

## Nowoczesne maszyny wyciągowe i ich wyposażenie na przykładzie efektów współpracy ITG KOMAG z przemysłem

### Streszczenie

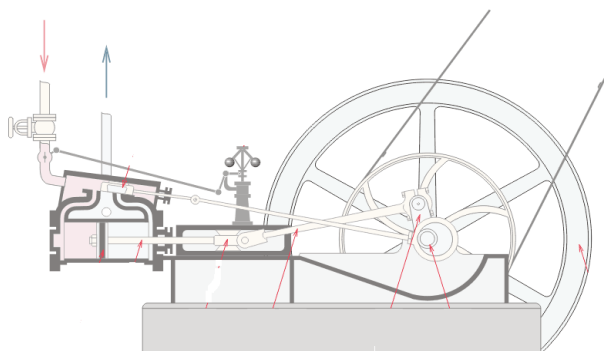
W artykule przedstawiono rozwój maszyn wyciągowych górniczych wyciągów szybowych będący efektem współpracy KOMAG-u z ich producentami i użytkownikami. Omówiono wybrane konstrukcje maszyn wyciągowych i ich podzespołów, jak również zaprezentowano rozwój metod stosowanych do ich projektowania.

### Summary

Development of hoisting machines, which is the result of collaboration between KOMAG and manufacturers and users of these machines, is presented. Selected structures of machines and their sub-assemblies are discussed as well as development of the methods used for their designing is presented.

## 1. Wprowadzenie

Początek XX w. to era maszyn z napędem parowym, które znalazły również zastosowanie w transporcie pionowym, w górniczych wyciągach szybowych (rys. 1). Ostatnie takie urządzenia wyłączone z ruchu w polskich kopalniach pod koniec XX w. Obecnie stanowią one eksponaty muzealne m.in. w Kopalni Soli „Bochnia” przy szybie Campi (rys. 2), w Skansenie Kopalnia Królowa Luiza w Zabrzu oraz KWK „Rydułtowy”.



Rys.1. Schemat maszyny parowej [11]



Rys.2. Maszyna wyciągowa z silnikiem parowym [12]

Wraz z rozwojem polskiego górnictwa, rozwijano konstrukcje maszyn wyciągowych górniczych wyciągów szybowych. Pojawiły się nowe rozwiązania maszyn wyciągowych oparte na napędach elektrycznych.

Na przestrzeni kilkudziesięciu lat maszyny wyciągowe przeszły duże przeobrażenie. Początkowo były to maszyny w zdecydowanej mierze mechaniczne, wyposażone w silniki elektryczne z zastosowaniem nielicznych elementów sterujących - elektrycznych. W maszynach stosowano mechaniczne układy sterowania o złożonych konstrukcjach kinematycznych, które umożliwiały sterowanie ze stanowiska maszynisty elementami wykonawczymi znajdującymi się w pobliżu maszyny, poprzez określone przemieszczanie dźwigni mechanicznych [7].

Obecnie maszyna wyciągowa w zakresie konstrukcji mechanicznej składa się z części nośnej tj.: linopędni, wału, łożyskowania, hamulca, przekładni, sprzęgieł i elementów pośrednich do podłączenia elementów elektrycznych, takich jak: tachoprądnice, impulsatory i inne czujniki, umożliwiające kontrolę i sterowanie maszyny. Elementy do kontroli stanu działania maszyny, jak również sterowania np. hamulcem, to układy elektromechaniczne, z którymi komunikacja pomiędzy ich lokalizacją na obiekcie, a stanowiskiem maszynisty, realizowana jest na drodze elektrycznej.

Eksplloatowane w Polsce maszyny wyciągowe w około 300 górniczych wyciągach szybowych są zróżnicowane pod względem konstrukcji, co wynika głównie z ich przeznaczenia, jak również daty oddania do eksploatacji. Z analiz wynika, że około 18% maszyn wyprodukowano do roku 1945 r., 52% maszyn wyprodukowanych zostało w latach 1946-1980, a pozostałe 32% maszyn to maszyny stosunkowo nowe, wyposażone w nowoczesne układy sterownia i zasilania

wyprodukowane po 1980 r. [2]. Uwzględniając czas eksploatacji i zakładając dalszy kilkunasto- lub kilkudziesięcioletni okres dalszego użytkowania szybu zaleca się aby [8]:

- maszyny wyciągowe wyprodukowane do 1945 r. zastępować nowymi,
- maszyny wyprodukowane w latach 1946-1980, zastępować nowymi lub modernizować (w przypadku braku jakichkolwiek przesłanek niedoskonałości części mechanicznej) w zakresie układów zasilania i sterowania,
- maszyny wyciągowe wyprodukowane po 1980 r. poddawać modernizacji, wdrażając nowocześniejsze podzespoły i nowe rozwiązania podnoszące bezpieczeństwo prowadzenia ruchu.

Okres amortyzacji maszyn wyciągowych wynosi 25-30 lat, stąd chcąc zachować właściwy poziom techniczny górniczego wyciągu szybowego, wysoki poziom niezawodności maszyny wyciągowej oraz wymagany poziom bezpieczeństwa prowadzenia ruchu, winno się je po wyżej wymienionym okresie wymieniać na nowe.

## 2. Systemy nośne maszyn wyciągowych

W górniczym transporcie pionowym stosowane są dwa systemy przeniesienia za pomocą liny ruchu obrotowego linopędni na ruch liniowy naczyń wyciągowych zawieszonych na linach:

- system bębnowy – nawojowy z liną okrągłą oraz bobinowy – nawojowy z liną płaską,
- system typu Koepe wykorzystujący sprzężenie cierne pomiędzy liną, a kołem pędnym.

Systemy bębnowe maszyn wyciągowych są bardzo zróżnicowane, a ich rozwiązania dostosowywano do stawianych im wymagań transportowych i rozwiązań technicznych układów napędowych. Są one bardzo uniwersalne i można je stosować w różnych konfiguracjach, do określonych wymagań transportowych. Systemy bębnowe nawojowe przyjmują dwie postacie:

- jednobębnowe: jedno- lub dwulinowe,
- dwubębnowe, dwulinowe - najczęściej z możliwością rozsprzęgania bębnow i ich przestawiania względem siebie, umożliwiając dopasowanie położenia naczyń wyciągowych w szybie do obsługi różnych poziomów wydobywczych.

