



Andrzej Nowrot

Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
Katedra Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa
andrzej.nowrot@polsl.pl

ANALIZA STRUKTURY KOSZTÓW WYTWORZENIA INNOWACYJNYCH PROTOTYPOWYCH URZĄDZEŃ BADAWCZYCH OPARTYCH O NOWE NARZĘDZIA MIKROINFORMATYKI

Streszczenie: Badania naukowe w zakresie nauk ścisłych i technicznych wymagają w zdecydowanej większości przypadków innowacyjnej aparatury badawczej, której skonstruowanie związane jest z twórczym i kreatywnym podejściem projektanta. Urządzenia te w znacznym stopniu wykorzystują najnowsze osiągnięcia naukowe oraz stanowią nowe wzory użytkowe. W referacie przedstawiono strukturę kosztów wytworzenia innowacyjnych prototypowych urządzeń badawczych, opartych o nowe narzędzia mikroinformatyki. Została wykazana odmienność tej struktury w porównaniu do rozwiązań przemysłowych oraz powszechnego użytku. Przytoczono przykłady wynikające z konstruktorskiego doświadczenia autora oraz zaczerpnięte z literatury. Skupiono uwagę na czynnikach inne niż skala produkcji. Poruszono zagadnienie skuteczności transferu technologii naukowych do aplikacji przemysłowych, co wymaga współpracy ośrodków badawczych oraz biznesu.

Słowa kluczowe: mikroinformatyka, koszty produkcji, aparatura badawcza.

Wprowadzenie

Prowadzenie badań naukowych w zakresie nauk ścisłych wymaga w zdecydowanej większości przypadków zastosowania specjalistycznej i drogiej aparatury pomiarowej lub technologicznej. Wysoka cena detaliczna tego typu produktów wynika ze struktury kosztów ich wytworzenia oraz częściowo z niewielkiej, z globalnego punktu widzenia, skali produkcji, co istotnie odróżnia je od zaa-

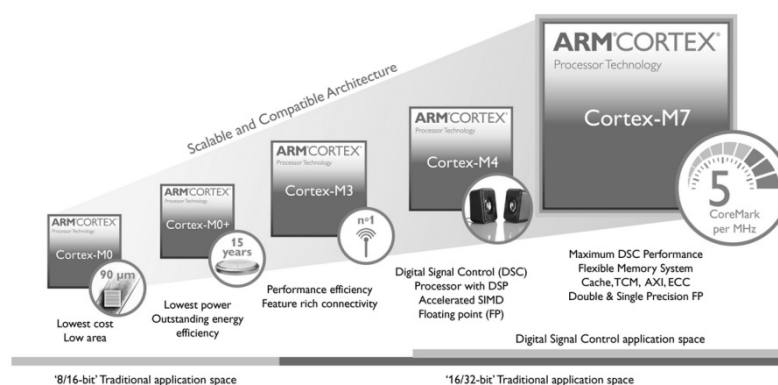
wansowanych technologicznie urządzeń powszechnego użytku. Aby opisać te różnice, należy przeanalizować proces powstawania nowych produktów hi-tech powszechnego zastosowania. Idealnym przykładem do takich rozważań są najnowsze technologie telekomunikacyjne, nawigacyjne oraz informatyczne (przede wszystkim sprzętowe: laptopy, tablety itp.). Wszystkie wymienione grupy urządzeń wywierają ogromny wpływ na szeroko rozumianą gospodarkę, a ich najistotniejszą wspólną cechą jest pochodzenie – przemysł wojskowy lub kosmiczny. Sektory te bazują głównie na konstrukcjach prototypowych bądź na produkcji małoseryjnej. Na ich bazie, wraz z postępem naukowo-technicznym, powstają od dziesięcioleci uproszczone konstrukcje transferowane do „gospodarki cywilnej”. Dzięki temu powszechnie dostępne są urządzenia oparte o zaawansowane mikrokontrolery o względnie dużych mocach obliczeniowych, które kilkanaście lat temu stanowiły pilnie strzeżoną technologię. Jednocześnie bardzo duża skala produkcji tych struktur półprzewodnikowych pozwoliła na radykalne obniżenie ceny oraz w konsekwencji doprowadziła do wzrostu ich popularności i dostępności.

