

OKREŚLENIE WYMAGAŃ – KLUCZOWYM ELEMENTEM INŻYNIERII SYSTEMÓW

Aleksander BUCZACKI

Streszczenie: Prawidłowo określone wymagania mają kluczowy wpływ na proces inżynierii systemów. Powinny one uwzględniać oczekiwania i potrzeby wszystkich najważniejszych interesariuszy systemu w zakresie funkcjonalności docelowego systemu jak również procesu powstawania systemu. Z tego też względu poniżej przedstawiono poszczególne etapy procesu opracowywania i budowy systemu, którego integralną częścią jest określanie wymagań systemowych. Prawidłowo zdefiniowane wymagania muszą się charakteryzować odpowiednimi cechami. Zarządzanie wymaganiami systemowymi jest ciągle rozwijającym się obszarem wiedzy, stąd w podsumowaniu przedstawiono najważniejsze problemy związane z zarządzaniem wymaganiami.

Słowa kluczowe: inżynieria systemów, wymagania systemowe, V-model, model spiralny, MBSE, LM.

1. Wprowadzenie

Budowa bardzo zaawansowanych technologicznie systemów jest obecnie możliwa m.in. dzięki rozwojowi naukowemu i technicznemu. W niniejszej pracy przyjęto szeroką definicję systemu, który można scharakteryzować według następujących zmiennych:

- Określony cel działania i scenariusze użytkowania systemu;
- Obiekty, z których składa się system;
- Relacje zachodzące pomiędzy obiektami w systemie;
- Granice systemu oddzielające system od otoczenia.

Mając powyższe na uwadze, systemem może być obiekt materialny bądź koncepcyjny jak również projekt bądź program (zbiór projektów) w wyniku, którego powstaje docelowy system (obiekt).

Na innowacyjność przedsiębiorstw oraz całych gospodarek wpływ ma zastosowanie nowoczesnych technologii lecz przede wszystkim szybsze i bardziej efektywne wykorzystanie już znanych technologii w wytwarzanych wyrobach i usługach. By móc je efektywnie zastosować niezbędna jest wiedza z różnych obszarów nauki i techniki, w szczególności takich jak matematyka, fizyka, chemia, biologia, psychologia itd. Dlatego kluczowym jest spojrzenie systemowe, tj. integrujące poszczególne obszary nauki i techniki w całym cyklu życia systemu.

W literaturze przedmiotu dotyczącej inżynierii systemów można znaleźć definicje oraz opis poszczególnych etapów cyklu życia systemu. Zazwyczaj obejmuje on tylko etapy opracowywania, wytworzenia oraz eksploatację systemu [3, 14, 21]. Należy zaznaczyć, że etapy te powinny być rozumiane jako funkcje i czynności. Najlepiej, by nie były one dzielone organizacyjnie tak by zapewnić ciągłość całego procesu. W normie ISO/IEC 15288 dot. inżynierii systemów, szeroko wykorzystywanej przez praktyków inżynierii systemów, zdefiniowano 6 podstawowych etapów cyklu życia systemu [17, 26]. Są to:

- Koncepcja - obejmuje analizę potrzeb, identyfikację podstawowych założeń oraz opracowanie wstępnych rozwiązań. Często też etap ten zawiera wykonywanie czynności badawczych oraz przygotowanie modeli.
- Rozwój - obejmuje fizyczne opracowanie systemu.
- Wytworzenie - obejmuje zbudowanie, sprawdzenie oraz testowanie systemu.
- Użytkowanie - obejmuje uruchomienie oraz użytkowanie przez docelowego użytkownika i wprowadzenie ewentualnych poprawek.
- Wsparcie - obejmuje proces wsparcia użytkownika w trakcie użytkowania systemu.
- Wycofanie - obejmuje utylizację, pozbycie się i ewentualną archiwizację.

Właściwie zdefiniowane wymagania są kluczowym elementem budowy każdego skomplikowanego systemu. Program Apollo ogłoszony przez prezydenta USA J.F. Kennedy'ego miał tylko trzy wymagania nadrzędne:

- Lądowanie człowieka na Księżycu;
- Bezpieczny jego powrót;
- Misja miała zostać zrealizowana w ciągu 10 lat od ogłoszenia.

