

PROJEKTOWANIE ZAGREGOWANYCH KPI JAKO METODA IMPLEMENTACJI PROCESÓW DECYZYJNYCH W ZARZĄDZANIU *SMART CITIES*

*Cezary Orłowski¹, Tomasz Sitek¹
Artur Ziółkowski¹, Paweł Kapłański¹
Aleksander Orłowski¹, Witold Pokrzywnicki¹*

Streszczenie

Celem artykułu jest prezentacja koncepcji pomiaru wydajności procesów zarządzania miastem z wykorzystaniem koncepcji zagregowanych KPI. W zarządzaniu organizacjami, a w konsekwencji stosowania wspólnych ram projektowych również w zarządzaniu miastami stosuje się powszechnie silosowe KPI obrazujące stany procesów organizacji/miasta. Pojawia się więc pytanie na ile proponowane w artykule zagregowane KPI mogą być stosowane w procesach zarządzania inteligentnymi miastami w miejsce silosowych typowych dla organizacji. Praca została podzielona na cztery główne części. W pierwszej przedstawiono problemy zarządzania inteligentnymi miastami aby wprowadzić czytelnika w problematykę pomiaru procesów i potrzeby pomiarów zagregowanych. W części drugiej omówiono wskaźniki KPI i ich miejsce i znaczenie dla procesów zarządzania. Część trzecia zawiera opis modelu zagregowanych KPI dla wsparcia pomiarów stanu procesów miasta. W rozdziale czwartym przeprowadzono weryfikację opracowanego modelu, wykazując jego przydatność dla procesów zarządzania miastem. W podsumowaniu zawarto rekomendację dotyczące wykorzystania zagregowanych KPI w mieście.

Słowa kluczowe: *Smart Cities*, knowledge base, knowledge management, fuzzy logic, process modeling, decision support.

<https://doi.org/10.34808/remc.2015.02.002>

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Zarządzania i Ekonomii/ Gdańsk University of Technology, Faculty of Management and Economics

1. Wprowadzenie

Współczesne miasta zajmują obecnie zaledwie 2 proc. powierzchni ziemi, a zamieszkuje je aż 50 proc. światowej populacji. Przewiduje się, że do 2050 roku w miastach żyć będzie już 70 proc. ludzi. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w Polsce wskaźnik ten już dziś wynosi około 6%. (Główny Urząd Statystyczny, 2014). Ponadto liczba ludności migrującej z obszarów miejskich do aglomeracji stale rośnie. Wszystko to sprawia, że wyzwaniem współczesnych cywilizacji staje się zarządzanie dużymi miastami. Zależy ono od bazy doświadczeń, kompetencji oraz przede wszystkim dostępnych zasobów danej aglomeracji. W wielu miastach decydenci są powszechnie wspierani technologiami informatycznymi pomocnymi w analizowaniu procesów decyzyjnych (Klaster Smart IT, 2014).

Mimo że w kontekście różnych uwarunkowań funkcjonowania miast i ich rozwoju można zauważyć wiele podejść i koncepcji zarządzania miastem to coraz częściej traktowane są one jako możliwe do zarządzania w kontekście zastosowania do zarządzania ich funkcjonowaniem procesów inteligentnych. *Smart* (lub *Smarter*) *City* można określić jako ideę, u podstaw której leży implementacja tych procesów. Nie ma jednej spójnej definicji *Smart City*. Należy przyjąć, że to raczej pewna wizja oparta na dwóch filarach – dobrych praktykach zarządzania oraz możliwościach wsparcia procesów miasta szerokorozumianymi technologiami informatycznymi (Campbell, 2012).

Wdrożenie technologii IT do każdej większej organizacji stanowi przedsięwzięcie, dla którego powinny być określone co najmniej trzy ograniczenia: zakres prac, harmonogram przedsięwzięcia i jego budżet. Z punktu widzenia tak dużej i skomplikowanej struktury, jaką jest miasto, szczególnie ważny jest zakres prac, czyli pożądaną przez odbiorcę – miasto funkcjonalności systemu. Zarządzanie taką strukturą wymagać musi przede wszystkim ich usystematyzowania, opisanie i wybrania najistotniejszych. Identyfikacja kluczowych funkcjonalności dla wdrożenia systemu może być problematyczna w przypadku tych procesów, w realizacji których bierze udział kilka podmiotów miasta. Wówczas rozwiązania IT są wdrażane w sposób niesynchronizowany przez poszczególne jednostki różnych poziomów samorządów co prowadzi do dużej fragmentacji procesów i systemów miasta.

Autorzy pracy postawili sobie za cel zaprojektowanie i wdrożenie systemu w Gdańsku. Założono, że celem będzie projektowanie komponentów ramy projektowej IBM IOC (Intelligent Operating Centre), które można wykorzystywać w przypadku kolejnych miast (Witryna IBM, 2015). Niniejsza praca koncentruje się na projektowaniu jednego z komponentów – wskaźników KPI jako miary stanu procesów decyzyjnych miasta.