Równoległe do zaawansowanych urządzeń powszechnego użytku, na bazie technologii militarnych i kosmicznych (które w wielu przypadkach same w sobie stanowią zaawansowaną aparaturę naukową), powstają cywilne instrumenty naukowe, medyczne, lotnicze, specjalnego zastosowania (np. systemy pomiarowe działające w warunkach atmosfery wybuchowej w petrochemii lub górnictwie) i wiele innych. Urządzenia te wyróżnia wysoki stopień niezawodności oraz wysoka klasa dokładności. Powyższy proces transferu technologii dokonuje się z dużą skutecznością niemal wyłącznie w krajach rozwiniętych, głównie w USA. W Polsce rynek przedsiębiorstw konstruujących prototypowe instrumenty naukowe jest co najwyżej śladowy. Sytuację tę komplikuje brak lub niedopasowanie oferty konkursowej ze strony agent rządowych oraz mała liczebność firm badawczo-konstruktorskich.

1. Nowe narzędzia mikroinformatyki

Do fundamentalnych narzędzi mikroinformatyki należą mikrokontrolery (mikroprocesory). Nowa generacja tych układów, oprócz standardowych i podstawowych składników, takich jak: jednostka arytmetyczno-logiczna, zespół rejestrów oraz pamięć nieulotna, zawierają liczne porty komunikacyjne, wewnętrzne przetworniki analogowo-cyfrowe oraz cyfrowo-analogowe. Ponadto cechują się dużą mocą obliczeniową i możliwością zaimplementowania ze-

wewnętrznej pamięci o dużej pojemności typu *flash* lub dysku twardego. Mikrokontrolery produkuje się, w zależności od przeznaczenia: do urządzeń powszechnego użytku (smartfony, laptopy, tablety), do przemysłu oraz użytku wojskowego/lotniczego/kosmicznego. Różnią się one znacznie zakresem temperatur pracy, stopniem niezawodności, odpornością na wibracje oraz ceną.



Rys. 1. Rodzina procesorów ARM z uwzględnieniem najbardziej zaawansowanej technologicznie 32-bitowej grupy M7

Źródło: [www 1].

Na rys. 1 przedstawiono rodzinę procesorów ARM. Najnowsze układy charakteryzują się 32-bitową długością słowa maszynowego (dostępne są także wersje 64-bitowe). Uwzględniając wysoką częstotliwość taktowania (rzędu setek megaherców) oraz możliwość dołączenia dużych rozmiarów pamięci, współczesne zaawansowane mikrokontrolery pod względem możliwości dorównują komputerom PC z ubiegłej dekady. Dzięki temu powstały m.in. tablety jako powszechnie dostępne urządzenia. Przede wszystkim jednak otworzyły się nowe możliwości w konstruowaniu instrumentów naukowych. Nastąpiła poprawa parametrów użytkowych tych urządzeń – w pracy [Devarajua et al., 2011] przedstawiono zastosowanie zaawansowanego mikrokontrolera w analizatorze termogravitacyjnym, zaś według publikacji [Farías, Giménez, Yáñez-Limón, 2014] mikrokontrolera użyto w spektrometrze Ramanowskim. Głównym zadaniem nowej generacji mikrokontrolerów jest przeprowadzanie analizy sygnałów pomiarowych oraz przeprowadzenie obliczeń, które mogą polegać m.in. na numerycznym rozwiązywaniu równań różniczkowych. Starszej generacji mikrokontrolery np. 8-bitowe o architekturze 8051, ze względu na swoje ograniczenia, były wykorzystywane przede wszystkim do sterowania, komunikacji oraz w przeprowadzeniu prostych obliczeń.

W oparciu o współczesne mikrokontrolery powstały liczne platformy sprzętowo-programistyczne, umożliwiające sprawną konstrukcję urządzeń przez osoby, które nie są informatykami lub elektronikami. Przykładem takiego rozwiązania jest otwarte środowisko Arduino. Urządzenia oparte o Arduino mogą zostać wykorzystane w budowie aparatury naukowej, radykalnie obniżając jej koszty [Ali et al., 2016; Koenkaa, Hauser, Sáiz, 2014].