Według opinii ekspertów, o sukcesie tego programu, w którym wykorzystywano inżynierię systemów, przesądziło też to, że wymagania nadrzędne zostały zdefiniowane w sposób klarowny dla wszystkich interesariuszy oraz kompleksowy w odniesieniu do projektowanego systemu – misja na Księżyc [25]. Obecnie projektowane systemy mogą zawierać do kilku tysięcy wymagań nadrzędnych, z których każde może być kaskadowane na około dziesięć wymagań systemowych. Pomimo stałego dążenia do całościowego ujęcia wymagań projektowanego systemu bardzo często występują problemy, zdarza się również, że finalny system nie spełnia oczekiwań i wymagań poszczególnych interesariuszy, przede wszystkim użytkowników, klientów, a często też wykonawców systemu. Dlatego problematyka prawidłowego określenia wymagań budzi duże zainteresowanie wśród teoretyków jak i praktyków zajmujących się inżynierią systemów [12].

Mając powyższe na uwadze, celem niniejszego opracowania jest przedstawienie:

- Stanu wiedzy nt. określania wymagań, jak również przedstawienie analizy stanu wiedzy nt. określania wymagań.
- Podstawowych metod i narzędzi wykorzystywanych do określania wymagań.
- Głównych obszarów problemowych w zakresie określania wymagań systemowych, w tym określenie obszarów dalszych badań.

2. Proces inżynierii systemów

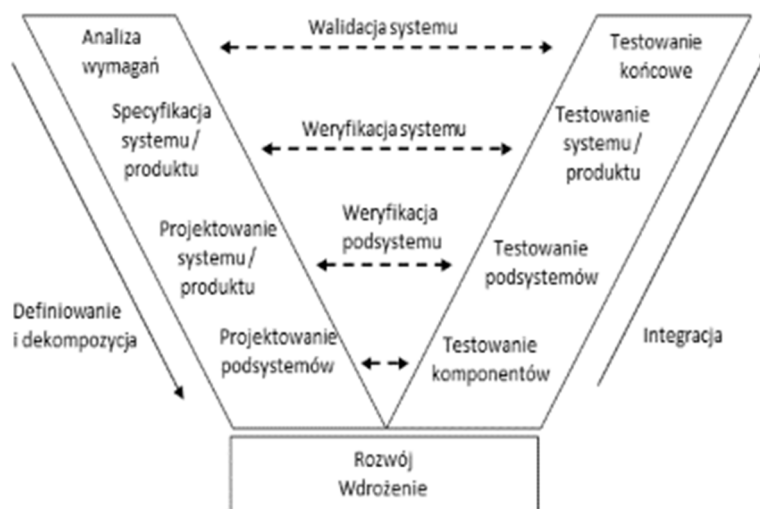
Inżynieria systemów jest stosunkowo nową dziedziną wiedzy, której rozwój uwarunkowany jest rosnącym zapotrzebowaniem w coraz bardziej zaawansowane systemy. Podstawy teoretyczne inżynierii systemów zostały określone w ramach ogólnej teorii systemów, która zajmuje się badaniem „zorganizowanych całości” odizolowanych od środowiska, w którym działają – tzw. systemy zamknięte bądź „zorganizowanych całości” uzależnionych od otoczenia – tzw. systemy otwarte. Nadrzędnym celem ogólnej teorii systemów jest integracja różnych dziedzin naukowych, przyrodniczych i społecznych [19]. W ramach ogólnej teorii systemów badane są takie cechy systemów jak [1]:

- Addytywność - poszczególne części systemu możemy rozpatrywać niezależnie od innych, a zmienność całego systemu jest sumą zmian jego elementów. Cecha ta często jest nazywana fizyczną addytywnością bądź niezależnością.

- Konstytutywność – cecha zależąca od specyficznych relacji wewnątrz systemu / zespołu. By ją poznać, musimy znać nie tylko części systemu lecz również zachodzące pomiędzy nimi relacje.

Niektórzy autorzy wskazują, że odpowiednikiem badań stosowanych teorii systemów jest inżynieria systemów, w polskiej literaturze przedmiotu nazywana często techniką systemów [14, 20]. Obecnie w literaturze polskiej, powszechnie stosowana jest nazwa inżynierii systemów [5].

