

**Artur OPALIŃSKI\*\***, **Marcin SOKÓŁ\***,  
**Magdalena SOKÓŁ\***, **Grzegorz KRASNODEBSKI\*\*\***

\* Laboratorium Przetwarzania Obrazu i Dźwięku  
Sp. z o.o., Gdański Park Naukowo-Technologiczny

\*\* Politechnika Gdańska

\*\*\* Akademia Marynarki Wojennej

## **METODA I NARZĘDZIA DIAGNOZOWANIA PROBLEMÓW PRZEPŁYWU POWIETRZA POD PODŁOGĄ TECHNICZNĄ W CENTRACH DANYCH SIECI KOMÓRKOWYCH<sup>1</sup>**

### **STRESZCZENIE**

W pracy opisano wagę problematyki kontroli i diagnostyki przepływu powietrza chłodzącego pod podniesioną podłogą techniczną w centrach danych telefonii komórkowej, z uwzględnieniem funkcji podwójnego zastosowania. Opisano specjalizowane narzędzie pomiarowe, oraz metodę pomiarów i weryfikacji, które pozwalają identyfikować problemy przepływu powietrza chłodzącego. Narzędzia i metoda zostały opracowane przez zespół Laboratorium Przetwarzania Obrazu i Dźwięku Sp. z o. o., jako rezultat realizacji projektu badawczo-rozwojowego nr POIG.01.04.00-22-063/13.

#### Słowa kluczowe:

sieć szkieletowa, sieć komórkowa, dual-use, centra danych, wentylacja i klimatyzacja

---

<sup>1</sup> Niniejsza praca badawcza powstała jako rezultat projektu: „*Opracowanie aktywnego systemu zarządzania przepływem ciepła w centrach danych*” (Projekt: POIG.01.04.00-22-063/13) współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Priorytet I – „Badania i rozwój nowoczesnych technologii”, Działanie 1.4 – Wsparcie projektów celowych.

## WSTĘP

Na przestrzeni ostatnich kilku lat można obserwować niezwykle szybko postępującą ewolucję specyfikacji systemów komórkowych, stanowiących jeden z głównych elementów krytycznej infrastruktury teleinformatycznej każdego państwa. Ich głównym przedstawicielem jest obecnie system LTE (*ang. Long Term Evolution*). Faktem jest, że rozwój sieci komórkowych charakteryzuje niezwykle duża dynamika zmian. W przypadku systemu LTE wyraźnie obserwowana jest tendencja do wprowadzania rozwiązań, bazujących na protokole internetowym IP (*ang. Internet Protocol*), szczególnie w odniesieniu do sieci szkieletowej tego systemu. Kolejne wersje specyfikacji wprowadzają nowatorskie rozwiązania, głównie w zakresie skali rozwiązań, bazujących właśnie na protokole IP. Z całą pewnością należy stwierdzić, iż zagadnieniom oszczędności energii w kolejnych wersjach specyfikacji publikowanych przez organizację 3GPP poświęca się zdecydowanie coraz więcej uwagi, co daje wyraźne powody do zadowolenia. Niestety, problematyka budowy efektywnych energetycznie sieci komórkowych, dotyczy głównie rozwiązań na poziomie sieci dostępowej oraz terminali ruchomych. Zagadnienia oszczędności energii w częściach szkieletowych tychże sieci są niemal całkowicie pomijane. Studia literaturowe odnoszące się do statystyk zużycia energii elektrycznej na świecie pokazują, że infrastruktura sieciami telekomunikacji mobilnej odpowiada za ponad 3% światowego zużycia energii [1], z czego aż 20% zużywane jest przez część szkieletową tych sieci, a pozostałe 80% przez stacje bazowe [2]. Prosty rachunek matematyczny prowadzi do konkluzji, że same tylko centra danych, tworzące części szkieletowe sieci komórkowych pochłaniają 0,6% światowego zużycia energii, co jest zgodne z raportami firm [3].