2. Struktura kosztów wytworzenia prototypowych instrumentów naukowych na tle zaawansowanych technologicznie urządzeń powszechnego użytku

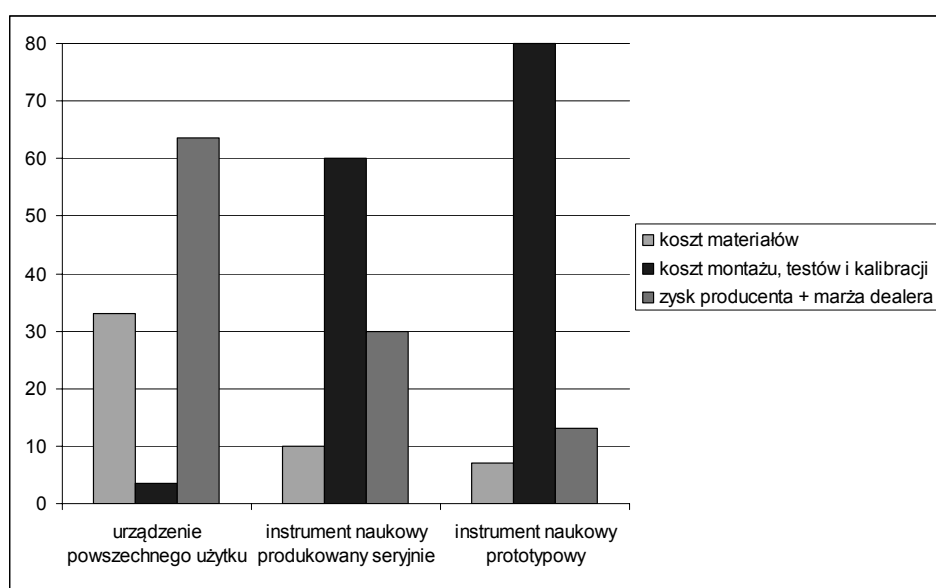
Struktura kosztów wytworzenia instrumentów naukowych jest silnie powiązana z ich specyfiką, tzn. z koniecznością zapewnienia dużo większej dokładności, stabilności, niezawodności i jednocześnie dużo mniejszym procentowym stopniem automatyzacji procesu montażu, testowania i kalibracji, niż ma to miejsce w przypadku zaawansowanych technologicznie urządzeń powszechnego użytku. W tabeli nr 1 przedstawiono strukturę kosztów wytworzenia smartfonu iPhone 5 w 2013 roku na podstawie wyliczeń przedstawionych w: [Sherman, 2013]. Na podstawie przedstawionych danych można stwierdzić, iż całkowity koszt wytworzenia tego smartfonu stanowi ok. 1/3 jego ceny detalicznej. Do niemal identycznych rezultatów doprowadziła analiza przedstawiona w magazynie Forbes [Louis, 2013]. Pośrednio do podobnych wniosków prowadzą rozważania zaprezentowane w pracy Xionga [2012].

Tabela 1. Struktura kosztów wytworzenia smartfonu na przykładzie urządzenia iPhone 5 w wersji z wewnętrzną pamięcią 16GB oraz modemem LTE

Składniki kosztu wytworzenia:	Koszt w \$
Flash Memory & RAM	20,85
Display & Touchscreen	44,00
Procesor	17,50
Sensors	6,50
Camera	18,00
Cellular Radio	34,00
Wireless Radio	5,00
Bartery	4,50
Power Management	8,50
Mechanical Parts	33,00
Packaging	7,00
Production	8,00
Licensing Fees	20,00
Całkowity koszt	226,85

Źródło: [Sherman, 2013]

