SYSTÉM PRO SLEDOVÁNÍ POLOHY RÝPADEL A ZAKLADAČŮ NA SEVEROČESKÝCH DOLECH A.S.

SYSTEM FOR BUCKET WHEEL EXCAVATORS AND SPREADERS TRACKING AT SEVEROČESKÉ DOLY A.S.

Vít Sládek¹, Stanislav Dejl², Pavel Miltner³

Abstrakt

Hlavní smysl tohoto měřického systému pro sledování polohy rýpadel a zakladačů v reálném čase je rozšířit řídicí systémy povrchového dobývání hnědého uhlí. Pozice středu osy kola nebo výložníku je počítána z dat měřených technologií GNSS, inklinometru a inerciální měřicí jednotky umístěných na každém těžebním stroji. Data jsou dále přenesena a uložena do databáze. Vizualizace pohybu kola v reálném čase je provedena v prostředí KVAS software, který umožňuje práci s digitálním modelem terénu.

Abstract

The main purpose of this measuring system for monitoring the position of bucket wheel excavators and stackers in real time is to extend the control systems of surface lignite mining. The position of the center of the wheel or boom axis is calculated from data measured by GNSS technology, an inclinometer and an inertial measuring unit located on each mining machine. The data is then transferred and stored in a database. Visualization of the wheel movement in real time is performed in the KVAS software environment, which allows working with a digital terrain model.

Klíčová slova

Kolesové rýpadlo, digitální model terénu, GNSS, dobývání hnědého uhlí, výpočet objemů.

Keywords

Bucket wheel excavator, digital terrain model, GNSS, Lignite mining, volume calculating.

1 Úvod

Jednou z možností, jak zabezpečit všechny nutné činnosti pro bezpečnou a plynulou těžbu hnědého uhlí, je automatizace provozu lomu. A právě k tomuto cíli slouží i systém pro sledování polohy rýpadel a zakladačů, který používáme ve společnosti Severočeské doly a.s.

Jedná se o aplikaci technologie GNSS (Globální navigační družicový systém z anglického Global Navigation Satellite System) do oblasti dobývání nerostných surovin. GNSS se osvědčil kromě řešení klasických geodetických úloh nově také v automatizaci

¹ Vít Sládek, Ing., Severočeské doly a.s., odbor měřictví a geologie, Doly Bílina, Důlní 375/89, 418 29 Bílina, tel.: 417805029, mob.: 725298586, e-mail: sladek@sdas.cz

² Stanislav Dejl, Ing., Severočeské doly a.s., odbor měřictví a geologie, Doly Bílina, Důlní 375/89, 418 29 Bílina, e-mail: dejl@sdas.cz

³ Pavel Miltner, Ing., Severočeské doly a.s., odbor měřictví a geologie, Doly Bílina, Důlní 375/89, 418 29 Bílina, e-mail: miltner@sdas.cz

technologie dobývání. Konkrétně pro opakované snímání aktuálního stavu lomu na dobývací i zakladací straně lomu, určování postavení jednotlivých zařízení, určování objemů a kvality těžných hmot, dodržování technologické kázně a zvyšování bezpečnosti práce.

2 Severočeské doly a.s.

Společnost Severočeské doly a.s., která patří do skupiny ČEZ, se zabývá těžbou hnědého uhlí na dvou lokalitách: Doly Bílina (DB) a Doly Nástup Tušimice (DNT). Severočeské doly a.s. vznikly v roce 1994 v procesu privatizace hnědouhelného průmyslu a jsou nejvýznamnějším producentem hnědého uhlí na českém trhu. V roce 2017 dosáhla produkce uhlí na Dolech Nástup Tušimice 11 834 635 tun a na Dolech Bílina 9 958 831 tun. Celková těžba hnědého uhlí 21 793 466 tun řadí SD na první místo v České republice v produkci hnědého uhlí v roce 2017 [1].

