

Politechnika Łódzka

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

## ***Osobiste systemy elektroniczne: technologie i zastosowania medyczne***

*Paweł Strumiłło, Sławomir Hausman*

*Instytut Elektroniki*

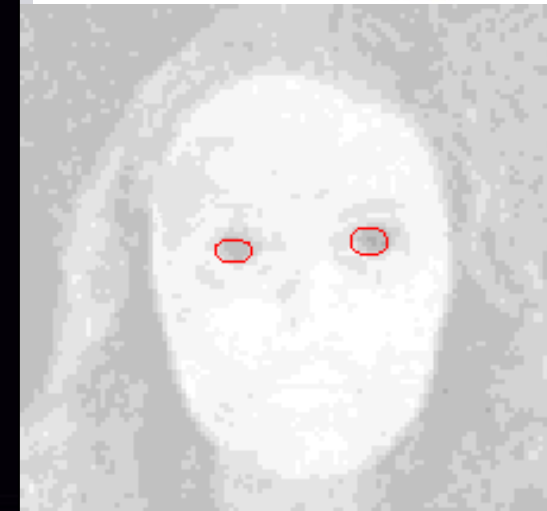
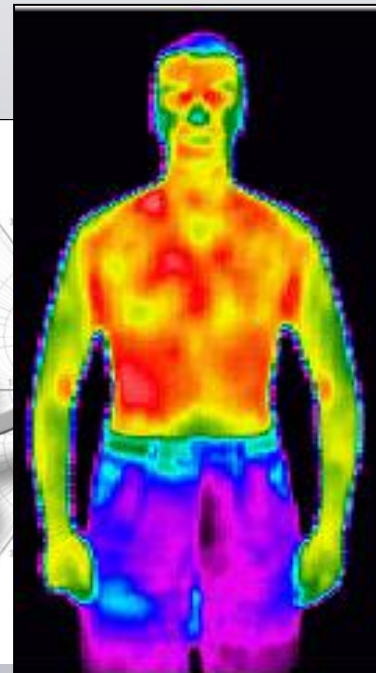
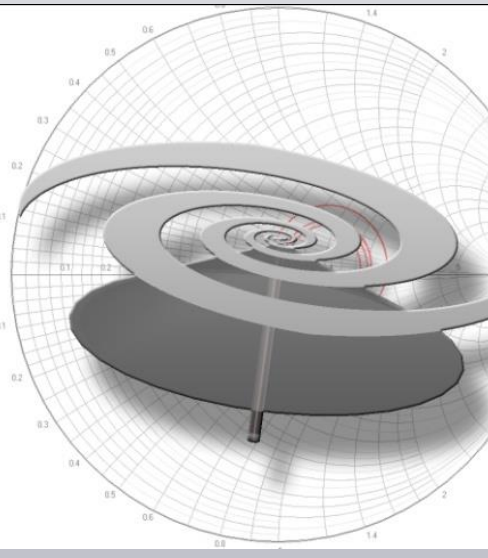
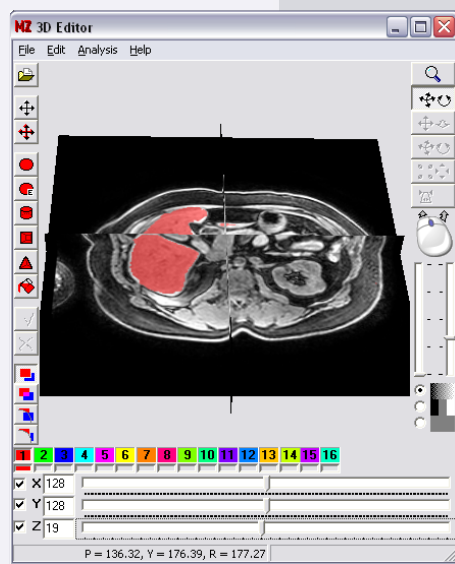
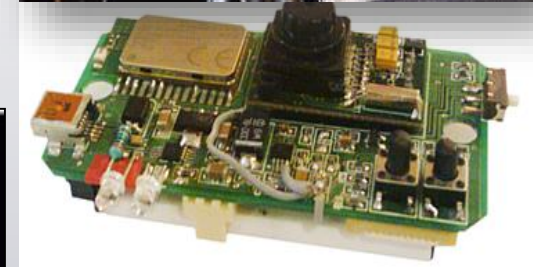
*Zbigniew Lisik*

*Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych*



# Instytut Elektroniki Politechniki Łódzkiej

- ❑ **elektronika medyczna** (analiza sygnałów i obrazów, interfejsy człowiek-komputer, wspomaganie osób niepełnosprawnych)
- ❑ **systemy telekomunikacyjne**
- ❑ **termografia komputerowa**

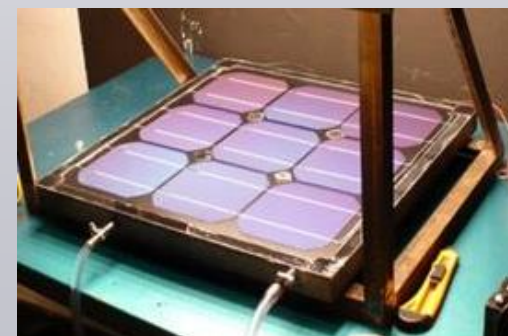
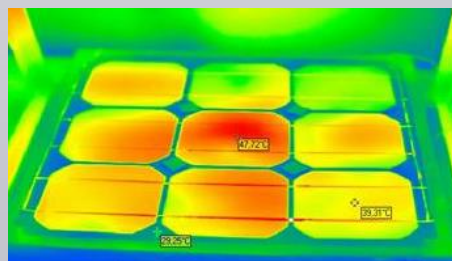




# Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych Politechniki Łódzkiej

Powstała w 2008 roku

- ❑ projektowanie i wytwarzanie **zintegrowanych systemów elektroniki**
- ❑ przyrządy półprzewodnikowe na bazie **krzemu i węgla krzemu**,
- ❑ **elektronika wysokotemperaturowa**, zagadnienia termiczne elektroniki, **fotowoltaika i fotonika**
- ❑ **Edukacyjne Centrum Mikrotechnologii (2000°C)**
- ❑ **Laboratorium fotowoltaiki**





# Plan prezentacji

- ❑ elektronika osobista (wearable electronics)
- ❑ wymagania i stosowane technologie
- ❑ czujniki, sieci radiowe, tekstronika
- ❑ przykłady → rozwiązania na świecie i badania w Politechnice Łódzkiej







# Choroby cywilizacyjne

(**zaczyna się obniżać średnia długość życia w Europie**)



- choroby kardiologiczne
- nowotwory
- otyłość → cukrzyca
- choroby wieku podeszłego (reumatyzm, demencja, niepełnosprawność fizyczna i sensoryczna)

- niepełnosprawność ruchowa: ok. połowa przypadków
- roczne koszty wynikające z chorób neurologicznych w Europie: ~800 mld euro

Source: „Cost of disorders of the brain in Europe - 2010”, Brussels 2011



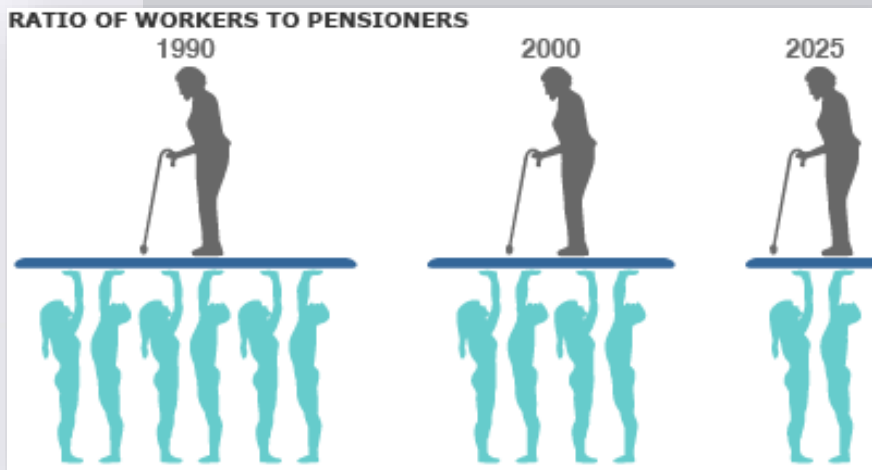
[Dziennik.pl/profilaktyka](http://Dziennik.pl/profilaktyka)



# Problemy zdrowotne a technologie elektroniczne

## Problemy

- choroby cywilizacyjne
- starzejące się społeczeństwa
- coraz większa grupa osób wymaga ciągłej opieki
- rosnące koszty opieki zdrowotnej



<http://www.geoggers.net/>

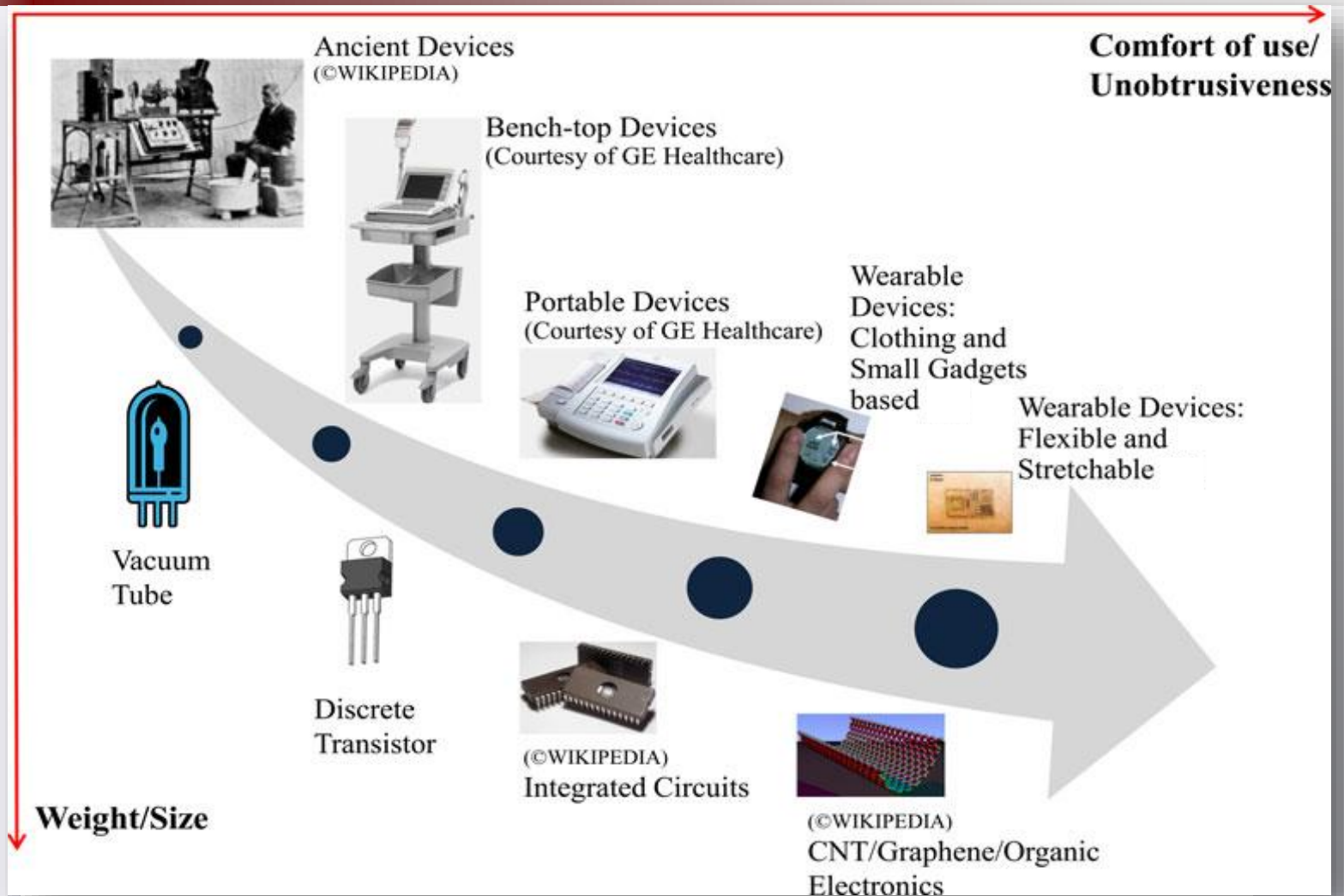
## Technologie elektroniczne

- zaawansowane funkcje
- miniaturyzacja
- mały pobór energii
- niezawodność
- mała cena