W ujęciu definicyjnym centra danych to obiekty infrastruktury IT (*ang. Information Technology*), w skład których wchodzi sprzęt informatyczny o wysokiej mocy przetwarzania oraz dedykowane oprogramowanie. Sprzęt informatyczny do prawidłowego funkcjonowania wymaga określonego zakresu temperatur i wilgotności, co pozwala minimalizować ilość awarii związanych z czynnikami środowiskowymi [4]. Mniej lub bardziej złożone struktury centrów danych znajdują wiele zastosowań zarówno cywilnych, jak i militarnych. Często także stanowią kluczowy element tzw. infrastruktur teleinformatycznych o charakterze krytycznym (np. centra danych tworzące tzw. część szkieletową sieci komórkowych). Prawidłowe funkcjonowanie sprzętu informatycznego w centrach danych nakłada specyficzne wymagania w zakresie chłodzenia. Typowe podejście (rys. 1) polega na zastosowaniu jednostek klimatyzacyjnych, które poprzez umieszczone w podniesionej podłodze technicznej płytki perforowane lub płytki wyposażone w uchylne żaluzje dostarczają zimne

powietrze w pobliże szaf przemysłowych [5, 6]. Szafy przemysłowe ustawiane są w rzędach. Przestrzenie między rzędami szaf to alejki. Alejki zimne, to alejki do których doprowadzane jest powietrze z urządzeń klimatyzacyjnych. Z tych alejek zimne powietrze jest zasysane przez stojące w rzędzie szafy [7]. Alejki gorące to alejki z tyłu rzędu szaf, do których wydmuchiwane jest z szaf powietrze ogrzane przez sprzęt informatyczny. Tym samym ciepło generowane przez sprzęt informatyczny umieszczony w szafach przemysłowych jest odbierana przez przepływające medium chłodzące, jakim jest powietrze, natomiast jednostki klimatyzatorów odpowiedzialne są za dostarczanie powietrza o parametrach temperatury i wilgotności w zakresie wymaganym przez sprzęt informatyczny [1, 8].

Według [9], w 2006 roku centra danych spożytkowały około 61 miliardów kWh energii elektrycznej, której koszt szacuje się na około 4,5 miliarda dolarów. W raporcie [10] przygotowanym przez *Natural Resources Defense Council* stwierdzono, że w 2013 roku centra danych znajdujące się na terenie USA zużyły 91 miliardów kWh. Prognozuje się, że do 2020 roku wartość ta ma wzrosnąć do 140 miliardów kWh [10]. Jest to prawdopodobne, nawet przy utrzymaniu obecnej słabej tendencji poprawy efektywności energetycznej, mierzonej wskaźnikiem PUE [11]. Jak wykazuje średnia wartość PUE, wynosząca ok. 1.7 [12], około 40% energii elektrycznej jest zużywane na zasilanie systemów chłodzących centrów danych. Wynika to również z innych analiz, zwracających uwagę na duże znaczenie właściwego zarządzania systemem chłodzenia [13, 14].



Rys. 1. Wykorzystanie podniesionej podłogi technicznej do zasilania zimnym powietrzem zabudowanej alejki między rzędami szaf przemysłowych zawierających elementy części rdzeniowej przykładowej sieci komórkowej [4].

## PROBLEM DIAGNOSTYKI PRZEPŁYWU POWIETRZA POD PODNIESIONĄ PODŁOGĄ TECHNICZNĄ

Zapewnienie możliwie dużej niezawodności sprzętu informatycznego będącego wyposażeniem serwerowni, oraz utrzymanie wysokiej efektywności utrzymania centrum danych wymaga właściwej dbałości także o przepływ powietrza chłodzącego pod podniesioną podłogą techniczną