Najpowszechniej stosuje się bębny o kształcie cylindrycznym, ale wdrożono również bębny o kształcie cylindryczno-stożkowym, które posiadają dwie powierzchnie cylindryczne, o różnych średnicach, połączone powierzchniami stożkowymi. Takie, dwulinowe rozwiązanie powoduje zmniejszenie momentu obciążenia silnika podczas rozruchu maszyny, unikając tym samym konieczności stosowania liny wyrównawczej. Wadą takiego rozwiązania jest jednak konstrukcja bębna cylindryczno-stożkowego, zwłaszcza w części stożkowej i konieczność zapewnienia właściwego

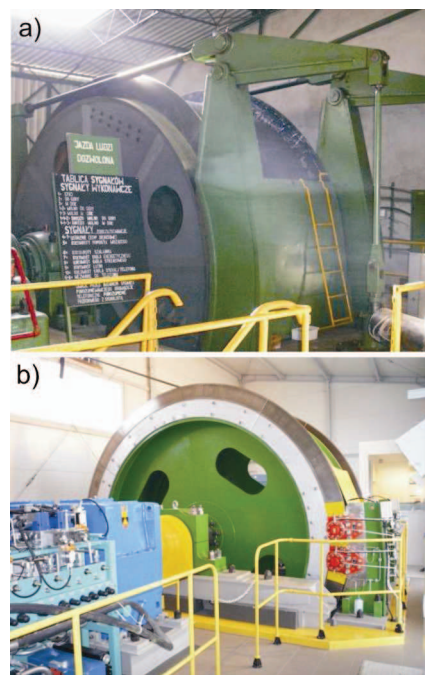
nawijania liny nośnej na tej powierzchni. W tym rozwiązaniu można stosować wyłącznie jednowarstwowe nawijanie liny, co istotnie wpływa na gabaryty maszyny. W krajowych współczesnych maszynach wyciągowych bębnowych nawojowych stosuje się wyłącznie bębny cylindryczne z nawijaniem w rowkach równoległych do obrzeży strefy nawojowej z dwoma przejściami rowków skośnych na obwodzie, według systemu LeBus. Rozwiązanie to pozwala na realizowanie wielowarstwowego nawijania liny na bębnie.

W przeciwieństwie do systemów bębnowych system typu Koepe z ciernym sprzężeniem liny z linopędną jest bardziej wrażliwy na stawiane mu wymagania ruchowe. Najlepiej sprawdza się przy głębokościach ciągnięcia pomiędzy 400 m, a 1500 m, a jego zaletą jest zwarta budowa i stosunkowo niska masa w porównaniu z systemem bębnowym.

Przykładami nowoczesnych maszyn wyciągowych, zastępujących maszyny z przed kilkudziesięciu lat, są maszyny zaprojektowane w części mechanicznej w ITG KOMAG, a zaprojektowane w części elektrycznej i wyprodukowane przez firmę MWM Elektro Sp. z o.o.:

- maszyna wyciągowa B-4300/DC - 8 m/s,
- maszyna wyciągowa K-6000/DC - 16 m/s,
- maszyna wyciągowa BB-2500/AC - 4 m/s.

Maszyna wyciągowa B-4300/DC-8 m/s jest maszyną jednobębnową przeznaczoną zwłaszcza do głębin szybów. Zastąpiła ona zaprojektowaną w latach 60-tych ubiegłego wieku maszynę typu B-5000/2×1000 kW. Porównanie parametrów obu typów maszyn (rys. 3) przedstawiono w tabeli 1.



Rys.3. Maszyna wyciągowa jednokońcowa do głębin szybów; a) stara maszyna B-5000/2×1000, b) nowa maszyna B-4300/DC-8 m/s (2×1043 kW)

## Zestawienie parametrów maszyn [9]

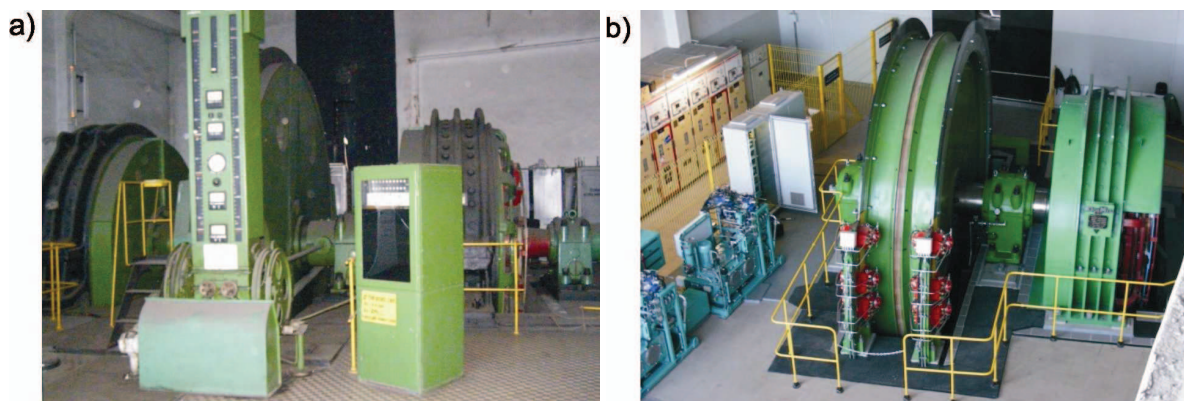
Tabela 1

Wielkość charakterystyczna	B-5000/2x1000	B-4300/DC-8 m/s
Średnica linopędni	5000 mm	4300 mm
Moc zainstalowana	2x1000 kW	2x1043 kW
Maksymalna siła w linie	226 kN (180 kN)	240 kN
Maksymalna prędkość ciągnięcia	8 m/s	8 m/s
Maksymalna głębokość ciągnięcia	1000 m (1200 m)	1500 m
Hamulec maszyny	Pneumatyczno-obciążnikowy	Hydrauliczny
Zespół napędowy hamulca	2 x HOP-V	8 par x BSFG-408
Masa maszyny	162 000 kg	85 000 kg

## Zestawienie parametrów maszyn [9]

Tabela 2

Wielkość charakterystyczna	K-6000/1340	K-6000/DC-16 m/s
Średnica linopędni	6000 mm	6000 mm
Moc zainstalowana	1340 kW	2000 kW
Maksymalna siła w linie	340 kN	420 kN
Maksymalna nadwaga statyczna	350 kN	300 kN
Maksymalna prędkość ciągnięcia	10 m/s	16 m/s
Maksymalna głębokość ciągnięcia	365 m	865 m
Hamulec maszyny	Pneumatyczno-obciążnikowy	Hydrauliczny
Zespół napędowy hamulca	1 x SSW	6 par x BSFG-408
Masa maszyny	brak danych	79 500 kg

