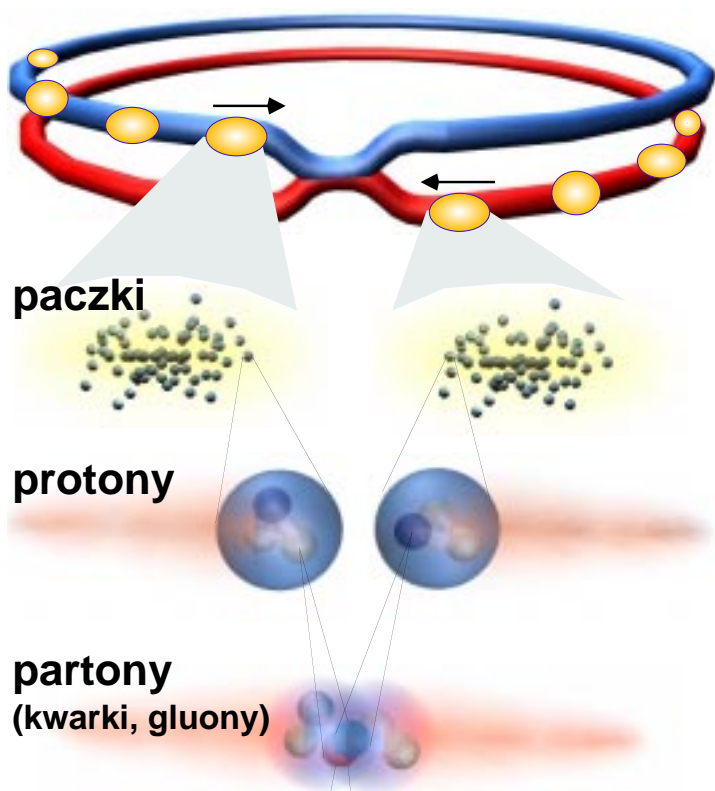


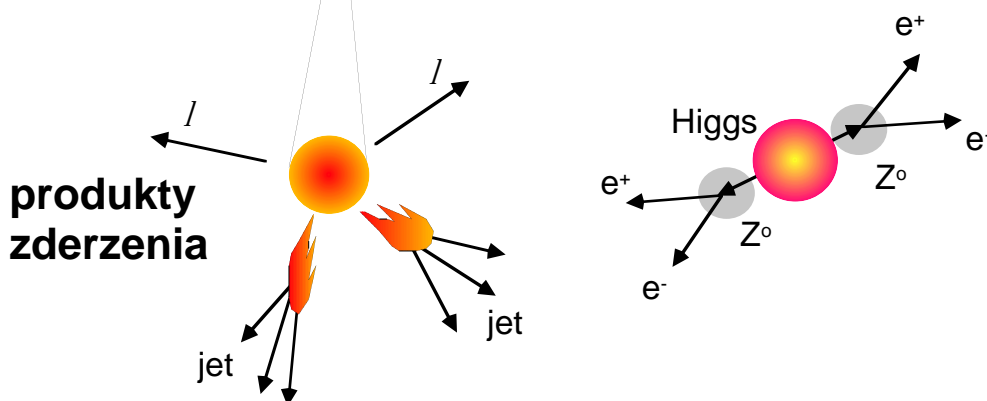
Zderzenia proton-proton w LHC



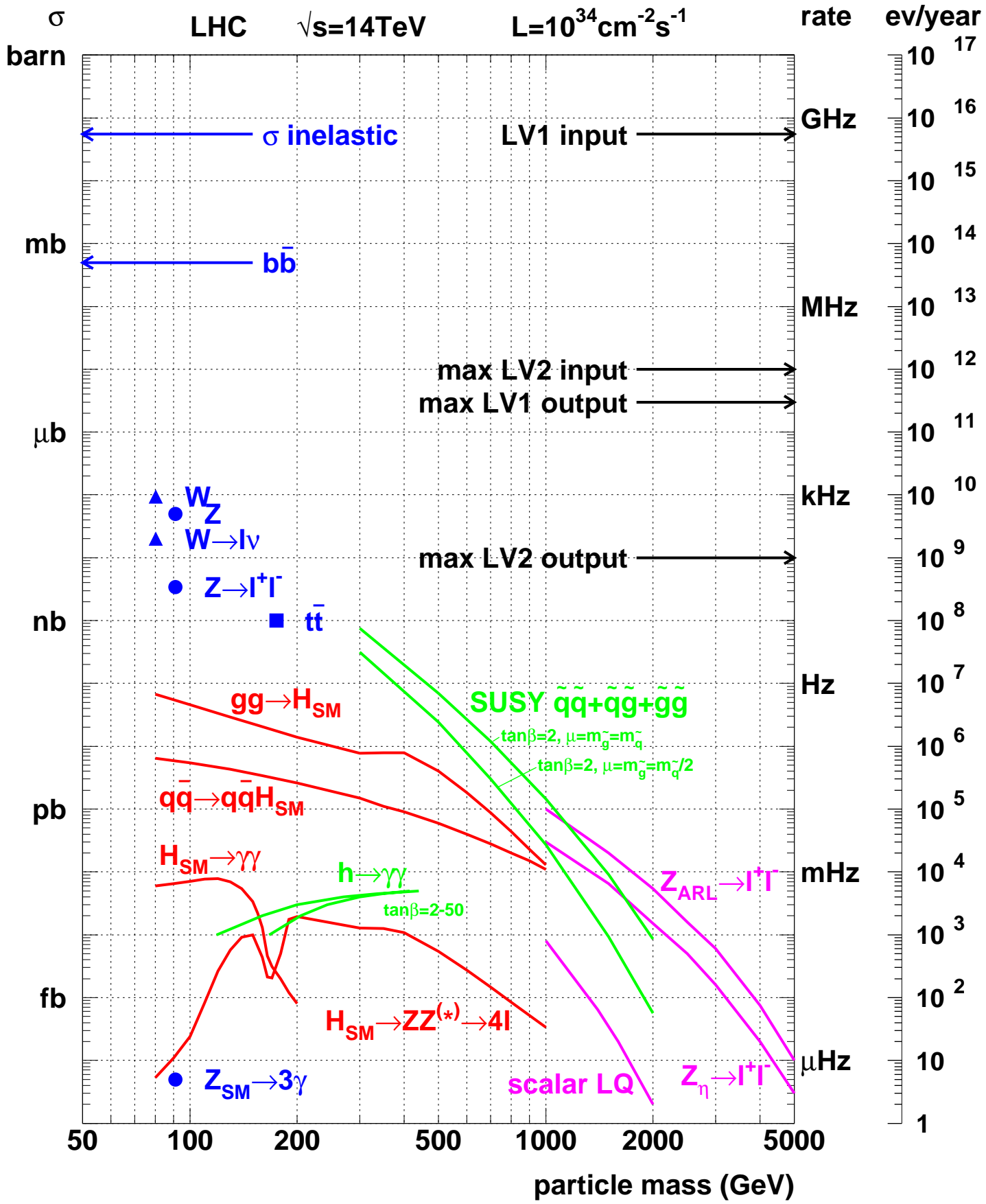
energia	7+7 TeV
obwód	27 km
pole mag.	8.4 T
światłość	$10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
# paczek	2×2875
#p / paczka	10^{11}

przecięcia paczek:

częstość	40 MHz
odstęp	25 ns
czyli	7.5 m



Przy nominalnej światłości w każdym przecięciu paczek znajdzie 10-20 zderzeń proton-proton.



Selekcja przypadków

W ciągu 10 lat pracy LHC zajdzie 10^{17} zderzeń pp.

Zaobserwowanie 10 “egzotycznych” przypadków może stanowić epokowe odkrycie “nowej fizyki”.

Należy jednak umieć odszukać owe **10** przypadków wśród wszystkich **10^{17}** .

Szukanie igły w stogu siana?

