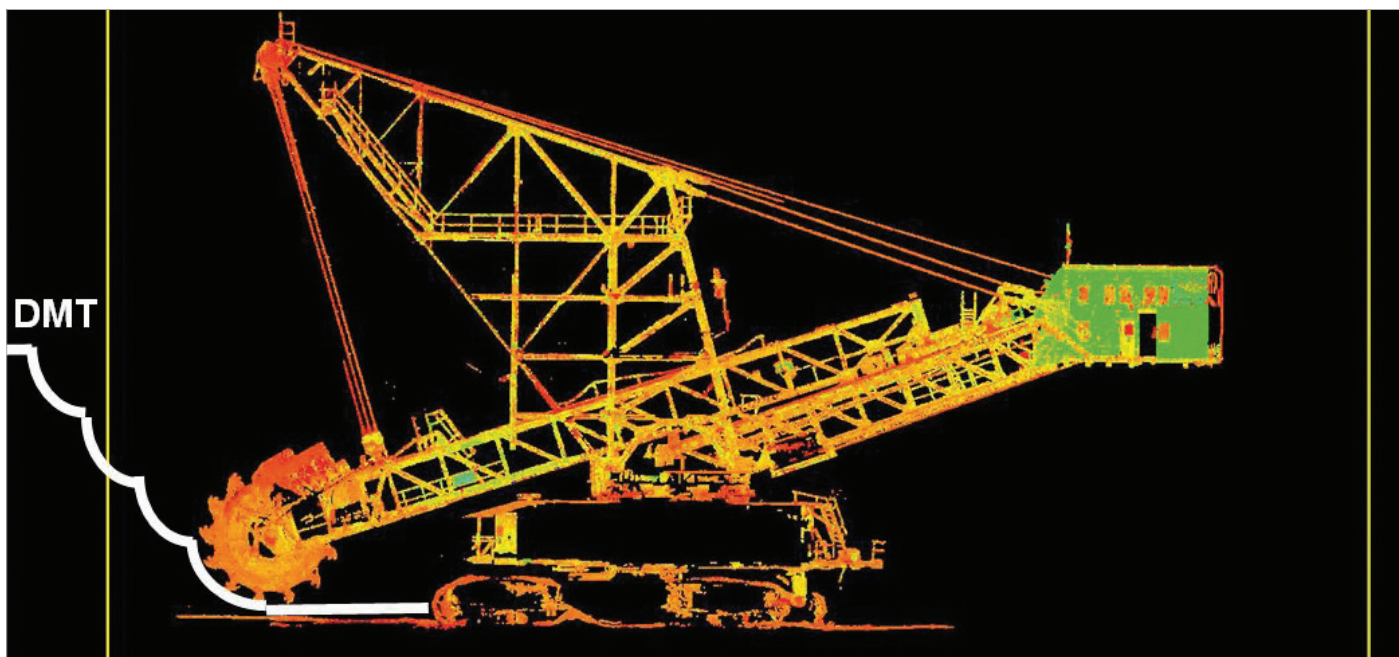
Jestliže známe prostorové souřadnice středu osy kola (obrázek č. 3) a jeho poloměr a tvar, lze definovat hraniční plochy mezi odtěženými a neodtěženými hmotami. Platí zjednodušená zásada: „Tam, kde bylo koleso, nemůže již být hornina“. Nalezení hraničních ploch (obrázek č. 4) umožňuje aktualizovat digitální model terénu v reálném čase. Aktualizace digitálního modelu