# Pomiary biosygnalów (EKG) a postęp technologii elektronicznej

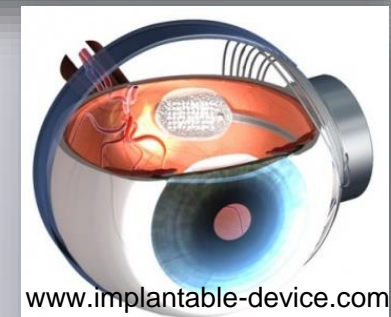
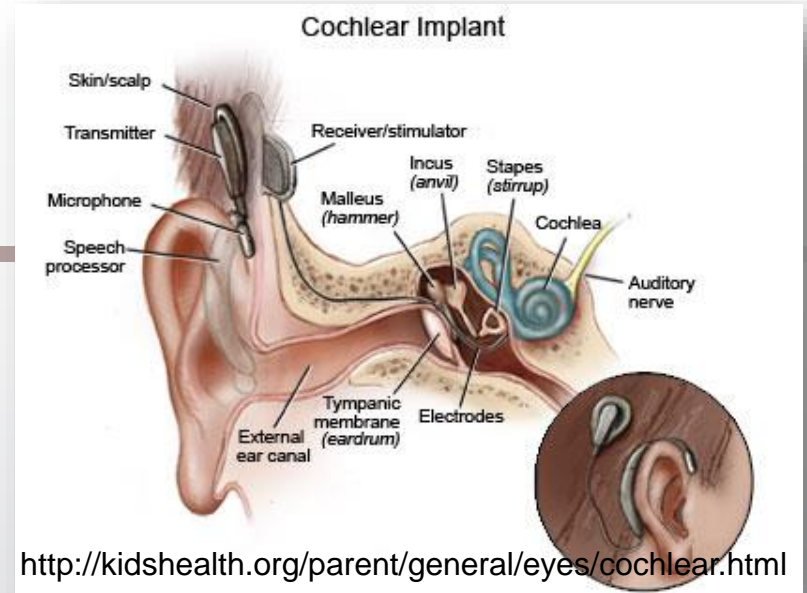


Źródło: Ya-Li Zheng *et al.*, *Unobtrusive Sensing and Wearable Devices for Health Informatics*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 61, no. 5, pp. 1538-1554.



# Elektroniczne układy implantowane

- ❑ **protezy słuchu**
  - implanty ślimakowe (35 tys. implantacji)
- ❑ **sztuczne rozruszniki serca**
  - stymulatory, defibrylatory
- ❑ **protezy wzroku**
  - sztuczna siatkówka
  - elektro-stymulacja kory wzrokowej
- ❑ **implantowane mikroukłady radiowe**
  - RFID
- ❑ **nanomedycyna**
  - nanostruktury (sztuczne enzymy),
  - nanoroboty,
  - protezy pamięci

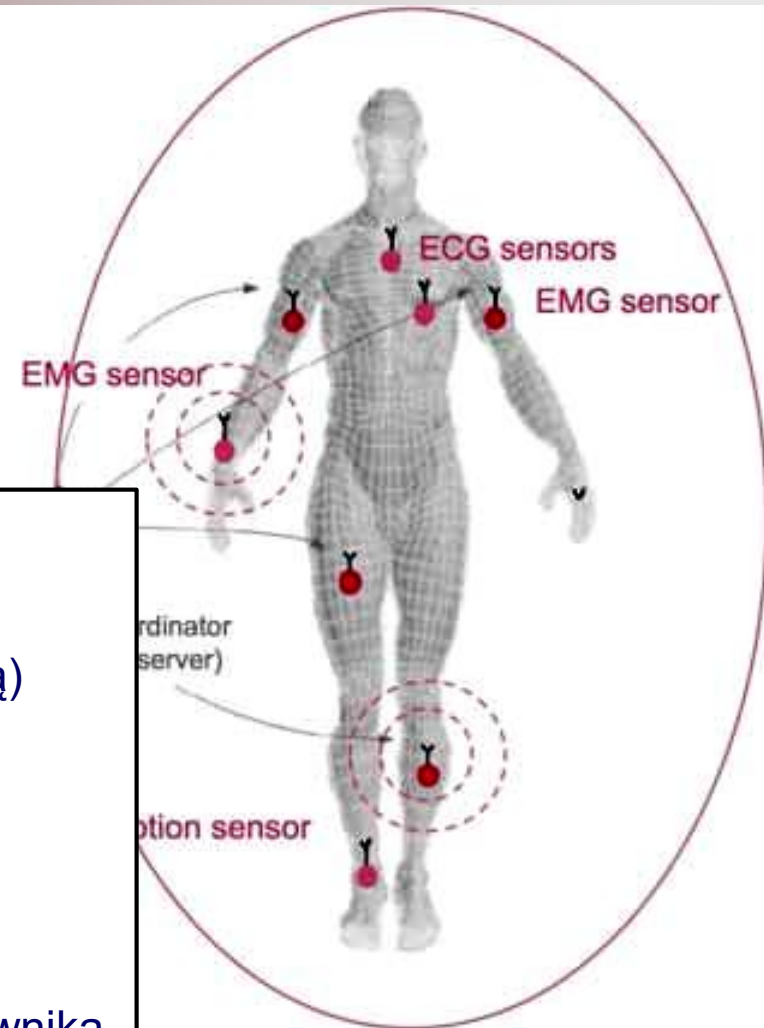






# Elektronika „noszona” (ang. wearable electronics)

## Co to jest?



### Elektronika osobista (wearable electronics):

- ❑ jest noszona przez użytkownika
- ❑ małe rozmiary, waga (... integrowana z odzieżą)
- ❑ mały pobór energii (energia rozproszona)
- ❑ działa nieprzerwanie, również w czasie ruchu
- ❑ wyposażona w czujniki
- ❑ wykonuje obliczenia (analizuje dane i sygnały)
- ❑ łatwa w obsłudze - „niezauważalna” dla użytkownika
- ❑ komunikuje się z otoczeniem (przesyła dane, ...)



# Osobiste, medyczne systemy elektroniczne

A. Pantelopoulus,  
N. Bourbakis, *A Survey  
on Wearable Sensor-  
Based Systems for  
Health Monitoring and  
Prognosis*, IEEE Trans.  
System, Man, and  
Cybernetics, 2010

| Project Title/Institution   | Hardware Description                                      | Communication Modules             | Measured Signals*                           | Medical applications  |
|---|---|-----------------------------------|---|---|
| A) LiveNet (MIT) [19]   | PDA, microcontroller board                                | wires, 2.4GHz radio, GPRS         | ECG, BP, R, T, SaO <sub>2</sub> , EMG, GSR, | Parkinson symptom & epilepsy seizures detection, behav. modelling   |
| B) AMON (EU IST FP5 program) [20]   | Wrist-worn device   | GSM link                          | ECG, BP, T SaO <sub>2</sub> , A             | High-risk cardiac-respiratory patients  |
| C) LifeGuard (Stanford Un.& NASA) [22]                                    | Custom $\mu$ C-based device & commercial bio-sensors      | serial cables, Bluetooth          | ECG, BP, R, T, SpO <sub>2</sub> , A         | Medical monitoring in extreme environments (space & terrestrial)  |
| D) MyHeart (EU IST FP6 program) [25]-[28]                                 | PDA, Textile & electronic sensors on clothes + heart belt | conductive yarns, Bluetooth, GSM  | ECG, R, other vital signs, A                | Prevention and early diagnosis of CVD   |
| E) WEALTHY (EU IST FP5 program) [29]-[31]                                 | Textile & electronic sensors on jacket                    | conductive yarns, Bluetooth, GPRS | ECG, R, T, EMG, A                           | Monitoring of rehabilitation & elderly patients, chronic diseases   |
| F) MagIC (Un. Of Milan, Italy, Bioeng. Centre & Cardiac Rehab.Unit ) [32] | Vest with textile sensors, custom electronic board, PDA   | Bluetooth                         | ECG, R, T                                   | Recording of cardiorespiratory and motion signals during spontaneous behavior in daily life and in a clinical environment |
| G) MERMOTH (EU IST FP6 program) [33],[34]                                 | Garment with knitted dry electrodes, PDA                  | conductive yarns, RF link         | ECG, R, T, A                                | General health monitoring   |
| H) Smart Vest (National Pr. On Smart Materials, India) [35]               | Vest with woven sensors, microcontroller                  | woven wires, 2.4 GHz ISM RF       | ECG, BP, T, PPG, GSR                        | General remote health monitoring  |
| I) CodeBlue (Harvard Univ.)[37]   | Sensor motes with custom processing boards                | Zigbee                            | ECG, SpO <sub>2</sub> , A                   | Real-time physiological status monitoring with wearable sensors   |
| J) Body area network (Valencia,Spain&Malta Un.& Microvitae Tech)[38]      | Zigbee-based motes & Zigbee-based custom base device      | Zigbee, Wi-Fi, GPRS               | ECG, BP, R                                  | Detection & prediction of human physiological state (wakefulness, fatigue, stress) during daily activities                |
| K) WSN u-Healthcare system (Dongseo Un. Korea) [39],[40]                  | Custom tiny motes, cell phone & commercial sensors        | Zigbee, CDMA                      | ECG, BP, SpO <sub>2</sub> , A               | Health monit. and remote identification of suspicious health patterns for further evaluation by physicians                |
| L) Human++ (IMEC) [48], [49]  | Miniature low-power BAN nodes, energy scavenging          | Zigbee                            | ECG, EEG, EMG                               | Enable autonomous wearable sensor networks for general health monitoring  |
| M) HealthGear (Microsoft) [50]  | Custom sensing board, comm.. sensors and cell-phone       | Bluetooth                         | HR, SpO <sub>2</sub>                        | Monitoring users during their sleep to detect sleep apnea events  |
| N) HeartToGo (Un. of Pittsburgh) [51]                                     | Cell phone & comm. available BT bio-sensors               | Bluetooth, GPRS                   | ECG, A                                      | Individualized remote CVD detection   |
| O) Personal Health Monitor (Un. of Tech. Sydney) [52]                     | Cell phone & comm. available BT bio-sensors               | Bluetooth, GPRS                   | ECG, BP, A                                  | Heart-attack self-test for CVD patients   |
| P) Wearable ECG, arrhythmia detection (Eng. + Med. Dpts, Norway) [55]     | Microcontroller board, PDA                                | wires, Zigbee, GPRS               | ECG   | Remote detection of cardiac arrhythmias   |
| Q) AUDABE (Dept. of Medical Physics, Ioannina, Greece) [56]               | Mask, glove, chest sensors                                | wires, Bluetooth, Wi-Fi           | ECG, R, GSR, EMG                            | Evaluation of the emotional state of an individual at environments where subjects operate at extreme stress conditions    |
| R) Lifeshirt (Vivometrics) [71]   | Sensors embedded in vest, PDA                             | Bluetooth & wires                 | ECG, R, A                                   | All-day remote health monitoring  |
| S) Bioharness (Zephyr Inc) [75]   | Chest Belt  | Bluetooth or ISM RF               | ECG, R, T, A, P                             | Remote monitoring of human performance and condition in the real-world  |

\*ECG: electrocardiogram (also implies the measurement of heart rate), HR: heart rate, EMG: electromyogram, BP: blood pressure, R: respiration, T: temperature, P: posture, GSR: galvanic skin response, A: activity, PPG: photoplethysmography.