2. Przykładowe procesy decyzyjne miasta wspierane silosowymi KPI

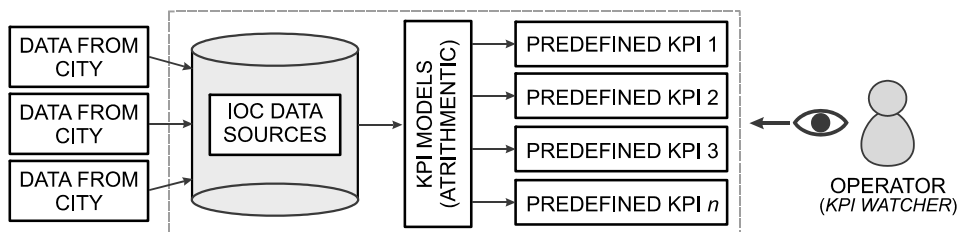
KPI (ang. *Key Performance Indicator*) definiuje się jako mierniki procesów realizacji celów organizacji. Pojęcie to pojawia się najczęściej w kontekście da-



nych finansowych i stanowi dla decydentów sygnał o stanie procesów pracy, ich kosztach i jakości. Może mieć charakter narzędzia kontroli menedżerskiej i powinno stwarzać warunki do podejmowania decyzji bez obciążania decydentów szczegółową analizą danych źródłowych. W praktyce zdefiniowano wiele różnych KPI wykorzystywanych dla firm: wskaźniki finansowe (np. marża przeliczana na klienta, wartość sprzedaży przeliczana na pracownika), w obszarze obsługi klienta (% nieterminowych dostaw do klientów), jakości usług (liczba reklamacji) i wiele innych (Parmenter, 2012). Należy zwrócić uwagę, że KPI jest funkcją dowolnych danych wejściowych, istotnych z punktu widzenia podejmowanych decyzji. Ważny jest przy tym kontekst, czyli z góry ustalona skala dla każdego wskaźnika z określeniem wartości krytycznych (przekroczenie których należy traktować jako sytuację alarmową) (Parmenter, 2007).

KPI są elementem większości systemów informatycznych, które wspomagają zarządzanie organizacją na różnych szczeblach (od operacyjnego do strategicznego). Implementuje się je w systemach klasy ERP (*Enterprise Resources Planning*) i CRM (*Customer Relationship Management*). Są również wykorzystywane w systemach *Smart Cities*. W systemach tych budowa KPI obejmuje następującą sekwencję procesów:

- identyfikację źródeł danych zewnętrznych zasilających wewnętrzną bazę danych systemu *Smart Cities* (w tym – ustalenie harmonogramów ich pozyskiwania);
- budowę modeli KPI, które definiują relacje między różnymi danych wejściowymi (jeden model KPI może być wykorzystywany do budowy rodziny kilku KPI);
- opracowanie i zdefiniowanie pojedynczych KPI, które będą dostępne na pulpicie operatora systemu (w tym ustalenie skali prezentowanej przez system poprzez paletę kilku kolorów).



Rys. 1. Systemy *Smart Cities* – sekwencja procesów projektowania KPI

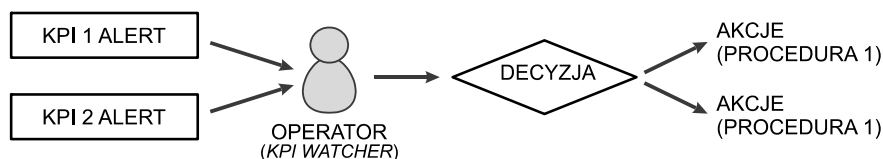
Opisana powyżej sekwencja procesów prowadzi do uruchomienia w systemach *Smart Cities* cyklicznego przyływu danych. Sekwencję taką zobrazowano na rysunku 1. Dane źródłowe pozyskiwane są z zewnętrznych baz, które zasilają wewnętrzną bazę *Smart Cities* (proces 1). Na rysunku 1 przedstawiono przykładową implementację baz dla systemu IBM IOC. Baza ta stanowi z kolei źródło danych dla modeli KPI (proces 2). Modele KPI stanowią logicznie (tematycznie) zgrupowane dane pod potrzeby konkretnych wskaźników KPI (proces 3). Każdy zdefiniowany KPI staje się obiektem dostępnym dla operatora z poziomu jego pul-

pit. Operator zaś – z punktu widzenia procesów podejmowania decyzji staje się „obserwatorem KPI”, a dopiero potem – decydentem (IBM, 2013).

Opisany powyżej proces projektowania wskaźników stanowi przykład projektowania tzw. silosowych KPI. Sprawdzają się one dobrze w przypadku implementacji procedur, które nie wymagają natychmiastowego działania. Wiele danych może bowiem być pozyskiwanych z miasta z opóźnieniem w stosunku do pomiaru. Wiele pomiarów nie jest dokonywanych w cyklu ciągłym, więc operator nie odbiera ich w systemie w czasie rzeczywistym (np. pomiary meteorologiczne z czujników). Takie podejście jest akceptowalne tylko dla części procedur miasta. W przypadku wystąpienia zdarzenia stanowiącego zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego, skuteczność działania odpowiednich służb koordynowanych przez operatora zależy wprost od czasu uzyskania danych. Wówczas wsparcie decyzyjne rozumiane jest jako następująca sekwencja procesów:

- niezwłoczne dostarczenie operatorowi informacji o zaistnieniu zagrożenia (poprzez uruchomienie KPI),
- wsparcie operatora w szybkim powiadomieniu odpowiednich służb (zgodnie z obowiązkiem, który w danej sytuacji kryzysowej nakłada na miasto właściwy akt prawny),
- przedstawienie opcji i sugestii dla procesów decyzyjnych – w szczególności: przydział zasobów takich jak karetki, zastępy staży pożarnej itd.