Istnieje szereg modeli projektowania i wytwarzania systemów. Najbardziej znany jest tzw. V-model, który przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 1. V – model. (Opracowanie własne na podstawie: [13])

Opracowywanie i budowanie systemu składa się z dwóch faz:

- Definiowanie i dekompozycja. W początkowej fazie opracowywania systemu definiowane są wymagania systemowe, na podstawie których opracowywana jest specyfikacja systemu końcowego, jak również opracowywane są specyfikacje poszczególnych elementów systemu. W kolejnych krokach projektowane są podsystemy oraz opracowywane i budowane części składowe docelowego systemu.
- Integracja i weryfikacja. W ramach tej fazy testowane i weryfikowane są poszczególne komponenty, a w następnej kolejności podsystemy (elementy systemu), zaś na końcu kompletny system. Na każdym etapie weryfikowane są poszczególne grupy wymagań, a na samym końcu walidowany jest cały system.

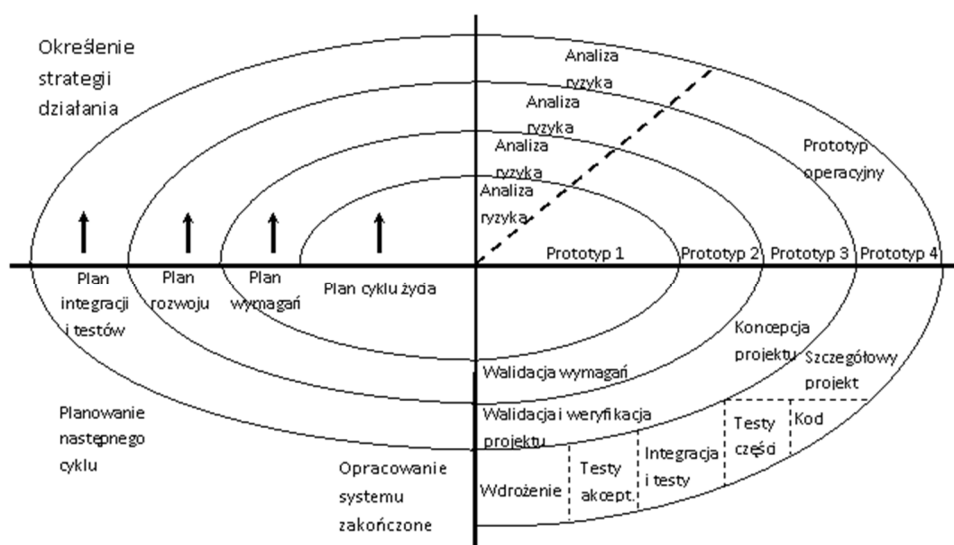
Liczba poziomów dekompozycji zależy od struktury oraz skomplikowania systemu. Niektóre systemy składać się mogą z wielu podsystemów (elementów systemu). Można wtedy stwierdzić, że mamy do czynienia z systemem systemów.

Powyższy model wykorzystywany jest przede wszystkim w przypadku opracowywania systemów technicznych. Przy opracowywaniu systemów informatycznych najczęściej wykorzystywany jest spiralny model cyklu życia systemu, który składa się z kilku podobnych cykli, w ramach których wykonywane są prototypy systemu o różnym stopniu zaawansowania.

Każdy cykl procesu składa się z następujących faz:

- Określenie strategii działania (planowanie danego cyklu);
- Analiza ryzyka realizacji danego cyklu;
- Wykonanie prototypu. Ostatnim prototypem (operacyjnym) w procesie jest gotowy system;
- Weryfikacja oraz walidacja systemu;
- Planowanie kolejnego cyklu.

Spiralny cykl życia systemu przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. 2. Spiralny model cyklu życia systemów softwarowych [27]

Zarówno w pierwszym jak i drugim modelu prace nad systemem rozpoczynają się od określenia wymagań systemowych.

3. Określanie wymagań systemowych

Prawidłowe określenie wymagań systemu jest krytyczne w procesie opracowania i budowy każdego systemu. Badania wskazują, że w ponad 40% przypadków, przyczyną niepowodzeń przy opracowywaniu i budowie nowych systemów są błędnie zdefiniowane wymagania systemu. Zestawienie najczęściej występujących przyczyn niepowodzeń przy opracowaniu i wdrożeniu nowych systemów przedstawiono na Rys. 3.

