

Metrologia współrzędnościowa - stan i perspektywy rozwoju w drugiej dekadzie XXI w.



**Europejskie programy metrologiczne:
EMRP i EMPIR – szansą dla polskiej
metrologii
Warsztaty GUM PK wrzesień 2014**

**Prof.dr hab.inż. Jerzy A. Sładek
Politechnika Krakowska**

sladek@mech.pk.edu.pl



Laboratorium
Metrologii
Współrzędnościowej



Plan prezentacji

- ❑ Wprowadzenie - Metrologia Współrzędnościowa
 - ❑ Pomiar a jakość wyrobu – dokładność pomiaru
 - ❑ Wzrost dokładności pomiaru współrzędnościowego warunkiem postępu
-
- ❑ Kluczowe problemy metrologii współrzędnościowej - w drugiej dekadzie XXI w.
 - ❑ Współrzędnościowe maszyny pomiarowe Hi -Accuracy i systemy multisensoryczne
 - ❑ Nano- maszyny współrzędnościowe
 - ❑ Systemy obrazowania - Tomografia współrzędnościowa
 - ❑ Ocena dokładności pomiaru
 - ❑ Innowacyjność wytwarzania systemy addytywne
 - ❑ dokładność pomiaru *on line* – wirtualne maszyny pomiarowe

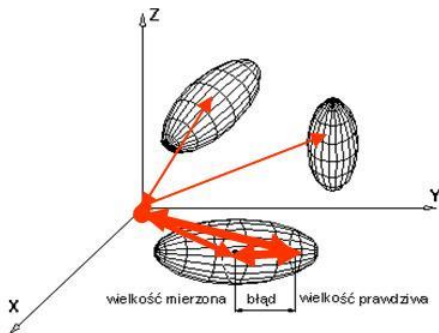


Metrologia współrzędnościowa



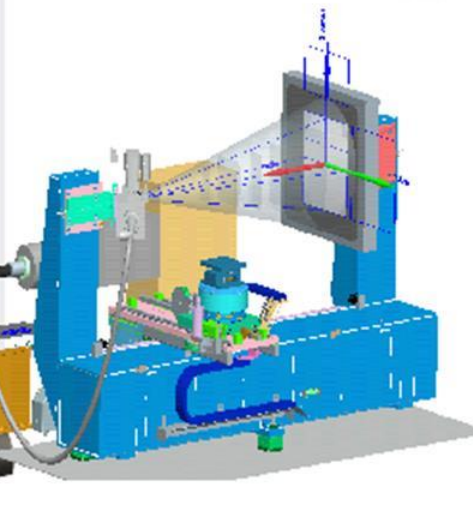
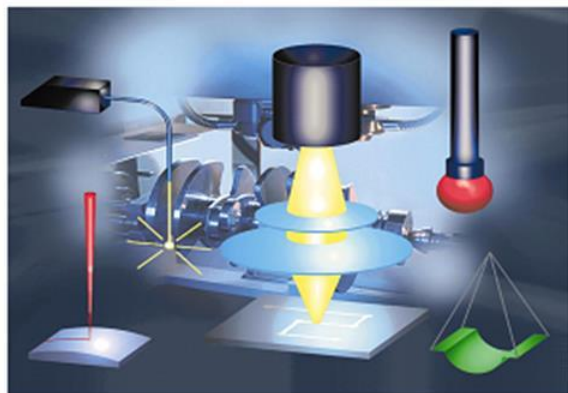
Metrologia współrzędnościowa umożliwia pomiar i obrazowanie wszelkich obiektów geometrycznych.

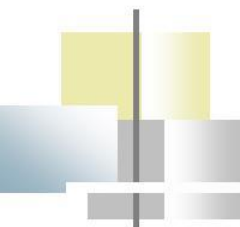
Pomiar bezpośredni realizowany jest poprzez wyznaczenie współrzędnych punktów na powierzchni badanych obiektów w zakresie od nano do makro wymiarów.





Współrzędnościowe systemy pomiarowe





Podstawą techniki pomiarów współrzędnościowych są :

- Współrzędnościowe Maszyny Pomiarowe (WMP).
 - stykowe pracujące w układzie 3D
 - optyczne pracujące w układzie 2D
 - multisensoryczne 2D/3D
- Współrzędnościowe systemy redundantne w skład, których wchodzi:
 - Współrzędnościowe Ramiona Pomiarowe (WRP)
 - Laserowe Systemy Nadążne (LSN) – Laser Tracker'y
- Bezstykowe współrzędnościowe systemy pomiaru i obrazowania w skład, których wchodzi systemy :
 - wykorzystujące światło strukturalne,
 - fotogrametryczne
 - realizujące triangulację laserową
 - układy oparte na pomiarze czasu powrotu wiązki detekcyjnej (TOF - Time of Flight)
 - tomografii komputerowej (CT)
 - rezonansu magnetycznego (MR)
- Systemy stykowe i bezstykowe pomiaru mikrogeometrii i topografii powierzchni



Wzrost dokładności pomiaru współrzędnościowego warunkiem postępu

♦ **dokładność urządzenia pomiarowego**

- warunki i metody wzorcowania

rola laboratoriów wzorcujących –
system zarządzania PN/ISO 17025:2005

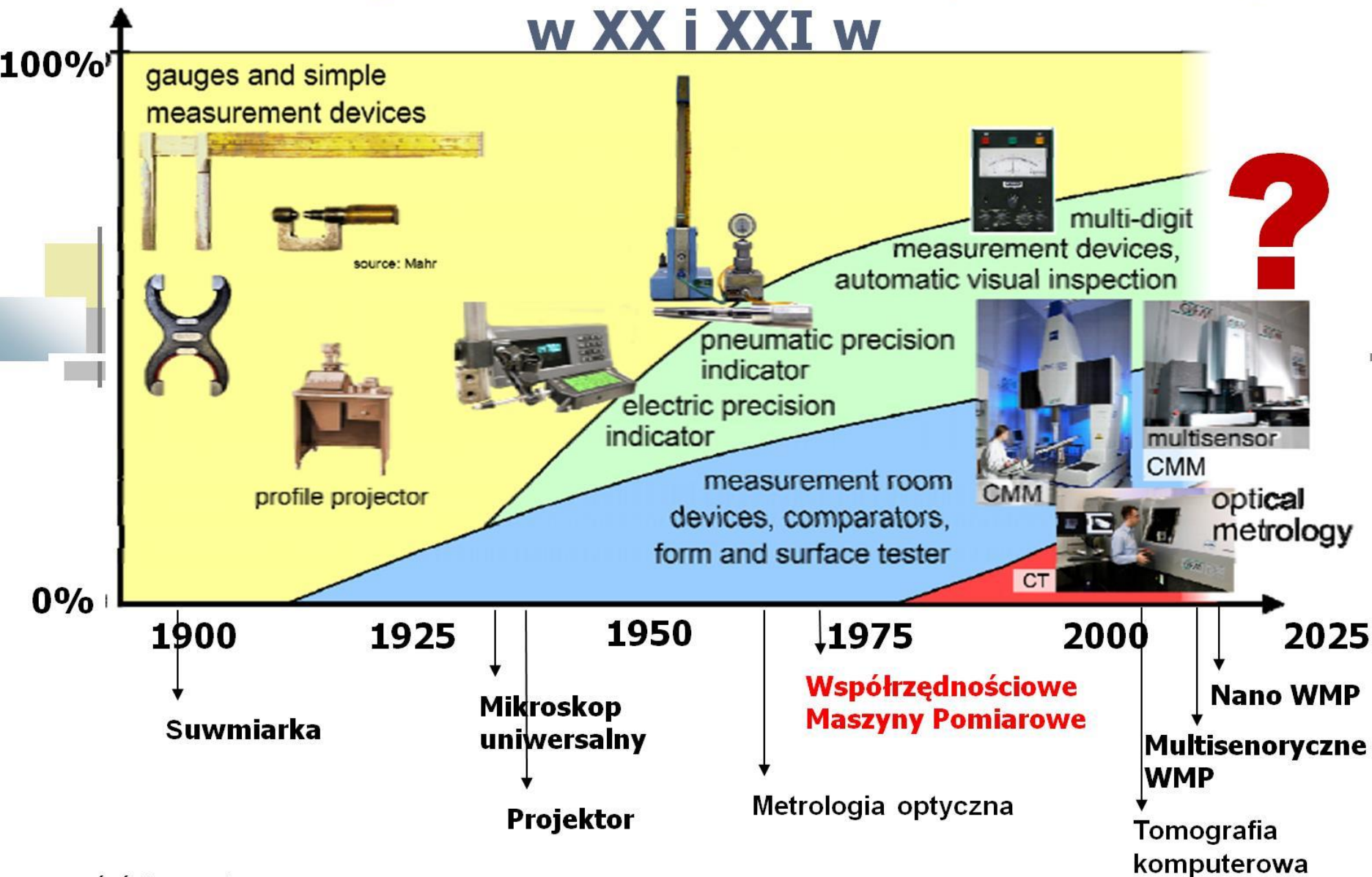
♦ **powiązanie z jednostką długości** –

rola krajowych i instytutów metrologicznych (NMI)
(*Urzędów Miar - GUM*)