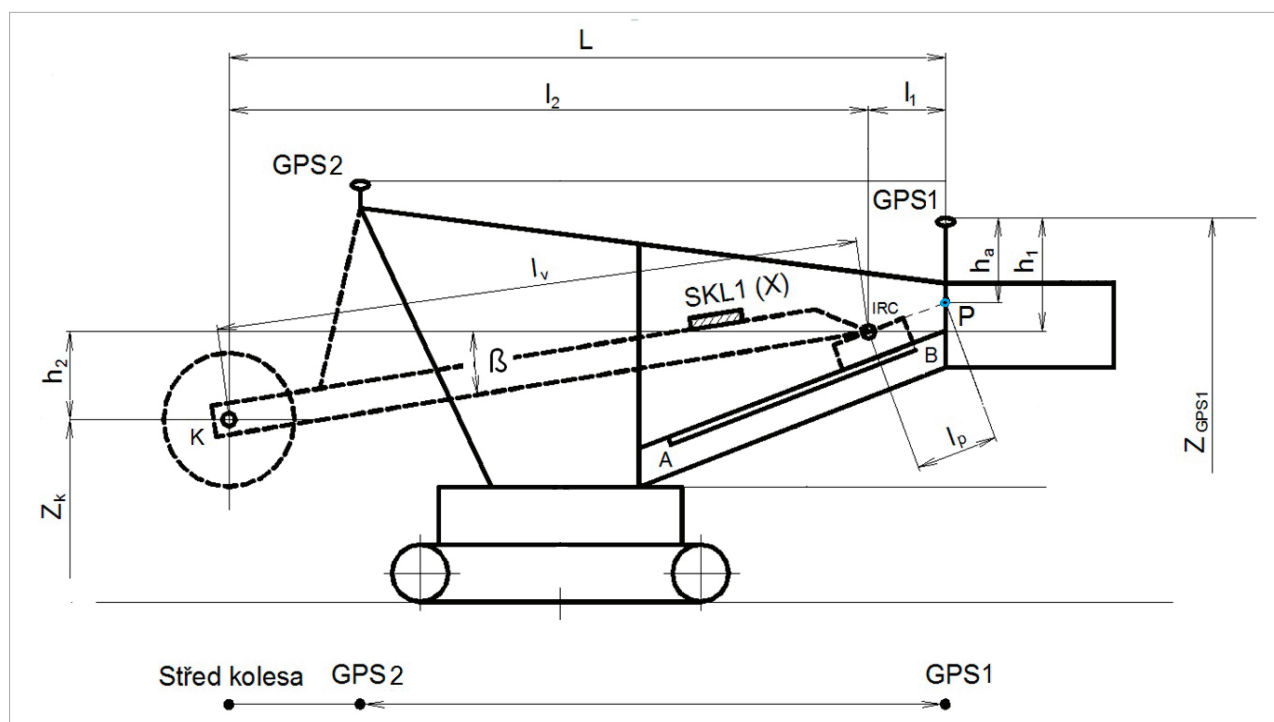
Obr. 2: Postup rýpadla K 800/103.



Obr. 3: Střed kola rýpadla.



Obr. 4: Nalezené hraniční plochy umožňují automatickou aktualizaci DMT řezu. [5]



Obr. 5: Schéma rýpadla K 800/N1/103 s umístěním měřicích přístrojů ve svislé rovině.

terénu a výpočty objemů v reálném čase, přiřazování aktuální polohy kola k polohově totožným vrstvám nerostu (uhlí) a porovnávání prostorové polohy kola s projektovanými těžebními návrhy, to jsou hlavní metody a postupy, kterými získáváme informace pro následné sledování a řízení těžebního procesu.

3 Geometrické vztahy na rýpadle

Geodetickým měřením přímo na rýpadle byly zjištěny parametry pro odvození matematických vztahů, potřebných pro výpočet prostorové polohy středu osy kola rýpadla [4]. Jedná se především o vzdálenosti jednotlivých měřidel vůči sobě i vůči některým mechanickým „uzlům“ konstrukce rýpadla. Rozmístění jednotlivých měřicích přístrojů, včetně uvedení konstantních vzdáleností potřebných pro odvození analytického vztahu pro určení prostorové polohy středu osy kola, jsou uvedeny na obrázku č. 5. Pro výpočet prostorové polohy středu kola je potřeba vypracovat vhodný algoritmus, který zahrne výsledky měření jednotlivých měřicích (přijímače a čidla) a měřicích přístrojů (GNSS přijímače).

Výsledné vzorce pro výpočet souřadnic X_K , Y_K , Z_K mají po dosazení tvar:

$$Y_K = Y_{GPS2} + \sin \left(\arctg \frac{Y_{GPS1} - Y_{GPS2}}{X_{GPS1} - X_{GPS2}} \right). \quad (1)$$

$$\left[(7,574 + V) \cdot \cos \left(19,151 \pm 2 \arcsin \left(\frac{12,398 - (Z_{GPS1} - Z_{GPS2})}{86,620} \right) \right) \pm 35,952 \cdot \cos \beta \right]$$

$$X_K = X_{GPS2} + \cos \left(\arctg \frac{Y_{GPS1} - Y_{GPS2}}{X_{GPS1} - X_{GPS2}} \right). \quad (2)$$

$$\left[(7,574 + V) \cdot \cos \left(19,151 \pm 2 \arcsin \left(\frac{12,398 - (Z_{GPS1} - Z_{GPS2})}{86,620} \right) \right) \pm 35,952 \cdot \cos \beta \right]$$

$$Z_K = Z_{GPS2} -$$

$$\left[\left(1,804 + \sin \left(19,151 \pm 2 \arcsin \left(\frac{12,398 - (Z_{GPS1} - Z_{GPS2})}{86,620} \right) \right) \right) \cdot (7,574 + V) \pm 35,952 \cdot \sin \beta \right] \quad (3)$$

kde V je délka výsuvu, konstanta 7,574 m vzdálenost $\overline{IRC,P}$, konstanty $19,151^\circ$ sklon pojezdu kolesového výložníku, 12,398 m vertikální vzdálenost mezi body GPS1 a GPS2 v horizontální poloze rýpadla, 1,804 m vertikální vzdálenost mezi body GPS2 a P, 35,952 délka kolesového výložníku.