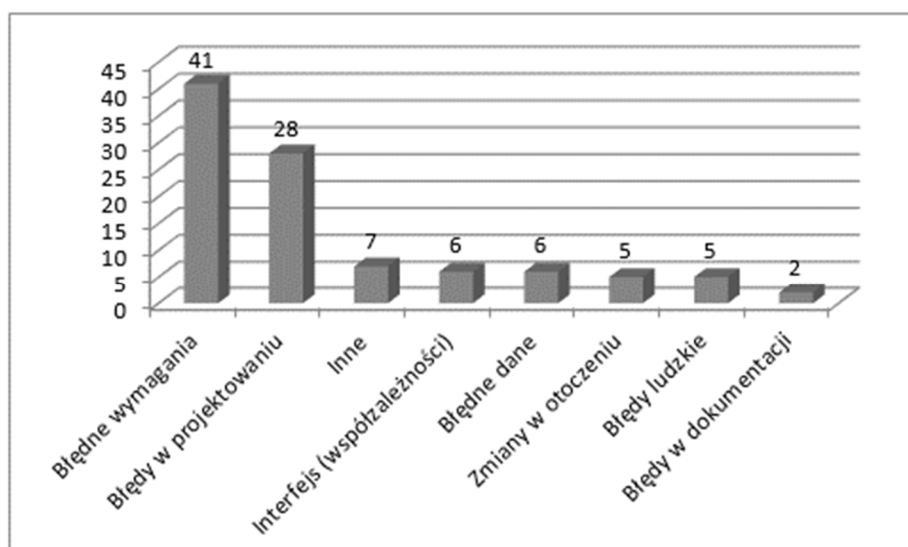
Prawidłowe zdefiniowanie wymagań systemowych ma szeroki wymiar praktyczny. Do najbardziej istotnych kwestii należy sposób czytelnego i zrozumiałego przedstawiania / zapisywania wymagań, tj. z jednej strony prostego dla osoby odpowiedzialnej za (ich) spisywanie, a z drugiej zrozumiałego dla czytelnika, tzn. projektanta, klienta, użytkownika itd. (którzy często nie znają całego kontekstu opracowywanego systemu). Wyróżnia się następujące sposoby przedstawiania wymagań:

- Słowny, często niejednoznaczny.
- Przy pomocy diagramów, np. SysML. Więcej nt. języka SysML, między innymi wykorzystywanego w modelowym podejściu do inżynierii systemów (Model

Based Systems Engineering – MBSE) można przeczytać w literaturze przedmiotu [9, 30].

- Bazujący na odpowiednich formatkach i/lub wzorcach, przy wykorzystaniu tzw. Planguage [10].

Poza sposobem przedstawienia wymagań duże znaczenie ma również kompletność wymagań charakteryzujących system, ich ustrukturyzowanie oraz poprawność pojedynczych wymagań. Najważniejsze cechy poprawności pojedynczych wymagań przedstawiono w Tab. 1, w dalszej części niniejszej publikacji.



Rys. 3. Zestawienie (procentowo) najczęstszych przyczyn niepowodzenia budowy nowych systemów [2, 15, 28]

Duże znaczenie praktyczne odpowiedniego określenia wymagań systemowych, w szczególności przy opracowywaniu systemów informatycznych wymusiło opracowanie i wprowadzenie odpowiedniej normy ISO [18], która obecnie jest standardem zarówno przy zarządzaniu wymaganiami systemów informatycznych jak i technicznych.

3.1. Proces określania wymagań systemowych

Wymagania systemowe powinny odzwierciedlać potrzeby interesariuszy systemu oraz aktualne możliwości techniczne związane z budową systemu. W związku z powyższym proces określania wymagań systemowych rozpoczyna się od analizy otoczenia, w tym identyfikacji interesariuszy oraz określenia sił oddziaływania poszczególnych grup interesariuszy na system. Należy zaznaczyć, że dla prostych systemów jest to stosunkowo proste zadanie. Problem pojawia się w przypadku skomplikowanego systemu, który dotyczy wielu interesariuszy mających często sprzeczne interesy. Najczęściej określane są wymagania dla:

- Użytkowników, tj. podmiotów użytkujących projektowany system.
- Klientów, tj. podmiotów korzystających z efektów działania systemu.