2.1 Doly Nástup Tušimice

Lom Doly Nástup Tušimice (dříve v báňských dokumentacích uváděn také jako lom Libouš nebo Lom Libouš II-sever) provádí hornickou činnost v dobývacím prostoru Tušimice, který se nachází v západní části Severočeské hnědouhelné pánve v území mezi městy Chomutov - Kadaň. Mezi obce, které jsou v těsnější blízkosti lomu Doly Nástup Tušimice (dále jen lom) patří Spořice a Droužkovice na severu a Březno u Chomutova na jihu. Největšími odběrateli uhlí jsou tepelné elektrárny společnosti ČEZ a.s., Tušimice II a Pruněřov II, které se nachází v těsném sousedství lomu.

2.2 Doly Bílina

Důl Bílina se nachází ve východní části severočeské hnědouhelné pánve v blízkosti stejnojmenného města Bílina a provádí hornickou činnost v dobývacích prostorech Bílina, Duchcov, Hrdlovka, Lom II a Pařidla. Hnědouhelná sloj o mocnosti až 45 m je v současnosti dobývána na kótě 20 m n.m. Jedná se tak o nejhlubší místo v České republice, které bylo vybudováno člověkem. Největšími odběrateli uhlí jsou tepelná elektrárna společnosti ČEZ a.s., elektrárna Ledvice (nachází se v těsném sousedství lomu) a maloodběratelé.

3 Historie řešení problematiky a požadavky na systém

Vedení firmy rozhodlo vyvinout systém, který by dokázal v reálném čase pomocí měřených veličin vypočítat prostorovou polohu kola rýpadel. Takový postup znamená realizaci důlně měřických prací (zaměřování lomů, vytyčovací práce) bez důlních měřičů a v reálném čase. Kromě dalších měřických úloh by se měřiči měli podílet na přípravě tohoto zařízení, jeho nastavení a začlenění do systému digitálního modelu lomu a potom na jeho pravidelné kontrole.

Vlastní měřické výkony budou probíhat automaticky bez přítomnosti měřičů a výstupy systému budou „odebírány“ přímo koncovými uživateli např. řidičem velkostroje nebo báňskými technikami, kteří postupy velkostrojů plánují, či kontrolují. Systém pro určení prostorové polohy a výšky kola velkostroje by měl zajišťovat funkce, prováděné dosud standardními měřickými metodami:

- Vytyčování hranice těžebního postupu velkostroje,
- vytyčování nivelety pracovní pláně velkostroje,
- vytyčování objektů, které by mohly být rizikem pro rýpadlo (zapažené vrty, tektonika, stařiny),
- zaměřování realizovaného těžebního postupu velkostroje a jeho průběžná kontrola,

- výpočty objemů odtěžených hmot v reálném čase,
- kontrola výšky řezu s ohledem maxima stanovená technologickými postupy.

To jsou základní měřické úlohy, které může systém nahradit. Jeho velkou výhodou je, že měřické úlohy probíhají v reálném čase. Jako by byl u rýpadla měřič 24 hodin denně a výše uvedené měřické práce nepřetržitě prováděl, což je v praxi nereálné. To vše za předpokladu, že systém pracuje na 100 %.

Bylo stanoveno, že přesnost výpočtů prostorových souřadnic kola bude považována za dostatečnou, bude-li řádově odpovídat přesnosti metody letecké fotogrammetrie. Ta se na Severočeských dolech a.s. používá pro zaměřování lomů a k následné tvorbě důlně měřické mapové dokumentace.

Dále bylo tvůrcům programového vybavení (firma KVASoftware Karlovy Vary) zadáno postupně vytvořit aplikace, které by mohly řešit problematiku v souvislosti s kontrolou a řízením rýpadel např.:

- Analýzy průběhu těžby uhlí a skrývky za uplynulé období včetně vizualizace postupu rýpadla,
- podpora procesu řízení těžby rýpadel (např. krátkodobé prognózy kvalitativních parametrů těženého uhlí),
- aktualizace stavů skrývkových a uhelných řezů (automaticky pro digitální model terénu, poloautomaticky při vytváření důlních map),
- velmi přesné řízení tvorby pojezdové roviny rýpadla a okamžitá kontrola těžebních záměrů,
- výpočty objemů odtěžených hmot v reálném čase.