Zaniedbania dotyczące kontroli przepływu powietrza pod podłogą techniczną mogą prowadzić do przeoczenia wielu rodzajów problemów. Najbardziej widocznym ich efektem jest dostarczenie niedostatecznej ilości powietrza do lokalizacji w pomieszczeniu, które wymagają szczególnie silnego chłodzenia. Mniej widocznym, lecz także wpływającym na efektywność pracy systemów chłodzących jest dostarczanie nadmiarowej ilości powietrza do lokalizacji, które nie mają takich wymagań. Inne zaburzenia to niewłaściwy kierunek przepływu powietrza, ograniczenia przepływu wywołane przeszkodami w postaci niewłaściwie ułożonych instalacji podpodłogowych, utrata powietrza chłodzącego z przestrzeni pod podłogą spowodowana różnego rodzaju nieuszczelnieniami, czy zasysanie cieplejszego powietrza z pomieszczenia pod podłogę w wyniku efektu Venturiego, wywołanego nadmierną prędkością przepływu.

Diagnostyka zaburzeń przepływu powietrza pod podniesioną podłogą techniczną pozwala wykryć trudne do dostrzeżenia lub do zmierzenia w inny sposób nieuszczelnienia, które pojawiają się szczególnie przy progach drzwiowych, przepustach na kable wychodzące spod podłogi, ale i przy przepustach wszelkich instalacji w ścianach i podłodze, lub przy innych elementach konstrukcyjnych (np. schody).

Badanie przepływów powietrza w przestrzeni pod podniesioną podłogą techniczną, wykorzystywaną do celów wentylacji czy klimatyzacji wiąże się z kilkoma wyzwaniami. Kształt podłogi nie zawsze jest regularny; o ile w przypadku podłóg kwadratowych kierunki przepływu powietrza pod podłogą można zazwyczaj przewidywać z większą pewnością, to w przypadku wydłużonych pomieszczeń pojawia się więcej wątpliwości, w związku z dłuższą drogą pokonywaną przez powietrze, i następującymi po drodze stratami powietrza. W przypadku gdy podłoga ma bardziej złożone kształty, np. kształt litery L, czy T, kierunki i wielkości przepływu w poszczególnych częściach podłogi, a także pomiędzy tymi częściami, stają się bardzo trudne do przewidzenia bez dokonania pomiarów.

Dodatkowym zmiennym elementem, wpływającym na kierunki i wielkości przepływu powietrza, są różne lokalizacje jednostek klimatyzacyjnych. Lokalizacja tych jednostek jest ograniczona w dużej mierze możliwościami

mi niezawodnego i bezpiecznego dołączenia ich do instalacji odprowadzania ciepła na zewnątrz pomieszczenia, np. instalacjami wody lodowej, czy glikolu. W związku z tym możliwe jest, i dość często spotykane, że jednostki klimatyzacyjne nie są rozmieszczone optymalnie z punktu widzenia rozptyłu powietrza chłodzącego. Może to mieć trudny do przewidzenia wpływ na rzeczywiste przepływy pod podniesioną podłogą techniczną.

Kolejną niewiadomą wprowadza usytuowanie szaf przemysłowych w pomieszczeniu. Szafy przemysłowe ze względu na łatwość dostępu ustawiane są w rzędach, ale sposób organizacji tych rzędów może być różny. Niekiedy, w najstarszych rozwiązaniach, szafy we wszystkich rzędach skierowane są przodami w jedną stronę, tj. wszystkie zasysają powietrze z tego samego kierunku (od przodu szafy), i wydmuchują gorące powietrze w przeciwnym, ale wszystkie również w tym samym kierunku (z tyłu szafy). Ponieważ w takim układzie kolejne, coraz dalej stojące rzędy szaf narażone są na zasysanie powietrza w coraz większym stopniu gorącego, wydmuchanego przez poprzedzające rzędy, wypływ powietrza spod podłogi dla dalszych rzędów szaf powinien być większy, niż dla pierwszych rzędów szaf. Tym samym prędkości powietrza w tylnej części przestrzeni pod podłogą techniczną muszą być znacząco większe, niż w przedniej jej części.