Na szczególną uwagę zasługuje pozycja związana z produkcją, którą należy rozumieć tutaj jako ogół prac montażowych i uruchomieniowych. Jej wartość wynosząca 8\$ stanowi ok. 3,5% całkowitego kosztu wytworzenia urządzenia. W przypadku aparatury naukowej struktura kosztów jest całkowicie odmienna. Aby to wykazać jakościowo i ilościowo, przeprowadzono szacunkowe obliczenia procentowej wartości trzech wybranych składników (założono, że ich suma wynosi 100%, co nie zmienia faktu występowania innych kosztów w procesie wytwarzania niż te wymienione). Do analizy wybrano dwa instrumenty naukowe: mostek do precyzyjnych pomiarów impedancji elektrycznej HIOKI 3532 – urządzenie produkowane seryjnie, oraz generator zmiennego pola magnetycznego do stymulacji wzrostu komórek macierzystych z wykorzystaniem jonowego rezonansu magnetycznego. Drugie z urządzeń jest prototypem skonstruowanym przez autora w 2015 roku. Dla mostka HIOKI oszacowano koszty materiałów składowych na podstawie znajomości wnętrza urządzenia. Jednocześnie znając jego cenę detaliczną (a także marżę dystrybutora), obliczono pozostałe parametry, które przedstawiono na rys. 2.



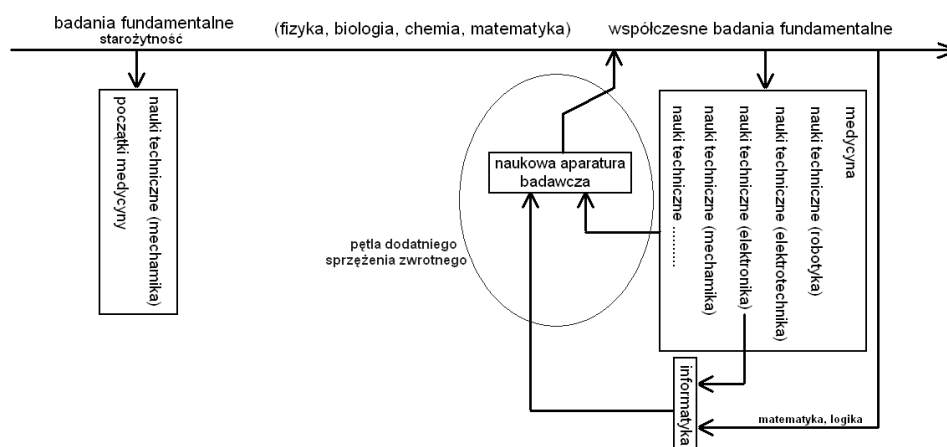
Rys. 2. Struktura procentowa kosztów wytworzenia instrumentów naukowych oraz zaawansowanych technologicznie urządzeń powszechnego użytku

Źródło: Opracowanie własne.

W przypadku urządzeń do zastosowań badawczych procentowy udział kosztów montażu, testów oraz kalibracji jest ok. 20-krotnie większy niż w przypadku smartfona. Wybrane do analizy instrumenty naukowe różnią się znacznie skalą produkcji – urządzenie firmy HIOKI jest produkowane w wielkości kilku lub kilkunastu tysięcy sztuk rocznie, natomiast prototypowy generator pola magnetycznego dla biologii molekularnej powstał dotychczas jako jeden egzemplarz. Pomimo tak istotnych różnic w skali produkcji, koszty montażowe są tylko o 1/3 większe w stosunku do instrumentu budowanego seryjnie. Należy zaznaczyć tutaj, iż skonstruowanie urządzenia prototypowego było poprzedzone kilkumiesięcznymi badaniami stosowanymi i pracami rozwojowymi, których koszty nie zostały w niniejszym opracowaniu uwzględnione. Niemniej jednak skala produkcji (w przypadku telefonów komórkowych jest ona rzędu miliardów sztuk różnych modeli rocznie) nie stanowi dominującego czynnika wpływającego na różnicę w strukturze kosztów wytworzenia pomiędzy zaawansowanym urządzeniem powszechnego użytku a badawczym. Wynika to z faktu, iż niezależnie od skali produkcji, każdy egzemplarz instrumentu naukowego wymaga czasochłonnego i precyzyjnego manualnego przetestowania oraz wykalibrowania.