Bezpečnostní informace:

- Aktuální výška řezů (nutnost dodržet výšku stanovenou v plánu otvírky, přípravy a dobývání),
- vzdálenost kola od vrtů s ponechanou výstrojí (nebezpečí proříznutí gumového pásma pásových dopravníků),
- vzdálenost kola od tektonických poruch (nebezpečí sesuvu),
- aktuální pozice technologie vůči stařinám (nebezpečí propadu do nezavalených důlních prostor).

V roce 2007 byl systém pro měřické sledování polohy, který kontinuálně monitoruje polohu rýpadla, dokončen a bylo jím osazeno rýpadlo K 800 N na uhelném řezu DNT. V dalších letech byla systémem osazena další uhelná rýpadla na DNT. V roce 2014 se systémem pro sledování rýpadel osadila také skrývková rýpadla.

Na lokalitě Bílina se s osazováním systému začalo v roce 2009 na rýpadlech a v roce 2015 na zakladačích. K dnešnímu dni je na Severočeských dolech a.s. osazeno tímto systémem celkem 29 velkostrojů, z toho 6 zakladačů na Bílině (viz Tab. 1).

Tab. 1 Rýpadla a zakladače s GNSS a jejich příslušné pasové dopravníky

	rypadlo	lokalita	pasový dopravník
Doly Nástup Tušimice	1. SchRS1550/ K109	1. SKR. ŘEZ	271 - 261 - 224 - 270
	2. SchRS1320/ K110	2. SKR. ŘEZ	283 - 282 - 281
	3. KU820 / K106	3. SKR. ŘEZ	253 - 203 - 254
	4. KU309/ K64	2. UHEL. ŘEZ	92 - 94 - 59
	5. KU327 / K76	1. UHEL. ŘEZ	19 - 11 - 90
	6. KU322 / K88	2. UHEL. ŘEZ	115 - 124 - 111 - 156
	7. KU329/ K89	2. UHEL. ŘEZ	58 - 64 - 17 - 20 - 14
	8. K800/N1 / K103	1. UHEL. ŘEZ	15
	9. K800/N2/ K104	1. UHEL. ŘEZ	18 - 16
Doly Bílina	10. K10000/ K74	1. SKR. ŘEZ	707 - 708 - 302
	11. KU800/ K105	2. SKR. ŘEZ	506 - 504 - 502 - 516
	12. KU800/ K98	3. SKR. ŘEZ	715 - 755 - 710
	13. KU800/ K99	4. SKR. ŘEZ	515 - 505 - 253
	14. KK1300/ K111	5. SKR. ŘEZ	500 - 513 - 517
	15. K2000/ K101	6. SKR. ŘEZ	525 - 520 - 526
	16. KU300/ K71	"malá" skr. (7.SŘ)	110 - 172 - 174
	17. KU300/ K68	"malá" skr. (7.SŘ)	110 - 172 - 174
	18. KU650/ K108	"malá" skr. (7.SŘ)	110 - 172 - 174
	19. KU300/ K83	3. UHEL. ŘEZ	32 - 58 - (38)
	20. KU300/ K70	2. UHEL. ŘEZ	34 - 39 - 73 - 36
	21. KU300/ K102	1. UHEL. ŘEZ	59 - 31 - 61 - 40
	22. KU300/ K91	4. UHEL. ŘEZ	54 - 35 - 57 , (23)
	23. ZP2500/ Z92	VÝS. 7. skr. řezu	173 - 171
	24. ZP6600/ Z96	VÝS. 2. skr. řezu	923 - 924 - 925 - 926
	25. ZP5500/ Z85	VÝS. 4. skr. řezu	X4 - 250 - 301 - X2
	26. ZP3500/ Z102	VÝS. 5. skr. řezu	503 - 801 - 501
	27. ZP8000/ Z98	VÝS. 6. skr. řezu	522 - 523 - 524
	28. ZP3500/ Z99	PROPL. VÝS.	33
	29. ZPDH6300/ Z103	VÝS. 3. skr. řezu	756 - 557 - 713 - 712