# QUALCOMM TRICORDER XPRIZE



**Introducing the Qualcomm Tricorder XPRIZE**  
**A \$10 million competition to bring healthcare to the palm of your hand.**

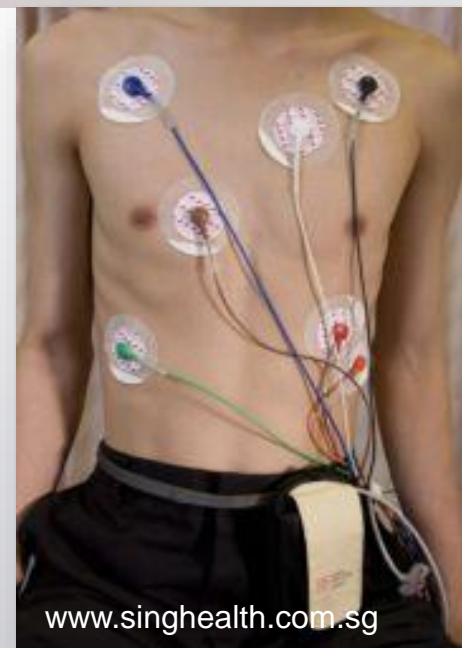
Wyłoniono 10 finalistów, ogłoszenie zwycięzcy styczeń 2016





# Sygnały biomedyczne i ich pomiar

| Sygnał biomedyczny                 | Rodzaj czujnika                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Elektrokardiogram (EKG), tętno     | Elektrody przytwierdzone do ciała  |
| Elektrografie (EEG, EMG, EOG, ...) | Elektrody przytwierdzone do ciała  |
| Ciśnienie krwi                     | Rękaw (impulsy Korotkowa)          |
| Temperatura ciała                  | Czujniki temperatury (pirometry)   |
| Częstość oddechu                   | Czujnik piezoelektryczny           |
| Saturacja krwi tlenem ( $SpO_2$ )  | Czujnik optyczny (pulsoksymetr)    |
| Przewodność skóry                  | Czujnik impedancyjny               |
| Tony serca                         | Fonokardiograf                     |
| Poziom glukozy we krwi             | Czujniki elektro- i foto-chemiczne |
| Aktywność fizyczna                 | Akcelerometry                      |



[www.farmacjaija.pl](http://www.farmacjaija.pl)

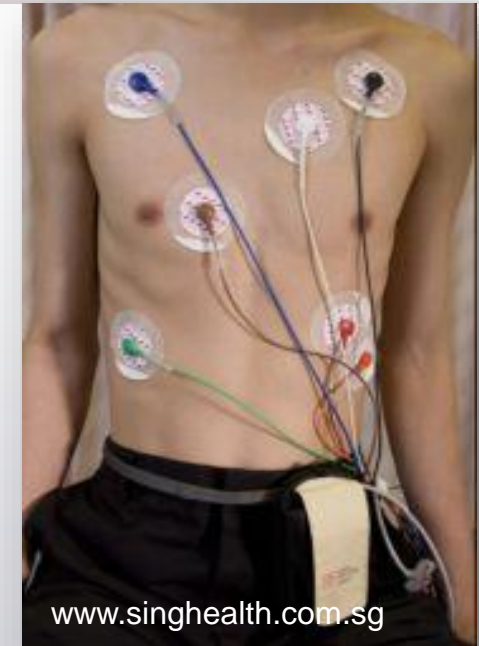






# Parametry życiowe (ang. *vital signs*)

| Sygnał biomedyczny                             | Rodzaj czujnika                   |
|--|-----------------------------------|
| <b>Elektrokardiogram (EKG), tętno</b>          | Elektrody przytwierdzone do ciała |
| Elektrogramy (EEG, EMG, EOG, ...)              | Elektrody przytwierdzone do ciała |
| <b>Ciepłota ciała</b>                          | Rękaw (impulsy Korotkowa)         |
| <b>Temperatura ciała</b>                       | Czujniki temperatury (pirometry)  |
| <b>Częstość oddechu</b>                        | Czujnik piezoelektryczny          |
| <b>Saturacja krwi tlenem (SpO<sub>2</sub>)</b> | Czujnik optyczny (pulsoksymetr)   |
| Przewodność skóry                              | Czujnik impedancyjny              |
| Tony serca                                     | Fonokardiograf                    |
| Poziom glukozy we krwi                         | Czujnik elektro- foto-chemiczny   |
| Aktywność fizyczna                             | Akcelerometry                     |





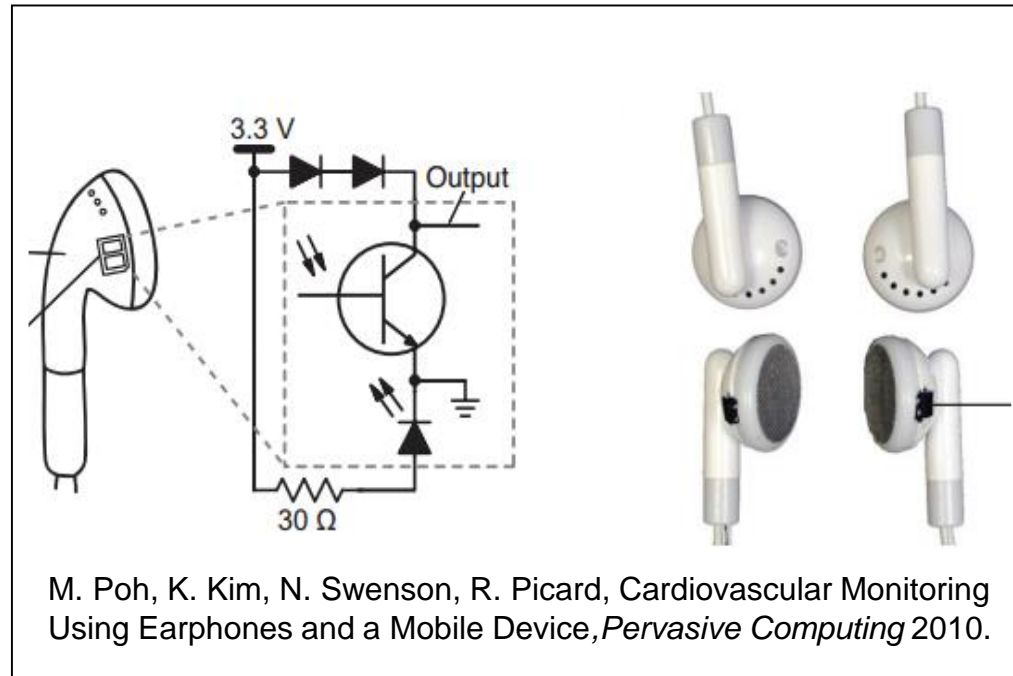
# Nieinwazyjne metody pomiarowe

**Fotopletyzmografia** – pośredni pomiar optyczny objętości krwi przyływającej przez naczynia.

→ pomiar:  $SpO_2$ , rytm serca, częstość oddechu, ciśnienie krwi (BP)

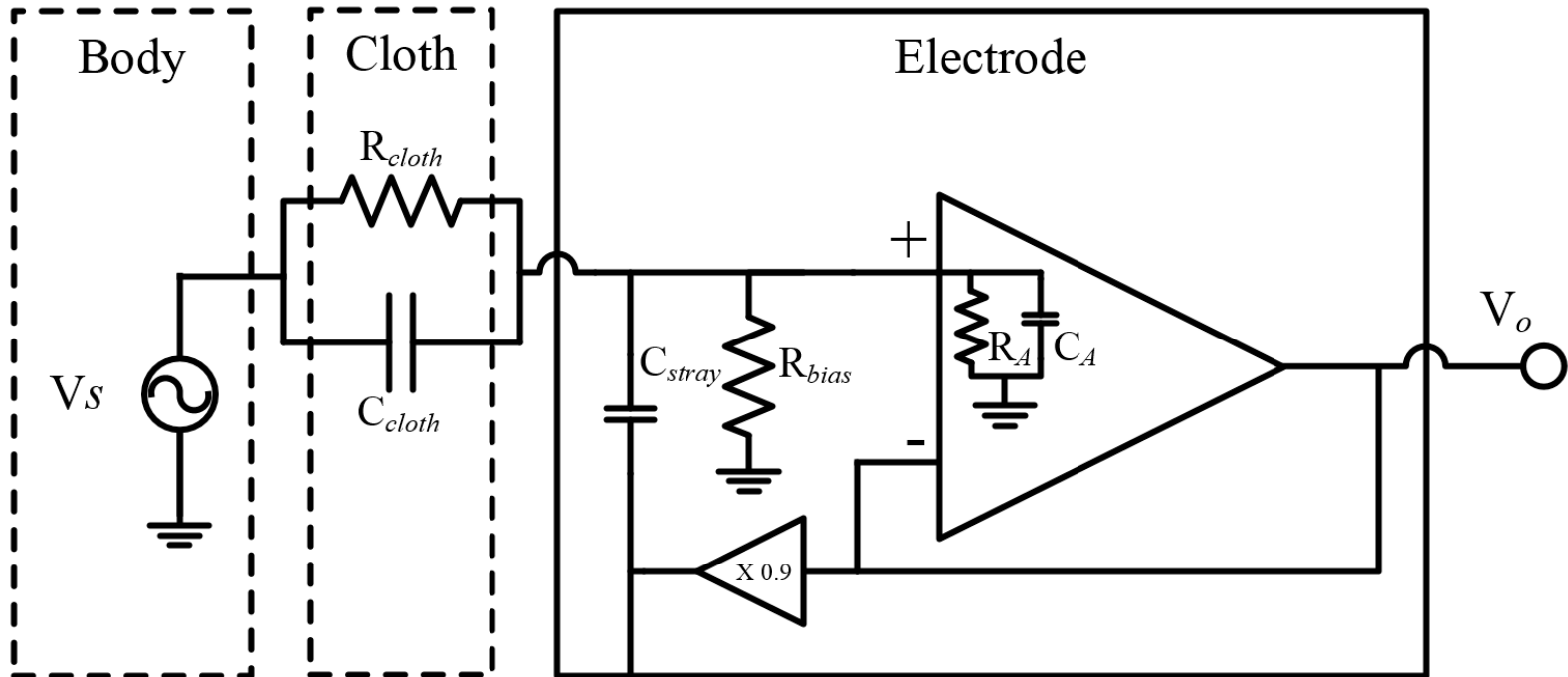
$$BP = \frac{1}{b} \ln \left( \frac{L^2 \rho b}{PTT^2} - 1 \right)$$

$L$  – długość przepływu,  
 $PTT$  – czas przyścia fali tętna  
 $b$  – indywidualny parametr osobniczy  
 $\rho$  – gęstość krwi  $kg/m^3$





# Pojemnościowy pomiar EKG, suche elektrody

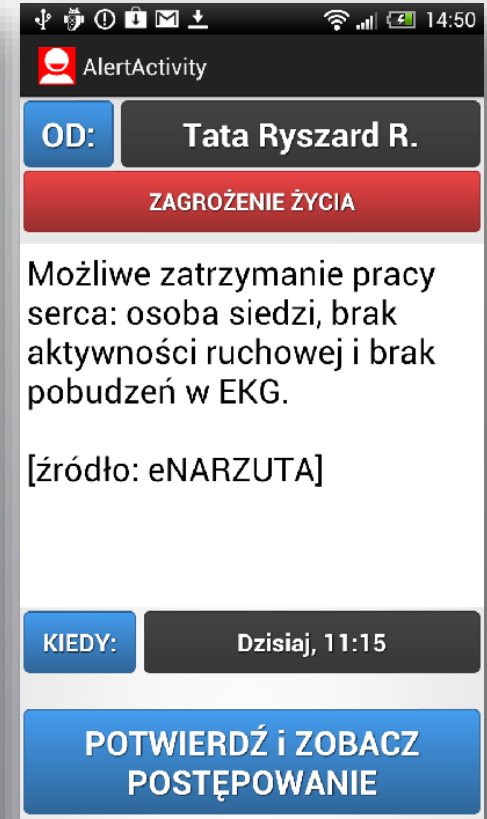


Jeong Su Lee, Jeong Heo, Won Kyu Lee, Yong Gyu Lim, Youn Ho Kim, Kwang Suk Park,  
Flexible Capacitive Electrodes for Minimizing Motion Artifacts in Ambulatory Electrocardiograms,  
Sensors 2014, 14, 14732-14743



# Katedra Inżynierii Biomedycznej

Monitorowanie aktywności i akcji serca w czasie snu, i pracy siedzącej bez konieczności doczepiania elektrod do ciała



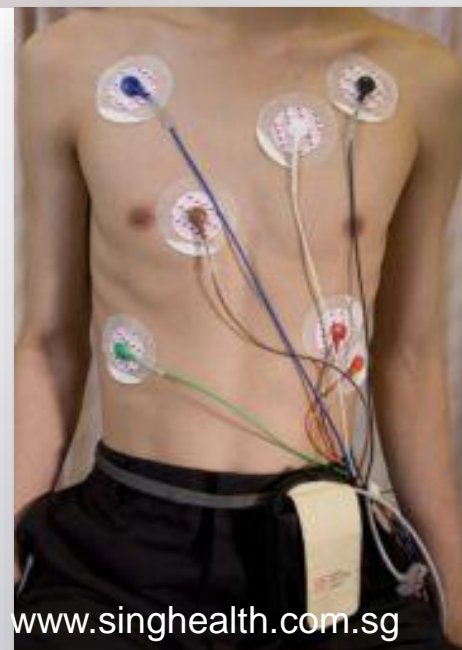
[www.domestic.gda.pl/posters/eNarzuta.pdf](http://www.domestic.gda.pl/posters/eNarzuta.pdf)