W opisanych powyżej przypadkach wskaźnik KPI stanowi źródło informacji (wiedzy) związane z konkretną pojedynczą sytuacją krytyczną, która łatwa jest do zamodelowania. Projektant systemu w tworzeniu modelu silosowego KPI potrzebuje konkretnych (kluczowych dla danego procesu) danych ze źródeł zewnętrznych, ustalonej metody przetwarzania danych oraz określenia elementu na swoim pulpicie wraz ze warunkami prezentacji tego elementu (skala i wartości graniczne). Jeżeli jednak przyjmujemy, że w takiej organizacji jak miasto codziennie zachodzi wiele sytuacji krytycznych równoległe to wówczas problemem decyzyjnym dla operatora staje się sytuacja, gdy otrzymuje on np. dwa alarmy (zgłoszenia sytuacji krytycznych). Musi wówczas uruchomić dwie równoległe procedury postępowania, co powoduje, że na poziomie systemu, istnieje potrzeba integracji danych z niezwiązanych wstępnie źródeł zewnętrznych. W przypadku braku takiej integracji wsparcie decyzyjne realizowane musi być poprzez wiele różnych KPI. Przykładowy schemat działania operatora wywołany poprzez równoczesne dwa alerty KPI przedstawia rys. 2.

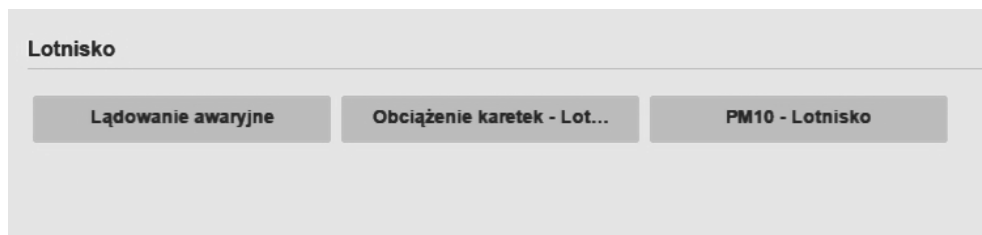


Rys. 2. Schemat działania operatora wywołany poprzez równoczesne dwa alerty KPI

Na rysunku 2 przedstawiono sytuację, w której operator powinien podjąć decyzję (rozdział zasobów dostępnych w ograniczonej liczbie) dla dwóch sytuacji krytycznych zasygnalizowanych przez dwa różne wskaźniki KPI. Dwa rozłączne źródła danych dla operatora sprawiają, iż musi on dokonać agregacji obu KPI. Takie rozwiązanie stanowi dla operatora duże obciążenie i jednocześnie zwiększa niepewność decyzyjną. Można jednak na podstawie analizy sytuacji przedstawionej na rysunku 2 sformułować następujące wnioski dotyczące wpływu analizy KPI na procesy decyzyjne organizacji (w szczególności – miasta):

- KPI rozumiane jako element interfejsu systemu informujący o sytuacji krytycznej na bazie prostych operacji arytmetycznych ma charakter silosowy (IBM, 2011). Stanowi alarm dla operatora, ale sam w sobie nie wspiera jego decyzji. W sytuacjach rzeczywistego zagrożenia życia ludzkiego jest wobec tego rozwiązaniem zbyt „wolnym”.
- KPI są przez operatora śledzone pojedynczo. KPI realizuje osobną kalkulację wartości napływających w odniesieniu do wartości progowych; analogicznie wyświetla każdy wskaźnik jako osobny obiekt. Ekran z wieloma KPI dostępnymi dla operatora może przestać być czytelny (patrz rys. 3, gdzie pokazano przykładowy pulpit systemu ze zdefiniowanymi kilkoma KPI).
- KPI można więc utożsamiać z tzw. silosami informacyjnymi – stanowią widok dokładny, ale tylko wycinka krytycznego obszaru miasta.

Powyższe spostrzeżenia dobrze zobrazowano na rysunku 3, który jest zrzutem ekranu z pulpitu systemu IBM IOC. Pokazuje on wskaźniki silosowe KPI jako zbiór elementów (prostokąty) dotyczących trzech różnych sytuacji: awaryjnego lądowania samolotu, przekraczania pyłu PM10 oraz wykorzystania karetek. Zakres kolorów został ustalony na etapie konstrukcji KPI.



Rys. 3. Silosowe KPI systemu IOC dotyczące awaryjnego lądowania samolotu, przekroczenia pyłu PM10 oraz wykorzystania karetek

Wspomniane powyżej KPI stanowią obrazy stanów silosów informacyjnych i nie zależą od siebie wzajemnie. Obrazują one stan procesów, ale w sposób rozłączny. W takiej jednak organizacji jak miasto procesy miasta są ściśle zależne od siebie, tak więc idea prezentowanych wskaźników KPI nie w pełni znajduje odzwierciedlenie w mieście od analizy stanów jego procesów (Hatzelhoff, 2012). Dlatego też celem tej pracy jest prezentacja KPI zagregowanych, które w pełni, a nie w części wykorzystywane będą w procesach decyzyjnych miasta. Powinny

być one wykorzystywane przez operatora/decydenta, a ich projektowanie powinno bazować na modelach procesów miasta. Model zagregowanych KPI omówiono w kolejnym rozdziale niniejszego artykułu.