Niekiedy rzędy szaf ustawione są tak, aby tworzyły naprzemienne zimne i gorące alejki. Obecnie w wielu serwerowniach alejki nie są jeszcze obudowane, co skutkuje częściowym mieszaniem się powietrza gorącego i zimnego. Aby temu zapobiec, stosuje się niekiedy silniejszy nadmuch w alejkach zimnych, co wiąże się z większą prędkością powietrza pod podłogą – głównie w tych alejkach. Z kolei, jeżeli zostaną obudowane np. alejki zimne, prędkość powietrza przepływającego pod podłogą może być zazwyczaj niższa.

Na rozkład przepływu powietrza ostatecznie ukształtowanego przez personel centrum danych wpływa również rozmieszczenie w szafach sprzętu informatycznego. Sprzęt bardziej obciążony obliczeniowo, lub mniej efektywny energetycznie, lub gęściej wyposażone sprzętem informatycznym szafy wymagają zazwyczaj doprowadzenie do ich lokalizacji większej ilości powietrza chłodzącego, niż pozostałe lokalizacje. Chłodzenie takich gorących punktów (*ang. hot spot*) skutkuje znowu trudną do przewidzenia nierównomierność rozkładów rozptyłu powietrza chłodzącego doprowadzanego pod podłogą.

Pomiar parametrów powietrza pod podłogą techniczną, takich jak ciśnienie, przepływ objętościowy lub masowy, temperatura, wilgotność jest trudny bez specjalizowanego urządzenia i metody:

- Najprostszą metodą byłoby uchylenie płyty podłogowej i wprowadzenie czujników na przewodach pod podłogę przez szparę utworzoną przez uchyloną płytę podłogową. Niedogodnością tego spo-

sobu jest powodowanie nieszczelności na obwodzie podniesionej płyty, co może zakłócać wyniki pomiarów;

- Innym sposobem byłoby umieszczenie czujników i całego urządzenia pomiarowego pod podniesioną podłogą techniczną. Niedogodnością tego sposobu jest utrudniona obsługa urządzenia, w szczególności sytuowanie czujników, kontrola momentu ustabilizowania odczytu, i dokonywanie odczytów pomiarów;
- Kolejnym sposobem mogłoby być umieszczenie pod podniesioną podłogą techniczną sieci czujników, połączonych kablową infrastrukturą komunikacyjną, lub też czujników bezprzewodowych. Choć można w ten sposób uniknąć przygotowania rozległej i gęstej infrastruktury okablowania, to nadal sposób ten wymaga przygotowania infrastruktury łączności bezprzewodowej, która w pewnych środowiskach np. centra danych, może być utrudniona ze względu na wysoki poziom zakłóceń elektromagnetycznych oraz dużą liczbę elementów ekranujących.

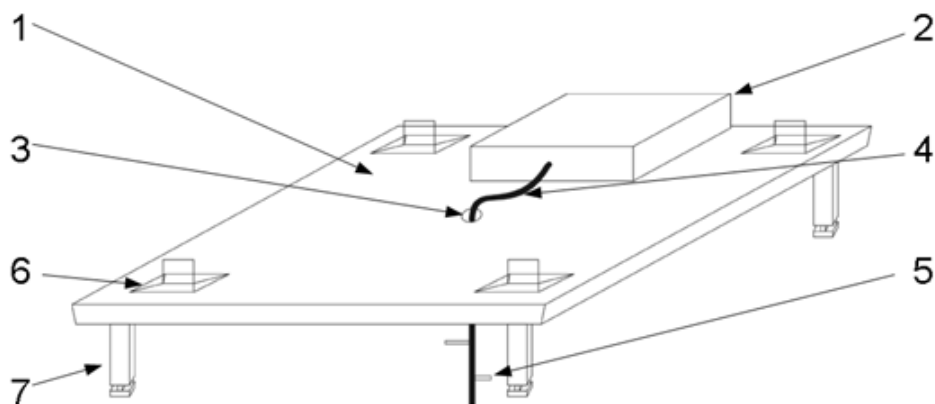
## **PRZENOŚNA PŁYTKA POMIAROWA**

W celu umożliwienia wiarygodnych i wygodnych pomiarów w wielu punktach pod podniesioną podłogą techniczną, skonstruowano przenośną płytkę pomiarową jak na rys. 2. Do wykonania płytki pomiarowej wykorzystano standardową płytę podłogi technicznej, co zapewnia idealne wpasowanie płytki pomiarowej, i możliwość chwilowego zastąpienia nią płyty podłogowej ułożonej w dowolnym miejscu podniesionej podłogi.