- Inwestorów, tj. podmiotów finansujących projektowanie i budowę systemu.
- Innych kluczowych interesariuszy, np. organizacji odpowiedzialnych za ochronę środowiska w przypadku projektów dotyczących inwestycji infrastrukturalnych (sporządzane są raporty oddziaływania na środowisko).

Na podstawie wstępnej analizy wymagań interesariuszy oraz wiedzy nt. dostępnych technologii określone są niezbędne podsystemy projektowanego systemu, jak również określone są wymagania dotyczące interfejsów, tj. wymagania dotyczące komunikacji / relacji pomiędzy poszczególnymi systemami. Błędnie sformułowane wymagania mogą spowodować problemy z określeniem zależności pomiędzy poszczególnymi elementami systemu.

Kolejnym etapem określania wymagań systemowych jest definiowanie wymagań. W praktyce jest to podproces iteracyjny, którego celem jest zwiększenie jakości określanych wymagań, składający się z następujących kroków:

- Pozyskiwania informacji od interesariuszy, najczęściej przy zastosowaniu wywiadów bezpośrednich, obserwacji, warsztatów, burzy mózgów, analizy dokumentów, analizy istniejących systemów, prototypowania oraz doświadczeń zdobytych w trakcie realizacji innych projektów. Często do tego są wykorzystywane narzędzia z obszaru zarządzania szczupłego (Lean Management – LM) np. 5xDlaczego?, mapowanie strumienia wartości (Value Stream Mapping – VSM).

W niektórych przypadkach, w procesie opracowania nowego systemu musimy uwzględnić dwie grupy wymagań [29]:

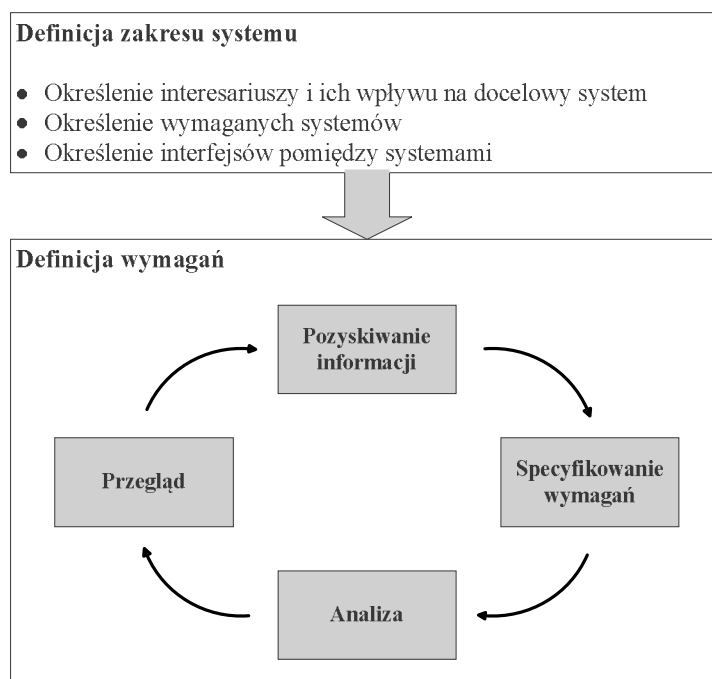
- Wymagania dotyczące projektowanego systemu, w szczególności dotyczące funkcjonowania systemu oraz cele, jakie powinien spełniać prawidłowo działający system;
- Wymagania dotyczące procesu wytwarzania systemu.
- Specyfikowania wymagań, w tym definiowania parametrów opisujących wymaganie. Dodatkowo, określone są przedziały wartości spełnienia poszczególnych wymagań. W ramach tej czynności zazwyczaj wykorzystywane są wywiady bezpośrednie, obserwacje, analiza dokumentów, analiza istniejących systemów, prototypowanie oraz doświadczenia zdobyte w trakcie realizacji innych projektów.
- Analizy, w tym również relacji pomiędzy poszczególnymi wymaganiami. W ramach tej czynności zazwyczaj wykorzystywana jest analiza dokumentów, analiza istniejących systemów, metody bazujące na słownikach eksperckich [23], tzw. dom jakości (Quality Function Deployment – QFD), 5xDlaczego?, VSM.
- Przeglądu, mającego na celu ustrukturyzowanie określonych wymagań oraz określenie luk i zależności pomiędzy zdefiniowanymi wymaganiami.