3. Modele zagregowanych KPI

W poprzednim rozdziale opisano silosowe wskaźniki KPI bazujące na pojedynczych danych definiowane na etapie wdrożenia systemu *Smart City*. Obecnie zostanie przedstawiona koncepcja zintegrowanych KPI bazujących głównie na modelach procesów miasta, które stanowią podstawę do tworzenia logicznych łańcuchów KPI projektowanych w Bussines Monitorze. Ten typ KPI jest wykorzystywany do tworzenia dynamicznych struktur dla wsparcia procesów decyzyjnych. Opracowano generyczny model tych wskaźników dla implementacji procesów decyzyjnych dla dowolnych miast.

3.1. Zagregowanie KPI – definicja i znaczenie

Silosowe KPI, które zostały przedstawione w poprzedniej części artykułu podlegają procesom przetwarzania danych w silosach informacyjnych. W odróżnieniu od nich zagregowane KPI to konstrukcje działające dodatkowo w określonym kontekście procesów decyzyjnych – są nim aktualnie realizowane procesy decyzyjne miasta (uruchamiające konkretne procedury działania). Uruchomienie zagregowanego KPI ma być determinantą dla pewnej, określonej procedury, która stanowi reakcję na wykryte zagrożenie (realne lub potencjalne).

Aby dokładniej wyjaśnić koncepcję zagregowanego KPI, niezbędne jest doprecyzowanie istotnych pojęć. W artykule traktujemy zagregowane KPI jako sekwencje procesów, na które składają się:

- decyzje – będące konsekwencją wyborów podejmowanych przez operatora; wpływają one na przebieg procesu miasta;
- działania – zależne od podjętych decyzji i postrzegane jako konsekwencje decyzji, a następnie obrazowane jako wyniki działania KPI, które:
 - wywołują procedury (zwane dalej *KPI inicjującymi* – *KPI_I*) – przedstawiane przez nie przekroczenia wartości krytycznych stanowią pierwszy krok w każdej z procedur. Przykładowe *KPI_I*: przekroczenie bezpiecznych stanów stężenia w powietrzu zanieczyszczeń powietrza (np. PM10),
 - dostarczają informacji pomocnych w podejmowaniu decyzji (zwane *KPI wspierającymi* – *KPI_W*) są one niezbędne w procesie decyzyjnym. W badanych przypadkach *KPI_W* utożsamiane są z liczbą dostępnych zasobów niezbędnych do ograniczenia lub wyeliminowania sytuacji krytycznej. Przykładowe *KPI_W*: liczba dostępnych karettek w mieście, liczba łóżek w publicznych placówkach medycznych.

Przykład KPI inicjującego (lądownie awaryjne i przekroczenie pyłu) i KPI wspierającego (liczba karettek) przedstawiono na rys. 4.





Rys. 4. KPI inicjujące i wspierające jako składowe zagregowanego KPI

Poniżej przedstawiono strukturę łańcucha decyzyjnego pokazującego sposób konstrukcji KPI zagregowanego (wzór 1)

```

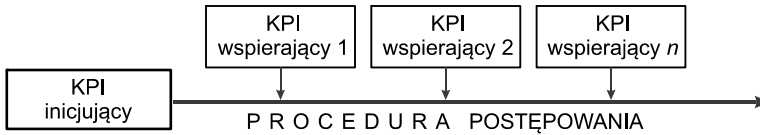
if (Lądowanie_x0020_awaryjne>=70 and PM10_x0020_-_x0020_Lotnisko>=60)      then 2
else if (Lądowanie_x0020_awaryjne>=70 and PM10_x0020_-_x0020_Lotnisko>=30) then 2
else if (Lądowanie_x0020_awaryjne>=70 and PM10_x0020_-_x0020_Lotnisko>=0)  then 1
else if (Lądowanie_x0020_awaryjne>=40 and PM10_x0020_-_x0020_Lotnisko>=60) then 1
else if (Lądowanie_x0020_awaryjne>=40 and PM10_x0020_-_x0020_Lotnisko>=30) then 1
else if (Lądowanie_x0020_awaryjne>=40 and PM10_x0020_-_x0020_Lotnisko>=0)  then 1
else if (Lądowanie_x0020_awaryjne>=0 and PM10_x0020_-_x0020_Lotnisko>=0)   then 0
else if (Lądowanie_x0020_awaryjne>=0 and PM10_x0020_-_x0020_Lotnisko>=1)   then 0
else 0

```

(1)

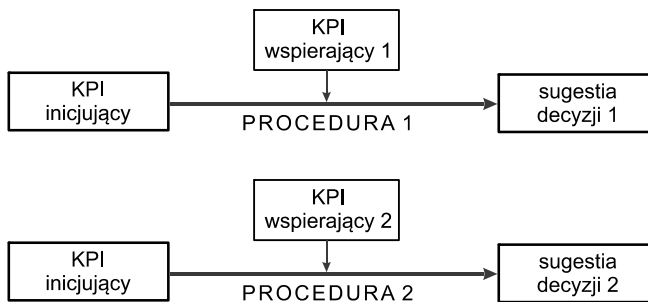
Obejmuje on zarówno obie procedury (opisane powyżej) jak też uwzględnia poziomy zagrożenia. Warunkiem koniecznym do uznania sytuacji za niebezpieczną i uruchomienia z tego powodu odpowiedniego procesu będzie przekroczenie tylko jednego KPI inicjującego (KPI_I), np. poziomu pyłu PM10. Wystarczy bowiem otrzymać sygnał przekroczenia wartości KPI, by uznać sytuację za niebezpieczną. W podanej powyżej procedurze (wzór 1) niezbędne staje się pozyskanie wartości z wielu KPI wspierających (KPI_W). Model relacji pomiędzy różnymi rodzajami KPI a procedurą postępowania będący uogólnieniem procesów przedstawionych na rys. 3 i 4 pokazano na rys. 5. Na rysunku tym na osi reprezentującej wykonywaną

w czasie procedurę postępowania przedstawione są KPI inicjujące (na początku – ten wskaźnik rozpoczyna sekwencję działań) oraz KPI wspierające (w trakcie wykonywania procedury – podczas podejmowania decyzji).