4 Základní komponenty systému a geometrické vztahy na rýpadle

Při povrchovém dobývání hnědého uhlí v České republice se dnes využívá *digitální forma mapové dokumentace*. Na Severočeských dolech a.s. je již od roku 1990 využíván komplexní *digitální model lomu* – firmy KVASoftware s názvem „Báňský model“. Ten zahrnuje nejen digitální model terénu, ale i digitální geologický model vrstev uhelného sousloží a nadloží. Umožňuje tvorbu map a poskytuje prostředky pro nejrůznější výpočty a analýzy potřebné pro plánování a kontrolu provozu lomu.

Na hnědouhelných lomech dochází k nepřetržité změně tvaru povrchu. Pro správnou kontrolu a řízení těžby je potřebné znát skutečné objemy těžeb a mít lom zaměřený co možná nejčastěji.

Na Severočeských dolech a.s. je zaměřování lomů leteckou měřickou fotogrammetrií prováděno až 12 x ročně. Snímkovaná plocha jednoho leteckého náletu je v řádech desítek km². Jsou aktualizovány digitální modely terénu a sítí a prováděny výpočty těžených objemů hmot. Od vyhotovení leteckých snímků, jejich vyhodnocení a aktualizaci digitálních modelů obvykle uběhne několik dní. Pro operativní řízení provozu je to dlouhá doba a je potřeba, aby zpětná vazba byla daleko kratší. Proto byl vyvinut měřický systém pro sledování polohy rýpadel a zakladačů.

Je zřejmé, že budeme-li znát prostorové souřadnice středu osy kola rýpadla, jeho poloměr a tvar, lze definovat hraniční plochy mezi odtěženými a neodtěženými hmotami. Platí zjednodušená zásada: „Tam, kde bylo kolo, nemůže již být hornina“. Nalezení hraničních ploch umožňuje aktualizovat digitální model terénu v reálném čase. Aktualizace digitálního modelu lomu a výpočty objemů v reálném čase, přiřazování aktuální polohy kola k polohově totožným vrstvám nerostu (uhlí) a porovnávání aktuální prostorové polohy kola s projektovanými těžebními návrhy, to jsou hlavní metody a postupy, kterými získáváme informace pro analýzy a následné řízení těžebního procesu. Aby bylo možné prostorové souřadnice kola rýpadel v reálném čase počítat, je nutno vytvořit soustavu měřících přístrojů, jejichž měření k získání potřebných dat pro výpočet povedou. Výběr měřících přístrojů je především ovlivněn potřebou:

- Měřit souřadnice X, Y a Z alespoň dvou bodů na rýpadle a to co možná nejčastěji,
- měřit sklon rýpadla jako celku vůči vodorovné rovině,
- měřit sklon kolesového výložníku vůči vodorovné rovině,
- měřit výsuv kolesového výložníku (u rýpadel s výsuvem).

Pro měření absolutní polohy dvou bodů na pohybujícím se rýpadle je nejvýhodnější použít technologii GNSS. Měření sklonů částí konstrukce rýpadla je zajištěno sklonoměry a výsuv kolesového výložníku (pokud je výsuvný) je měřen prostřednictvím inkrementálního rotačního snímače otáček výsuvu výložníku. Systém pro výpočet prostorové polohy kola se skládá ze tří základních prvků [2]:

- **měřicí segment** (GNSS přijímače, přijímače a čidla, kontrolní jednotka),
- **komunikační segment** (přenos dat),
- **uživatelský segment** (vyhodnocovací software).