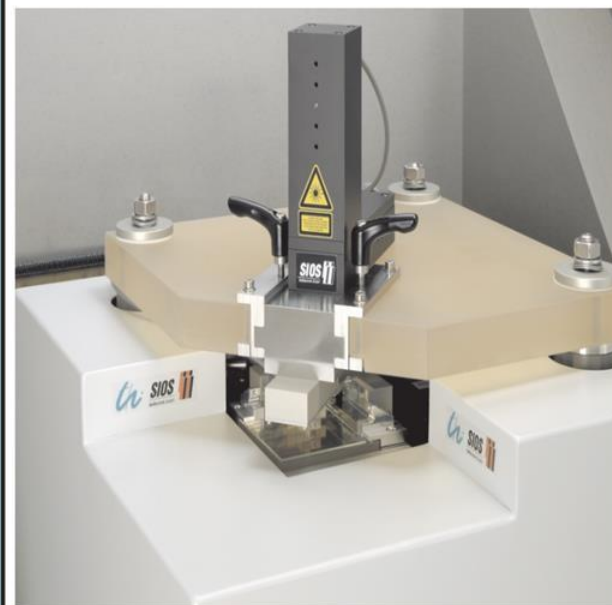
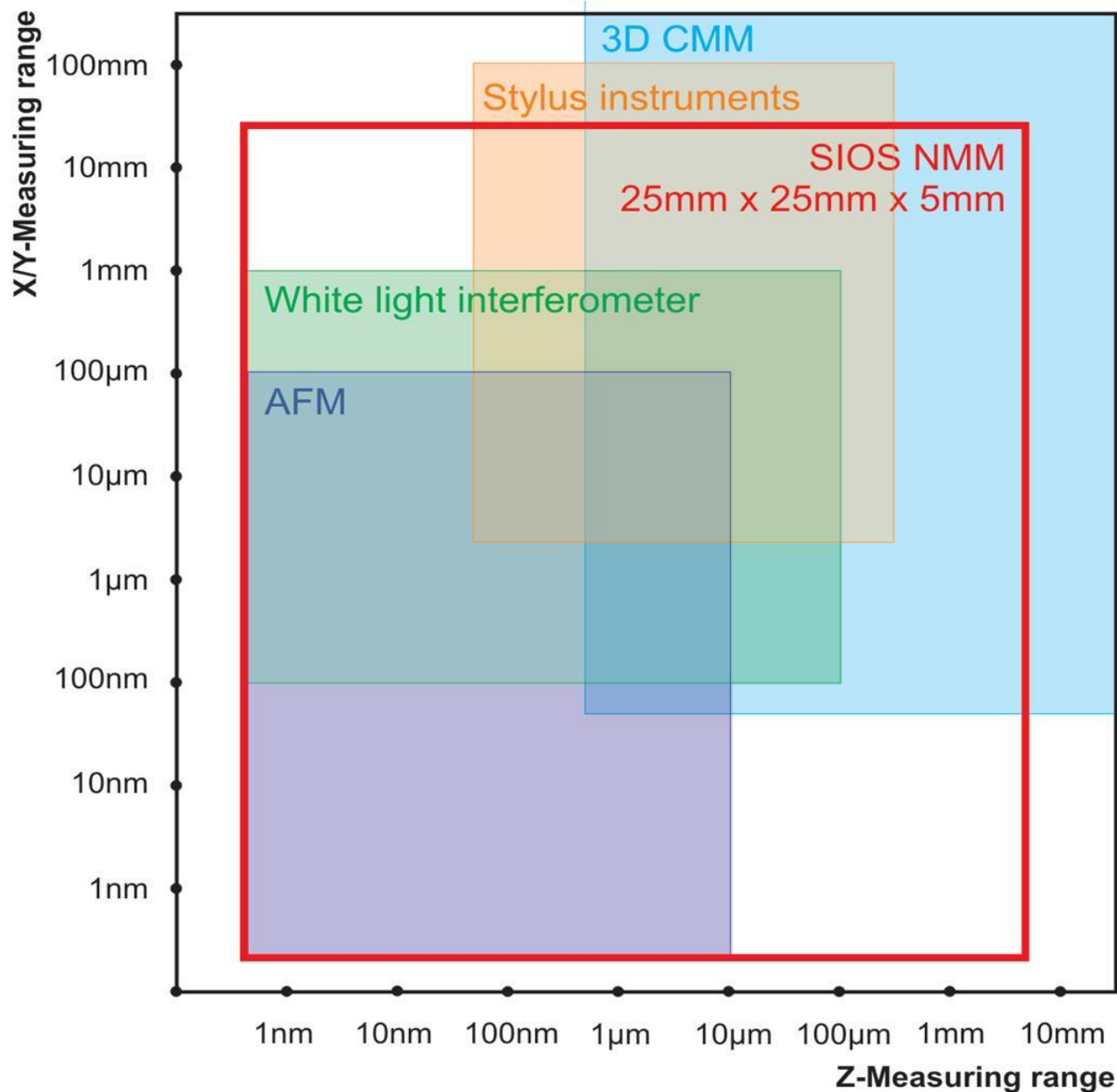
♦ **niepewność pomiaru** - metody wyrażania niepewności pomiaru

rola I jednostek naukowych, NMI i laboratoriów wzorcujących

Konieczny wzrost dokładności pomiaru to rozwój metrologii współrzędnościowej w XX i XXI w



Rozwój współrzędnościowych systemów pomiarowych granice dokładności



Nano maszyna
NMN-1 SIOS

Kluczowe problemy metrologii współrzędnościowej - w drugiej dekadzie XXIw.

- Wzrost dokładności współrzędnościowych maszyn pomiarowych - CMM HA –

Czy jest osiągalne $MPE \leq 0,1 + L/1000$ mm ???

- Pomiary HA - temperatura pomiaru bliska odniesieniu

stabilność temp odniesienia ± 0.05 ?

- Ocena dokładności systemów NANO CMM , AFM/STM powiazanie z jednostką – nano scale traceability

jak wzorcować NCMM- AFM/SFM

- Metrologiczne aspekty zapewnienia jakości wytwarzania addytywnego
modelowanie dokładności wytwarzania - jak osiągnąć dokładność pomiaru 3D z niepewnością poniżej 10 μ m

- Metrologia współrzędnościowa systemy obrazowania CT i MR..

jak wzorcować systemy CT, MR

- Pomiary zarysów swobodnych w tym sferycznych i asferycznych
Minimalizacja błędu pomiaru zarysu

- Ocena dokładności pomiaru współrzędnościowego
– niepewność pomiaru *on line*

modelowanie WSP – systemy wirtualne i metody symulacyjne

Maszyny Hi Accuracy

$MPE \leq 0,3 + L/1000 \text{ mm?}$

Czy jest osiągalne $MPE \leq 0,1 + L/1000 \text{ mm ???}$



XENOS Zeiss



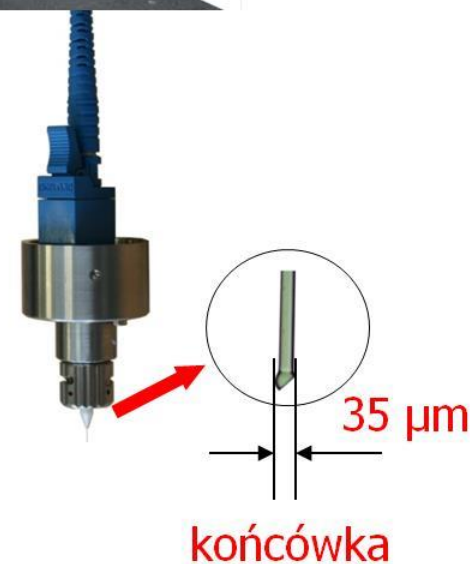
PMM-C Ultra Leitz



ISARA400- IBS

Multisensoryczne WMP

Konieczna wspólna formuła dokładności dla wszystkich sensorów

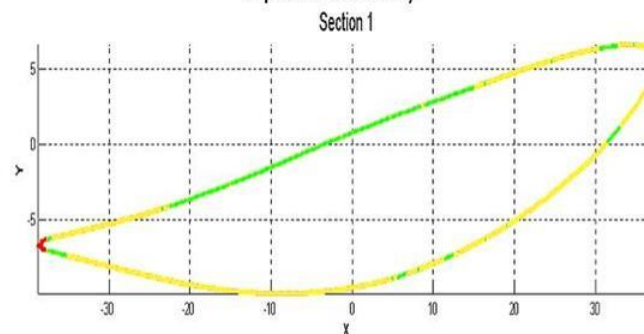


Mulitsensoryczne WMP

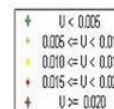
Głowica HP-O Leitz – Laserowa głowica bezstykowa (identyfikacja 1000 punktów na sekundę)



przedstawienie niepewności
dla poszczególnych obszarów zarysu
łopatki turbiny



Wszystkie wymiary w mm
Niepewność rozszerzona (k=2)