# Sygnały biomedyczne i ich pomiar

| Sygnał biomedyczny                        | Rodzaj czujnika                        |
|---|--|
| Elektrokardioigram (EKG), tętno           | Elektrody przytwierdzone do ciała      |
| Elektrogramy (EEG, EMG, EOG, ...)         | Elektrody przytwierdzone do ciała      |
| Ciśnienie krwi                            | Rękaw (impulsy Korotkowa)              |
| Temperatura ciała                         | Czujniki temperatury (pirometry)       |
| Częstość oddechu                          | Czujnik piezoelektryczny               |
| Saturacja krwi tlenem (SpO <sub>2</sub> ) | Czujnik optyczny (pulsoksymetr)        |
| Przewodność skóry                         | Czujnik impedancyjny                   |
| Tony serca                                | Fonokardiograf                         |
| <b>Poziom glukozy we krwi</b>             | <b>Czujnik elektro- foto-chemiczny</b> |
| Aktywność fizyczna                        | Akcelerometry                          |





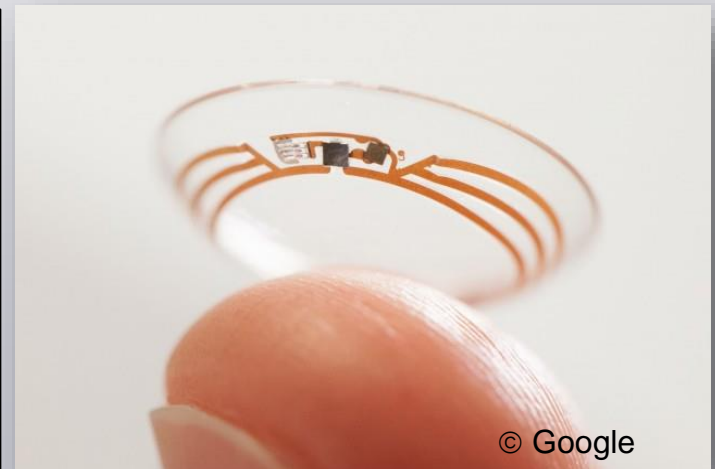
# Osobiste urządzenia do pomiaru i kontroli poziomu glukozy w organizmie

Co dwudziesty człowiek zachoruje na cukrzycę



© Medtronic

- „Elektroniczne szkło kontaktowe” mierzy co sekundę stężenie glukozy w płynie łzowym,
- antena przesyła dane do modułu elektronicznego,
- kolor diody LED informuje o przekroczeniu bezpiecznego poziomu glukozy



© Google



# Tekstronika

**Tekstronika** – układy elektroniczne zintegrowane z tekstyliami

## System StartleCam

-

*Massachusetts Institute  
of Technology  
MIT, 1998*





# Wymagania stawiane systemom tekstronicznym

- ❑ elementy elektroniczne – miniaturyzacja, mały pobór mocy
- ❑ elastyczne połączenia
- ❑ odporność na narażenia eksploatacyjne (wilgoć, warunki atmosferyczne)

## Parametry włókien elektroprowadzących

| Typ włókna                      | Producent/Nazwa handlowa                        | Materiał   | Rezystywność liniowa [ $\Omega/\text{cm}$ ] |
|---------------------------------|---|--|---|
| Metalowe                        | R-Stat/ R-Stat/S                                | Stal nierdzewna  | $10^{-6} - 10^2$                            |
|                                 | Bekaert / Bekintex                              | Stal nierdzewna  |   |
| Polimerowe z proszkiem węglowym | Soficar/ Torayca                                | Poliakrylonitryl + cząstki węglowe                     | $10 - 10^6$                                 |
|                                 | Carbone Lorraine/ Regilor                       | Np. żywica epoksydowa<br>Araldite LY + cząstki węglowe |   |
|                                 | Formosa Taffeta Company's,<br>DuPont/ Nega-Stat | Włókno węglowe + polimer<br>Dacron®                    |   |
| Polimerowe z warstwą            | Shieldex®/ Conductive<br>Twisted Yarn 117/17    | Posrebrzany nylon                                      | $10 - 10^3$                                 |





## Połączenia elektryczne - przykłady



Niść elektroprowadząca

Haftowana  
klawiatura





# Sposoby zasilania - power harvesting

Autonomiczne lokalne źródła energii o niewielkiej mocy

## Rozważane źródła energii:

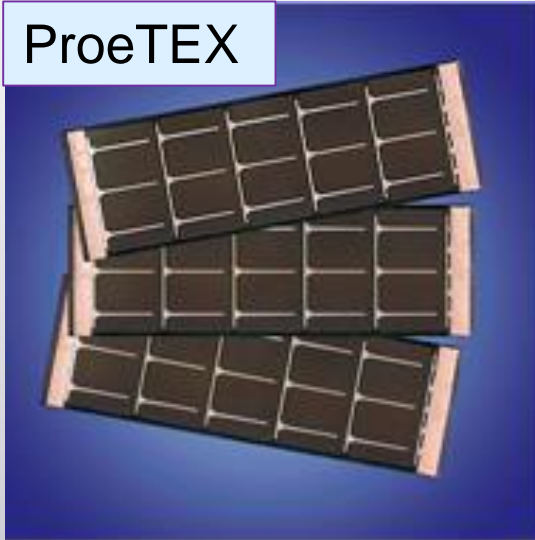
- energia słoneczna (efekt fotowoltaiczny)
- energia termiczna (efekt termoelektryczny Seebecka)
- energia mechaniczna (efekt piezoelektryczny)





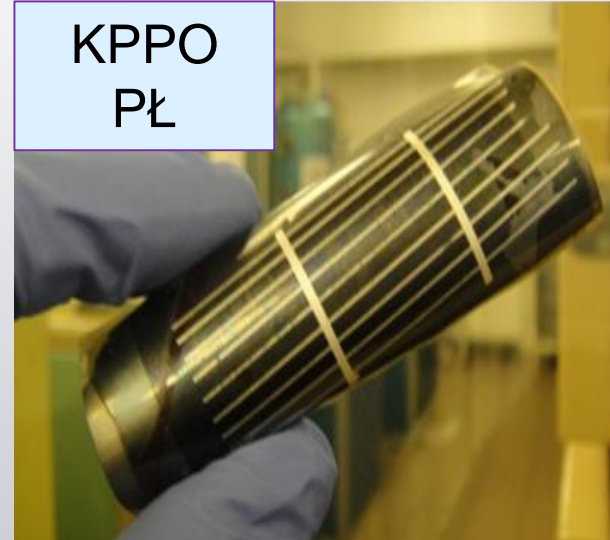
# Sposoby zasilania - power harvesting

ProeTEX



Elastyczne ogniwa  
a:Si

KPPO  
PŁ

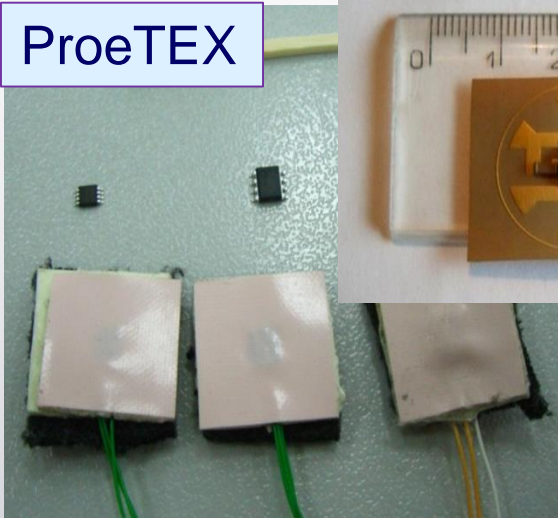


Elastyczne ogniwa  
CdTe/CdS

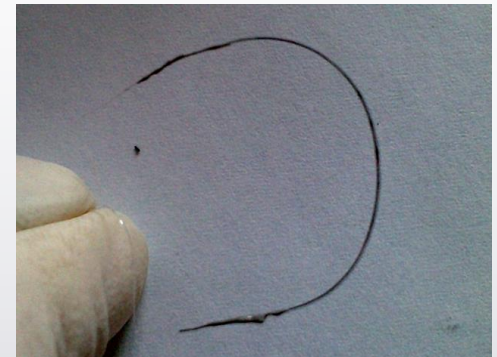
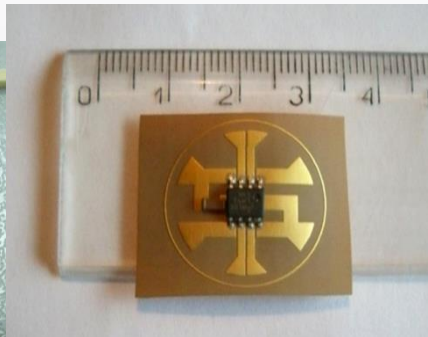