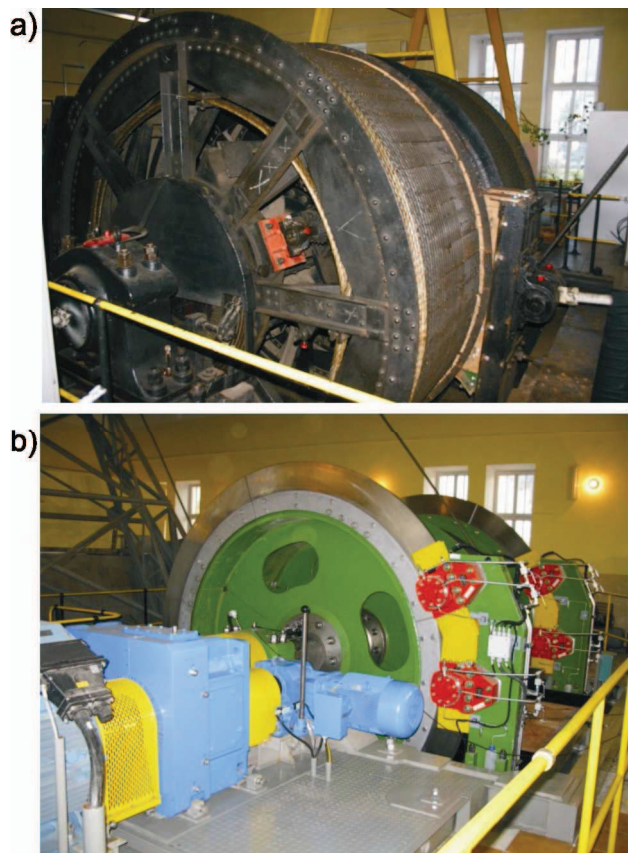


Rys.4. Maszyna wyciągowa szybu Piotr KWK Mysłowice-Wesoła;  
a) stara maszyna K-6000 CKD, b) nowa maszyn K-6000/DC-16 m/s

Maszyna wyciągowa K-6000/DC-16m/s jest maszyną jednolinową typu Koepe, zabudowaną na zrębie szybu, stosowaną w wyciągu szybowym do prowadzenia transportu urobku oraz materiałów i jazdy ludzi. Zastąpiła ona zbudowaną w 1959 r. maszynę typu K-6000/1340 produkcji CKD. Porównanie parametrów obu typów maszyn (rys. 4) przedstawiono w tabeli 2.

Maszyna wyciągowa BB-2500/AC-4 m/s jest maszyną dwubębnową dwulinową, przeznaczoną z racji jej zainstalowania w górniczym wyciągu szybowym Kopalni Soli Wieliczka zwłaszcza do przewozu ludzi w ruchu turystycznym, co nie wyklucza możliwości transportu materiałów oraz urobku.

Maszyny tego typu zainstalowano w szybie Kinga i szybie Daniłowicz. Porównanie parametrów nowej maszyny z maszyną dotychczas stosowaną (rys. 5) przedstawiono w tabeli 3.



Rys.5. Maszyna wyciągowa szybu Kinga Kopalni Soli „Wieliczka”; a) stara maszyna BB-3200/160, b) nowa maszyna BB-2500/AC-2 m/s

Zestawienie parametrów maszyn [9]

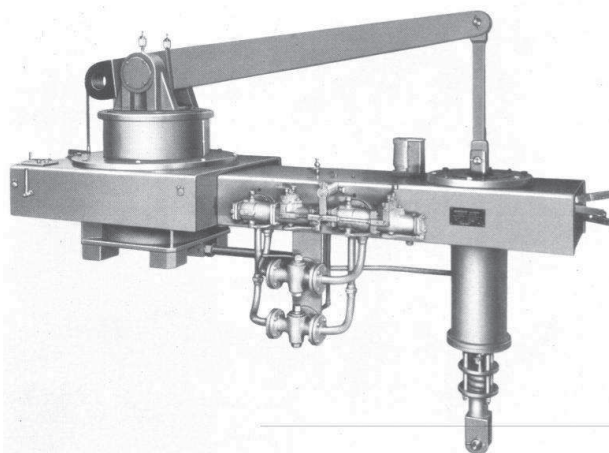
Tabela 3

Wielkość charakterystyczna	BB-3200/200	BB-2500/AC-4 m/s
Średnica linopędni	3200 mm	2500 mm
Moc zainstalowana	200 kW	160 kW
Maksymalna siła w linie	67 600 N	63 000 N
Maksymalna nadwaga statyczna	28 600 N	30 000 N
Maksymalna prędkość ciągnięcia	4 m/s	4 m/s
Maksymalna głębokość ciągnięcia	300 m	300 m
Napęd hamulca	Pneumatyczno-obciążnikowy	Hydrauliczny
Zespół napędowy hamulca	1 × SSW	4 pary × BSFG-405
System rozsprężania bębnow	Mechaniczny-ręczny	Sprężynowo-hydrauliczny - automatyczny
Masa maszyny	ok. 45 000 kg	37 500 kg

### 3. Rozwój układów sterowania hamulców maszyn wyciągowych

Hamulce maszyn wyciągowych składają się z części wykonawczej (siłowej) oraz sterowniczej. W celu bezpiecznego prowadzenia ruchu górniczym wyciągiem szybowym konieczne jest zapewnienie wysokiego stopnia niezawodności działania hamulca maszyny wyciągowej.

Stosowane w maszynach wyciągowych hamulce wykonywane były początkowo jako szczękowe bębnowe. W najstarszych rozwiązaniach tego typu hamulców, jedynym źródłem siły hamującej było grawitacyjne oddziaływanie obciążników na układ szczękowy hamulca. Następnie rozwinęły się systemy napędów hamulcowych z pneumatycznymi i obciążnikowymi źródłami siły, z najbardziej rozpowszechnionym systemem dwuosiowym SSW (firmy Siemens, rys. 6) i od lat 60-tych XX w. popularnym w polskim górnictwie jednoosiowym pneumatyczno-obciążnikowe systemem typu HOP (rys. 7). Pojawiły się również w kraju nieliczne maszyny, wyposażone w jednoosiowe sprężynowe oraz sprężynowo-obciążnikowe odwodzone pneumatycznie napędy hamulcowe.