Ogólny proces określania wymagań systemowych przedstawiono na poniższym Rys. 4.

Cały proces zarządzania wymaganiami wspomagany może być przez pakiety informatyczne, np. DOORS/Rational [16, 31], CORE [6].

Dotychczas inżynieria systemów w dużej mierze opierała się na pracy z wykorzystaniem dokumentacji papierowej, tj. system opisywano w ramach wielu różnych rodzajów dokumentów. Obecnie, coraz szerzej wykorzystywane jest podejście oparte na modelach – MBSE, również w odniesieniu do całego cyklu życia systemu [8]. Opracowywany jest jeden wielowarstwowy model systemu uwzględniający wszystkie istotne aspekty procesu inżynierii systemów. Pozwala to na przyspieszenie prac nad systemem, między innymi poprzez automatyzację tak istotnych zadań jak śledzenie

spełnienia poszczególnych wymagań (w tym w trakcie wprowadzania zmian), weryfikację oraz walidację systemu oraz usprawnienie fazy użytkowania i wsparcia.



Rys. 4. Proces określania wymagań systemowych (opracowanie własne)

Oprócz MBSE, w procesie określania wymagań, jak również w innych procesach inżynierii systemów, coraz większe znaczenie zyskują narzędzia LM. Np. projektant może lepiej poznać wymagania użytkownika podczas kilkuminutowej bezpośredniej z nim rozmowy, niż wymieniając korespondencję poprzez wielu pośredników. Takie podejście skraca czas realizacji zadania, a tym samym pozwala zredukować koszty realizacji oraz pozwala lepiej określić wymagania dotyczące przyszłego systemu [4]. W projektach z obszaru inżynierii systemów występują wszystkie rodzaje marnotrawstwa, a stosując niżej wymienione zasady LM można skutecznie zwiększyć efektywność realizacji projektów, których celem jest opracowywanie i budowa systemów [24]:

- Wartość (Value) - wszystkie czynności powinny zostać ukierunkowane na generowanie wartości.
- Strumień wartości (Value Stream) - wartość jest generowana w wyniku realizacji procesów - identyfikujemy elementy i źródła marnotrawstwa, a następnie eliminujemy je, usprawniając proces i jakość wyników.
- Przepływ (Flow) – polega na zapewnieniu ciągłego przepływu bez zbędnych przestojów, spowolnień, przerw, opóźnień.
- Ssanie (Pull) - wytwarzanie informacji w odpowiednim czasie, odpowiedniej ilości oraz w odpowiedniej jakości niezbędnych dla następnego procesu / czynności.
- Perfekcja (Perfection) – stosowanie metod ciągłego doskonalenia, ukierunkowanego na realizację wszystkich czynności zgodnie z wymaganiami

klienta (zewnętrznego bądź wewnętrznego) za pierwszym razem (wyjątkiem może być zaplanowane testowanie).

- Doskonalenie stosunków międzyludzkich oparte na szacunku; budowanie takich relacji, które motywują najlepsze wyniki prac oparte na pracy zespołowej, zaufaniu, wspomaganiu, zaangażowaniu pracowników w wykonywaną pracę, w tym również w doskonalenie organizacji.

3.2. Charakterystyka wymagań systemowych

Wszystkie wymagania systemowe można zakwalifikować do poszczególnych grup [21]:

- Operacyjne, które opisują stan docelowy otoczenia, w którym ma funkcjonować docelowy system po jego opracowaniu i działaniu, tj. opisują wynik działania systemu.
- Funkcjonalne, określające funkcje produktu / systemu, tj. co projektowany system powinien wykonywać.
- Eksploatacyjne.
- Fizyczne, tj. atrybuty, cechy fizyczne budowanego systemu.