Rys. 5. Model relacji między KPI inicjującym oraz KPI wspierającym a procedurą postępowania opracowany na podstawie rys. 3 i 4

W przypadku wystąpienia pojedynczego zagrożenia wciąż wystarczający wydaje się silosowy KPI – zarówno w roli inicjującej, jak i wspierającej. Silosowy KPI bowiem nie wymaga wspomnianego kontekstu procesów, jest uruchamiany zawsze w związku z jednym, konkretnym procesem decyzyjnym. Jednakże należy zwrócić uwagę, że w przypadku równoczesnego zaistnienia dwóch (lub więcej) zagrożeń powyższy prosty model działania staje się niewydajny, a w zasadzie wręcz niemożliwy do zastosowania. Operator otrzymuje bowiem od systemu z dwóch różnych procedur sugestie dwóch różnych decyzji o przydziale zasobów (np. wspomnianych karetek). Niestety obie procedury nie uwzględniają swojego istnienia. W skrajnym przypadku może się okazać, że dla obu zagrożeń operator otrzyma polecenie przydziału maksymalnych dostępnych zasobów (czyli np. wysłania wszystkich dostępnych karetek w dwa różne miejsca). Wówczas model wsparcia decyzyjnego dla dwóch procesów wspomagany silosowymi KPI obrazuje rysunek 6.

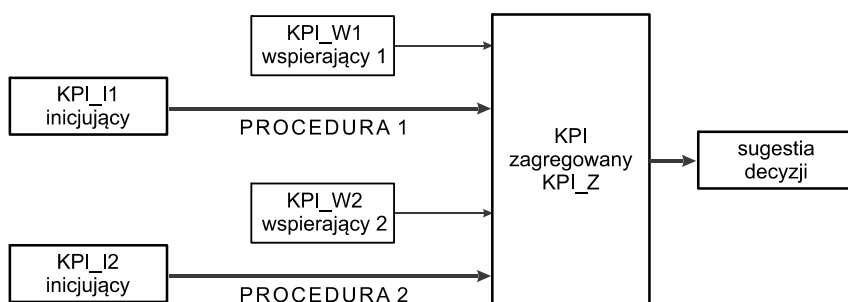


Rys. 6. Model wsparcia dwóch równolegle uruchomionych procedur silosowymi KPI – dwie niezależne sugestie decyzji

Rozwiązaniem dla zaprezentowanego na rysunku 6 problemu jest model wsparcia decyzyjnego wykorzystujący wskaźniki o charakterze zagregowanym. Ich istota i znaczenie zostanie opisane w kolejnym rozdziale.

3.2. Model wsparcia procedur miasta zagregowanymi KPI

Najważniejszą przesłanką stojącą u podstaw konstrukcji tego modelu jest eliminacja niezależnych decyzji będących konsekwencją stosowanych procedur. Przyjmuje się bowiem że procedury, które koordynuje operator nie mogą być traktowane rozłącznie ponieważ istnieją wspólne uwarunkowania obu decyzji obrazowane wskaźnikiem zagregowanym (KPI_Z). KPI_Z prezentować będzie stan danych uwzględniający kontekst wielu zróżnicowanych pod względem wartości i wielkości procesów miasta. Sposób funkcjonowania KPI zagregowanego przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Proponowany model wsparcia decyzyjnego miasta dla kilku równoległe uruchomionych procedur zintegrowanych poprzez KPI_Z zagregowany

Mimo że zaprezentowane na rysunkach 6 i 7 modele, mimo że opierają się na tych samych założeniach początkowych, generują dwie różne typy sugestii decyzji (dwie niezależne lub jedną zbiorczą), gdyż:

- operator ma do czynienia w obu przypadkach z dwoma powiadomieniami (KPI inicjującymi);
- operator wykorzystuje dwie równoległe sugestie decyzji (z wykorzystaniem dwu KPI wspierających).

Zbiorcza decyzja jest wynikiem agregacji KPI inicjujących i wspierających. Tworzą one KPI_Z zintegrowane. Jak wcześniej założono, wsparcie decyzji rozumiane jest tu jako rozdzielenie przez operatora ograniczonych zasobów niezbędnych do realizacji przyjętych procedur (rys. 7). Każdą procedurę będącą odpowiedzią na sytuację krytyczną w mieście można potraktować jako parę (dwójkę) elementów opisaną jako:

$$P_X [KPI_{I_{1X}}, (KPI_{W_{1X}}, KPI_{W_{2X}}, \dots, KPI_{W_{nX}})] \quad (2)$$

gdzie: P_X – procedura X
 $KPI_{I_{1X}}$ – KPI inicjujący procedurę P_X
 $KPI_{W_{nX}}$ – zestaw KPI wspomagających procedurę P_X

Należy zauważyć, że w różnych procedurach mogą być wykorzystywane te same KPI_W (wspierające). Stąd też pierwszym krokiem na etapie wdrożenia systemu *Smart Cities* może być przygotowanie katalogu KPI_W. W ten sposób



wskaźnik zagregowany KPI_Z będzie mógł wykorzystywać dla dwu analizowanych procedur identyczne KPI_W . Takie podejście stwarza warunki do przydzielenia tego samego rodzaju zasobów (np. obie procedury wymagają informacji o liczbie karetek, więc dla obu podjęta musi być decyzja o tych samych zasobach). Taki katalog KPI może stanowić podstawę do opisu ontologicznego wskaźników KPI.