Rys.6. Napęd hamulcowy pneumatyczno-obciążnikowy typu SSW [7]



Rys.7. Napędy hamulcowe pneumatyczno-obciążnikowe typu HOP [9]

Maszyny wyciągowe z pneumatyczno-obciążnikowymi napędami hamulców i bieźniami cylindrycznymi z powodzeniem wdrażano do lat 70-tych XX w., kiedy to pojawiły się nowoczesne hamulce tarczowe. Głównymi zaletami hamulców tarczowych z siłownikami hamulcowymi, w których siłę docisku uzyskuje się dzięki oddziaływaniu pakietów sprężyn talerzowych, a ich odwodzenie od tarczy hamulcowej realizowane jest hydraulicznie, była m.in.: zwarta kompaktowa budowa, możliwość swobodnego konfigurowania hamulca, uzyskiwanie dużych sił hamujących, co pozwalało stosować je przy coraz wyższych parametrach ruchowych górniczych wyciągów szybowych.



Rys.8. Maszyna wyciągowa z hamulcem szczękowym i napędem pneumatyczno-obciążnikowym [9]

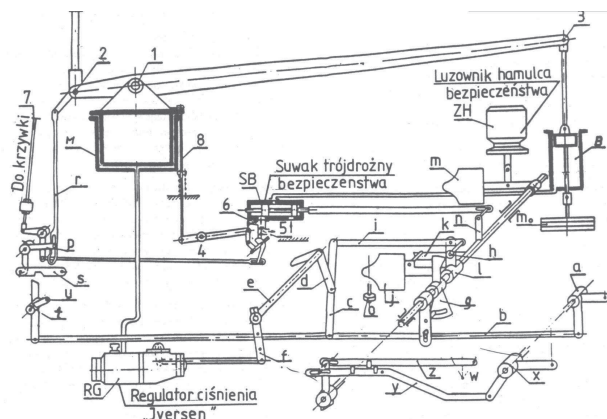


Rys.9. Maszyna wyciągowa z hydraulicznym hamulcem tarczowym [9]

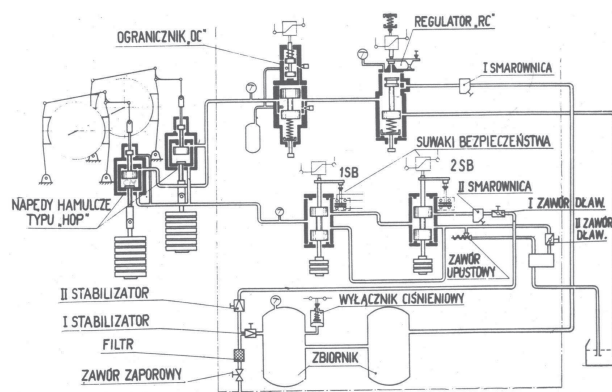
Obecnie w Polsce około 60% maszyn wyciągowych wyposażonych jest jeszcze w hamulce sterowane pneumatycznie z bieźniami cylindrycznymi (rys. 8), a około 40% maszyn to maszyny wyposażone w hamulce tarczowe odwodzone hydraulicznie (rys. 9).

Doświadczenia z wieloletniego stosowania hamulców ze sterowaniem pneumatycznym, zaowocowało opracowaniem i wdrożeniem coraz doskonalszych układów ich sterowania. Począwszy od najstarszych, w których sterowanie odbywało się za pomocą układów dźwigniowych mechanicznych z elementami pneumatycznymi (rys. 10), poprzez wersję pośrednią, w której

wdrażano elementy elektropneumatyczne, aż do układów sterowania wyposażonych wyłącznie w elementy elektropneumatyczne (rys. 11).



Rys.10. Schemat mechaniczno-pneumatycznego zespołu sterowania hamulca [7]



Rys.11. Schemat elektropneumatycznego zespołu sterowania hamulca typu ZEP [7]

To ostatnie rozwiązanie pozwoliło w pełni oddzielić połączenie, na drodze mechanicznej, elementów wykonawczych układu sterowania od pulpitu maszynisty wyciągowego. Pierwszym w Polsce w pełni elektropneumatycznym zespołem sterowania był zespół ZEP. W zakresie swojej budowy i wykorzystywanych w nim elementów elektropneumatycznych ewoluował na przestrzeni lat 60-tych i 70-tych XX w. Zbudowany był on, w zdecydowanej większości, z elementów projektowanych i produkowanych wyłącznie do tego typu maszyn. Pneumatyczne zawory stosowane w hamulcach maszyn wyciągowych charakteryzowały się dużymi gabarytami. Wynikało to z faktu, że wymagane wielkości przepływów powietrza były duże, ze względu na powierzchnie, a tym samym pojemności cylindrów napędów hamulcowych. Średnice tych cylindrów osiągały wartości nawet do 750 mm.

Pomimo coraz szerszego wdrażania maszyn wyciągowych z hamulcami tarczowymi sterowanymi hydraulicznie, to maszyny z hamulcami sterowanymi pneumatycznie nadal stanowią znaczący udział w eksploatowanych maszynach. Dlatego też, nadążając za szybkim rozwojem układów sterowania

opartych na sterownikach programowalnych oraz wykorzystując rozwój elementów elektropneumatycznych, KOMAG wraz z producentem OPA-ROW sp. z o.o. pod koniec lat 90-tych XX w. rozpoczął prace nad nowym zespołem sterowania. W efekcie, na początku XXI w. pojawił się nowoczesny zespół sterowania ZSHP (rys. 12) przeznaczony do maszyn wyciągowych wyposażonych w napędy pneumatyczno-obciążnikowe. Na bazie doświadczeń opracowano również zespół sterowania ZSHP-SO do maszyn wyciągowych wyposażonych w sprężynowo-obciążnikowe napędy hamulcowe odwodzone pneumatycznie (rys. 13).