Na przenośnej płytce pomiarowej zamontowano trwale urządzenie pomiarowe. Opcjonalnie można wyposażyć płytkę także w zasobniki do bateryjnego układu zasilania urządzenia pomiarowego, co uniezależni prowadzenie pomiarów od lokalnych punktów zasilania w energię elektryczną.

Przenośna płytkę pomiarowa wyposażona jest na środku w przelotowy otwór, którym poprowadzony jest pęk przewodów pomiarowych, zakończony czujnikami. Przewody pomiarowe to zarówno kable elektryczne, jak i rurki igielitowe wykorzystywane do różnicowego pomiaru ciśnienia. Otwór przelotowy jest na tyle duży, aby umożliwiać wymianę przewodu z czujnikiem. Podczas prowadzenia pomiarów otwór wokół pęku przewodów jest czasowo uszczelniany. Uszczelnienie pełni także dodatkową rolę, gdyż pozwala na swobodny obrót pęku przewodów bez obaw o jego uszkodzenie, stąd też można w trakcie pomiarów precyzyjnie regulować ułożenie kierunkowych czujników w zakresie ok. 0°-90° poprzez obracanie całego pęku przewodów. Można również unieść, obrócić i ponownie położyć płytkę pomiarową w miejscu pomiaru,

co pozwala zmienić kierunek pomiarów z dokładnością 90°. Ponieważ po ułożeniu w miejscu pomiarów płytka licuje się z górną powierzchnią podłogi, wyposażona jest w ruchome uchwyty do jej podnoszenia i opuszczania w lokalizacji pomiarowej. Ponieważ pomiędzy pomiarami w poszczególnych lokalizacjach płytka może być przenoszona i przestawiana, posiada od spodu nóżki, które zapobiegają załamaniu pęku przewodów pomiarowych podczas odstawienia na podłogę.



Rys. 2. Rzut aksonometryczny przenośnej płytki pomiarowej. Oznaczenia: 1- standardowa płyta podłogowa podniesionej podłogi technicznej, 2 – urządzenie pomiarowe, 3 – otwór przelotowy w płytce, 4 – pęk przewodów pomiarowych, 5 – czujniki na pęku przewodów pomiarowych, 6 – uchwyty do podnoszenia i opuszczania płytki w wybranej lokalizacji pomiarowej, 7 – nóżki zapobiegające załamaniu pęku przewodów pomiarowych podczas odstawienia płytki pomiędzy pomiarami.

źródło: opracowanie własne

Na płytce umieszczono własnej konstrukcji mikroprocesorowe urządzenie pomiarowe *FlowLogger*, zawierające zestaw czujników temperatury, ciśnienia oraz przepływu. *FlowLogger* zasilany jest z sieci zasilającej, poprzez stabilizowany sieciowy zasilacz impulsowy dostarczający napięcie stałych +12V, +5V, oraz +3.3V. We *FlowLoggerze* nie stosuje się zasilania bateryjnego, gdyż prototyp ten był wykorzystywany do pomiarów w centrum danych, w którym nie było problemów z zasilaniem z sieci elektroenergetycznej prądu zmiennego 230V.