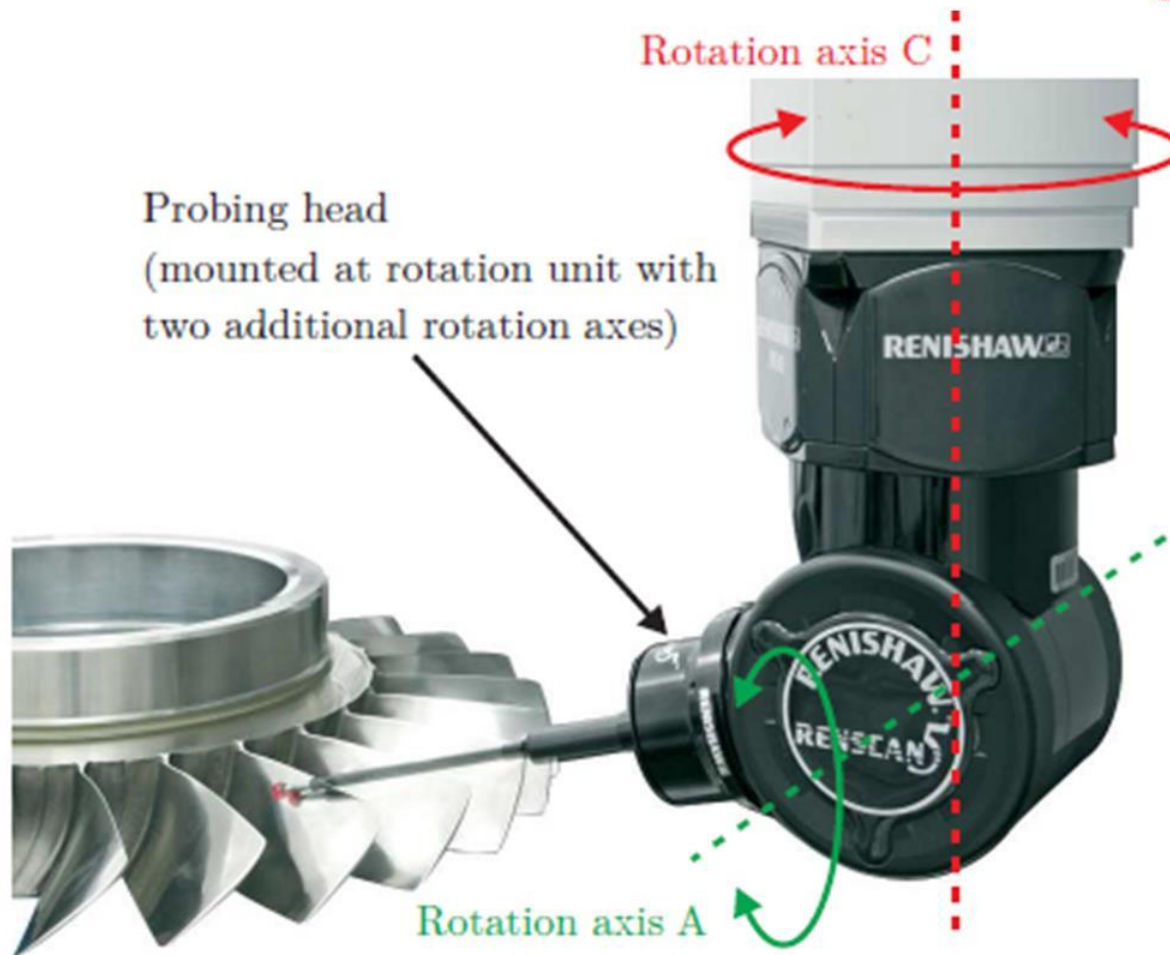


**DOKŁADNE POMIARY ZARYSÓW O STAŁEJ I ZMIENNEJ KRZYWIŹNIE -
POMIARY stykowe i bezstykowe?
ZARYSY SFERYCZNE I ASFERYCZNE**

Systemy stykowe – **bezstykowe** ?

skanujących głowic wieloosiowych (5-osiowych)

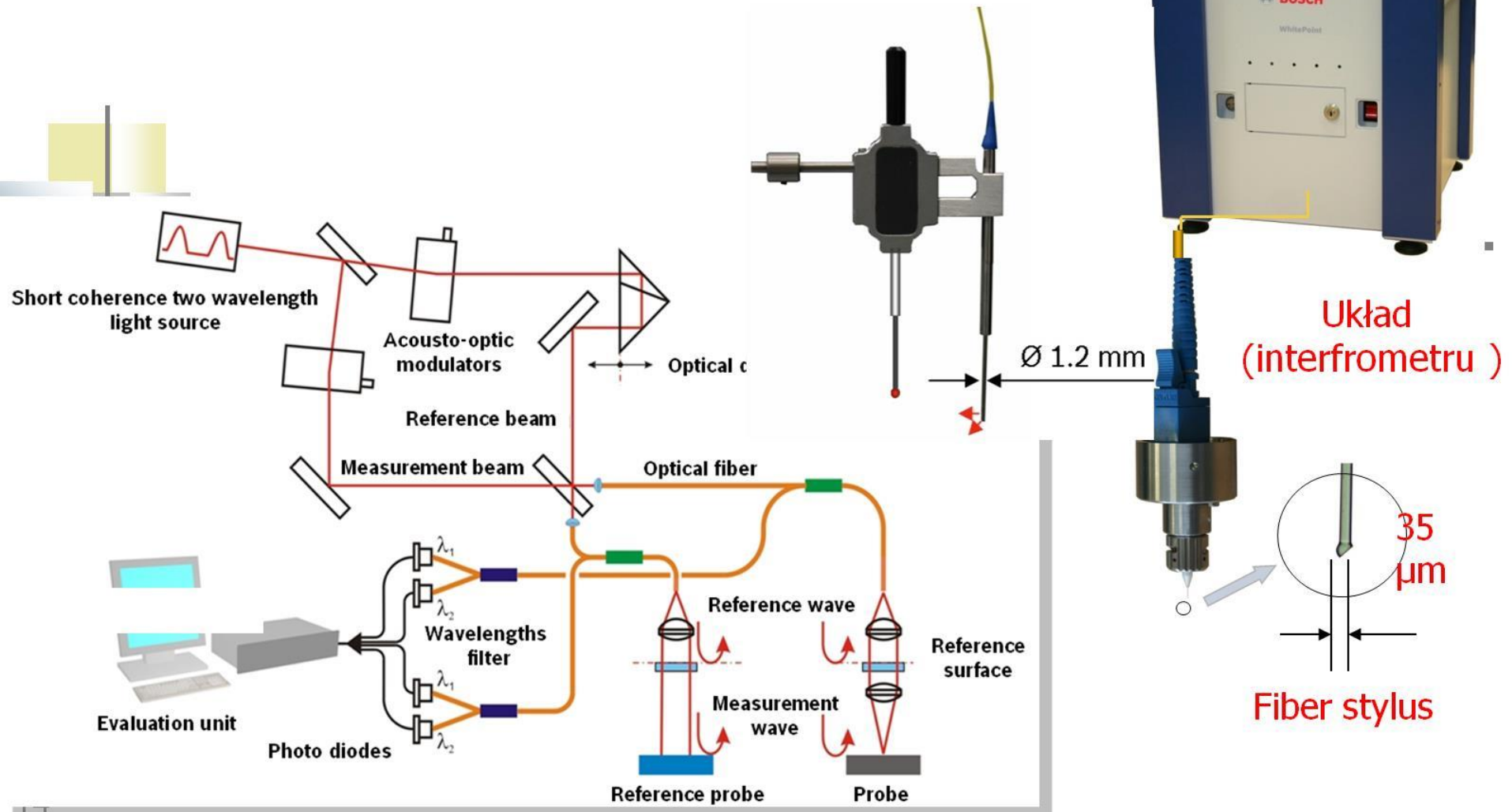
REVO Renishaw **ew. kierunek rozwoju?**



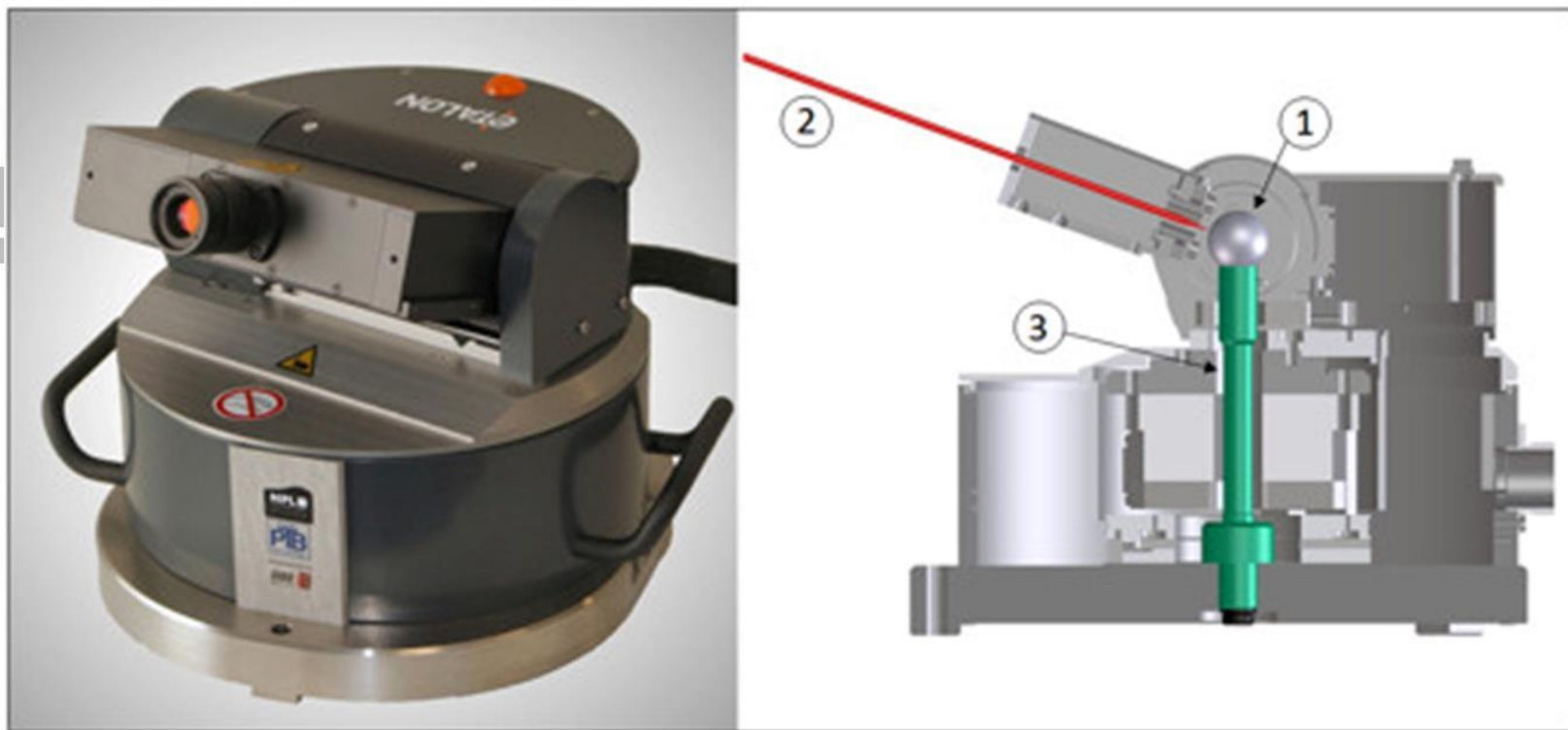
POMIARY ZARYSÓW O ZMIENNEJ KRZYWIŹNIE - POMIARY BEZSTYKOWE