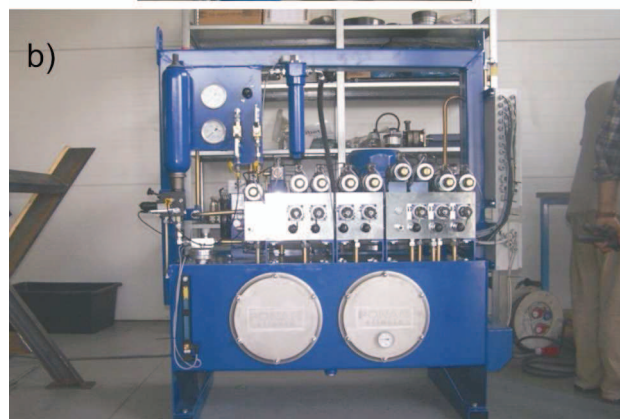
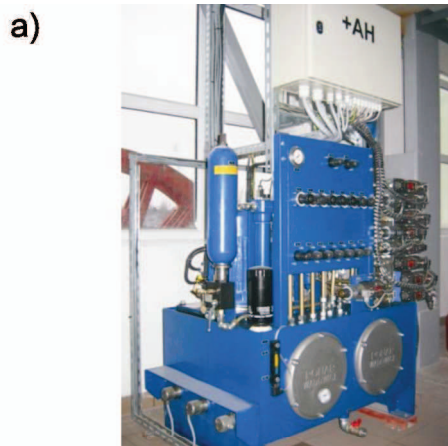


Rys.12. Zespół sterowania ZSHP [10]



Rys.13. Zespół sterowania ZSHP-SO [10]

Do hamulców odwodzonych hydraulicznie wiele krajowych firm opracowało własne układy zasilająco-sterujące. Jedną z nich jest firma ELCAM Sp. z o.o., która jest producentem zespołu typu EL (rys. 14), opracowanego wspólnie z ITG KOMAG.



Rys.14. Elektrohydrauliczny zespół zasilająco-sterujący hamulca maszyny wyciągowej [10]; a) Zespół sterowania EL-2, b) Zespół sterowania EL-3

Praktycznie wszystkie nowe zespoły sterowania hamulców, tak pneumatycznych jak i hydraulicznych, charakteryzują się realizowaniem tzw. dwuwariantowego hamowania bezpieczeństwa, co rozszerza ich zakres stosowania, a jednocześnie daje większą swobodę dopasowywania parametrów hamowania, w zależności od warunków ruchu.

#### 4. Rozwój metod projektowania maszyn wyciągowych

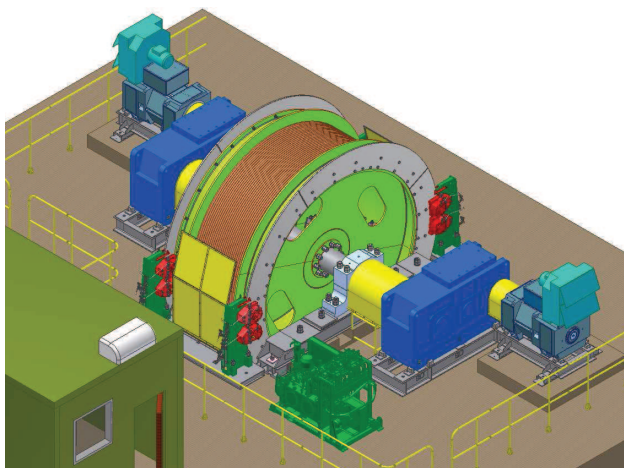
Projektowanie maszyn wyciągowych, uległo głębokiej przemianie. Wdrożono nowoczesne metody projektowania wspomagane komputerowo. W zakresie części mechanicznej, stopień złożoności konstrukcji maszyny wyciągowej uległ uproszczeniu, a to za sprawą stosowania nowoczesnych handlowych elementów, zwłaszcza w strukturze układów sterowania i kontroli ruchu maszyny oraz sterowania hamulca. Obecnie część mechaniczną maszyny wyciągowej stanowi jej część nośna. Projektowanie sprowadza się zatem do opracowania:

- zestawu wału głównego, którego integralnymi elementami jest linopędnia, wał główny i łożyska,
- hamulca z handlowymi siłownikami hamulcowymi,

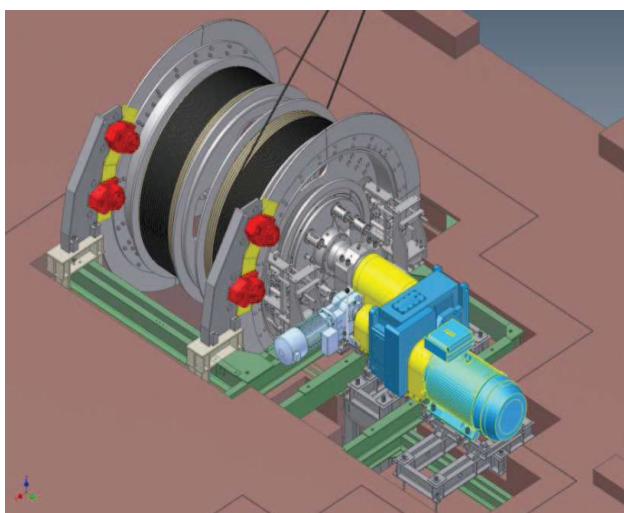
- konfiguracji zespołu napędowego maszyny, bazującego zazwyczaj na podzespołach handlowych np. przekładnie, sprzęgła,
- ram, barier i osłon,
- podłączenia do zestawu wału głównego elementów odwzorowujących położenie naczyń wyciągowych w układzie kontrolnym i sterującym maszyny.

Zastąpienie desek kreślarskich nowoczesnym oprogramowaniem do wirtualnego prototypowania (np. Autodesk Inventor Series) skróciło czas projektowania, a jednocześnie umożliwiło, już na tym etapie wyeliminowanie szeregu błędów. Modele przestrzenne 3D (rys. od 15 do 19) znacznie ułatwiają prace projektowe, gdyż dzięki wizualizacji obiektu stworzono możliwości analizowania konstrukcji na różnych płaszczyznach przestrzeni projektowej.

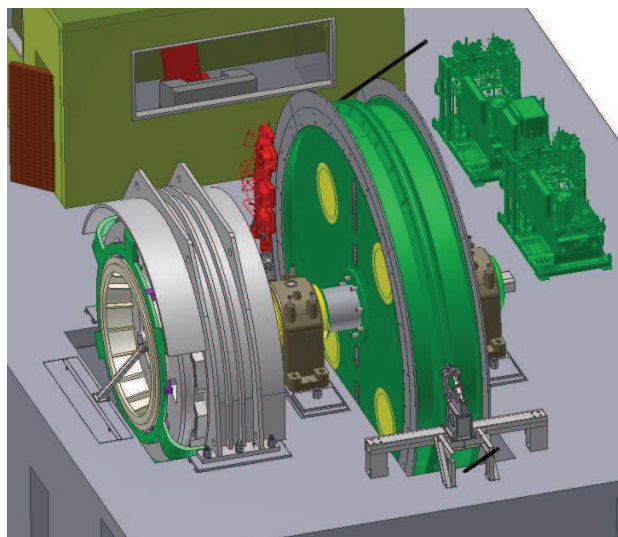
Dzięki modelom przestrzennym potencjalny nabywca maszyny lub urządzenia może przed podjęciem decyzji o uruchomieniu inwestycji zobaczyć przyszły wyrób. Modele 3D służą również jako materiał dydaktyczny uczniom, studentom, jak i młodym pracownikom zakładów górniczych.