Charakterystykę pojedynczych wymagań, tzw. wymagań wysokiej jakości, przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wymagania wysokiej jakości charakteryzują się następującymi cechami [11]

L.p.	Cecha	Opis cechy
1.	Realistyczne	Osiągnięcie wymagań powinno się mieścić w ramach kosztów oraz ograniczeń związanych z projektowanym i budowanym systemem.
2.	Niezbędne	Wymagania dotyczą tylko kwestii niezbędnych dla opracowywanego systemu.
3.	Zrozumiałe	Interesariusze mogą bez problemu zrozumieć opisy wymagań.
4.	Kompletne	Opisy wymagań są wykonane w sposób kompletny.
5.	Weryfikowalne	Wymagania zostały opisane w taki sposób, że możliwa jest ich weryfikacja (w sposób ekonomiczny).
6.	W sposób umożliwiający walidację	Spełnienie zapisanych wymagań jest niezbędne by zbudować właściwy system, przede wszystkim zaspokajający potrzeby klienta i/lub użytkownika.
7.	W sposób umożliwiający identyfikację	Wymagania są ulokowane i połączone z innymi wymaganiami wyższego (-ych) niższego (-ych) poziomu (-ów).
8.	Jednoznaczne	Każde wymaganie zostało sformułowane w sposób jednoznaczny, umożliwiający tylko jedną interpretację.
9.	Zgodne	Poszczególne wymagania nie są sprzeczne z innymi wymaganiami dla tego samego systemu.

L.p.	Cecha	Opis cechy
10.	Precyzyjne	Każde wymaganie, o ile to możliwe, wyrażone jest w sposób ilościowy w odpowiedniej skali dokładności.
11.	Zwięzłe	Każde wymaganie zostało opisane w sposób możliwie najbardziej zwięzły.
12.	W sposób zachowujący swobodę projektowania	Wymagania są sformułowane w sposób zachowujący odpowiednią swobodę dla procesu projektowania i budowy systemu, tj. nie narzucające wykonawcy konkretnego rozwiązania.
13.	Odpowiednio opisane	Zasadność uwzględnienia oraz poziom istotności wymagań została udokumentowana.
14.	Nieredundantne	Wymaganie nie zostało zapisane więcej niż jeden raz, chyba że jest to uzasadnione (np. te same wymaganie dotyczy różnych elementów systemu).

4. Wnioski

Inżynierowie systemów wykorzystują szereg narzędzi do zarządzania wymaganiami, w tym narzędzi informatycznych. Jednakże by opracować zestaw wysokiej jakości wymagań systemowych dotyczący całości projektowanego systemu powinny zostać rozwiązane następujące kwestie / problemy:

- Oszacowanie pracochłonności opracowania zestawu wymagań systemowych;
- Pomiar jakości zaproponowanych wymagań systemowych, gdyż obecnie jesteśmy w stanie odnieść się ex-post odnośnie jakości wymagań.
- Rozwiązywanie kompromisów w odniesieniu do sprzecznych wymagań systemowych.
- Szybkie ustosunkowanie się do zmieniających się wymagań.

Od prawidłowo zdefiniowanych wymagań przyszłego systemu zależy, czy system będzie spełniać wymagania wszystkich interesariuszy. Określenie wymagań w zasadzie jest dość proste w przypadku niezbyt skomplikowanych systemów. Natomiast obecnie uruchamiane są programy zawierające po kilkadziesiąt tysięcy wymagań, które pochodzą od różnych grup interesariuszy, często mających sprzeczne oczekiwania w odniesieniu do budowanego systemu. Ponadto część wymagań nie dotyczy bezpośrednio kwestii merytorycznych lecz dodatkowych, np. związanych z ekologią czy bezpieczeństwem. Dlatego też kwestia określenia wymagań systemowych jest nadal bardzo istotna.

Literatura

1. Bertalanffy von L.: Ogólna teoria systemów, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1984.
2. Bijan Y., Yu J., Stracener J., Woods T.: Systems Requirements Engineering – State of the Methodology, Systems Engineering, Vol. No. 3, 2013, s. 267-276.
3. Blanchard B.S., Fabrycky W.J.: Systems Engineering and Analysis, Fourth Edition, Pearson 2006.