4 Analýza přesnosti jednotlivých měřicích přístrojů

Celková přesnost (střední kvadratická chyba) složitýho systému měřidel vychází z přesnosti jednotlivých měřicích přístrojů. Hodnoty naměřené jednotlivými měřicími přístroji jsou přenášeny z rýpadla a na základně (počítačový server v budově sídla odboru měřictví a geologie - OMG) jsou ukládány do databázového souboru*.DB. Pokud je přenos dat v pořádku, databáze naměřených hodnot je aktualizována každých 5 vteřin sérií nově naměřených hodnot. Soubory*.DB jsou pro provedení analýzy dat převedeny do prostředí programu Excel.

Použité měřické přístroje a jejich přesnost

Ve firemních materiálech jsou uvedeny přesnosti (střední chyby) měřících přístrojů (tabulka č. 1 a 2).

Tab. 1: Přesnost GNSS aparatur uváděná výrobcem.

GNSS aparatura	Přesnost horizontální	Přesnost vertikální
Trimble SPS 851(RTK)	$\pm 0,01 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$	$\pm 0,02 \text{ m} + 1 \text{ ppm}$

Tab. 2: Přesnost sklonoměrů uváděná výrobcem.

Sklonoměr	Přesnost (v rozsahu)	
SITALL STS-015-180-2-RS232	$\pm 0,1^\circ$ (do sklonu $\pm 60^\circ$)	$\pm 0,2^\circ$ (sklon až $\pm 80^\circ$)

Poslední měřicí přístroj, který byl využit v systému, je inkrementální rotační snímač (IRC) pro měření výsuvu kolesového výložníku. Bylo ověřeno, že přesnost je o několik řádů vyšší než přesnost ostatních měřících přístrojů. Pro potřeby ověření přesnosti systému jako celku jsou hodnoty přesnosti IRC zanedbány a naměřené hodnoty považovány jako bezchybné (mnohokrát prokázáno na velkých souborech měření). Každých 5 vteřin jsou odečteny a uloženy všechny měřené hodnoty. Přesnosti jednotlivých měřících přístrojů byly ověřeny analýzou naměřených hodnot v období, kdy rýpadlo netěžilo. Nedocházelo tedy k žádnému pohybu rýpadla - poloha kola se neměnila. Např. dne 1. 7. 2011 bylo zaznamenáno 17 271 měření. Pro vyhodnocení byl vybrán úsek od 11:57:49 do 15:03:09 h. (graf č. 1).

Opakovaným měřením téže veličiny se určí odchylky jednotlivých měření od střední nebo skutečné hodnoty. Uložením naměřených hodnot v klidovém stavu rýpadla byly vytvořeny rozsáhlé soubory dat - řádově tisíce měření. To je dostatečný počet pro analýzu přesnosti jednotlivých měřících přístrojů i systému jako celku. V případě posouzení přesnosti měření se v měřické praxi používá především střední chyba měření např. [1], která se používá při měřických pracích jako nejspolehlivější měřítko přesnosti. K výpočtu lze využít vztahu:

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (4)$$

$$\text{kde } v \text{ je oprava} \quad v_i = x - l_i \quad (5)$$

l_i jsou jednotlivá měření, x je nejpravděpodobnější hodnota měřené veličiny určená aritmetickým průměrem:

$$x = \frac{[l]}{n} \quad (6)$$

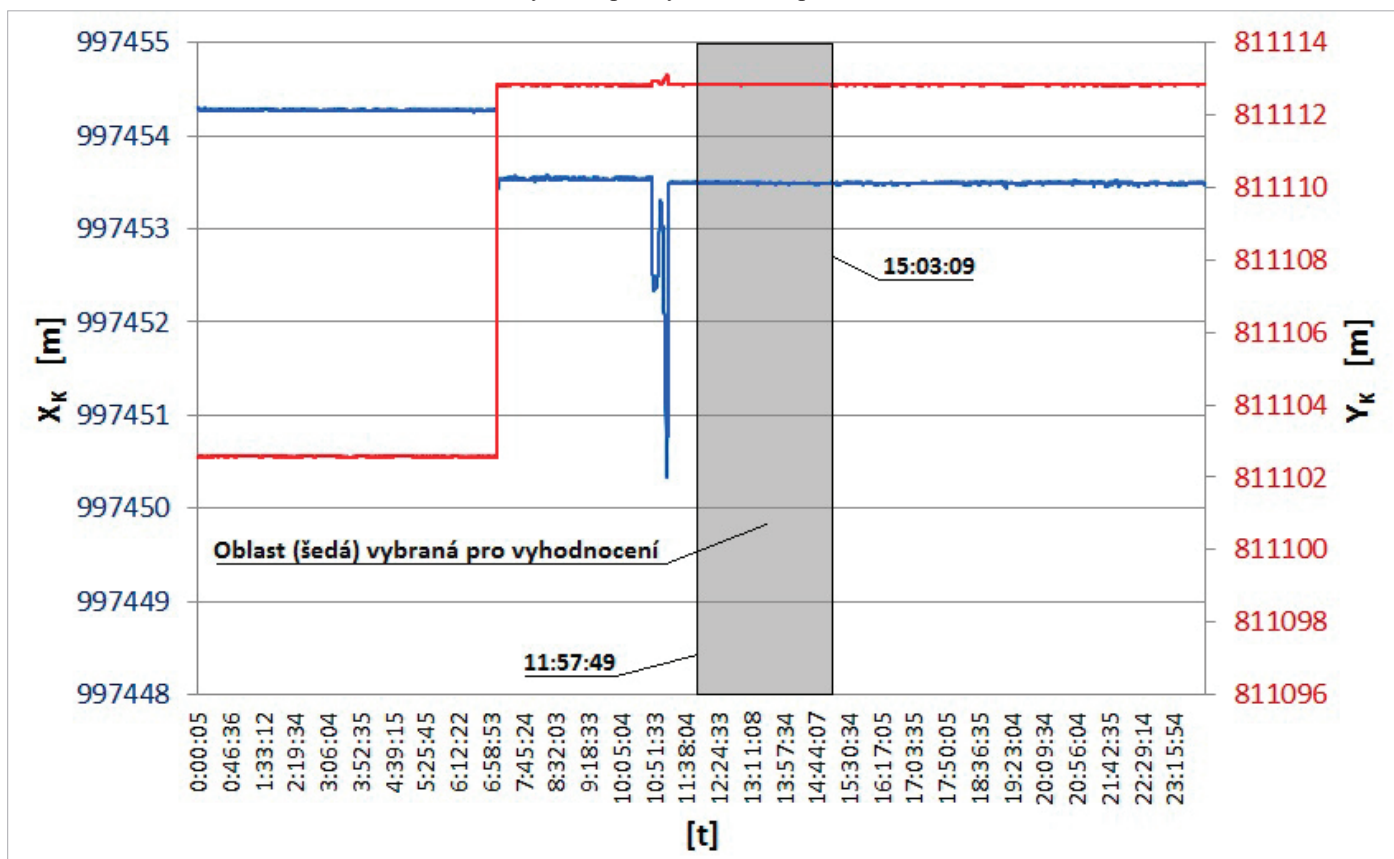
n z celkového počtu měření ($n-1$) je počet nadbytečných měření.

Podle Gaussova zákona chyb se náhodné chyby nad určitou mez nevyskytují. Při překročení mezní chyby je považujeme za hrubé, nenáležící do základního souboru náhodných chyb. Mezní chyba podle [1] se v praxi stanoví jako dvojnásobek až trojnásobek základní střední chyby.

$$|e_a| = 2\bar{m} \text{ až } 3\bar{m} \quad (7)$$

kde $\bar{m}$ je základní střední chyba úplná, charakterizující reálnou přesnost měření.

Graf 1: Oblast vybraná pro vyhodnocení přesnosti dne 1. 7. 2011.



Před zahájením analýz byly proto vždy soubory dat testovány, zda se v nich nevyskytují měření, jejichž odchylky od průměrné hodnoty překročí trojnásobek střední chyby $3\bar{m}$. Tato měření byla ze souborů dat vylučována. Nutno konstatovat pozitivní fakt, že dosažené hodnoty přesnosti jednotlivých měřicích přístrojů odpovídaly hodnotám přesnosti uváděným výrobcí, nebo byly lepší.

Tab. 3: Dosažená průměrná střední chyba GNSS přístroje.

GNSS přístroj	horizontální	vertikální
Trimble SPS 851 (RTK)	0,008 m	0,010 m

Dosažená průměrná střední chyba sklonoměru SITALL STS-015-180-2-RS232 je 0,0046°.