Proponowany zagregowany wskaźnik zagregowany KPI_Z będzie zatem prezentował wartość (wynik) zależną od stanu wskaźników inicjujących wszystkich procedur P_x , które w danej chwili zostały zainicjowane. Tak zdefiniowany proces formalizacji wskaźników i procedur stwarza warunki do integracji wszystkich zagrożeń, które zaistniały w tym samym czasie i wymagają decyzji dotyczących przydzielanych zasobów. Zagregowany KPI_Z stanowi więc funkcję zależną od integrowanych przez niego procedur P_1, P_2, \dots, P_n . Stąd też wskaźnik KPI_Z dla danej procedury P_x przyjmować będzie wartość, która zależy od liczebności zasobów, które mogą być przydzielone dla procedury x .

$$KPI_z = f(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (3)$$

Należy przy tym wyjaśnić, na jakiej zasadzie wskaźnik KPI_Z będzie przyjmował określone wartości. Wartości te mogą być przyjmowane na etapie modelowania i implementacji każdej procedury z wykorzystaniem tzw. macierzy zależności KPI oraz uaktualnienia macierzy priorytetów. Obie te macierze stanowią bazę wiedzy uzupełniającej procesy modelowania.

3.3. Macierze zależności zagregowanych KPI

Macierze zależności KPI to obiekty, które zawierać mają w założeniu wiedzę o relacjach między różnymi wskaźnikami, które wykorzystuje dana procedura. Dzięki ich tworzeniu projektant KPI będzie bezpośrednio identyfikował powiązania KPI z procesem miasta. Ta zależność staje się niezbędna do prawidłowego wykorzystania wskaźnika KPI_Z . Stąd też budując macierz zależności dla każdej procedury, koniecznym będzie określenie, jakie KPI_I i jakie KPI_W są niezbędne do prawidłowego działania zagregowanego KPI. Przykładowa macierz zależności KPI została pokazana w tabeli 1.

Tab. 1. Macierz zależności KPI_I – KPI_W dla pojedynczej procedury

Zależności KPI	KPI_I_1	KPI_I_2	KPI_I_m
KPI_W_1	Z_{11}	Z_{21}	Z_{m1}
KPI_W_2	Z_{12}	Z_{22}	Z_{m2}
KPI_W_n	Z_{1n}	Z_{2n}	Z_{mn}

Założono także, że:

$$Z_{xy} \in \{0, 1\} \quad (4)$$

gdzie: Z_{xy} – to wyrażona binarnie zależność między procedurami X i Y .



Wartość 0 oznacza brak korelacji w danej procedurze między wskaźnikami KPI_I a KPI_W, natomiast wartość 1 oznacza, że taka korelacja istnieje. Nie określa się progu akceptowalności wartości tego współczynnika.

Opisana w tym rozdziale macierz zależności KPI ma za zadanie powiązać istniejące wskaźniki dla różnych procedur. System będzie więc mógł wykorzystać tę wiedzę na etapie sprawdzania, na ile dwie sytuacje krytyczne wymagają tego samego rodzaju zasobów do przydzielenia. Jeżeli okaże się, że taki wymóg istnieje, operator stanie przed decyzją dotyczącą przydzielenia konkretnej liczby zasobów, która ma zostać skierowana w dwie różne lokalizacje w mieście. Aby określić, które z zasobów mają wyższy priorytet konieczna staje się budowa macierzy priorytetów. Metodę jej budowy opisano w kolejnym rozdziale.

3.4. Macierz priorytetów zagregowanych KPI

Jeśli okaże się, że wystąpiła konieczność podjęcia decyzji o przydzieleniu zasobów tego samego rodzaju, to należy określić, której procedurze należy przydzielić określoną część zasobów. Konieczne staje się więc określenie reguł określania wskaźnika KPI_Z dla każdej z procedur. Na etapie implementacji danej procedury, musi zostać określony priorytet w stosunku do pozostałych procedur. Taka wiedza zostanie zgromadzona w macierzy priorytetów (tab. 2).

Na tym etapie prac przyjęto, że dla każdej procedury P_X określona zostanie waga względem wszystkich innych procedur. Oznacza to uproszczone założenie, że pewne sytuacje krytyczne będą miały arbitralnie ustalone większe priorytety niż inne na etapie przydzielania zasobów.

Tab. 2. Macierz priorytetów dla uruchomionych równocześnie procedur

Priorytety	P_1	P_2	P_n
P_1	0	W_{12}	W_{1n}
P_2	W_{21}	0	W_{2n}
P_n	W_{n1}	W_{n2}	0

Zawarte w tablicy wartości W_{XY} reprezentują priorytet, jaki ma procedura X w odniesieniu do procedury Y . Przyjęto także, że muszą być spełnione następujące warunki:

$$W_{XY} > 0, \quad \text{gdy} \quad X > Y \quad (5)$$

$$W_{XY} = 0, \quad \text{gdy} \quad X \leq Y \quad (6)$$

$$W_{XY} = \frac{1}{W_{YX}} \quad (7)$$



Przyjęto także, że wartość W_{XY} ta jest istotna i wykorzystywana do obliczenia KPI_Z , gdy jednocześnie zajądą dwie przesłanki:

- obie procedury X i Y zostaną uruchomione równocześnie;
- obie procedury X i Y korzystają z tych samych wskaźników KPI_W (czyli wymagają zasobów tego samego rodzaju).