System interferometrycznej głowicy bezstykowej – *WhitePoint*

źródło - dr inż. Paweł Drabarek
Robert *Bosch* GmbH

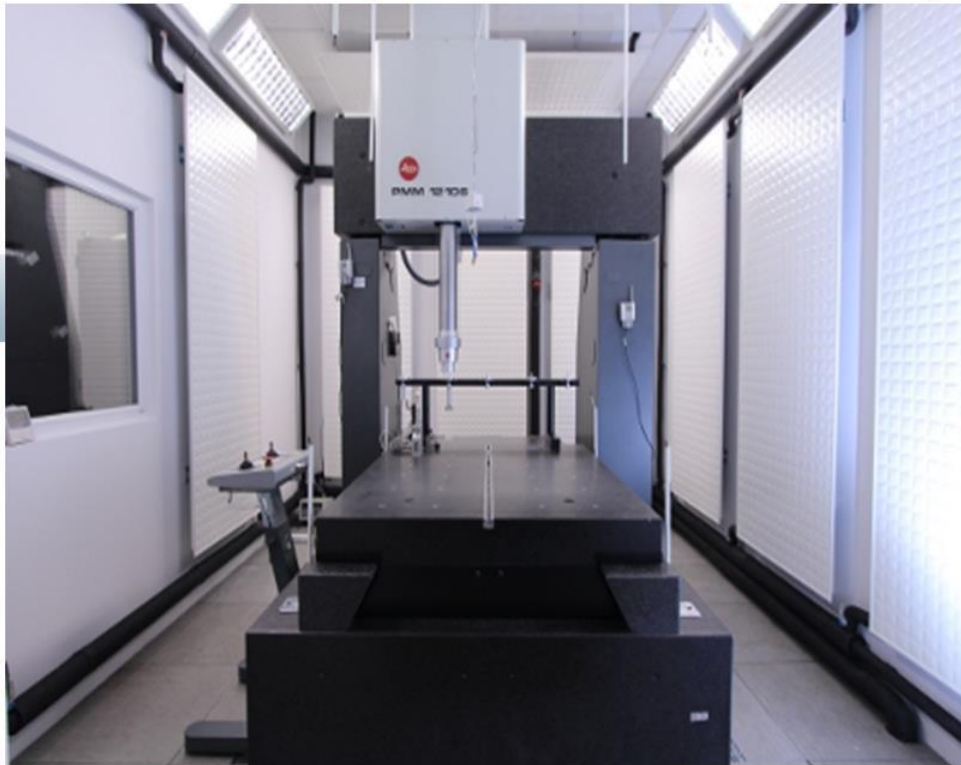


Systemy wzorcowania Maszyn Hi-Accuracy



Laser tracer ETALON AG : $U = 0,0002 + 0,0003 \text{ L}/1000 \text{ mm}$

Wpływ temperatury na dokładność pomiarów współrzędnościowych



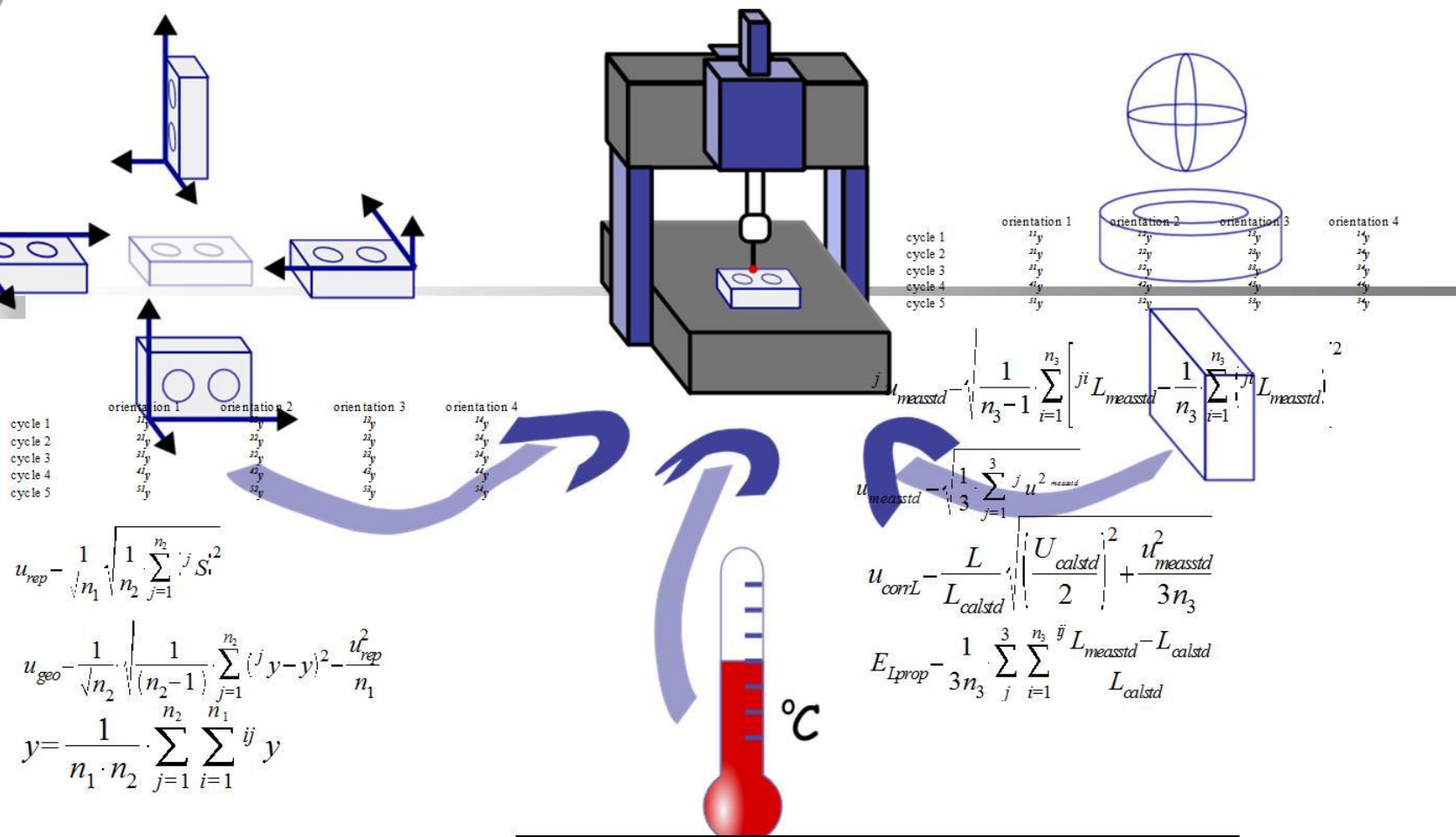
Rozszerzalność termiczna

- korygować jej wpływ ?
- czy zapewnić warunki odniesienia ?

Zmiana temp. o **1°C** to zmiana wymiaru 100 mm płytki wzorcowej o **1,1μm**,
0.1°C to 0,11μm długości



Wpływ temperatury na dokładność pomiarów współrzędnościowych



$$U = |E_D| + |E_L| + k \cdot \sqrt{u_{rep}^2 + u_{geo}^2 + u_{corrL}^2 + u_D^2 + u_{temp}^2}$$