5 Přesnost soustavy měřicích přístrojů - zákon o hromadění chyb

Výsledek měření se svou střední chybou tvoří vždy pár sdružených čísel. Při každém dalším počítání s naměřeným výsledkem musí jít obě čísla neodlučitelně spolu, nejistota naměřeného výsledku se totiž přenáší na libovolnou funkci, kde využijeme měřených veličin. Náhodné chyby jednotlivých měření složitějšího systému měřidel zkreslují vypočtenou veličinu a je třeba znát s jakou přesností je hledaná (vypočtená) hodnota určena. Ke zjištění vlivu dosažených středních chyb jednotlivých měřicích přístrojů na celkovou chybu určení středu osy kola je třeba použít „zákon o hromadění chyb“. Vyjadřuje vztah mezi středními chybami proměnných zadané funkce. V případě určení celkové chyby středu osy kola bude mít zákon o hromadění chyb podle [1] tento symbolický tvar:

$$m_u = \pm \sqrt{[qqmm]} \quad (8)$$

kde q je parciální derivace funkce podle jednotlivých pozorování a m střední chyba měření. Tato funkce platí za předpokladu, je-li počet měření dostatečně velký, což je v našem případě souborů s několika tisíci měřeními splněno.

Pro upřesnění následuje obecné odvození podle [1]. Obecně máme tedy jednoznačně určenou funkci u několika veličin $l_1, l_2, \dots, l_n$, které jsou změřeny se středními chybami $m_1, m_2, \dots, m_n$. Funkce u lze napsat ve tvaru:

$$u = f(l_1, l_2, \dots, l_n) \quad (9)$$

Použijí-li se současně i střední chyby, bude pak

$$u \pm m_u = f(l_1 \pm m_1, l_2 \pm m_2, \dots, l_n \pm m_n) \quad (10)$$

Dále lze napsat tvar

$$\pm m_u = \pm \frac{\partial u}{\partial l_1} m_1 \pm \frac{\partial u}{\partial l_2} m_2 \pm \dots \pm \frac{\partial u}{\partial l_n} m_n \quad (11)$$

a nakonec bude mít výsledný vztah:

$$m_u = \sqrt{q_1^2 \cdot m_1^2 + q_2^2 \cdot m_2^2 + \dots + q_n^2 \cdot m_n^2} \quad (12)$$

Střední chyba jednoznačně určené funkce několika pozorování (12) je tedy rovna odmocnině ze součtu součinů druhých

mocnin parciálních derivací funkce podle jednotlivých pozorování q_i a jim odpovídajících středních chyb m_i .

6 Postup analýzy přesnosti celé soustavy měřicích přístrojů

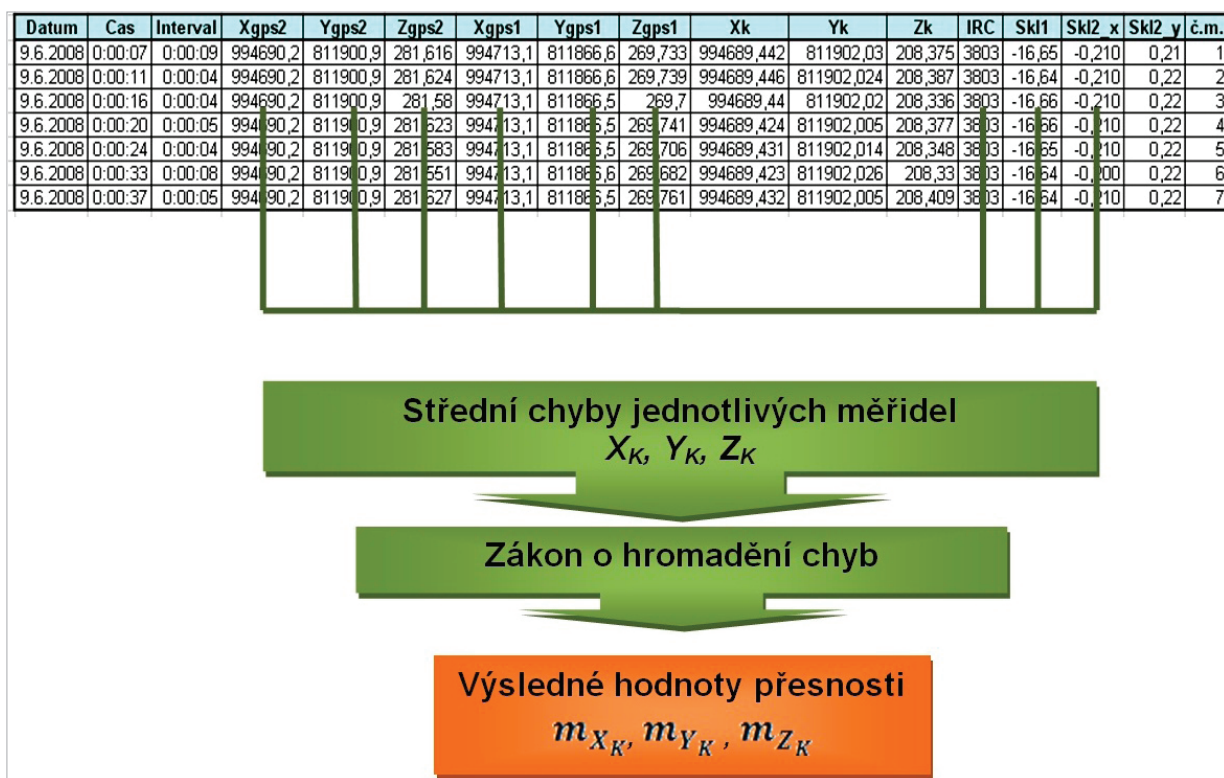
Po rozboru přesnosti jednotlivých měřicích přístrojů bylo možné přistoupit k analýze střední chyby výsledku výpočtů X_K, Y_K a Z_K , vycházející z dílčích přesností měřidel soustavy měřicích přístrojů. Postup je znázorněn na obrázku č. 6.