*FlowLogger* wyposażony jest w dwa niezależne kanały cyfrowe, pozwalające na podłączenie do ośmiu czujników w standardzie I2C, oraz dwa kanały analogowe, pozwalające na podłączenie do ośmiu czujników analogowych i cyfrowych. Do odczytów pomiarów i przełączania trybów, urządzenie wyposażone jest w wyświetlacz ciekłokrystaliczny oraz przyciski. Wyniki pomiarów

można zapisywać na kartę SD, wraz z czasem ich dokonania, pobieranym z podtrzymywanego bateryjnie zegara czasu rzeczywistego. Wyniki zapisywane są na karcie SD jako pliki w formacie CSV, o nazwach zawierających numer kolejny generowanego pliku. Pozwala to na ich późniejszą obróbkę wieloma standardowymi programami.

## **METODA DIAGNOSTYKI Z WYKORZYSTANIEM PRZENOŚNEJ PŁYTKI POMIAROWEJ**

W celu przeprowadzenia pomiaru w jednej lokalizacji, należy podnieść w tej lokalizacji płytę podłogową, i zastąpić przenośną płytką pomiarową. Dzięki swoim wymiarom zewnętrznym, płytka pomiarowa wpasowuje się w wolne miejsce z identyczną dokładnością, jak zastępowana płytka. Zakłada się, że płytka pomiarowa została wcześniej wyposażona w wymagane czujniki i otwór przelotowy został uszczelniony, czujniki zaś zostały skalibrowane.

Dzięki szczelności, płytka pomiarowa nie wpływa na przepływ powietrza pod podłogą techniczną. Ponieważ przepływ powietrza jest wymuszony przez duże wentylatory jednostek klimatyzacyjnych, zakłócenie w przepływie powietrza pod podłogą, spowodowane chwilowym, odkryciem jednej płyty podłogowej trwa pomijalnie krótko. Przed odnotowaniem pomiaru należy upewnić się, czy odczyt *FlowLoggera* ustabilizował się.

Po zakończeniu pomiaru w wybranej lokalizacji, pomiar można przeprowadzić w innych wybranych miejscach pod podniesioną podłogą techniczną. Czas rozpoczęcia oraz okres trwania pomiarów trzeba dopasować do rytmu pracy systemu klimatyzacyjnego, żeby pomiary opisywały jeden stan przepływów, zarejestrowany w wielu lokalizacjach. Na rytm pracy systemu klimatyzacyjnego mogą wpływać okresy turnusowania, tj. okresowych wyłączeń, poszczególnych jednostek klimatyzacyjnych, czy znaczące zmiany obciążenia obliczeniowego sprzętu informatycznego, o ile skutkują zmianami w przepływie powietrza chłodzącego pod podłogą.

## **WERYFIKACJA**

W celu weryfikacji skuteczności metody, oraz weryfikacji działania proponowanych urządzeń, przeprowadzono serie ponad 100 punktowych pomiarów przepływu powietrza pod podłogą w wybranym, komercyjnym, hotelingowym centrum danych. Wyniki pomiarów przepływu dokonanych opisanymi urządzeniami i metodą, są przedstawione są na rys. 3.





Zaobserwowano w wyniku pomiarów nietypowe przepływy w kilku miejscach pod podłogą:

- w części pomieszczenia zobrazowanej w lewym dolnym narożniku rys. 3, zaobserwowano nieoczekiwany przepływ powietrza w kierunku ku dołowi rysunku, to jest w stronę ściany zewnętrznej serwerowni. Przepływ wzrasta w miarę zbliżania się do ściany zewnętrznej. Dzięki bliższym oględzinom wykryto mało widoczną nieszczelność płytki w progu nieużywanych stalowych drzwi zewnętrznych;
- w tej samej części pomieszczenia zaobserwowano nieoczekiwany przepływ powietrza, zwiększający się w miarę zbliżania się do kresu podniesionej podłogi technicznej. Po bliższych oględzinach wykryto spękania na bocznej ścianie, na wysokości poniżej poziomu podniesionej podłogi, koło schodów do zejścia z podłogi;
- w części pomieszczenia zobrazowanej w prawym górnym narożniku rys. 3, stwierdzono nieoczekiwany przepływ powietrza w kierunku ku górze rysunku, to jest w kierunku wyłączonych, nieużywanych i pozornie uszczelnionych urządzeń klimatyzacyjnych. Dokładne badanie wykazało, że nieużywane urządzenia klimatyzacyjne nie są w pełni uszczelnione, i powodują znaczący wpływ powietrza spod podłogi technicznej.