Systemy klimatyzacji Hi-Accuracy

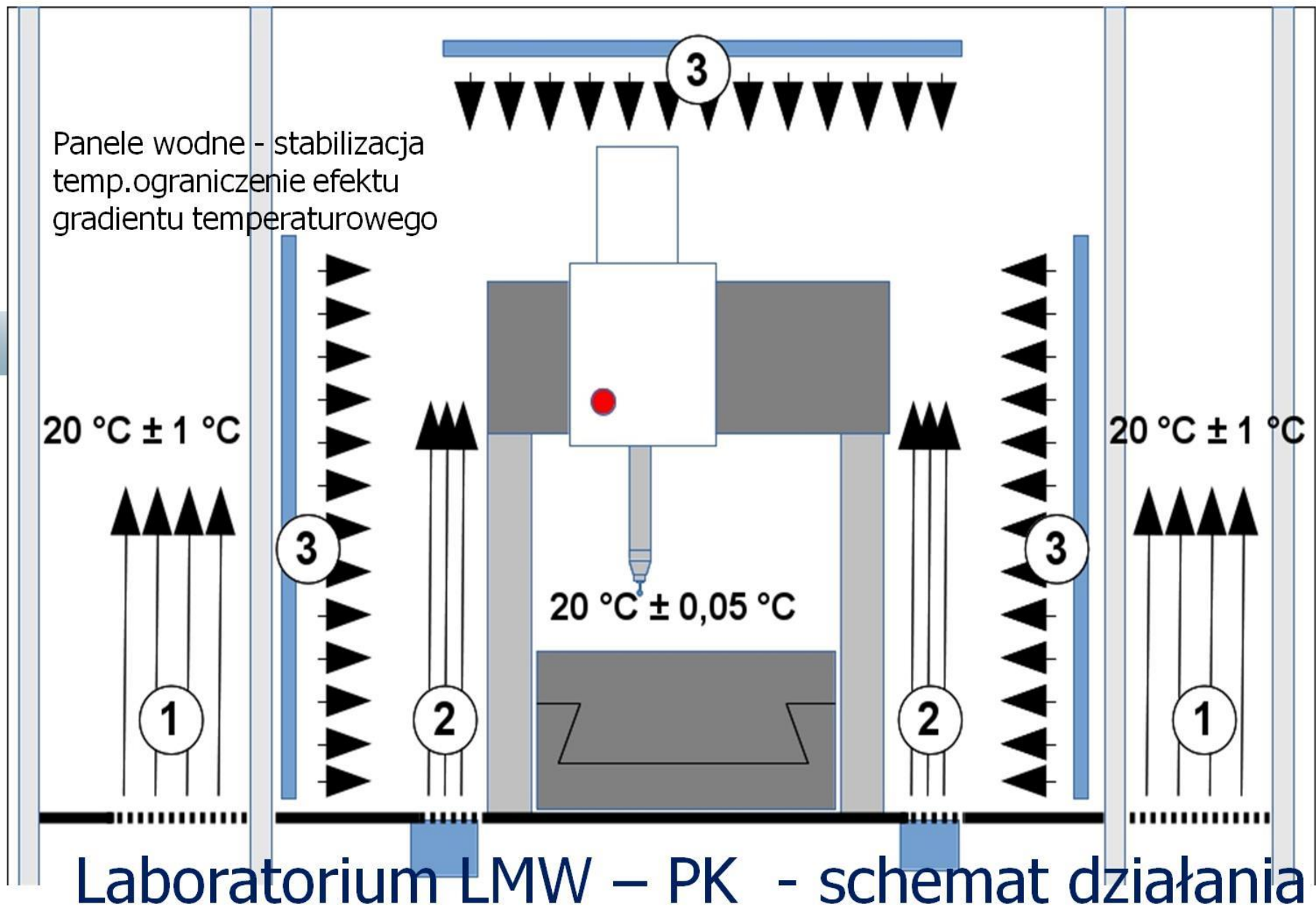
20 °C ±0,05 K

Laboratorium LMW – PK

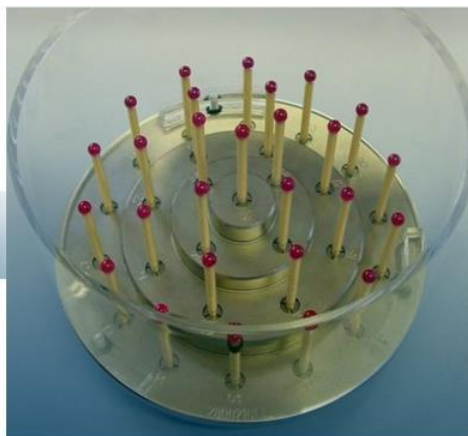


**Komora
wewnętrzna**

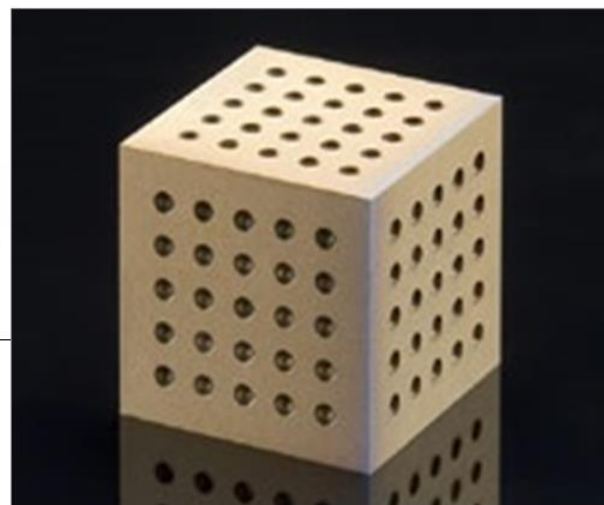
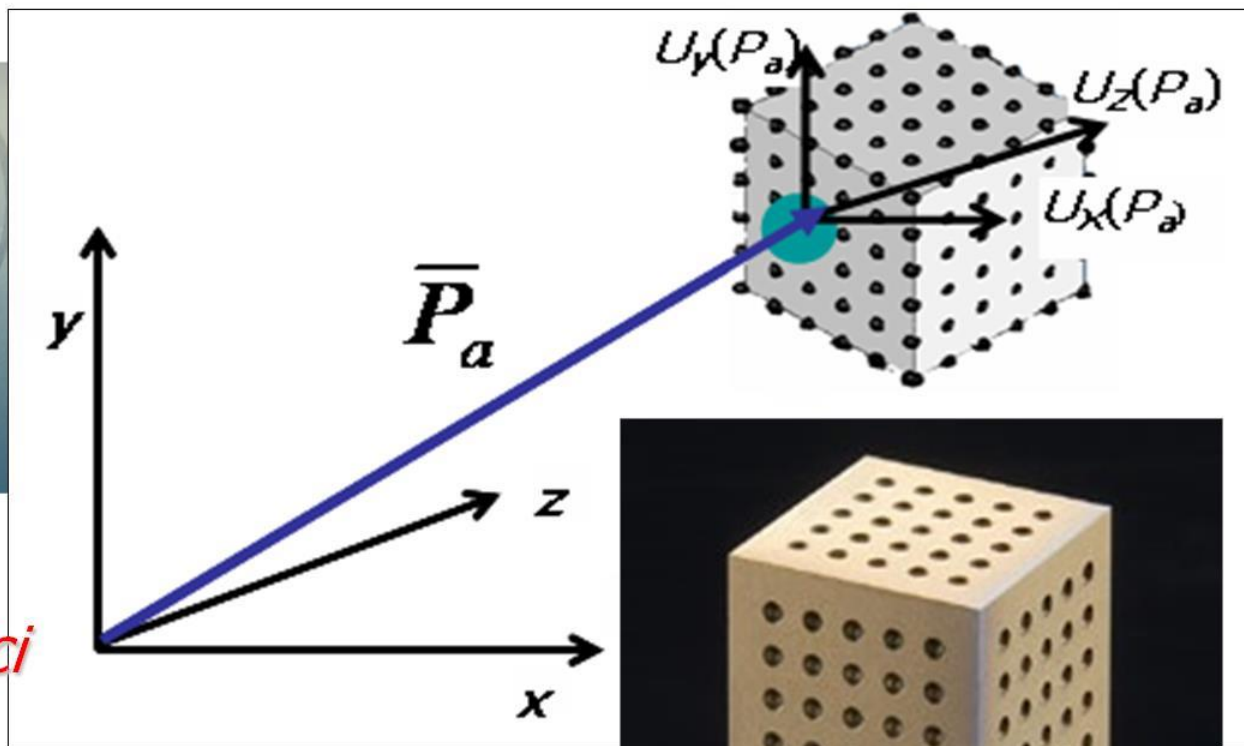
Systemy klimatyzacji Hi-Accuracy



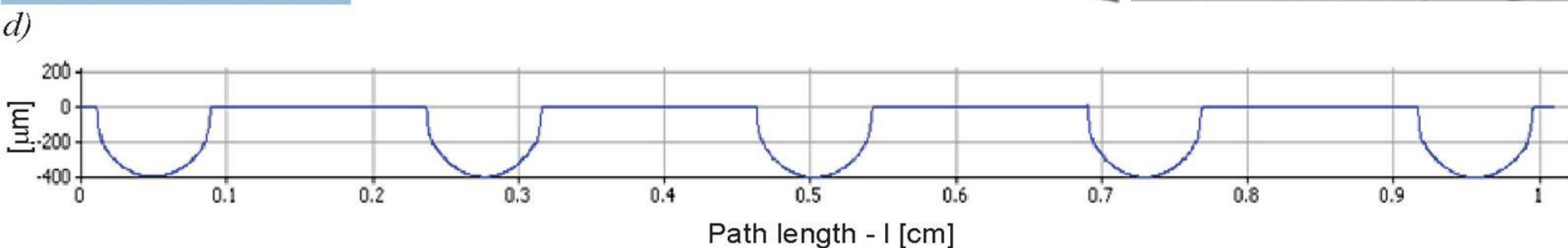
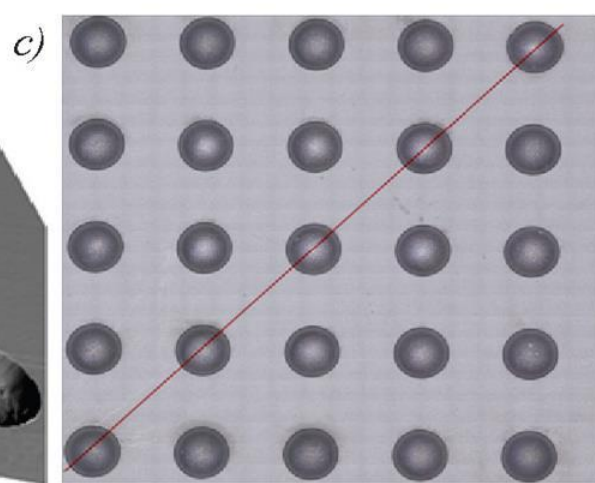
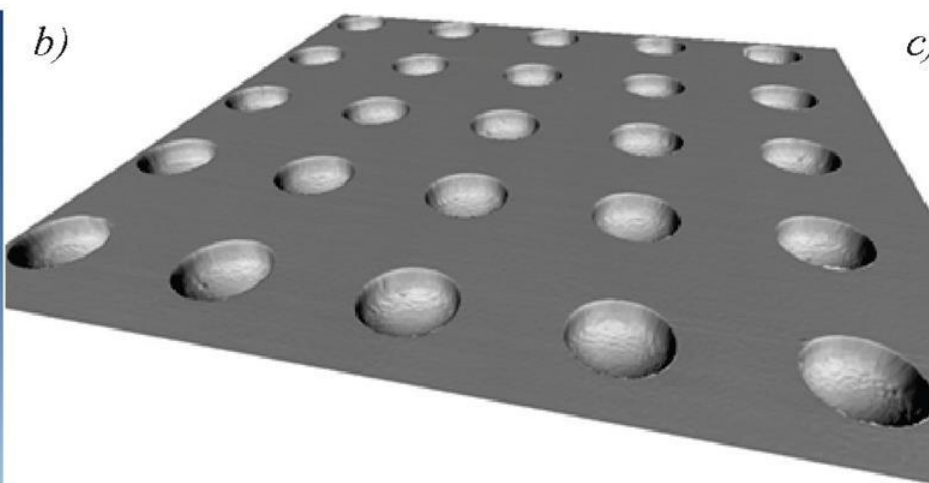
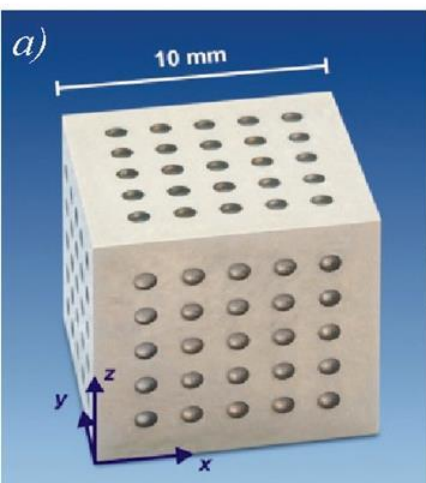
Wzorcowanie syst. tomografi współrzędnościowej