Když aplikujeme zákon o hromadění chyb na vztahy (1), (2), (3), tak po odvození získáme výsledné vztahy pro střední chyby výpočtu souřadnic středu osy kola X_K, Y_K a Z_K prostřednictvím dosažených středních chyb jednotlivých měřicích přístrojů (GNSS, sklonoměry), sestavených do soustavy měřicích přístrojů. Pro střední chybu jednoznačně určené funkce m_{Y_K} měřených veličin $Y_{GPS1}, X_{GPS1}, Y_{GPS2}, X_{GPS2}, V$ a β s jejich středními chybami $m_{Y_{GPS1}}, m_{X_{GPS1}}, m_{Y_{GPS2}}, m_{X_{GPS2}}, m_V, m_\beta$, má úvodní vztah pro odvození, podle zákona o hromadění chyb, tvar:

$$m_{Y_K} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial Y_K}{\partial Y_{GPS1}} \cdot m_{Y_{GPS1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial X_{GPS1}} \cdot m_{X_{GPS1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial Y_{GPS2}} \cdot m_{Y_{GPS2}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial X_{GPS2}} \cdot m_{X_{GPS2}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial V} \cdot m_V\right)^2 + \left(\frac{\partial Y_K}{\partial \beta} \cdot m_\beta\right)^2} \quad (13)$$

$$m_{X_K} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial X_K}{\partial Y_{GPS1}} \cdot m_{Y_{GPS1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_K}{\partial X_{GPS1}} \cdot m_{X_{GPS1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_K}{\partial Y_{GPS2}} \cdot m_{Y_{GPS2}}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_K}{\partial X_{GPS2}} \cdot m_{X_{GPS2}}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_K}{\partial V} \cdot m_V\right)^2 + \left(\frac{\partial X_K}{\partial \beta} \cdot m_\beta\right)^2} \quad (14)$$

$$m_{Z_K} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial Z_K}{\partial Y_{GPS1}} \cdot m_{Y_{GPS1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_K}{\partial X_{GPS1}} \cdot m_{X_{GPS1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_K}{\partial Y_{GPS2}} \cdot m_{Y_{GPS2}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_K}{\partial X_{GPS2}} \cdot m_{X_{GPS2}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_K}{\partial V} \cdot m_V\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_K}{\partial \beta} \cdot m_\beta\right)^2} \quad (15)$$



Obr. 6: Princip výpočtu středních chyb souřadnic X_K , Y_K a Z_K pomocí zákona o hromadění středních chyb.