Wartość szukanej zagregowanego wskaźnika KPI_Z dla procedury X będzie wówczas określona następująco:

$$KPI_{Z_X(P_X)} = W_{XY} \cdot KPI_{W_n} \quad (8)$$

Wskaźnik obliczony zgodnie ze wzorem (8) wykorzystuje zarówno zdefiniowane uprzednio wskaźniki KPI , jak i wiedzę zawartą w obu macierzach – zależności KPI oraz priorytetów. Należy podkreślić, że przedstawiona metoda określania wskaźników powinna być zweryfikowana. Dla potrzeb tego procesu przyjęto założenia wystąpienia w mieście dwóch różnych zagrożeń i pokazano jak zagregowany wskaźnik KPI_Z może zostać w takim przypadku zastosowany dla wsparcia decydenta – operatora systemu *Smart Cities*.

4. Zastosowanie modelu zagregowanych KPI w procesach projektowania systemu *Smart Cities*

Na potrzeby weryfikacji modelu przedstawionego w niniejszej pracy, poddano analizie potencjalną sytuację jednoczesnego zaistnienia dwóch zagrożeń o odmiennym charakterze. Mimo różnic, oba przypadki mogą stanowić realne zagrożenie dla mieszkańców miasta i dla obu zostały określone procedury postępowania w mieście. Uwzględniono dwie następujące procedury:

- procedura P_1 : uruchamiana, gdy stwierdza się przekroczenie bezpiecznego dla mieszkańców poziomu stężenia niebezpiecznych substancji w powietrzu (w szczególności – pyłów PM_{10}) – właściwy KPI_I_1 zostaje uruchomiony, gdy jedna ze stacji pomiarowych (czujników) zlokalizowanych w mieście przekaże serię danych mówiących o stężeniu PM_{10} wyższym niż założony próg; taka sytuacja może wpłynąć negatywnie na samopoczucie i zdrowie mieszkańców znajdujących się w strefie objętej zdarzeniem. Rekomendowane działania/decyzje operatora: wysłać prewencyjnie karetki pogotowia na dany teren;
- procedura P_2 : gdy następuje uzyskanie sygnału od służb lotniskowych o problemach samolotu pasażerskiego podchodzącego do lądowania (uruchomiony KPI_I_2); niebezpieczeństwo narażenia życia pasażerów. Rekomendowane działania/decyzje operatora: wysłać prewencyjnie karetki pogotowia na lotnisko (analogicznie jak dla procedury P_1).

Problemem decyzyjnym dla operatora jest więc dobór odpowiedniej liczby karetek, które należy wysłać w oba miejsca. Dla tak uproszczonego przykładu określone będą więc następujące zmienne wyrażone w systemie $IBM\ IOC$ poprzez KPI :

- KPI_Z_1 i KPI_Z_2 – wartości szukane – liczby karetek sugerowane do wysłania odpowiednio dla procedur P_1 i P_2 ,



- KPI_I₁ – wskaźnik inicjujący procedurę P₁, czyli przekroczenie dopuszczalnego poziomu stężenia pyłów PM10,
- KPI_I₂ – wskaźnik inicjujący procedurę P₂, czyli informacja o zagrożeniu samolotu,
- KPI_W₁ – liczba karetek dostępnych w danej chwili, informacja pozyskiwana od służb medycznych. Na potrzeby niniejszego przykładu zakłada się KPI_W₁ = 100.

Jako że obie procedury korzystają z tego samego wskaźnika KPI_W, macierz zależności Z między KPI wygląda jak przedstawiono w tab. 3.

Tab. 3. Macierz zależności Z dla badanego przypadku

Zależności KPI	KPI_I ₁	KPI_I ₂
KPI_W ₁	1	1

Na potrzeby tego przypadku założono, że procedura P₁ ma znacznie większy priorytet przy przydziale zasobów niż procedura P₂.

Tab. 4. Macierz priorytetów W dla badanego przypadku

Priorytety	P ₁	P ₂
P ₁	0	0,25
P ₂	4	0

System na podstawie dostępnych w czasie rzeczywistym danych oraz macierzy przygotowanych na etapie modelowania i implementacji dokonuje obliczeń wartości wskaźnika zagregowanego:

$$\text{KPI}_{Z_1(P_1)} = 0,25 \cdot 100 = 25 \quad (9)$$

(sugerowana liczba karetek dla P₁);

$$\text{KPI}_{Z_2(P_2)} = (1 - 0,25) \cdot 100 = 75 \quad (10)$$

(sugerowana liczba karetek dla P₂)

Powyższe obliczenia KPI_Z wspierają proces decyzyjny przydzielania zasobów. Stanowią dla operatora sugestie podziału zasobów.

5. Podsumowanie

W artykule zwrócono uwagę na aktualną problematykę wykorzystania wskaźników KPI jako mechanizmów wspierających zarządzanie inteligentną aglomeracją miejską (*Smart City*). Pracę oparto na wnioskach wskazujących na niedoskonałości prostych wskaźników KPI, wbudowanych standardowo w wiele systemów infor-



matycznych wspierających decyzje. Wskaźniki takie mają charakter niezależny od siebie, stanowią więc siłosy informacyjne.