*Klasyczne
Wzorce długości*



*Wzorce strukturalne
współrzędnych referencyjnych*

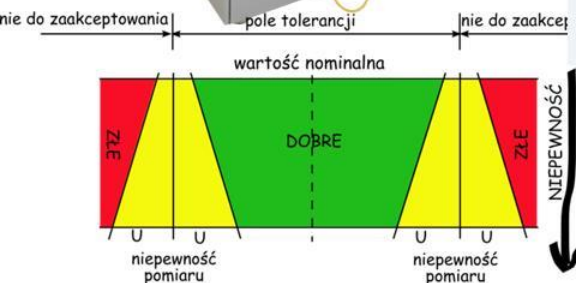
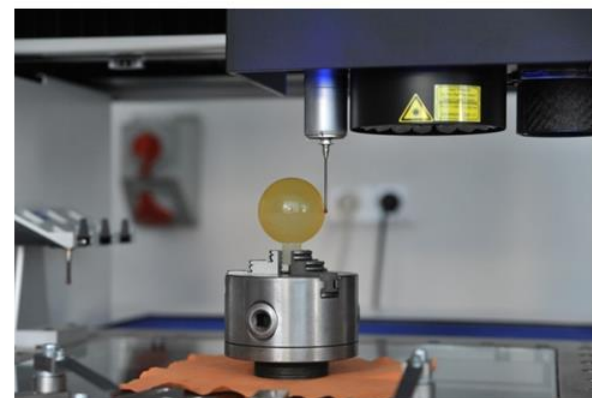
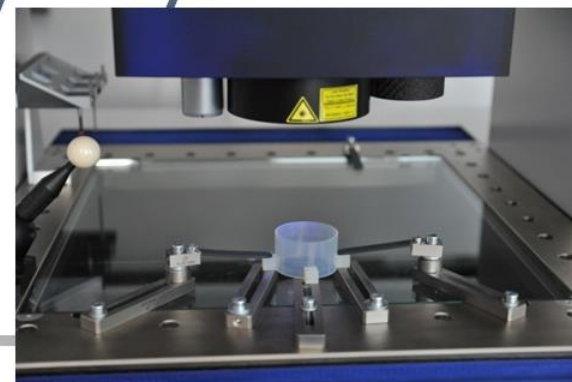
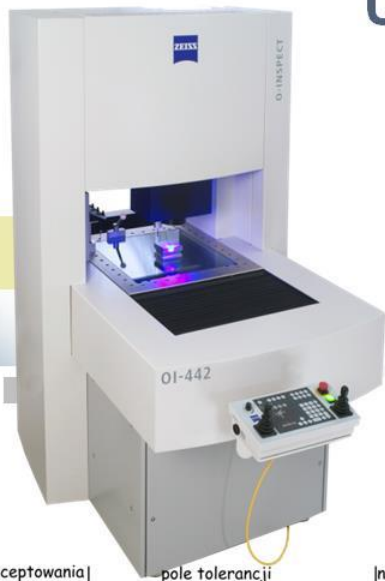


Pomiar i wzorcowanie czasz półsferycznych wzorca w postaci sześcianu

a) wzorzec dla CT w postaci sześcianu - PTB

b) obraz 3D jednej ścianki wzorca uzyskany w wyniku pomiaru optycznego ze zmienną ogniskową, c) pomiar optyczny z zaznaczoną ścieżką identyfikacji, d) profil wysokości półsfery wzorca

Metrologia współrzędnościowa stosowana w zapewnieniu jakości technologii addytywnych



Wymagania co do poszukiwania technologii pomiarowych dla technologii addytywnych
- Pomiar części o wymiarach nie większych niż 100 mm a niepewność pomiaru nie gorsza jak $9 \mu\text{m}$ ZADANIE programu **EMPIR UE 2014**



Ocena dokładności pomiaru współrzędnościowego

Rozwój i modyfikacja normy ISO 15530

Przed laboratorium pomiarowym staje zadanie:

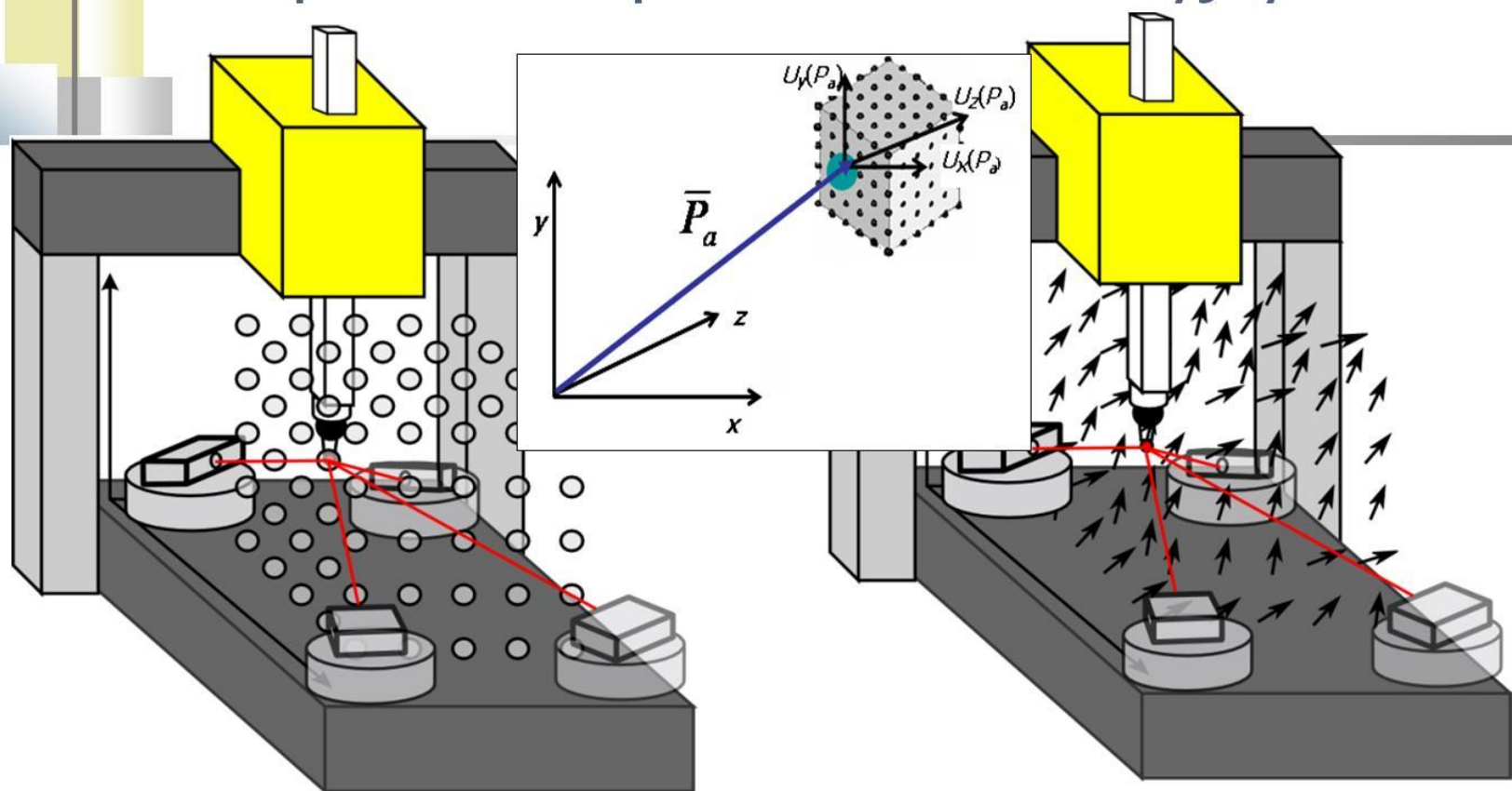
**jak określić niepewność pomiarów
w pomiarach współrzędnościowych?**