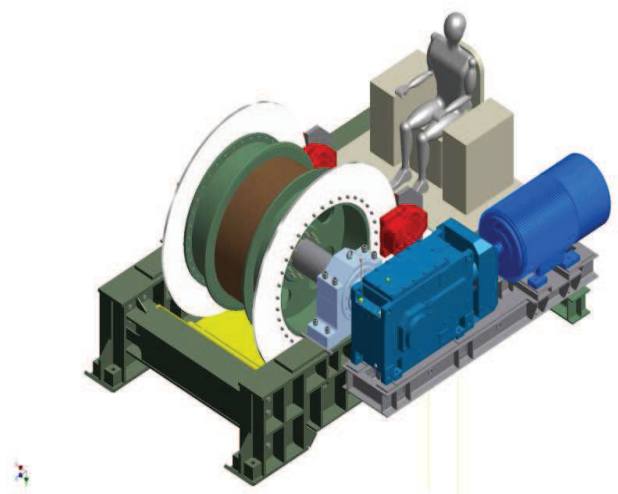
Rys. 15. Model 3D maszyny B-4300/DC-8 m/s [9]



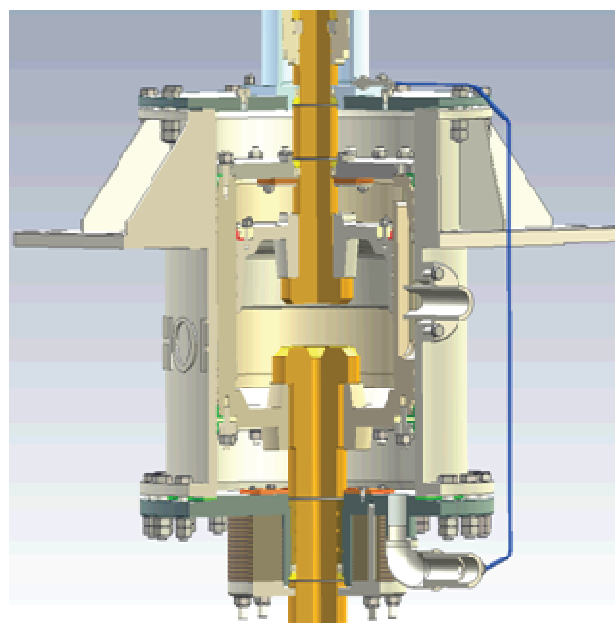
Rys. 16. Model maszyny BB-2500/DC-4 m/s [9]



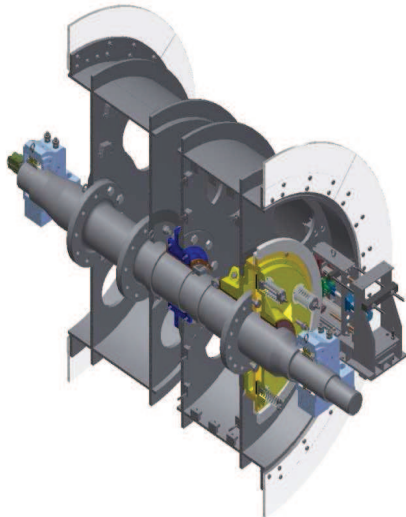
Rys. 17. Model 3D maszyny K-6000/DC-16 m/s [9]



Rys. 18. Model 3D maszyny B-1500/Ex/AC-2 m/s [9]



Rys. 19. Model 3D napędu hamulcowego HOP [9]



Rys.20. Model 3D mechanizmu rozsprężania bębna [9]

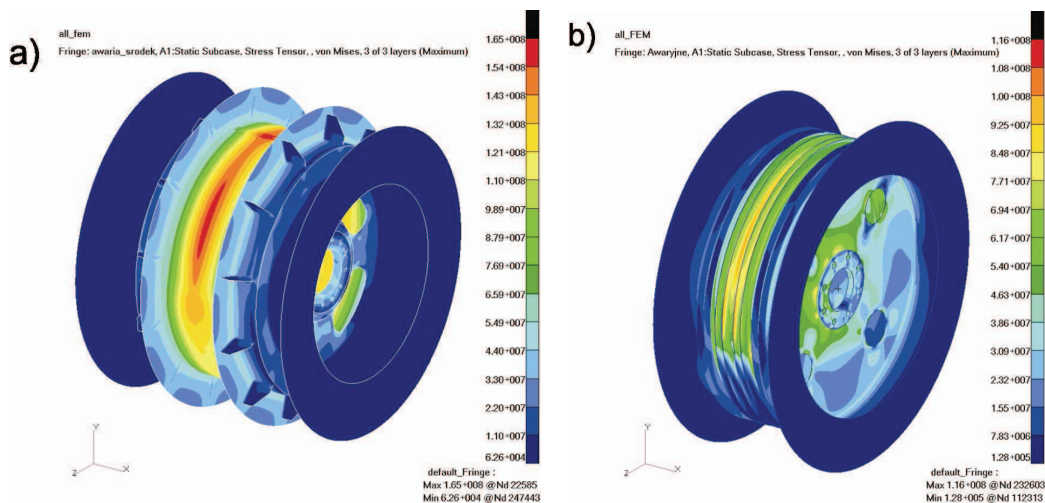
Proces projektowania udoskonalono również poprzez zastosowanie nowoczesnych narzędzi do analiz numerycznych, zwłaszcza w zakresie wyznaczania wytrzymałości konstrukcji. Do analiz szczególnie ważnych elementów maszyny wyciągowej, o złożonej budowie, bardzo przydatnym narzędziem jest metoda elementów skończonych MES. W projektowaniu maszyn wyciągowych stosowana jest ona obecnie najczęściej do analiz wytrzymałościowych linopędni. Przykłady wyników takich obliczeń w postaci map rozkładu naprężeń przedstawiono na rysunku 21.