7 Výsledná vnitřní přesnost systému pro určování polohy kola

Po výpočtu všech jednotlivých parciálních derivací byly vypočteny střední chyby m_{Y_K} , m_{X_K} , m_{Z_K} . Takto byla vypočtena střední chyba určení souřadnic středu osy kola X_K , Y_K a Z_K , vypočtených ze vztahů (13), (14), (15), ovlivněných přesností jednotlivých měřících a měřících přístrojů. Vše bylo vypočteno pro každý den zvlášť. Průměrné hodnoty přesnosti jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tyto dosažené střední chyby m_{Y_K} , m_{X_K} , m_{Z_K} výpočtů souřadnic středu osy kola X_K , Y_K a Z_K se mohou zdát na první pohled překvapivě nízké. Je to proto, že výpočet celkové přesnosti je nejvíce ovlivňován přesností měření souřadnic X , Y , Z GNSS přijímačů a dosažené střední chyby byly nízké. Je třeba si ale uvědomit, že dosažená přesnost je jakousi vnitřní přesností soustavy měřících přístrojů vycházející z analýzy souboru měřených dat (angl. precision). Skutečnou přesnost systému určování polohy kola (blízkost průměru naměřených hodnot k hodnotám referenčním – angl. accuracy) si ověříme geodeticky a je podstatně nižší. Přesto vyhovuje pro aplikace jako jsou aktualizace digitálního modelu terénu, prognóza kvalitativních parametrů uhlí, aplikace charakteru eliminace rizik a výpočty objemů odtěžených hmot.

8 Ověření reálné přesnosti systému

V průběhu vývoje systému docházelo k průběžným kontrolám přesnosti systému a to nezávislým geodetickým zaměřením. Kontrolní měření realizovali měřiči z oddělení měřictví. Přímé měření středu osy kola nebylo možné, protože se jedná o bod, který je uvnitř kola a je technicky nemožné jej zaměřit. Byl zvolen

takový postup, kdy byly polohově a výškově zaměřeny středy obou konců osy kola, které jsou pro zaměření dostupné. Jedná se o body O_1 a O_2 , na které jsou na obrázku č. 7 zacíleny šipky.

Poslední kontrolní zaměření proběhlo na Dolech Nástup Tušimice od 13. 5. 2015 do 2. 6. 2015 a na Dolech Bílina od 5. 5. 2015 do 21. 5. 2015. Důlní měřič si zaměřil stanoviště pro zaměření bodu O_1 a O_2 aparaturou GNSS s využitím stejného transformačního klíče (stejná referenční stanice) jaký používají GNSS přijímače, které jsou součástí systému na rýpadle. Ze stanoviště zaměřil body O_1 a O_2 elektronickým tachymetrem, výškově i polohově, a z pozice středu kola vůči (nebyvá uprostřed osy) zaměřovaným bodům O_1 a O_2 vypočetl souřadnice středu osy kola X_K , Y_K a Z_K . Pro jednoduchost byly souřadnice získané kontrolním geodetickým zaměřením považovány jako správné (referenční). Zároveň byly z databáze systému sledování kola v reálném čase odečteny souřadnice středu osy kola X_K , Y_K a Z_K , vypočtené z měření měřících přístrojů na rýpadle v čase, kdy probíhalo kontrolní zaměření.

Porovnání souřadnic získaných ze systému pro výpočet středu osy kola a geodetickým zaměřením je v tabulkách č. 5 a 6. Odchylky O_{xy} vyjadřují odchylku v poloze a O_z je odchylka ve výšce.

Tab. 4: Výsledky výpočtu středních chyb souřadnic středu osy kola podle zákona o hromadění chyb.

Střední chyba	m_{X_K}	m_{Y_K}	m_{Z_K}
Rozměr	[m]		
Průměr	0,008	0,007	0,01
Výsledné hodnoty	$m_{xy} = 0,011$		$m_z = 0,010$

9 Diskuse o dosažené přesnosti systému

Srovnatelnou metodou pro určování podrobných bodů v lomu, aplikovanou v Severočeských dolech a.s., je metoda letecké fotogrammetrie. Oblast fotogrammetrie při hornické činnosti není ve Vyhlášce ČBÚ č. 435/1992 Sb. řešena. V její příloze č. 2 „Polohové a výškové měření při činnosti dle §1 na povrchu“ je v kapitole 7. „Pozemní a letecká fotogrammetrie“ pouze uvedeno, že použití pozemní a letecké fotogrammetrie se řídí zvláštními předpisy. Jako zvláštní předpis je uvedena ČSN 01 3410 „Mapy velkých měřítek. Základní ustanovení“. Na straně č. 1 této normy je však jasně deklarováno, že se norma nevztahuje na mapy vyhotovené ve smyslu horního zákona a souvisejících předpisů. Vzniká tak situace, že přesnost fotogrammetrického měření není pro hornickou činnost jasně definována. Proto jsou pro posouzení přesnosti fotogrammetrického vyhodnocení při hornické činnosti využívána kritéria z literatury [3]. Ta uvádí pro měřítko cílové mapy 1 : 2000 (měřítko základní důlní mapy) „přípustnou chybu“ $m_{xy} = m_z = \pm 0,20$ m.