Jakość podejmowanych decyzji w każdej organizacji – także w mieście – zależy od dostępnych dla decydenta danych i kontekstu ich wykorzystania. W badanym przypadku takim kontekstem są procesy miasta i każda decyzja musi być podejmowana z uwzględnieniem ich uwarunkowań i ograniczeń. W silosowym ujęciu KPI brak jednak wspomnianego kontekstu. Proponowany w niniejszym artykule model wsparcia decyzji jest odpowiedzią na ten problem. Wprowadza bowiem mechanizmy KPI_Z, czyli wskaźniki KPI zagregowane. Takie wskaźniki powinny być zdefiniowane w kontekście wszystkich procedur, przez co agregują kluczowe dla decydenta dane. Dane, które uwzględnia model podczas kalkulacji takiego zintegrowanego KPI są związane z każdą procedurą poprzez wskaźniki inicjujące (KPI_I) i wspomagające (KPI_W) oraz macierze opisane w poprzednim rozdziale.

Pokazany model jest pewnym uproszczeniem. Zakłada bowiem tylko takie sytuacje, gdy zachodzą równocześnie dwa zjawiska generujące potencjalny konflikt zasobów, dlatego zaproponowano macierz priorytetów dwuwymiarową. Przewidując konieczność uruchomienia jednoczesnego n procedur, należałoby nadać tej macierzy n wymiarów. Taka komplikacja wymusza jednak na zespole eksperckim konieczność zidentyfikowania i opracowania znacznie większej liczby zależności między procesami. Rodzi to jednak analogiczne wątpliwości, przed którymi staje inżynier wiedzy pozyskujący informację – czy baza wiedzy powinna być kompletna (uzyskanie takiej jest czasochłonne i trudne)? Może jednak powinna zawierać tylko wiedzę wystarczającą do podejmowania większości decyzji (ale łatwiejszą do zapisania)?

Z powyższych pytań wynika kolejny cel badań autorów. Jest nim rozszerzenie możliwości, jakie w badanym modelu mają macierze zależności i priorytetów. W przedstawionej koncepcji zawierają one wartości liczbowe, które wskazują na siłę relacji odpowiednio między wskaźnikami KPI_I i KPI_W oraz samymi procedurami P . Te relacje w złożonych organizacjach mogą jednak nie być opisane tak jednoznacznie. Wobec tego model powinien dać możliwość zawarcia w macierzach także poza samymi liczbami pewnych warunków. Warunki te to proste reguły decyzyjne IF-THEN (implikacje), które autorzy planują włączyć do modelu jako elementy wpływające na wyniki generowane przez zagregowany KPI_Z.

Wskaźniki zagregowane KPI_Z powinny mieć zastosowanie w każdej organizacji, gdzie liczba funkcjonujących procesów jest duża i jednocześnie są one ze sobą powiązane niezbędnymi do ich realizacji zasobami. Powyższe plany rozwoju modelu są na taką potrzebę odpowiedzią. Jednocześnie obrazują złożoność problemu zarządzania *Smart City* widzianym przez pryzmat procesów zachodzących w mieście.

Źródła

1. Campbell T.: (2012). *Beyond Smart Cities: How Cities Network, Learn and Innovate*. New York: EarthScan.



2. Deakin M. (red.): (2013). *Smart Cities. Governing, modelling and analysing the transition*. Routledge.
3. Główny Urząd Statystyczny (2014). *Prognoza ludności na lata 2014–2050 – raport*. Warszawa.
4. Hatzelhoff L.: (2012). *Smart City in Practice: Converting Innovative Ideas Into Reality: Evaluation of the T-City Friedrichshafen*. Jovis.
5. IBM Intelligent Operations Center 1.6, *Defining Data Sources* (2013). IBM.
6. IBM Intelligent Operations Center *KPI Implementers Guide*, version 1.0 (2011). IBM.
7. Klaster Smart IT (2014-05-29). Pobrano z lokalizacji: <http://smartpl.org>.
8. Parmenter D.: (2007). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPIs*. Hoboken: John Wiley and Sons.
9. Parmenter D.: (2012). *Key Performance Indicators for Government and Non Profit Agencies*. Hoboken: John Wiley and Sons.
10. Witryna IBM Intelligent Operations Center (2015-05-29). Pobrano z lokalizacji: <http://www-03.ibm.com/software/products/en/intelligent-operations-center/>.

DESIGNING AGGREGATE KPIS AS A METHOD OF IMPLEMENTING DECISION-MAKING PROCESSES IN THE MANAGEMENT OF SMART CITIES

The aim of the paper is to present a concept of measuring the performance of city management processes by use of a concept of aggregate KPIs. In the management of organizations and, as a consequence of the use of a common design framework also in the management of cities, silo KPIs are commonly used to show the statuses of the processes of organizations/cities. Thus the question arises as to what extent aggregate KPIs, as proposed in the paper, can be used in the management processes of smart cities in place of the silo ones typical for organizations. The work is divided into four main parts. The first presents the problems of managing smart cities to introduce the reader to the problems of measuring processes and the need for aggregated measurements. The second section discusses KPIs and their place and role in management processes. The third part contains a description of the model of aggregate KPIs to support measurements of the status of city processes. In the fourth section the developed model is verified, demonstrating its applicability for city management processes. The summary includes a recommendation for the use of aggregate KPIs in the city.

Key words: Smart Cities, knowledge base, knowledge management, fuzzy logic, process modeling, decision support.