W odniesieniu do elementów maszyn wyciągowych, takich jak: wały, korpusy łożysk, ramy, stojaki hamulcowe, jak również elementy dźwigniowe układów hamulcowych, stosuje się, tradycyjne analityczne metody obliczeniowe. Metody te są skuteczne i wystarczające do oceny wytrzymałości wyżej wymienionych elementów. Stosowanie metody elementów skończonych jest w tych przypadkach nieuzasadnione,

ze względu na czasochłonność przygotowania modelu obliczeniowego.

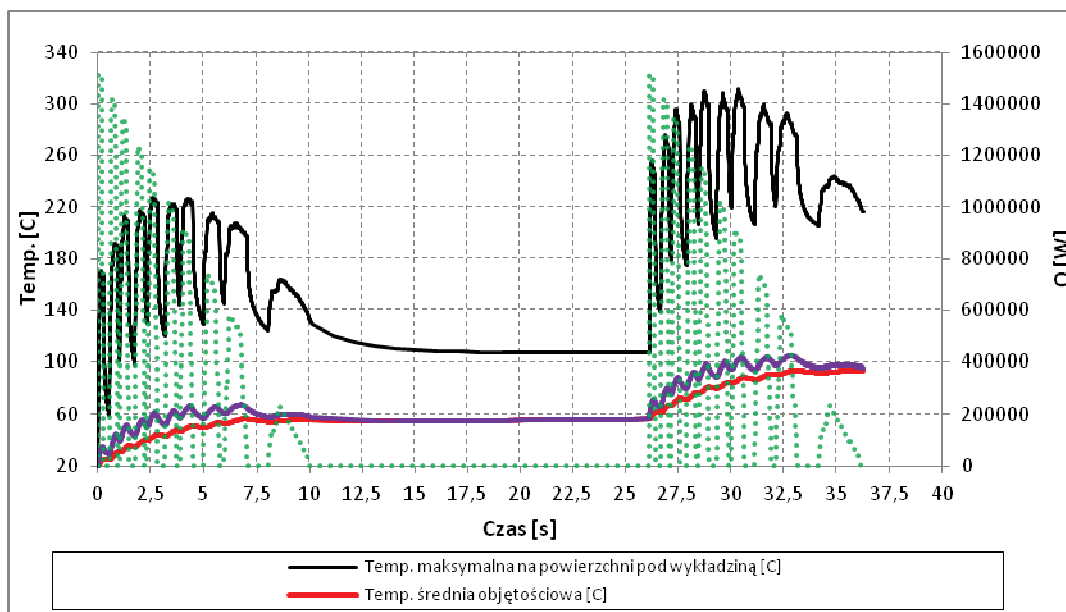
Nowością w wykorzystaniu metody elementów skończonych jest możliwość prowadzenia analiz zjawisk cieplnych zachodzących w parach ciernych hamulców maszyn wyciągowych. Opracowana w KOMAG-u, w ramach projektu badawczego rozwojowego [4], finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, metoda obliczeniowa oparta na MES umożliwia, już na etapie projektowania, prognozowanie nagrzewania się tarcz hamulcowych w trakcie realizowania tzw. „hamowania bezpieczeństwa” i określanie wpływu ciepła na deformacje tarcz hamulcowych. Zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia w odniesieniu do maszyn o coraz większych parametrach ruchowych. Rosnące prędkości ruchu maszyn wyciągowych oraz wielkości transportowanych ładunków powodują wzrost energii będącego w ruchu wyciągu szybowego, którą w sytuacjach awaryjnych należy wytracić w trakcie hamowania hamulcem mechanicznym. Wyniki analiz zjawisk cieplnych pozwalają konfigurować układ hamulcowy, jego parametry działania, jak również kształtować geometrię, zwłaszcza tarcz hamulcowych [5].

Na rysunku 22 przedstawiono przykładowy wynik analizy numerycznej przeprowadzonej dla dwóch posobnych „hamowań bezpieczeństwa”, w maszynie poruszającej się z prędkością 16 m/s. Na rysunku przedstawiono temperaturę w funkcji czasu hamowania: maksymalną na powierzchni tarczy, średnią powierzchniową oraz średnią objętościową, w tarczy hamulcowej o grubości 30 mm, na którą oddziałują 12 par siłowników. Na rysunku 23 przedstawiono przykładową mapę rozkładu pola temperatury na powierzchni segmentu tarczy hamulca dla chwili czasu  $t = 30$  s z rysunku 22.



Rys.21. Mapy rozkładu naprężeń w linopędni maszyny wyciągowej – przykład [9];  
a) bęben nawojowy B-1500, b) linopędnia typu Koepe 4L-4000

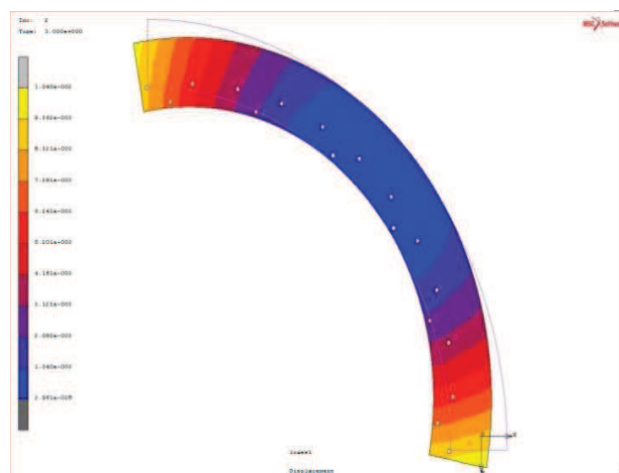




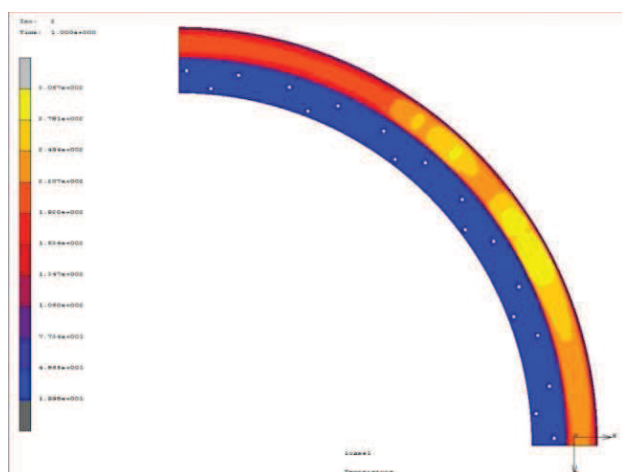
Rys.22. Zmiany wartości temperatury w segmencie tarczy w funkcji czasu, dla dwóch posobnych „hamowań bezpieczeństwa” - 12 par siłowników na 1 tarczę, segment tarczy grubości 30 mm [6]

Po przeprowadzeniu analiz obliczeniowych nagrzewania się tarcz hamulcowych w trakcie hamowania maszyny, w oparciu o uzyskane wyniki obliczeń można przeprowadzić analizy strukturalne celem określenia deformacji tarczy (segmentu tarczy) w wyniku jej nagrzania. Wyniki takiej analizy przedstawiono na rysunku 24 w odniesieniu do segmentu tarczy zamocowanej do linopędni.