4. Buczacki A., Oppenheim B.: Efektywne zarządzanie dużymi projektami oparte o podejście Lean, Strefy PMI, Nr 7 2014, s. 14-15.
5. Cempel C.: Teoria i Inżynieria Systemów – zasady i zastosowania myślenia systemowego, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2006.
6. CORE System Definition Guide, Vitech Corporation, 2013.
7. Durugbo C.: Integrated Product-Service Analysis Using SysML Requirement Diagrams, Systems Engineering, Vol. 16, No. 1, 2013, s. 111-123.
8. Fisher A., Friedenthal S., Sampson M., VanZandt L., Palmer J., Nolan M., Loeffler M., Bajaj M., Hovey K., Hart L.: Model Lifecycle Management for MBSE, (prezentacja wygłoszona na konferencji 24th Annual INCOSE International Symposium, June 30-July 3 2014 Las Vegas, USA).
9. Fridenthal S., Moore A., Steiner R.: A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language, Morgan Kaufmann OMG Press 2012 (Second ed.)
10. Gilb T.: Competitive Engineering, A Handbook for Systems Engineering, Requirements Engineering, And Software Engineering Using Planguage, Elsevier 2005.
11. Grenn M.W., Sarkani S., Mazzuchi T.: The Requirements Entropy Framework in Systems Engineering, Systems Engineering Vol. 17, No 4, 2014, s. 462-478.
12. Guide for Writing Requirements, Requirements Working Group INCOSE, 2012. Dokument dostępny: www.incose.org.
13. Haskins C., Krueger M., Hamelin R.D.: Systems Engineering Handbook – A guide for system life cycle processes and activities, INCOSE, 2011. Dokument dostępny: www.incose.org
14. Hall A.D.: Podstawy techniki systemów (ogólne zasady projektowania), Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1968.
15. Hood C., Wiedemann S., Fichtinger S., Pautz U.: Requirements management, the interfaces between requirements development and all other systems engineering processes, Springer-Verlag, Heidelberg, 2008.
16. Hull E., Jackson K., Dick J.: Requirements Engineering, Springer-Verlag, London 2011, Third Edition.
17. ISO/IEC 15288:2008 Systems Life Cycle Processes.
18. ISO/IEC 29148 FDIS Systems and Software Engineering – Life Cycle processes – Requirements Engineering, 2011.
19. Klir G.J. (red.): Ogólna teoria systemów – tendencje rozwojowe, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
20. Konieczny J.: Inżynieria systemów działania, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1983.
21. Kossiakoff A., Sweet W.N., Seymour S.J., Biemer S.M.: Systems Engineering Principles and Practice, Second Edition, Wiley 2011.
22. Long D., Scott Z.: A Primer For Model Based Systems Engineering, 2nd Edition, Vitech Corporation 2011 (publikacja dostępna na www.vitechcorp.com).
23. Maalej W., Thurimella A.K. (ed.): managing Requirements Knowledge, Springer 2012.
24. Oppenheim B.W.: Lean for Systems Engineering with Lean Enablers for Systems Engineering, Wiley 2011.
25. Oppenheim B.W.: Lean Systems Engineering – szansa dla polskiej gospodarki, Referat przedstawiony w maju 2014 r. na Politechnice Warszawskiej.

26. Roedler G.: What is ISO/IEC 15288 and Why Should I Care?, 2002.09.17 (prezentacja dostępna na www.incose.org).
27. Sage A.P.: Systems Management – for information technology and software engineering, Wiley 1995.
28. Sheldon F.T., Kavi K., Yu J., Everett W., Tausworthe R., Brettschneider R.: Reliability measurement: From theory to practice, IEEE Software 9 (4) (July 1992), 13-20.
29. Ward A.: Lean Product and Process Development, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA, USA, March 2007.
30. Wrycza S., Marcinkowski B.: Język inżynierii systemów SysML – Architektura i zastosowania, profile UML 2.x w praktyce, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2010.
31. Zielczynski P.: Requirements Management Using IBM Rational RequisitePro, IBM Press, 2008.

Dr inż. Aleksander BUCZACKI
Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych
Wydział Inżynierii Produkcji
Politechnika Warszawska
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 86
tel.: (0-22) 849 01 85
fax: (0-22) 849 93 90
e-mail: a.buczacki@wp.pl