# Czujniki temperatury

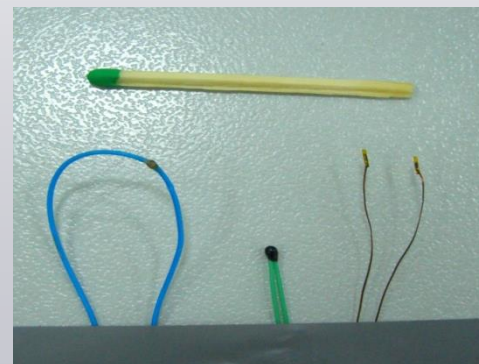
ProeTEX



czujniki DS18B20 w elastycznej obudowie



czujnik na włóknie



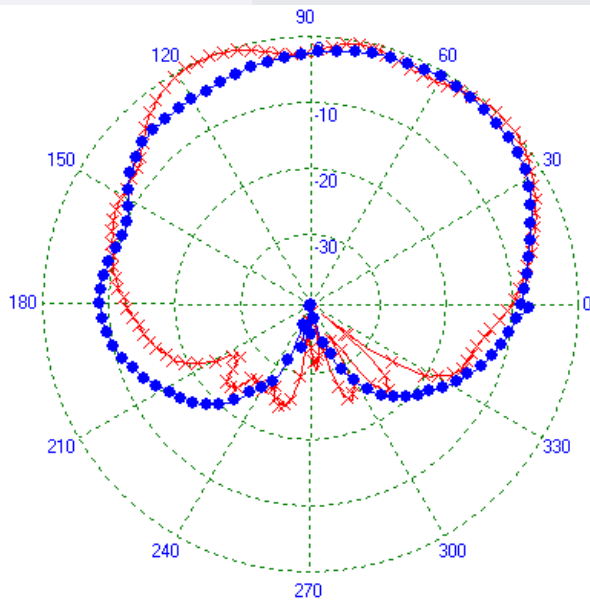
mikroczujniki  
włókniste



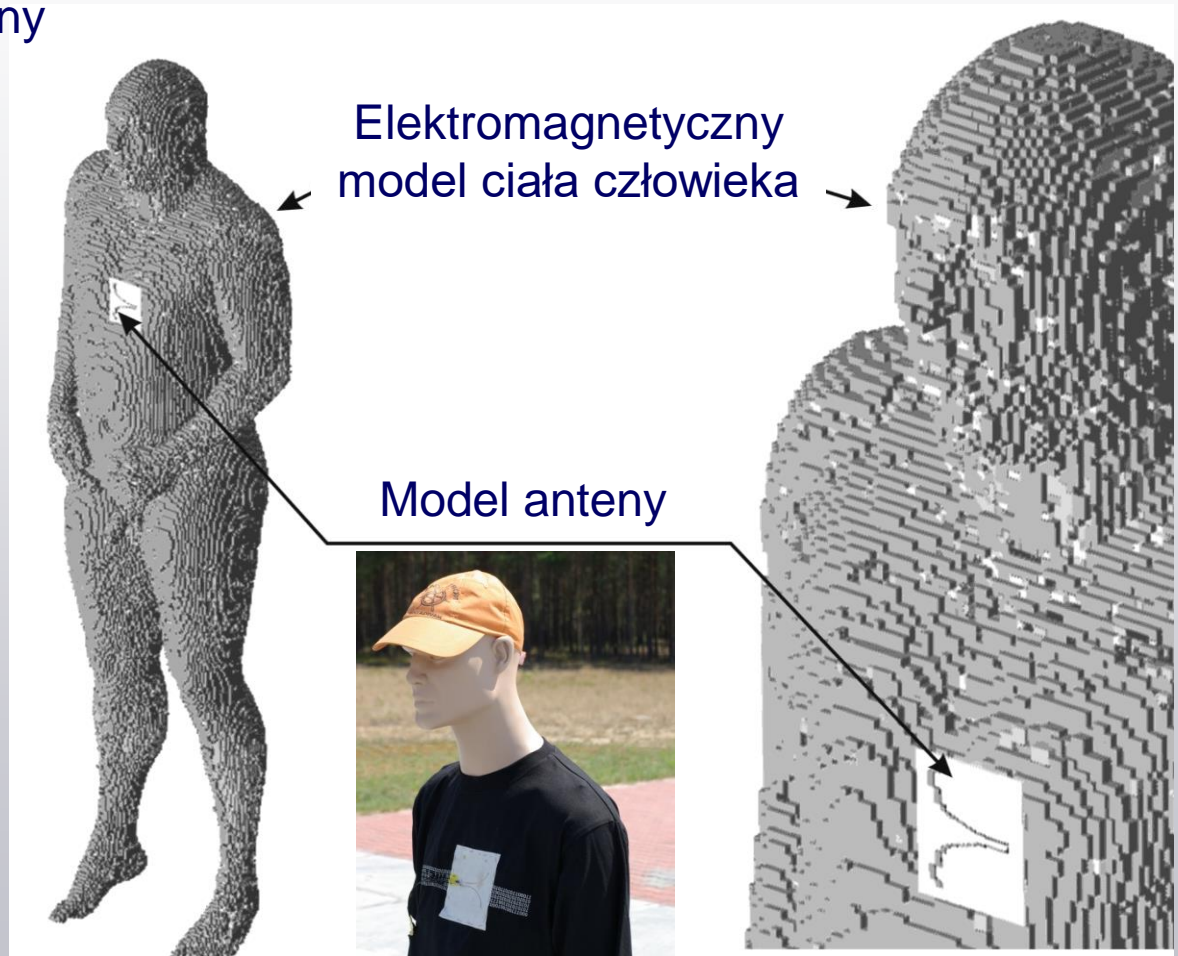


# Antena integrowana z odzieżą

- ❑ Pakiet XFDTD zastosowany do projektowania anteny
- ❑ Symulacje z użyciem fantomu



• Symulacje  
× Pomiary

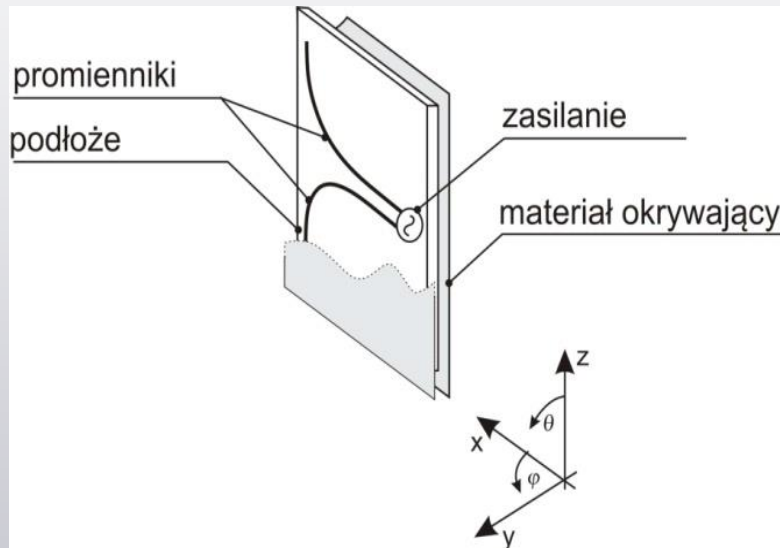






# Antena typu V

- ❑ Antena na pasmo 2,4 GHz
- ❑ Zmodyfikowane anteny typu V



[Januszkiewicz, L.; Hausman, S.; Kacprzak, T.; Michalak, M.; Biliska, J.; Krucinska, I., "Textile body-worn exponentially tapered Vee antenna," 17th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, 2008. MIKON 2008., pp.1-4, 19-21 May 2008]



# Projekt „Strażak”

- ❑ Monitorowanie stopnia zmęczenia ratowników
- ❑ Automatyczne wykrywanie sytuacji niebezpiecznych
- ❑ Lokalizacja ratownika





# Zastosowania systemów tekstronicznych

- ❑ ratownictwo, ochrona osobista, bezpieczeństwo,
- ❑ ochrona zdrowia i medycyna,
- ❑ sport,
- ❑ wyroby sił zbrojnych,
- ❑ rozrywka, komunikacja
- ❑ odzież użytkowa, moda





## Standardy komunikacji radiowej

|           | Zasięg<br>[m] | Przepustowość<br>[bps] | Moc<br>[mW] | Koszt<br>[USD] | Pasmo<br>[GHz] |
|-----------|---------------|------------------------|-------------|----------------|----------------|
| ZigBee    | 10-57         | 250 k                  | 30          | 2              | 0.868-2.4      |
| Bluetooth | 10-100        | 1-3 M                  | 2.5-100     | 3              | 2.4            |
| IrDA      | 1             | 16 M                   | -           | 2              | 2.4            |
| MICS      | 2             | 500 k                  | 0.25        | -              | 0.402-0.405    |
| 802.11g   | 200           | 54 M                   | 1           | 9              | 2.4            |

Wymienione standardy nie spełniają wymagań BAN:

→ QoS, mała moc, szybkość transmisji, kompatybilność EM

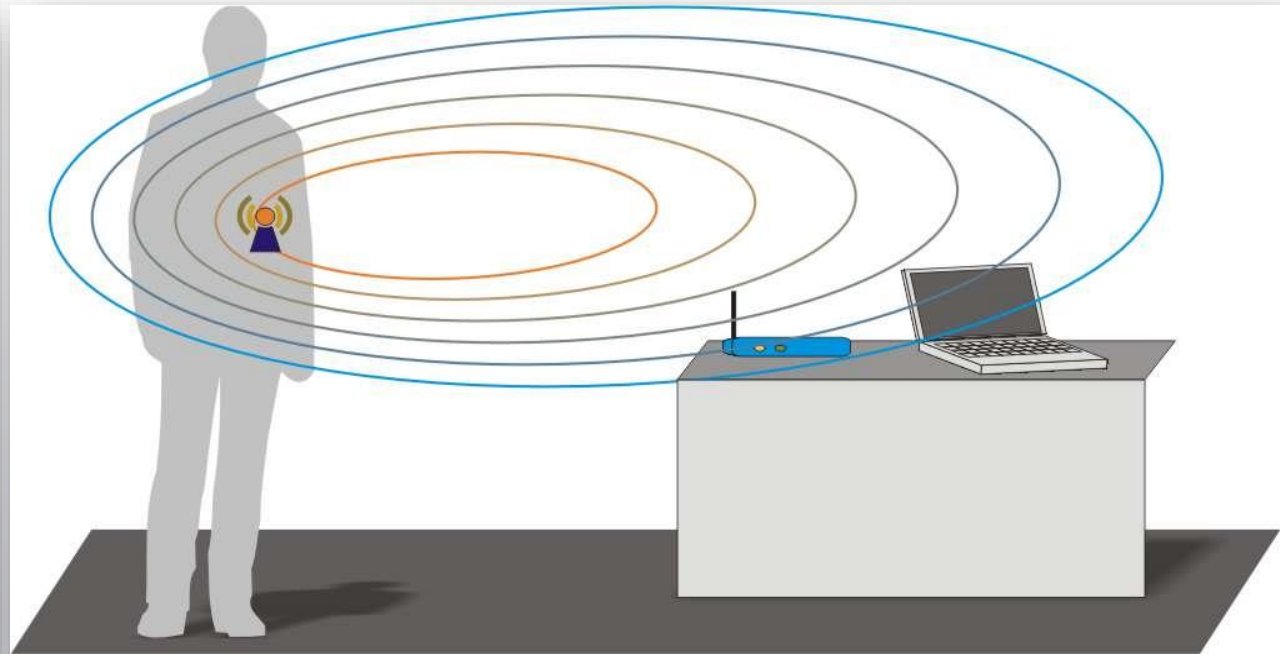
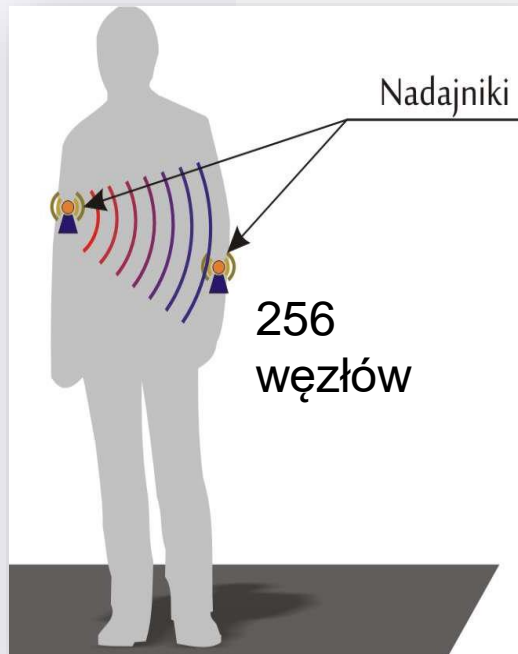


WBAN – Wireless Body Area Network

**IEEE 802.15.6**



# WBAN typu „on-body” i „off-body”



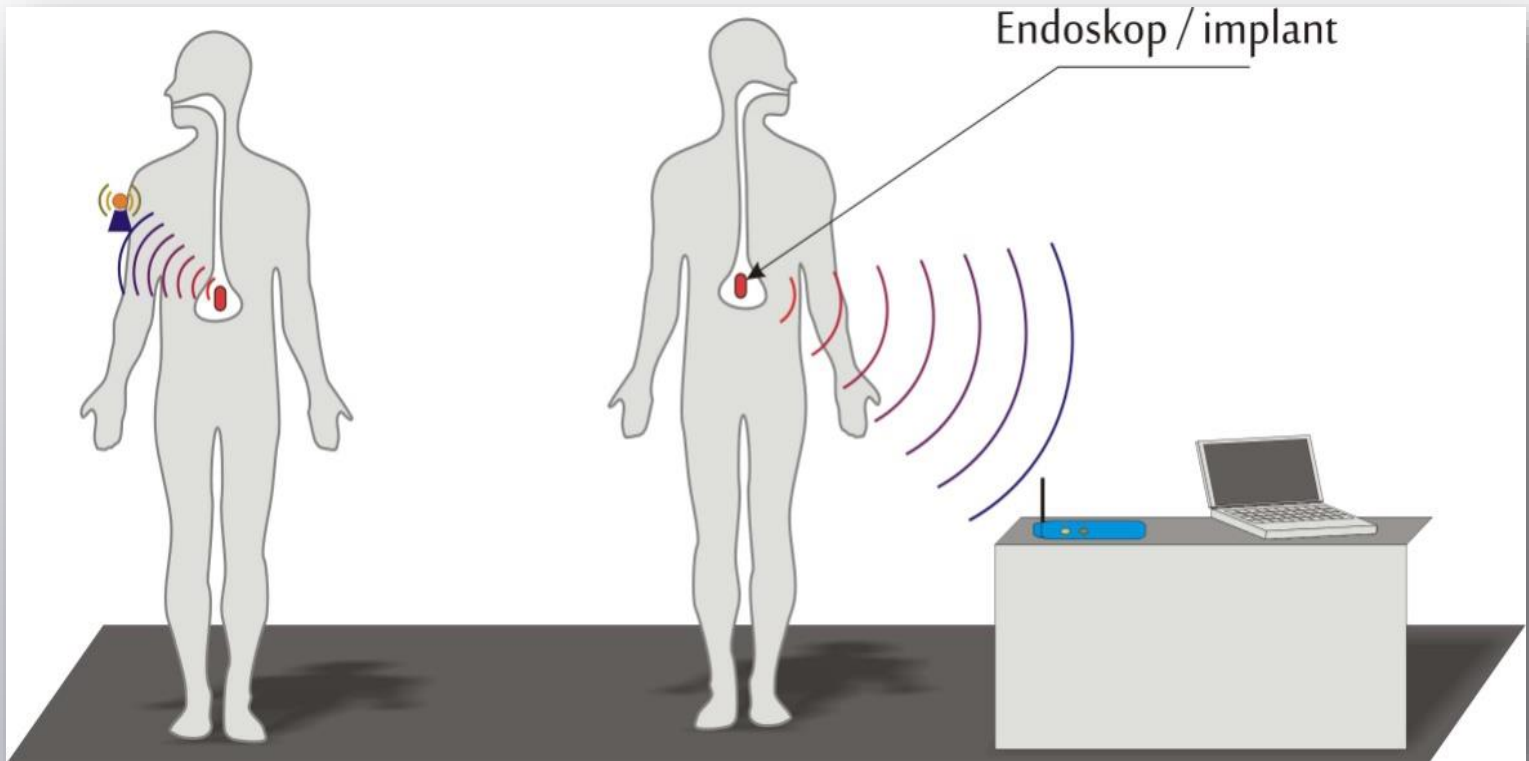
**IEEE 802.15.6** - standard telekomunikacyjny zatwierdzony w lutym 2012.