Nowa koncepcja wzorcowania systemów współrzędnościowych

Metoda macierzowa

Wzorce wirtualne i strukturalne odtwarzające przestrzeń punktów referencyjnych



Ocena dokładności pomiaru współrzędnościowego



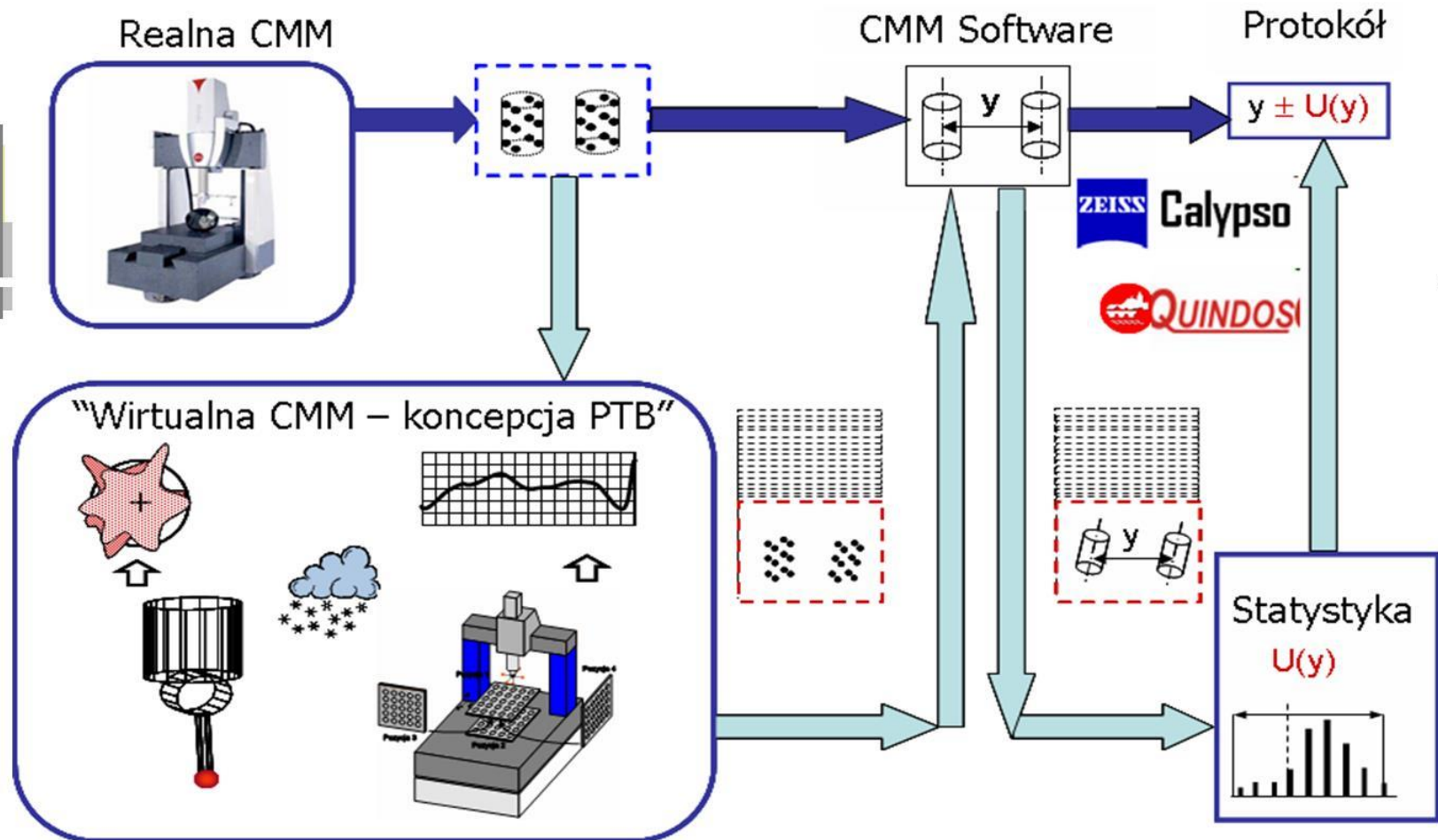
Realizacja procedury wyznaczania niepewności

jest zadaniem przy obecnym stanie wiedzy trudnym

Konieczna jest tu pomoc wyspecjalizowanych laboratoriów szczególnie akredytowanych

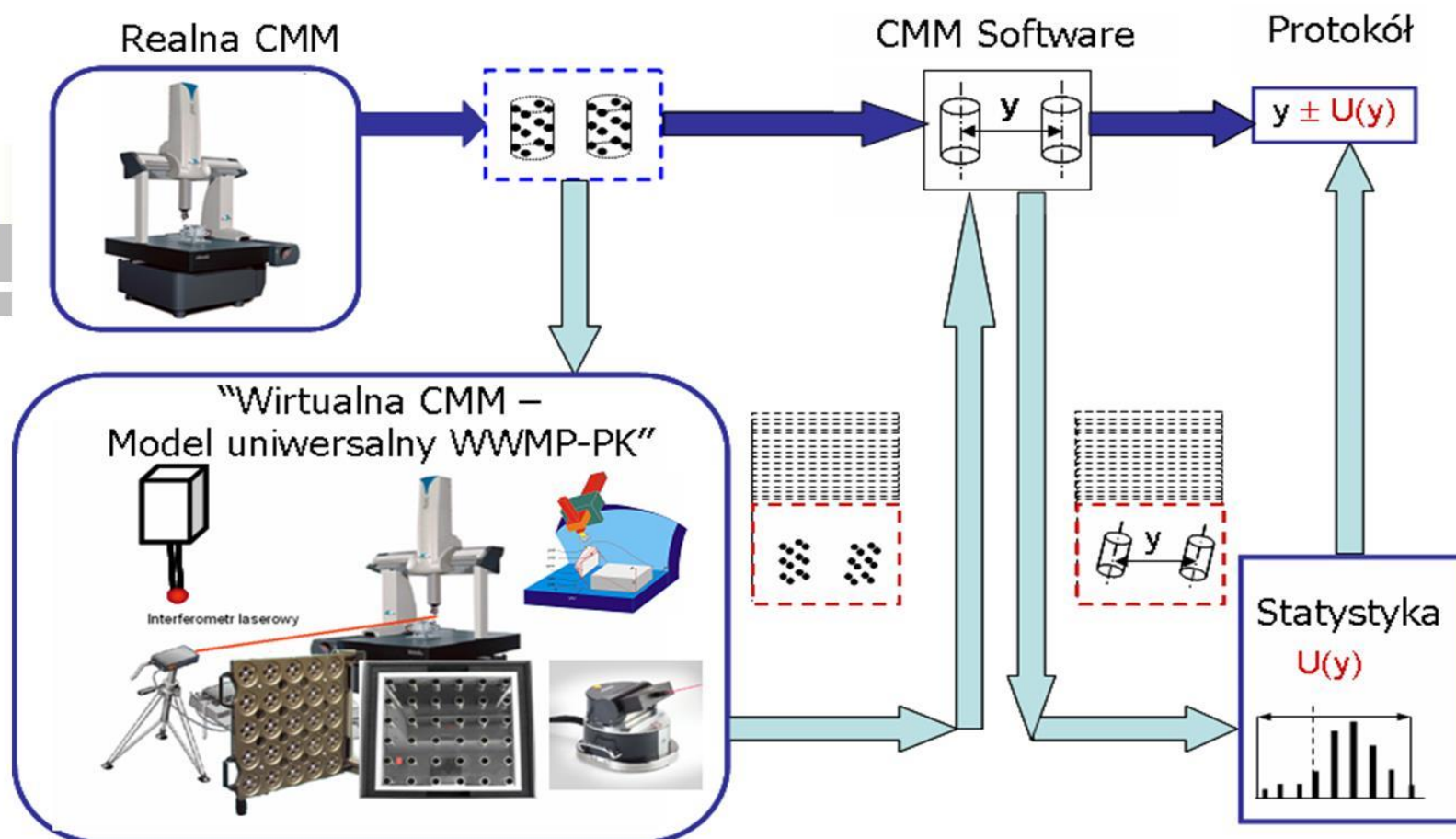
Rozwiązaniem jest upowszechnienie instalacji oprogramowania do symulacji - **VCMM** pozwalającej na obliczanie *on-line* niepewności realizowanych pomiarów.

Ocena dokładności pomiaru wirtualne maszyny pomiarowe



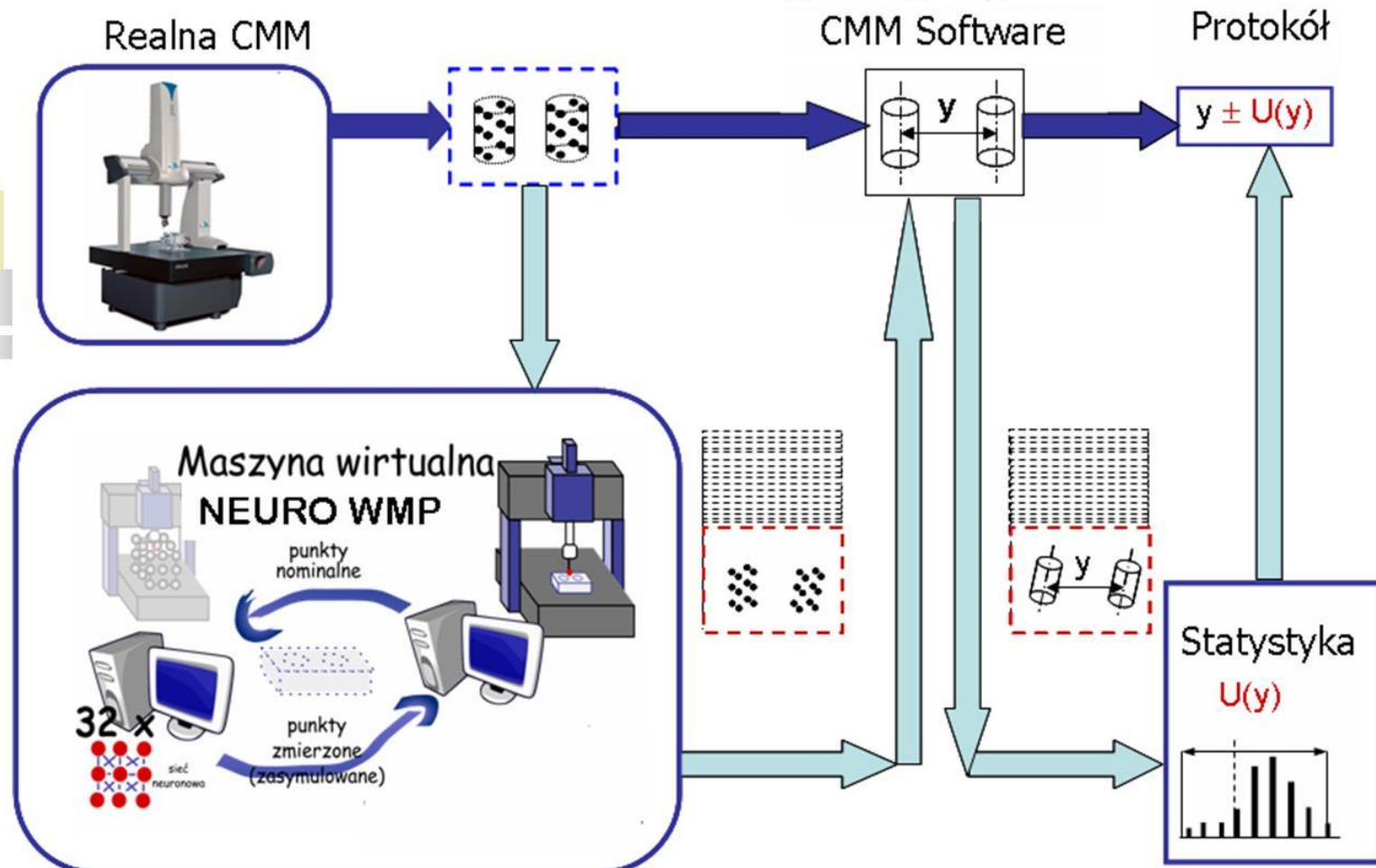
Koncepcja PTB – identyfikacja składowych błędów