## WNIOSKI

Ze względu na coraz większe wymagania dotyczące niezawodności oraz efektywności energetycznej centrów danych, istotne jest kontrolowanie i diagnoza nietypowych przepływów powietrza chłodzącego pod podniesioną podłogą techniczną. Pozwala to wychwycić wiele istotnych problemów związanych z efektywnym chłodzeniem.

Pomiar parametrów pod podniesioną podłogą techniczną z użyciem zaproponowanych w artykule narzędzi i metod okazał się skuteczną metodą identyfikacji źródeł problemów, i poprawy efektywności chłodzenia w przebadanym komercyjnym centrum danych.

## PODZIĘKOWANIA



*Niniejsza praca badawcza powstała jako rezultat projektu: „Opracowanie aktywnego systemu zarządzania przepływem ciepła w centrach danych” (Projekt: POIG.01.04.00-22-063/13), współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Priorytet I – „Badania i rozwój nowoczesnych technologii”, Działanie 1.4 – Wsparcie projektów celowych.*

*Autorzy pracy pragną podziękować Narodowemu Centrum Badań i Rozwoju za udzielone wsparcie finansowe.*

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ASHRAE Technical Committee 9.9, Data Center Networking Equipment – Issues and Best Practices.
- [2] Circutor, *Centrum przetwarzania danych Przykład udanego rozwiązania.*
- [3] Google Data Centers, [www.google.com/about/datacenters/](http://www.google.com/about/datacenters/).
- [4] Neil Rasmussen, *Raised Floors vs Hard Floors for Data Center Application*, White Paper 19 Rev. 3, APC by Schneider Electric, 2014.
- [5] Miller, R., *Energy Efficiency Guide: Monitoring and CFD*, Data Center Knowledge, 8.03.2011.
- [6] Pacific Gas and Electric Company, *HIGH PERFORMANCE DATA CENTERS: A Guidelines Sourcebook*, 01.2006.
- [7] Yogendra Joshi, Pramod Kumar, *Energy Efficient Thermal Management of Data Centers*, Springer Science & Business Media, 19.03.2012.
- [8] Samadiani E., *Energy Efficient Thermal Management of Data Center via Open Multi-Scale Design*, Georgia Institute of Technology, 12.2009.

- [9] U.S. Environmental Protection Agency, *Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency Public Law 109-431*, ENERGY STAR Program, 2.08.2007.
- [10] Pacific Gas and Electric Company, *HIGH PERFORMANCE DATA CENTERS: A Guidelines Sourcebook*, 01.2006.
- [11] Raftery, T., *Learning from Google's European Data Center Summit*, GreenMonk: the blog, 26.05.2011.
- [12] Sverdlik, Y., *Survey: Industry Average Data Center PUE Stays Nearly Flat Over Four Years*, Data Center Knowledge, 2.06.2014.
- [13] Hamilton, J., *Overall Data Center Costs*, perspectives.mvdirona.com, 18.08.2010.
- [14] Emerson Network Power, *Building a More Profitable Colocation Environment, A White Paper from the Experts in Business-Critical Continuity™*, Liebert Corporation, Liebert.com, 2013.

## **A METHOD AND TOOLS FOR DIAGNOSING AIR FLOW ISSUES UNDER RAISED FLOOR IN DATA CENTERS BELONGING TO CELLULAR MOBILE NETWORKS**

### **ABSTRACT**

Importance of monitoring and diagnostics of air flowing under raised floor in cellular telecom datacenters has been described, stressing dual-use function of such data centers. Specialized measurement tools have been described, as well as a method of measurement and verification that enables to identify flow issues of cooling air. The tools and the method have been developed by the team of the Laboratory of Image and Sound Processing LLC, which is the result of implementation of the R&D project No. POIG.01.04.00-22-063/13.