Przeznaczony dla urządzeń małej mocy działających w otoczeniu albo wewnątrz ludzkiego ciała do zastosowań medycznych, elektroniki powszechnego użytku i rozrywki osobistej.





# WBAN typu “in-body” (implanty)



np. „Digital pills” – „cyfrowe pastylki”



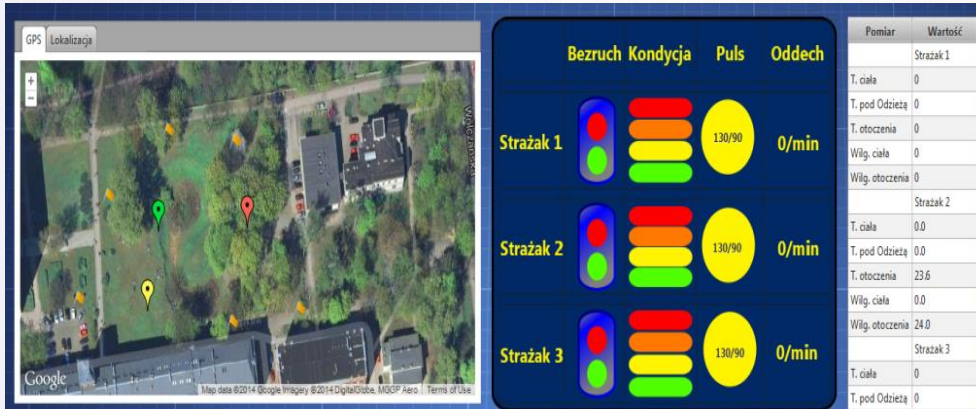
# IEEE 802.15.6 - Założenia

- ❑ 10Kb/s - 10Mb/s
- ❑ Packet Error Rate (PER)  $< 10\%$  przy pakietach złożonych z 256 oktetów
- ❑ Dołączanie i odłączanie węzłów  $< 3$  s
- ❑ Nie mniej niż 256 węzłów w sieci
- ❑ Opóźnienie  $< 125 \mu\text{s}$  (zastos. medyczne)
- ❑ Moc nadawania od 0,1 mW do 1 mW
- ❑ Elementy QoS (priorytety)
- ❑ Mały pobór mocy

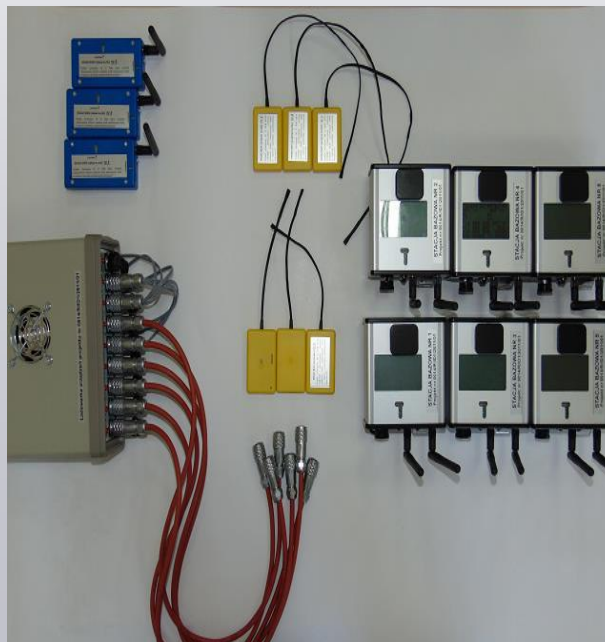
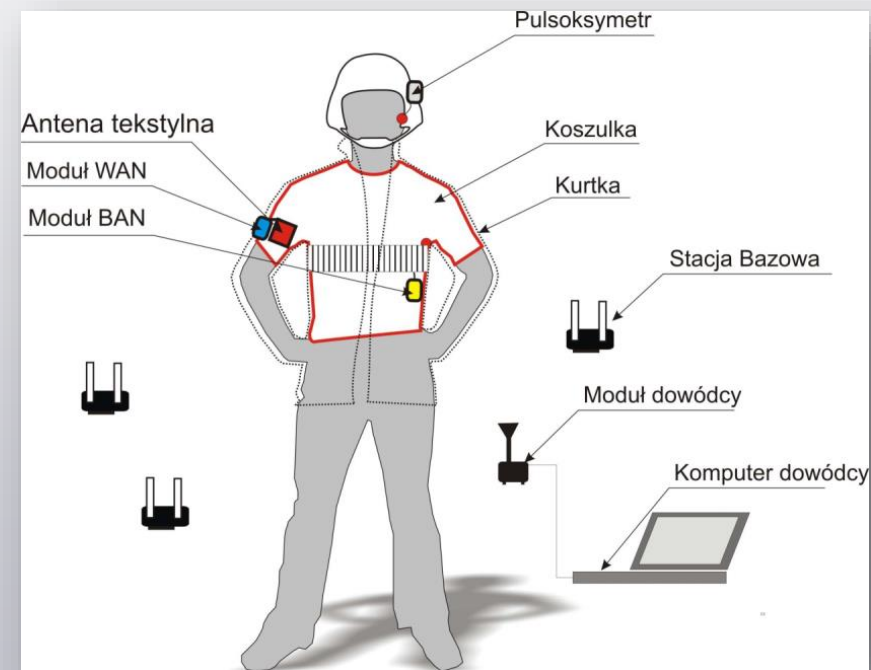


# Radiowe systemy monitorowania

(współpraca z Wydziałem Technologii Materiałowych i Marketingu Tekstyliów PŁ)



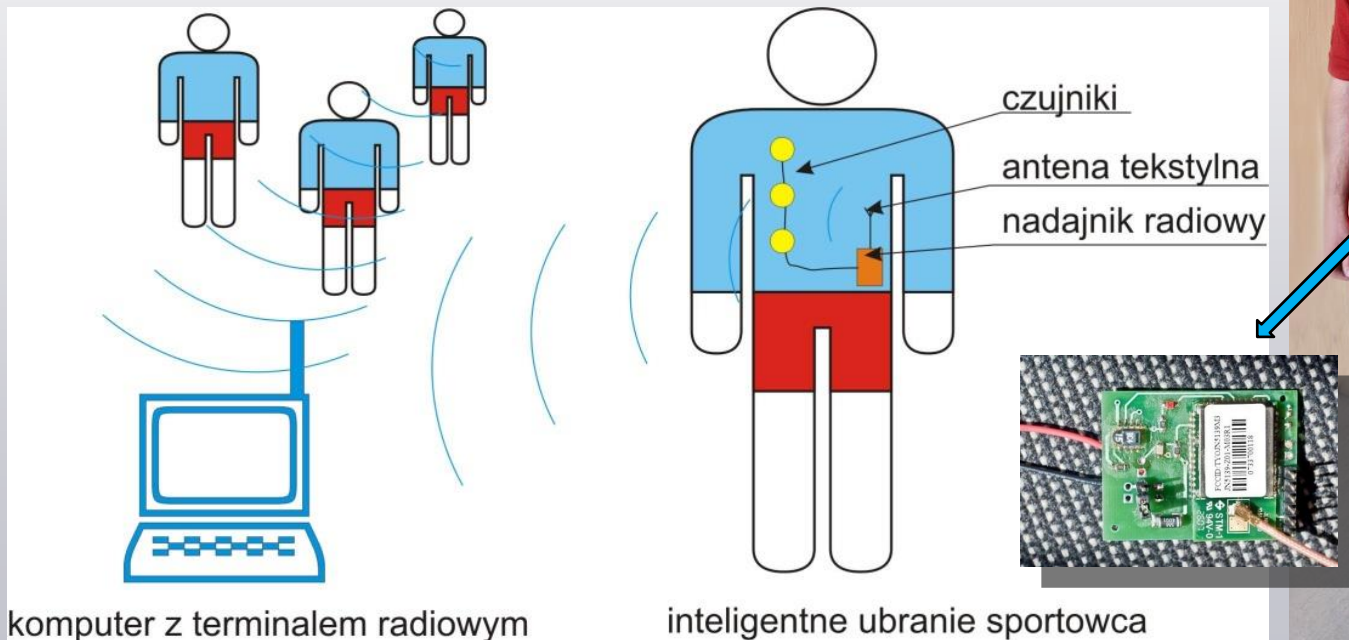
- Stopień zmęczenia
- Lokalizacja osób





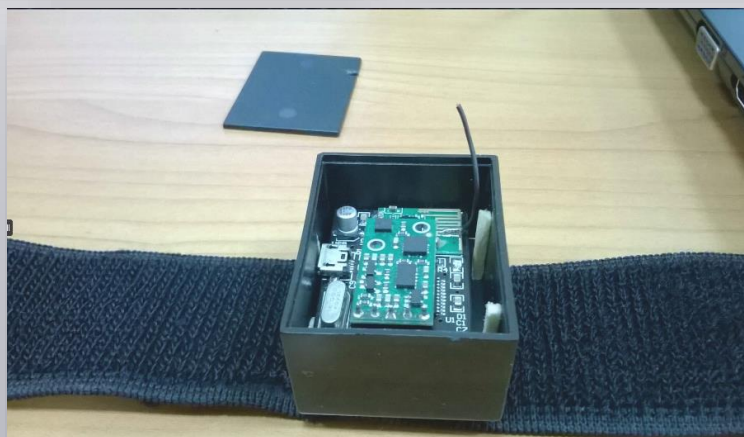
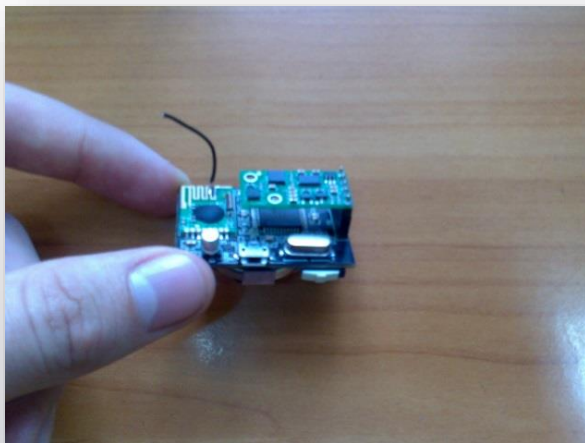
# Projekt „PEROS” – inteligentne ubrania sportowców

- ❑ Monitorowanie wysiłku podczas treningu
- ❑ Określanie profilu wydolnościowego
- ❑ Personalizacja ubrań sportowców