Kontrolním měřením polohy kola v rovině X, Y byly zjištěny odchylky od 0,08 m do 0,73 m. Odchylky u kontrolního měření výšek se pohybovaly od 0,01 m po 0,27 m. V tabulce č. 7 jsou uvedeny počty kolesových rýpadel podle toho, jakého intervalu odchylek bylo dosaženo jak v poloze O_{xy} , tak ve výšce O_z . U kontrolních měření polohy se 70 % rýpadel dostalo do odchylek 0-40 cm, u měření výšek všech 100 %.

To je sice více, než je požadováno od letecké fotogrammetrie, nicméně odchylky do dvojnásobku požadované přesnosti fotogrammetrie lze považovat za jako dostatečné pro proces kontroly a řízení těžebního procesu i pro aplikace charakteru eliminace bezpečnostních rizik. Měřické přístroje nainstalované na rýpadle a tvořící soustavu měřidel umožňují dosáhnout přesnosti o řád vyšší, jak bylo ověřeno v kapitole 7. Důvody pro nižší skutečně dosaženou přesnost, ověřenou geodeticky, vyplývají z rozměrů velkorýpadla, nemožnosti ve všech případech změřit potřebné konstanty (délky a úhly součástí rýpadel) přímo a s potřebnou přesností, také ze složitosti vystihnout měřením na rýpadle dynamiku pohybu složitěho těžebního zařízení a odvozenými vztahy kopírovat skutečný pohyb kola.

Za hlavní příčiny, které snižují výslednou přesnost systému, považujeme:

- nepřesnosti vyplývající z instalace sklonměřů, kdy s ohledem na velikost měřených prvků (např. kolesový výložník) nemusí měřené hodnoty sklonu v jednom místě nosníku vyjadřovat zcela přesně skutečný sklon celého prvku,
- nepřesnosti vyplývající z instalace GNSS antén tak, aby byly v jedné svislé rovině se středem osy kola,
- nepřesnosti vyplývající z průhybů dílčích prvků rýpadla při různé poloze rýpadla a výsunu výložníku,
- chyby ze zanedbání příčného sklonu rýpadla,
- nepřesnosti vyplývající se zaměřováním konstant,
- chyby nedokonalého vystižení dynamiky pohybu rýpadla a jeho kola matematickým vztahem.

Doporučujeme především zamyslet se nad měřením příčného sklonu rýpadla a jeho kolesového výložníku, které by mohlo zvýšit přesnost především u měření a výpočtů polohy. Popisované ověření přesnosti bylo prováděno za klidu rýpadla. Je zřejmé, že během těžby se přesnost ještě o něco sníží. Další nepřesnost

modelování pláště kola přinese např. i obroušování zubů kola v průběhu těžby.

10 Závěr

Při uvážení mohutnosti velkstrojů a složitosti matematicky vyjádřit pohyb kola, lze dosaženou přesnost hodnotit pozitivně. Důležitá je především dosažená přesnost ve výpočtu výšky kola, která je zásadní pro dodržení výškové úrovně pojezdové pláň rýpadel, či zajištění jistoty pozice kola vůči geologické stavbě ložiska. Rovněž výsledky funkčnosti a spolehlivosti systému, nasazeného v těžkém báňském provozu povrchového velkolomu, jsou velmi dobré. Dořešit je třeba, podle našeho názoru, údržbu systému tak, aby byla rychlejší a pružnější. Systémy pro výpočet polohy kola rýpadel se na Severočeských dolech a.s. osvědčily a staly neodmyslitelnou součástí systémů pro kontrolu a řízení výroby.

Vysvětlivky použitých pojmů:

GNSS - Globální družicové navigační systémy (Global Navigation Satellite system)

GPS - Globální polohový systém (Global positioning System)

DMT - Digitální model terénu

Literatura

- [1] NESET, K.: Důlní měřictví I, SNTL, Praha 1966.
- [2] SLÁDKOVÁ, D., KAPICA, R., VRUBEL, M.: Global Navigation NSS Technology for Automation of Surface Mining, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2011, pp. 284-294, ISSN 1748-0930.
- [3] ŠMIDRKAL, J.: Fotogrammetrie I, Učební text ČVUT, Praha 1982.
- [4] TALÁCKO, M.: Systém pro sledování prostorové polohy kola rýpadla K 800/N1, Technická zpráva, 2007.
- [5] VOJTOVÁ, K., RÉDL, J., SATRANSKÝ, V.: Laserové skenování rýpadel K 800/N1 a KU 327, Technická zpráva, GEFOS a. s., Praha 2008.
- [6] VRUBEL, M., SLÁDKOVÁ, D., TALÁCKO, M.: Next possibilities of GPS technology in mine surveying. In Proceedings of the 13th International Congress of ISM, 2007, ISBN 978-963-9038-18-9.