Kolejnym zastosowaniem nowoczesnych metod projektowania jest wykorzystanie modeli dynamicznych odwzorowujących układ górniczego wyciągu szybowego. Umożliwiają one prowadzenie analiz, zwłaszcza w aspekcie wartości sił w linach podczas rozruchu i hamowania, hamowania bezpieczeństwa, jak również obciążenia linopędni podczas zakładanego zerwania lin nośnych.



Rys.24. Mapa odkształceń segmentu tarczy hamulcowej mocowanego śrubami pasowanymi w środku segmentu tarczy [6]



Rys.23. Mapa rozkładu temperatury [°C] na powierzchni segmentu tarczy w 30 s analizy termicznej (z rysunku 22) [6]

## 5. Podsumowanie

Stosowanie nowoczesnych narzędzi projektowania, jak i rozwój układów elektrycznych i elektronicznych, istotnie zmieniło maszyny wyciągowe.

Wdrożenie w maszynach wyciągowych wielu elementów handlowych, tak w zakresie układów sterowania, jak i układów mechanicznych napędowych, wyeliminowało konieczność indywidualnego projektowania wielu ich elementów.

Wirtualne, przestrzenne prototypowanie maszyn wyciągowych, wsparte coraz doskonalszymi narzędziami obliczeniowymi pozwoliło na skrócenie czasu projektowania i wyeliminowanie szeregu błędów projektowych. Ma to szczególne znaczenie w projektowaniu obiektów jednostkowych, o wysokich kosztach wytworzenia, takich jak maszyny wyciągowe,

a których poprawność konstrukcji można ocenić dopiero po ich zainstalowaniu i uruchomieniu. Skrócenie czasu realizacji projektów, pozwoliło na znaczne obniżenie kosztów wdrożenia do ruchu nowych maszyn wyciągowych.

Zaprezentowane w artykule maszyny wyciągowe oraz zespoły sterowania hamulców są przykładem nowoczesnych, światowej klasy rozwiązań technicznych, będące efektem współpracy KOMAG-u z przemysłem.

Ostatnie lata dowodzą, że zainteresowanie nowymi maszynami wyciągowymi rośnie. Przyczyną tego stanu rzeczy jest konieczność wycofywania z ruchu szeregu maszyn, które mają ponad 40-letni okres eksploatacji oraz perspektywę dalszych kilkudziesięciu lat eksploatacji górniczych wyciągów szybowych. Drugim bardzo istotnym czynnikiem są rosnące wymagania dotyczące wydajności górniczych wyciągów szybowych, a co za tym idzie instalowania maszyn wyciągowych o zwiększonych mocach.

Krajowe zaplecze projektowe, naukowe, jak i wykonawcze, jest przygotowane na stawiane wyzwania w zakresie światowej klasy rozwiązań technicznych i technologicznych maszyn wyciągowych.

## Literatura

1. Gierlotka S.: Rozwój maszyn wyciągowych w kopalniach od pary po elektryczność. Dzieje Górnictwa – elementy europejskiego dziedzictwa kultury pod red. P.P. Zagożdżona i M. Madziarza, Wrocław 2008.
2. Hansel J.: Niezawodność i bezpieczeństwo systemów maszynowych transportu pionowego – wyniki wybranych prac naukowych katedry transportu linowego AGH. Transport Szybowy, Monografia ITG KOMAG 2007 r., s. 13-28.
3. Kowal L., Turewicz K., Helmrich P., Nyga K.: Nowe rozwiązania techniczne Instytutu Techniki Górniczej KOMAG wdrażane w maszynach wyciągowych. Maszyny Górnicze nr 3-4/2010, s. 103-110.
4. Kowal L., Turewicz K., Helmrich P., Nyga K.: Doskonalenie konstrukcji maszyn wyciągowych projektowanych w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. Maszyny Górnicze nr 3-4/2010, s. 111-118.
5. Kowal L. i inni: Metoda projektowania tarcz hamulcowych maszyn wyciągowych w aspekcie zwiększenia ich odporności cieplnej dla zwiększonych parametrów ruchowych – wydajnościowych górniczych wyciągów szybowych. Sprawozdanie merytoryczne z wykonanych badań przemysłowych (stosowanych) i prac rozwojowych. Projekt rozwojowy N R03 0006 06. Materiały nie publikowane, archiwum ITG KOMAG W47.830ARK, 10.2012, ss. 286.
6. Kowal L. Turewicz K., Kruczek T.: Pomiary temperatury tarcz hamulcowych maszyn wyciągowych górniczych wyciągów szybowych. Maszyny Górnicze nr 2/2012, s. 3-12.
7. Zmysłowski T.: Górnicze maszyny wyciągowe – część mechaniczna. Wydawnictwo Śląsk, Katowice-Warszawa 2004, ss. 450.
8. Zygmunt A., Szczygieł M.: Przegląd wybranych modernizacji górniczych wyciągów szybowych. Transport Szybowy, Monografia ITG KOMAG 2011 r., s. 15-32.
9. Dokumentacje techniczne Instytutu Techniki Górniczej KOMAG (prace nie publikowane).
10. Fotografie i rysunki zaczerpnięte z materiałów archiwalnych: ITG KOMAG, MWM Elektro Sp. z o.o., OPA-ROW Sp. z o.o., PPUH ELCAM Sp. z o.o.
11. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Steam\\_engine\\_nom\\_enclature.png](http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Steam_engine_nom_enclature.png)
12. <http://www.nid.pl/UserFiles/Image/Pomniki%20Historii/Bochnia/parowa%20maszyna%20wyci%C4%85gowa.jpg>

*Artykuł wpłynął do redakcji w czerwcu 2013 r.*