Geodetickým měřením přímo na rýpadle byly zjištěny parametry pro odvození matematických vztahů potřebných pro výpočet prostorové polohy středu osy kola rýpadla. Rozmístění jednotlivých měřících přístrojů včetně uvedení konstantních vzdáleností potřebných pro odvození analytického vztahu pro určení prostorové polohy středu osy kola je na Obr. 1 a Obr. 2. Následně bylo potřeba vypracovat vhodný algoritmus [3], který zahrne výsledky měření jednotlivých měřících a měřických přístrojů a povede k výpočtu prostorové polohy středu kola v jakékoliv obecné pozici rýpadla.

Obr. 1 Rýpadlo K800 (legenda: GNSS přijímače (GPS1, GPS2), 3 IRC, 4,5 sklonoměry, 6 vyhodnocovací jednotka, K střed osy kolese).

Obr. 2 Schéma rýpadla K800 s orientačním umístěním měřidel.

V prostředí programu Báňský model byly vytvořeny aplikace, které přinášejí potřebné nástroje pro kontrolu a řízení těžebního procesu. U kolesových rýpadel je důležité dodržet rozměry a tvar těžebního bloku. V modelu „Kabina“ má řidič velkostroje k dispozici nástroje, které mu usnadňují dodržení stanovené nivelety těžbou vytvářené pracovní pláně a plošného rozsahu těžby. Údaje o polohové a výškové pozici kola každých 5 vteřin mu poskytují okamžitou zpětnou vazbu. To je důležité jak pro naplnění celkové koncepce těžby, tak i pro odvodnění důlních děl. Údaj VŘ: 12,2 m na obrázku 3 je aktuální výška řezu. To pomáhá dodržení předepsané mezní výšky řezu, což má pozitivní vliv na stabilitu svahu.

59

Toto grafické zobrazení, ale ve zjednodušené formě, má k dispozici řidič velkstroje na monitoru přímo v kabině řidiče.

Systém sledování prostorové polohy středu kola v reálném čase pomáhá velmi kvalitně splnit jeden relativně nový úkol. Jedná se o tvorbu mapové dokumentace v souvislosti s úhradami z vydobytých nerostů dle zákona č. 225/2017 Sb., kterým se mění zákon č. 44/1988 Sb. o ochraně a využití nerostného bohatství (Horní zákon). Tento zákon upravuje úhradu z těžby hnědého uhlí povrchově tak, že dílčí základ úhrady z hnědého uhlí dobývaného povrchovým způsobem tvoří množství tepla obsaženého ve vydobytém hnědém uhlí v kalendářním roce. Systém umožňuje získat stav uhelných řezů přesně k 31.12., 24:00 hod. běžného roku, a to vytvořením vektorové mapy k tomuto okamžiku z prostorově vizualizovaného modelu stavu řezu. Najetím na jakýkoliv bod tohoto prostorového zobrazení řezu (na Obr. 4 modře) lze získat souřadnice X, Y a Z a vytvořit vektory například horní a spodní hrany řezu. Takto „vyhodnoceným“ novým stavem lze aktualizovat základní model k určitému datu i mimo termín standardního vyhodnocení pomocí letecké fotogrammetrie a vytvořit příslušnou mapovou dokumentaci.

Obr. 4 Princip digitalizace stavu uhelného řezu – rýpadlo KU300.40/102 dne 1. 10. 2019 v 11:52 hod ve 3D.

6 Přesnost systému

V roce 2018 byl v rámci diplomové práce: „Analýza metod měření pro účely výpočtu objemů odtěžených hmot na Dolech Nástup Tušimice“ proveden výpočet kubatur postupu dvou kolesových rýpadel typu K 800 N s provozním označením K800/N1 – K103 a K800/N2 – K104 za období 30. 1. 2018 až 8. 3. 2018. Zaměření proběhlo technologií GNSS a metodou letecké fotogrammetrie.