Podsumowanie

Odmierna struktura kosztów wytworzenia aparatury naukowej i związany z tym mniejszy procentowy udział zysku w całkowitej cenie instrumentu nie są czynnikami negatywnymi. Dzieje się tak, gdyż przyrządy naukowe są przeciętnie od 10 do 1000 razy droższe od smartfonów i tabletów, a w konsekwencji bezwzględna wartość zysku staje się atrakcyjna dla potencjalnego przedsiębiorcy. Równie istotne zagadnienie to oddziaływanie aparatury naukowej na poziom prowadzonych badań oraz rozwój poszczególnych dyscyplin. Można zaobserwować pętlę dodatniego sprzężenia zwrotnego (rys. 3). Rozwój nauk fundamentalnych (nieszczęśliwie określane w języku polskim mianem „podstawowych”) pociąga za sobą rozwój techniki i powstanie nowych technologii, które to z kolei zostaną wykorzystane do skonstruowania nowych instrumentów naukowych, a te usprawnią prowadzenie badań i przyczynią się do nowych odkryć, a w konsekwencji nowych rozwiązań technicznych.



Rys. 3. Schemat ideowy wyjaśniający oddziaływanie naukowej aparatury badawczej na badania fundamentalne jako pętli dodatniego sprzężenia zwrotnego

Źródło: Opracowanie własne.

Niezwykle korzystnym zjawiskiem byłoby obniżenie kosztów wytworzenia aparatury naukowej, co zwiększyłoby jej dostępność w uboższych krajach. Niestety proces ten jest bardzo trudny do zrealizowania, ponieważ instrumenty naukowe wytwarza się głównie w krajach rozwiniętych gospodarczo, czyli oferujących wysokie wynagrodzenia, co spowoduje wysokie koszty montażu urządzenia.

Literatura

- Ali A.S., Debose D., Stephens B., Zanzinger Z. (2016), *Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A Low-Cost Arduino-based Platform for Long-term Indoor Environmental Data Collection*, "Building and Environment", No. 100, s. 114-126.
- Devarajua J.T., Radhakrishnab M.C., Ramani B., Sureshab P.H. (2011), *Development of Microcontroller Based Thermogravimetric Analyze*, "Measurement", Vol. 44, Issue 10, s. 2096-2103.
- Fariás R.F., Giménez A.J., Yáñez-Limón J.M. (2014), *Control System Development for a Raman Spectrometer Using Microcontroller Technology*, "Journal of Applied Research and Technology", Vol. 12, s. 139-144.
- Koenka J., Hauser P.C., Sáiz J. (2014), *Instrumentino: An Open-Source Modular Python Framework for Controlling Arduino Based Experimental Instruments*, "Computer Physics Communications", No. 185, s. 2724-2729.
- Louis T. (2013), *The Real Price of A Smartphone*, "Forbes", September 14.
- Sherman J. (2013), *Spenny but Indispensable: Breaking Down the Full \$650 Cost of the iPhone 5*, "Digital Trends", July 26.

Xiong G. (2012), *Mass Customization Manufacturing and Its Application for Mobile Phone Production* [in:] *Service Science, Management, and Engineering*, s. 223-245.

[www 1] <http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/index.php>.

THE STRUCTURE ANALYSIS THE MANUFACTURING COSTS OF INNOVATIVE SCIENCE PROTOTYPE EQUIPMENT BASED ON THE NEW MICROINFORMATICS TOOLS

Summary: Research in the field of natural/fundamental science and technology require in most cases innovative science equipment which is related to constructing a creative designer and creative approach. These devices largely use the latest scientific achievements and provide new utility designs. The paper presents the structure manufacturing costs of innovative research prototype equipment based on new microinformatics tools. It has been demonstrated dissimilarity of this structure in comparison to industrial solutions and general use. Are examples resulting of designing experience of the author and literature. Attention has focused on the factors other than the manufacturing scale. It raised the issue of the effectiveness of the transfer of scientific technology to industrial applications which requires cooperation between research centers and business.

Keywords: microinformatics, manufacturing costs, science equipment.