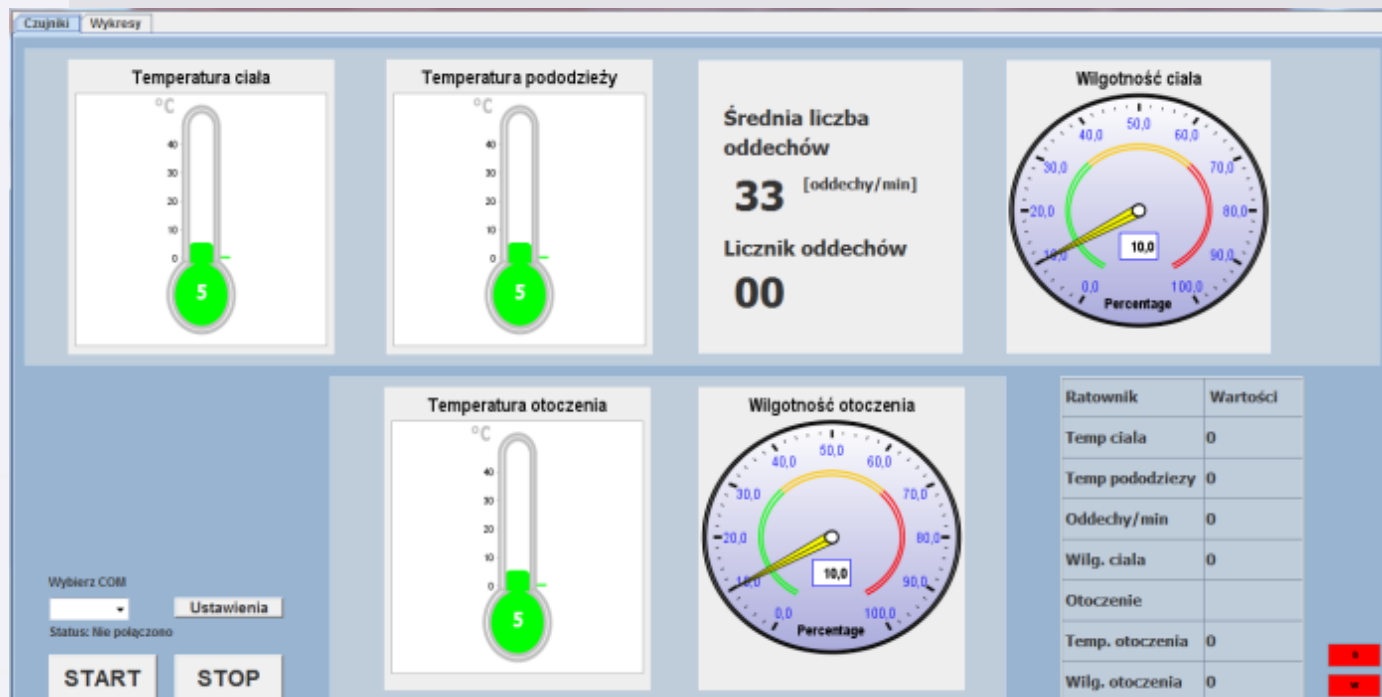
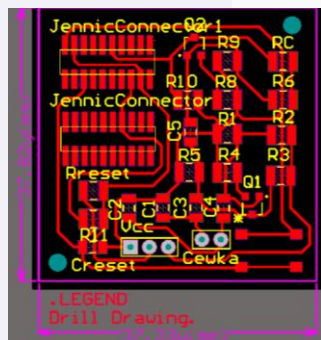
# Lokalizacja położenia i detektor upadku





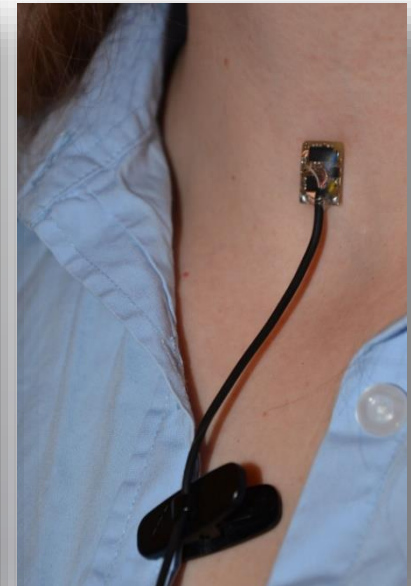
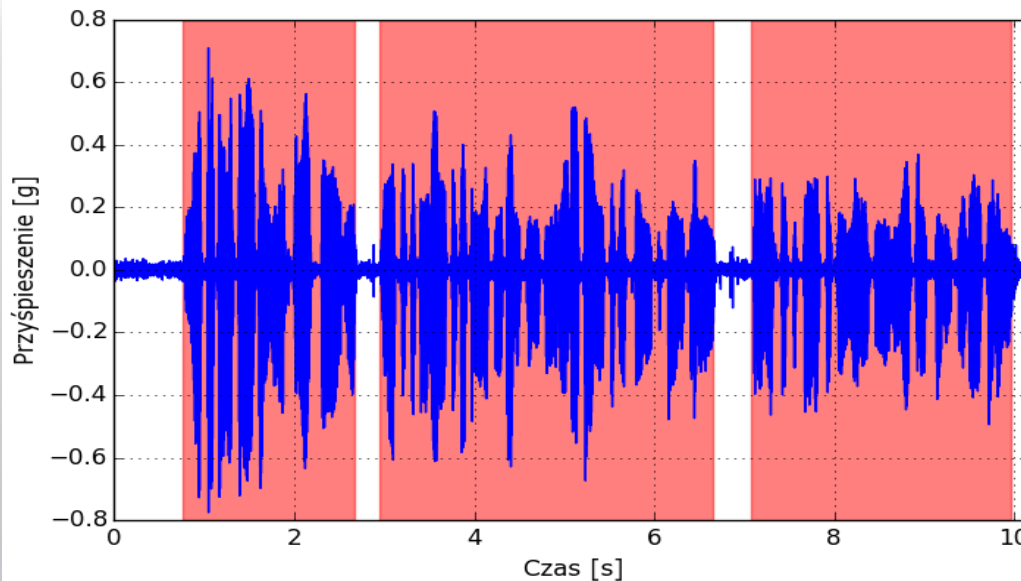


# Czujniki częstości oddechu i innych parametrów fizjologicznych i środowiskowych

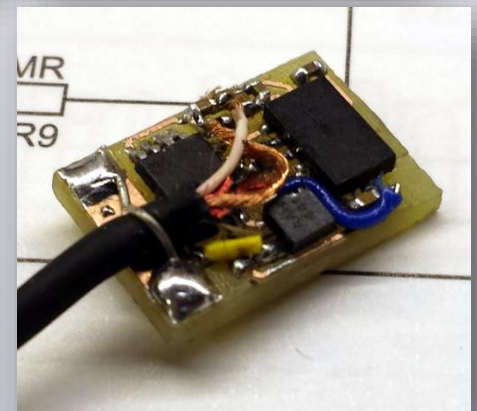




# Pomiar wysiłku głosowego (współpraca z Instytutem Medycyny Pracy w Łodzi)



| Parametr   | Przed pracą | Po pracy |
|--|-------------|----------|
| Średnia częstotliwość podstawowa [Hz]  | 113,1       | 124,5    |
| Średnia moc rejestrowanych drgań odniesiona do poziomu szumów czujnika [dB(SAL)] | 33,5        | 31,2     |



Wyznaczane parametry: skumulowany **okres fonacji**, **ton krtaniowy**, **amplituda drgań** i **liczba cykli drgań** fałdów głosowych, **sumaryczne przemieszczenie fałdów**



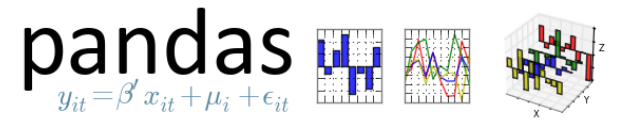
# Długookresowa analiza sygnałów z czujników inercyjnych (Fitbit)

## Cel badań:

- ❑ długookresowe monitorowanie aktywności fizycznej osób,
- ❑ wykrywanie sytuacji alarmowych

## Narzędzia:

- ❑ bransoletka Fitbit, Fitbit API
- ❑ Python
- ❑ OpenTSDB
- ❑ Pandas

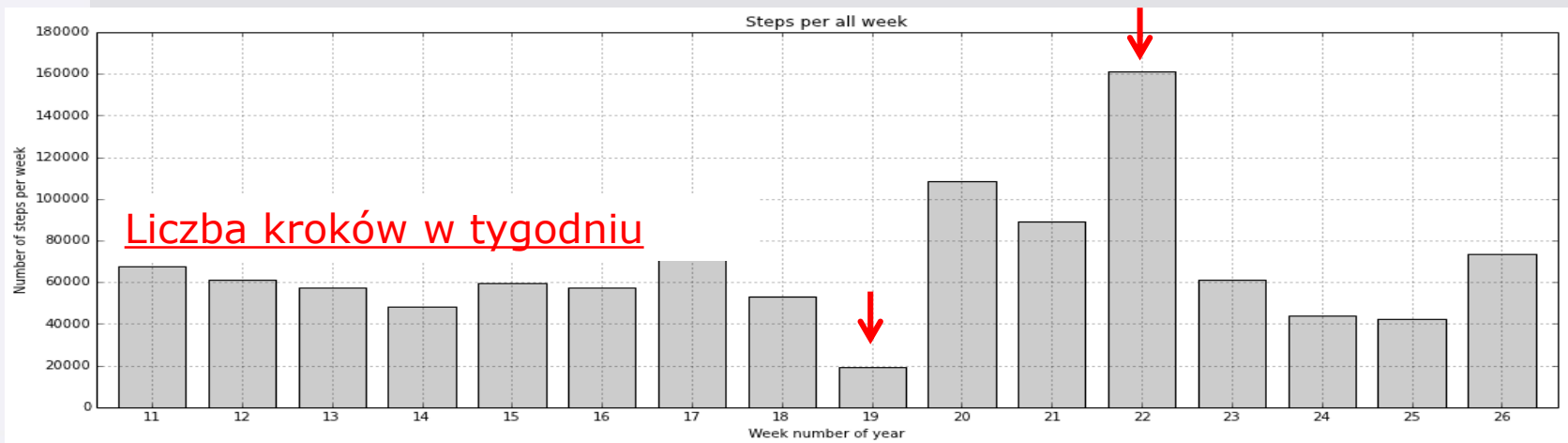




# Długookresowa analiza sygnałów z czujników inercyjnych

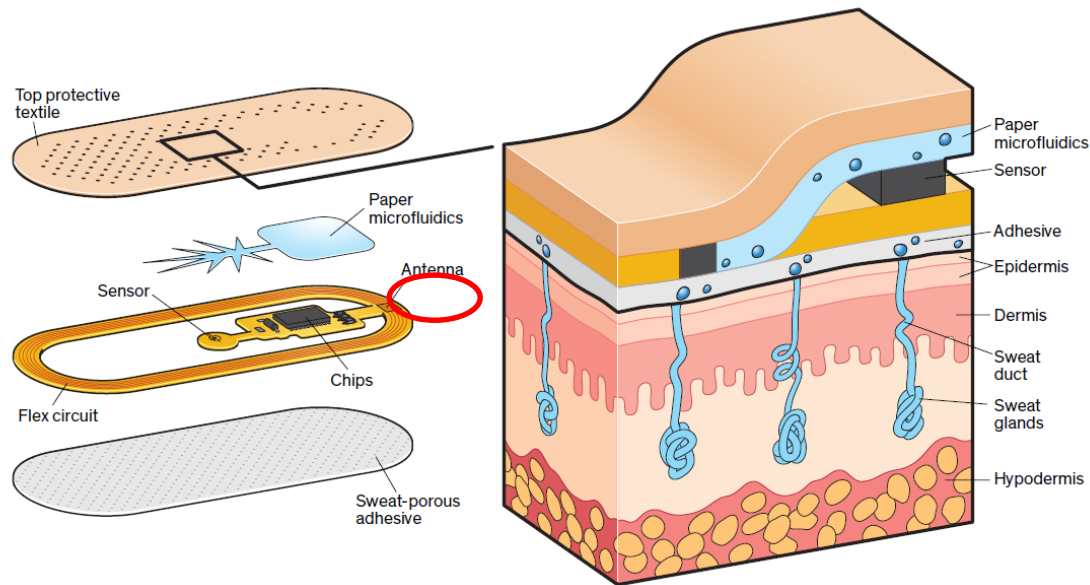
## Mierzone dane:

- Liczba kroków
- Czas i „głębokość” snu
- METs - Metabolic Equivalent of Task
- Kalorie





# Analiza składu chemicznego potu



Bardziej złożona niż analiza krwi

## Pomiar:

- koncentracji leków,
- stężenia i równowagi elektrolitów
- odwodnienia organizmu