Pro výpočet objemů odtěžených hmot byl použit software Báňský model, jehož hlavní princip výpočtů objemů vychází z existence dvou 3D ploch, které jsou geometricky definovány trojúhelníkovými sítěmi. Element výpočtu je vždy kolmý trojboký hranol s obecnými rovinnými základnami. Schéma takového hranolu je zobrazeno na Obrázku 5. Celkový objem je podle [5] pak dán součtem elementárních objemů všech prvků trojúhelníkové sítě.

Obr. 5 Trojboký hranol – základní prvek výpočtu objemů v Báňském modelu.

Výpočtová tělesa v 3D zobrazení jsou znázorněna na Obr. 6 a Obr. 7.

Obr. 6 Výpočtové těleso kolesového rýpadla N1.

Obr. 7 Výpočtové těleso kolesového rýpadla N2.

Pro kontrolu byly objemy vypočteny metodou svislých rovnoběžných řezů, kdy vzdálenost mezi jednotlivými profilem byla 10 m. U obou postupů vzniklo jedno zbytkové těleso, jehož objem byl vypočten nejpodobnějším geometrickým tělesem.

Vypočtené objemy byly vzájemně porovnány. Jako referenční byla použita data letecké fotogrammetrie, jelikož její přesnost byla už několikrát na DNT testována a při vyhodnocování se nemusí naměřené body opravovat. V případě systému pro měřické sledování polohy kola rýpadla byla použita data pro rýpadlo N1 z období 30. 1. – 8. 3. 2018 a pro rýpadlo N2 od 21. 2. – 8. 3. 2018. Tato data byla stanovena jako data, kdy rýpadlo v daném období začalo těžit měřený blok uhelné sloje. Porovnání výsledných objemů je uvedeno v Tab. 2.

Tab. 2 Porovnání výsledných objemů.

Rýpadlo	Měřická metoda	Výsledný objem	Rozdíl	Procentuální vyjádření rozdílu
		[m³]	[m³]	[%]
N1	Letecká fotogrammetrie (V _{FG})	87487		
N2		64058		
			V _{FG} - V _{RTK}	
N1	RTK (V _{RTK})	85514	1973	2,26
N2		63266	792	1,24
			V _{FG} - V _{SYS}	
N1	Systém pro měřické sledování polohy kola rýpadla (V _{SYS})	88597	1110	1,27
N2		66106	2048	3,20
			V _{FG} - V _{SRR}	
N1	Svislé rovnoběžné řezy (V _{SRR})	89471	1984	2,27

7 Závěr

Měřický systém pro určování středu osy kola rýpadla v reálném čase se osvědčil za více než deset let svého nasazení v praxi při povrchové těžbě hnědého uhlí za svůj praktický význam. V současné době (01/2022) je systém nasazen na všech 22 rýpadlech Severočeských dolů a.s. Na Dolech Bílina je obdobným systémem vybaveno navíc i 6 zakladačů. Analýzy dosažené přesnosti [3] prokazují vyhovující přesnost systému (odpovídá vyhlášce ČBÚ č. 435/1992 Sb. i potřebám organizace). Systém je skvělým pomocníkem řidičů velkostrojů, řídících pracovníků výroby, techniků přípravy výroby a v neposlední řadě i měřičů a geologů.

Literatura

[1] Hornická ročenka 2017

[2] VRUBEL, M., SLÁDKOVÁ, D., TALÁCKO, M.: *New possibilities of GPS technology in mine surveying. In Proceedings of the 13th International Congress of ISM. Budapest, 2007, ISBN 978-963-9038-18-9*

[3] VRUBLOVÁ, D.: *Sledování a řízení těžební těžební technologie na hnědouhelných lomech měřickými metodami. Habilitační práce, 2014.*

[4] SLÁDKOVÁ, D., KAPICA, R., VRUBEL, M.: *Global navigation satellite system (GNSS) technology for automation of surface mining, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, Taylor & Francis 25:3, 284-294, ISSN 1748-0930 (Print), 1748-0949 (Online)*

[5] MAŇAS I.: *Báňský model v 2005, Uživatelská příručka*

Recenzováno: 13. 1. 2022