Ocena dokładności pomiaru wirtualne maszyny pomiarowe



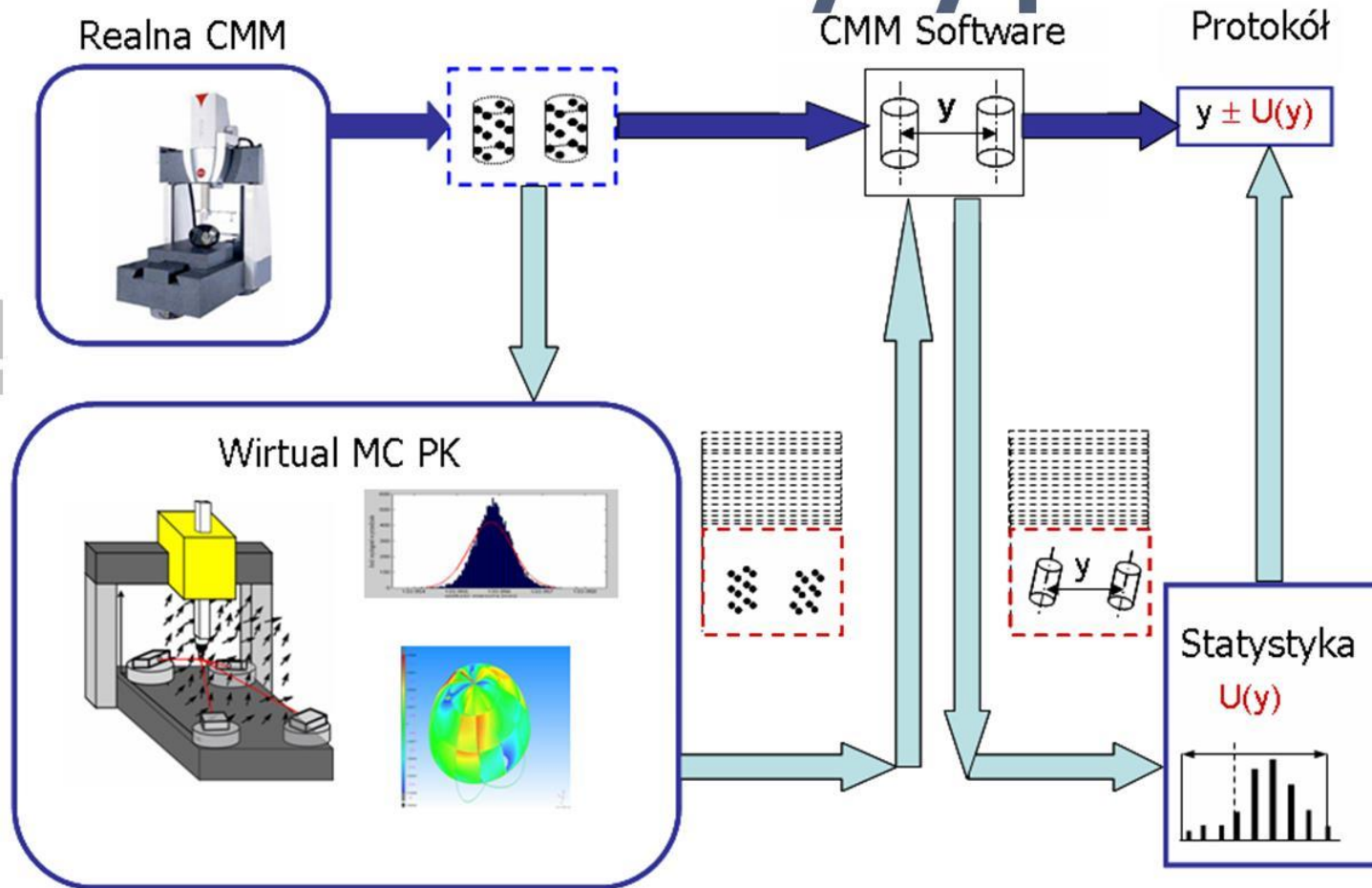
**Koncepcja LMW-PK – System uniwersalny – Wirt-WMP PK -
identyfikacja składowych błędów**

Ocena dokładności pomiaru wirtualne maszyny pomiarowe



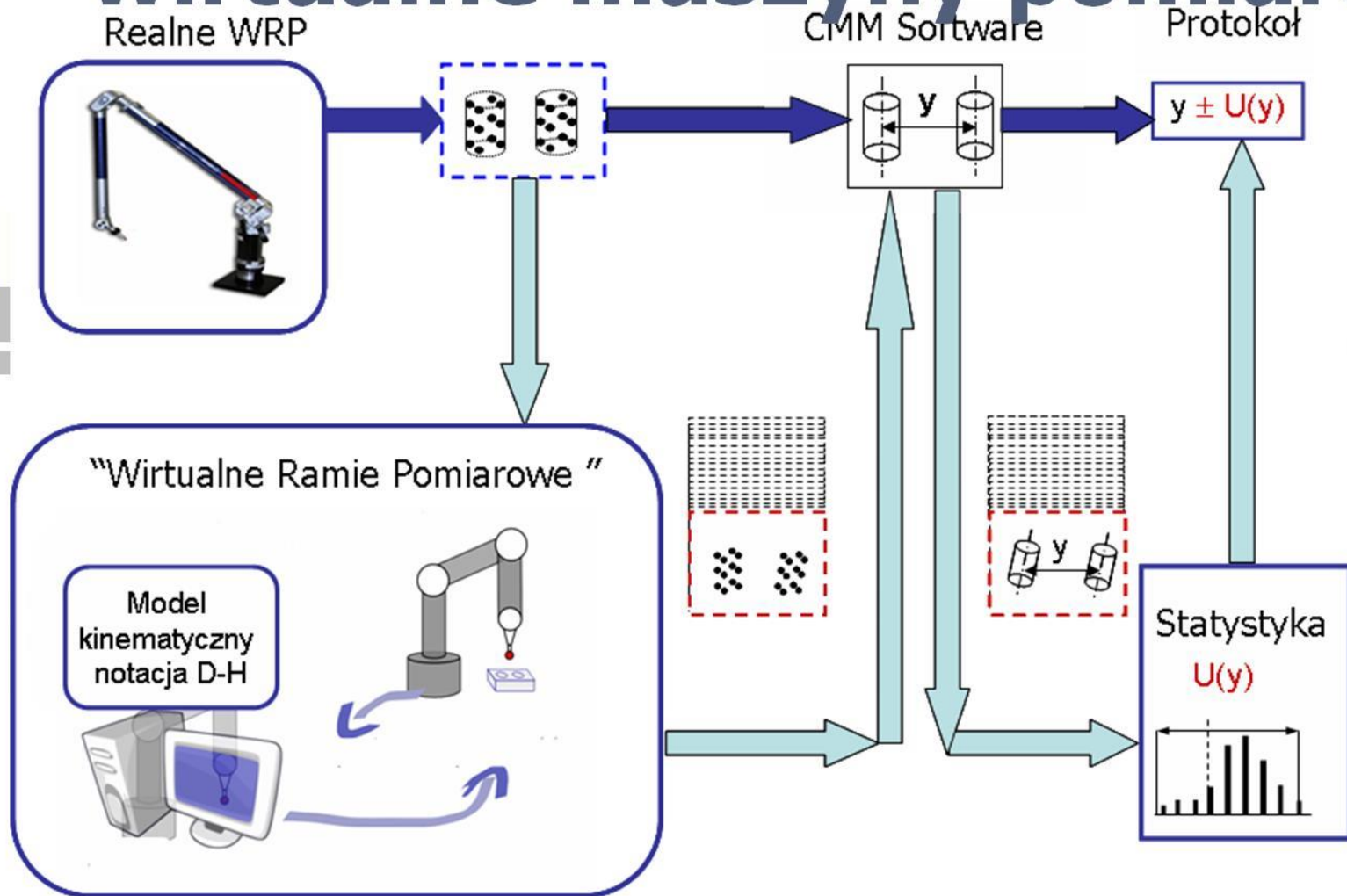
Koncepcja LMW-PK — Wirt neuro-WMP PK - zbiór punktów referencyjnych wzorca strukturalnego

Ocena dokładności pomiaru wirtualne maszyny pomiarowe



Koncepcja LMW-PK — Wirtual MonteCarlo - zbiór punktów referencyjnych metoda trilateracji – laser tracer

Ocena dokładności pomiaru wirtualne maszyny pomiarowe



Koncepcja LMW-PK — Wirtualne ramie pomiarowe notacja DH

Dziękuję za uwagę

Prof. dr hab. inż. Jerzy A. Sładek
sladek@mech.pk.edu.pl



Laboratorium
Metrologii
Współrzędnościowej