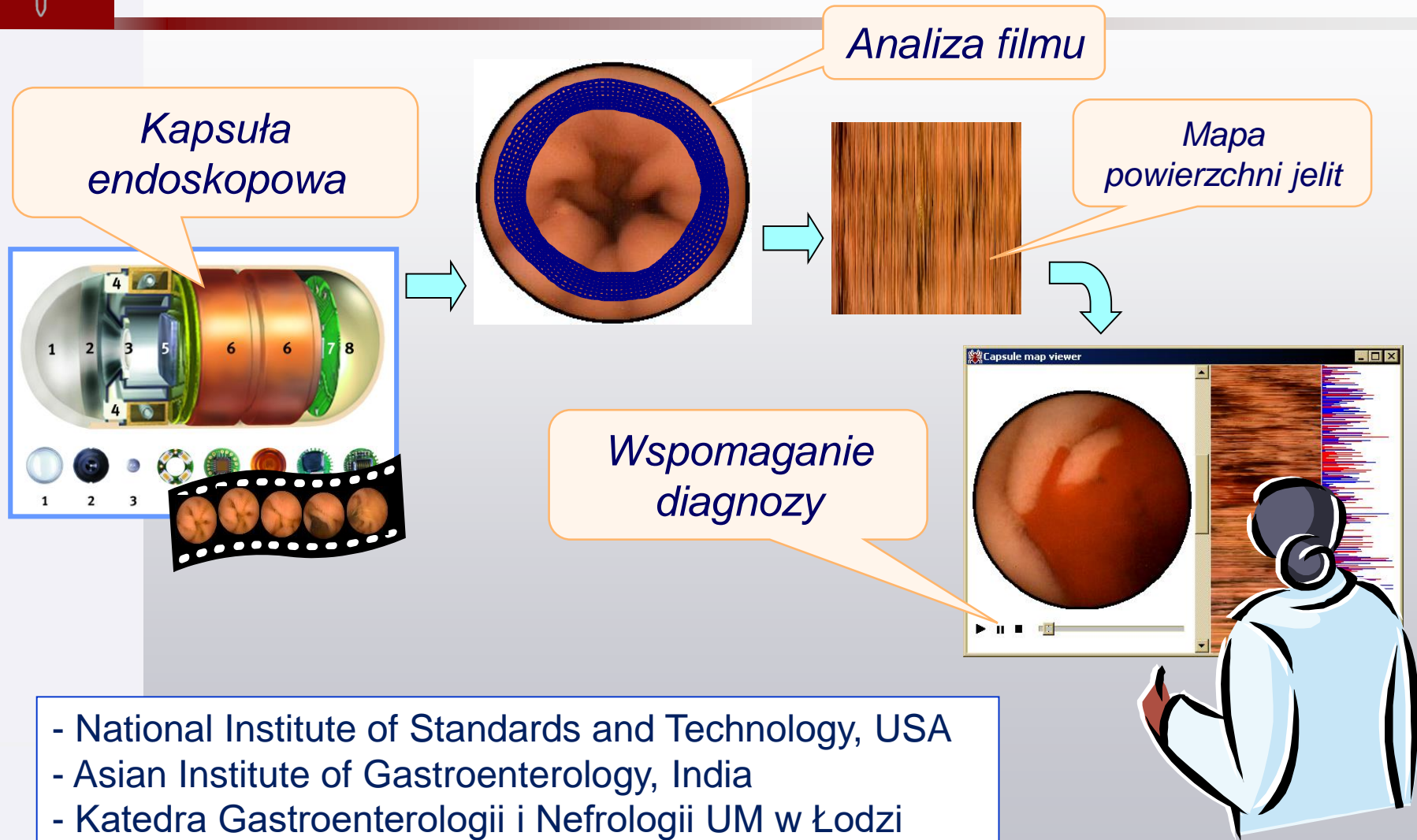


*J. Heikenfeld, Your sweat may bring medical diagnostics to **Fitbits** and Fuelbands , IEEE Spectrum, Nov. 2014*



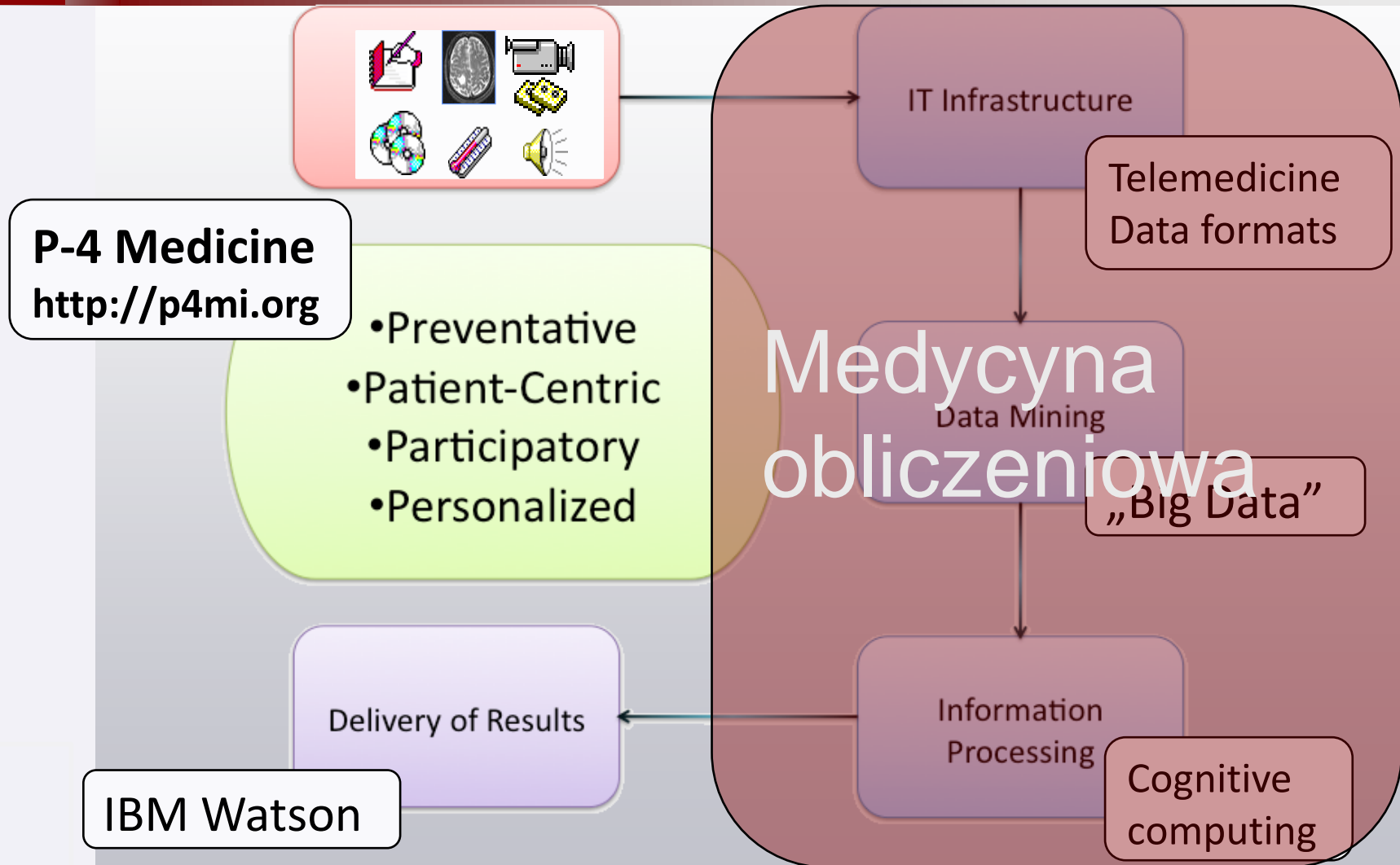


# Endoskopia bezprzewodowa





# Pacjent → big data → medycyna obliczeniowa





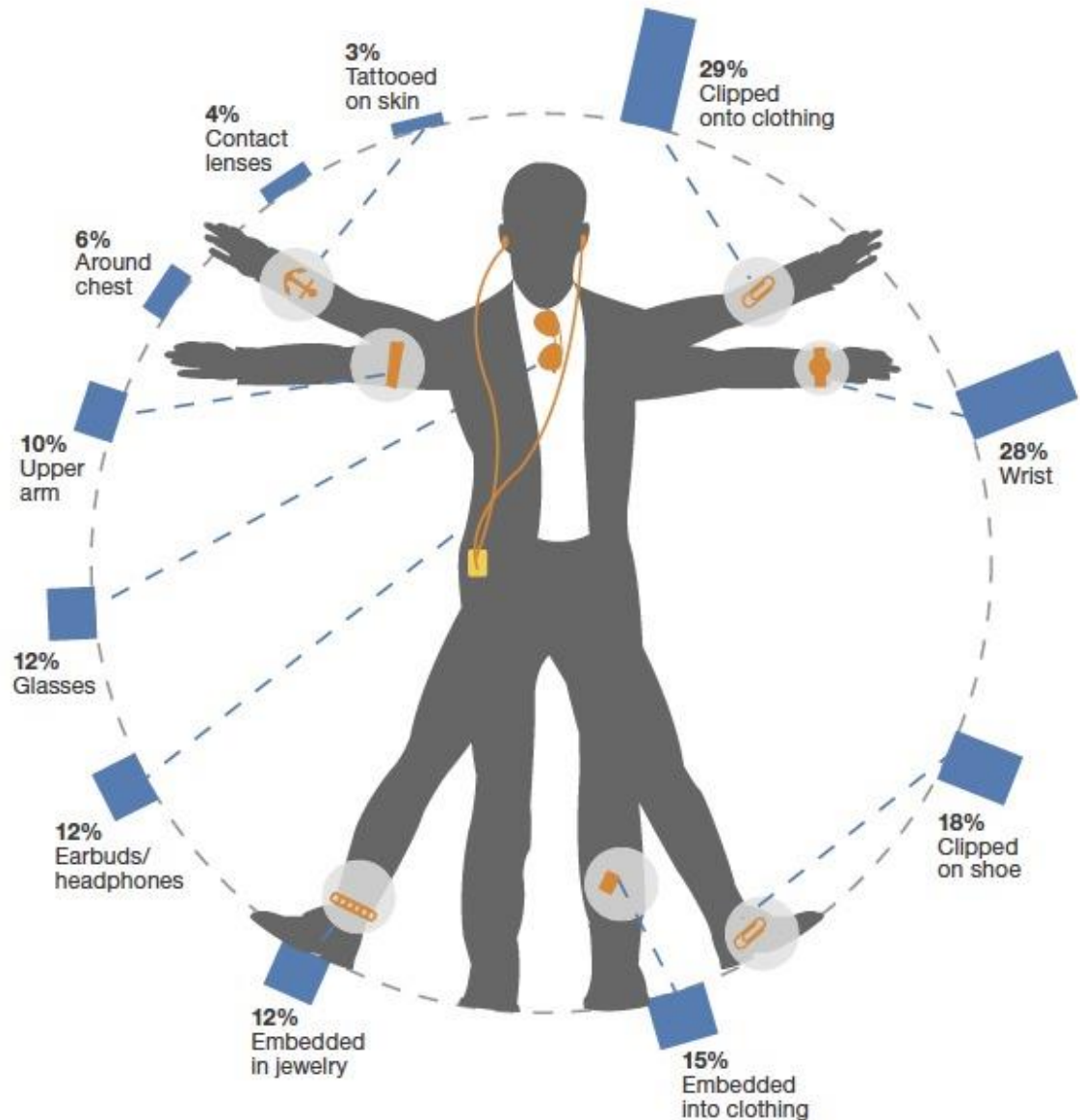
# Elektronika osobista

## Bariery:

1. Koszt
2. Urządzenia realizują jednostkowe funkcje
3. Moda (estetyka)
4. „Wojna” systemów operacyjnych Android i iOS



“How would you be interested in wearing/using a sensor device, assuming it was from a brand you trust, offering a service that interests you?”



Base: 4,657 US online adults (18+)  
(multiple responses accepted)

Source: North American Technographics® Consumer Technology Survey, 2013

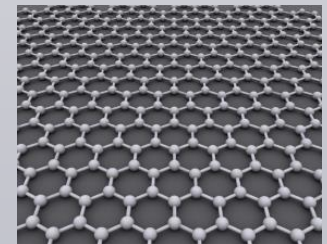


# Komputer i wyświetlacz dermalny



*Wizja artysty: Gina Miller, 2007*

**Nowy materiał: Grafen**







# Implant z „elektroniczną pamięcią”



Photo: Lawrence Livermore National Laboratory

Projekt DARPA (*Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych w Obszarze Obronności*) opracowanie implantu wszczepianego do mózgu z elektroniczną pamięcią” - projekt 4-letni





## Rynek urządzeń „wearable”