- typowa igła — 5 mm^3
- typowy stóg siana — 50 m^3

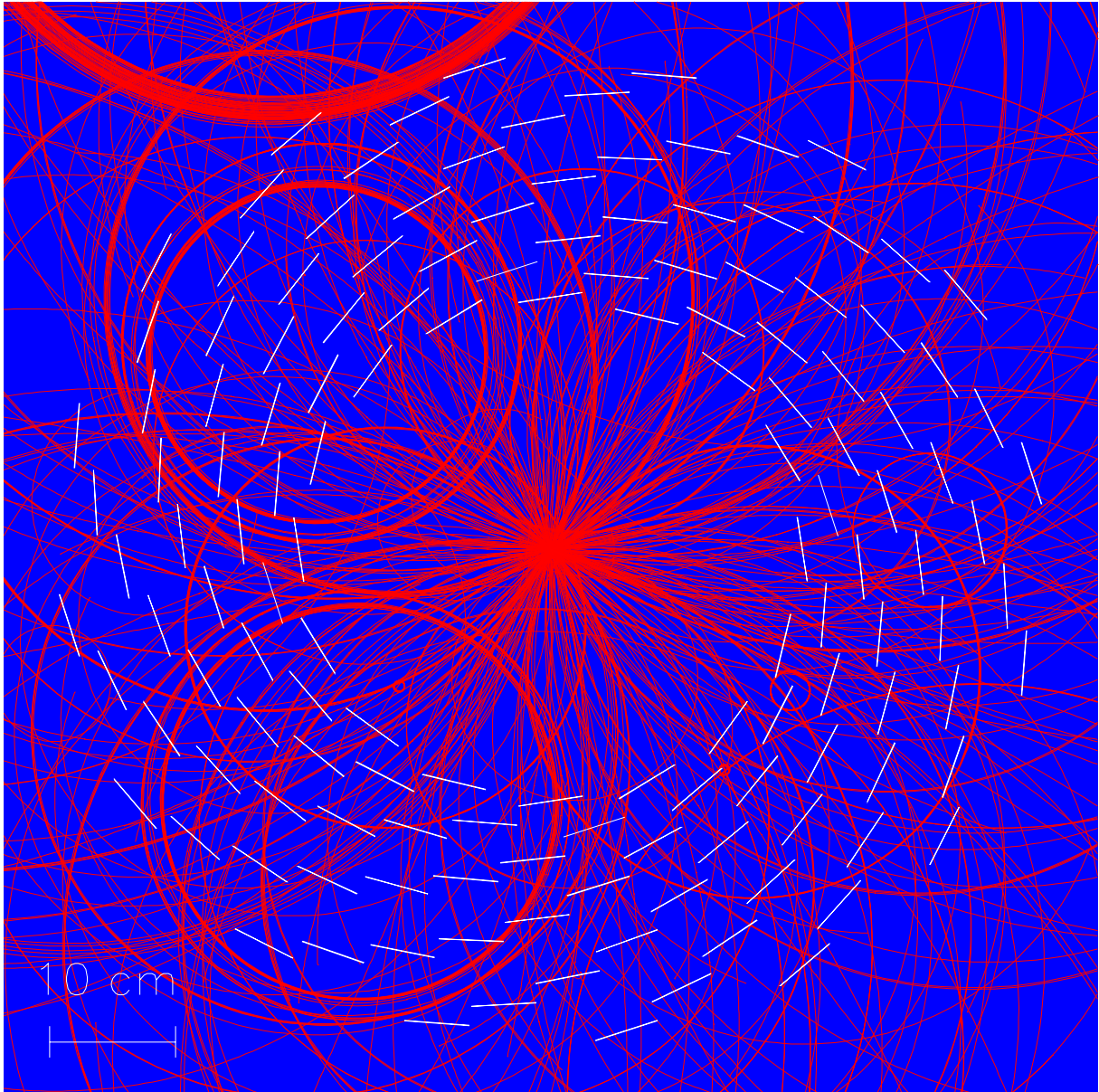
$$\text{igła} : \text{stóg} = 1 : 10^{10}$$

Poszukiwanie “nowej fizyki” w LHC to szukanie igły w milionie stogów siana.

Łamigłówka

18 nałożonych zderzeń pp,
widzianych przez wewnętrzną część krzemowego detektora
mikropaskowego.

Wśród nich rozpad cząstki Higgsa na 4 miony.

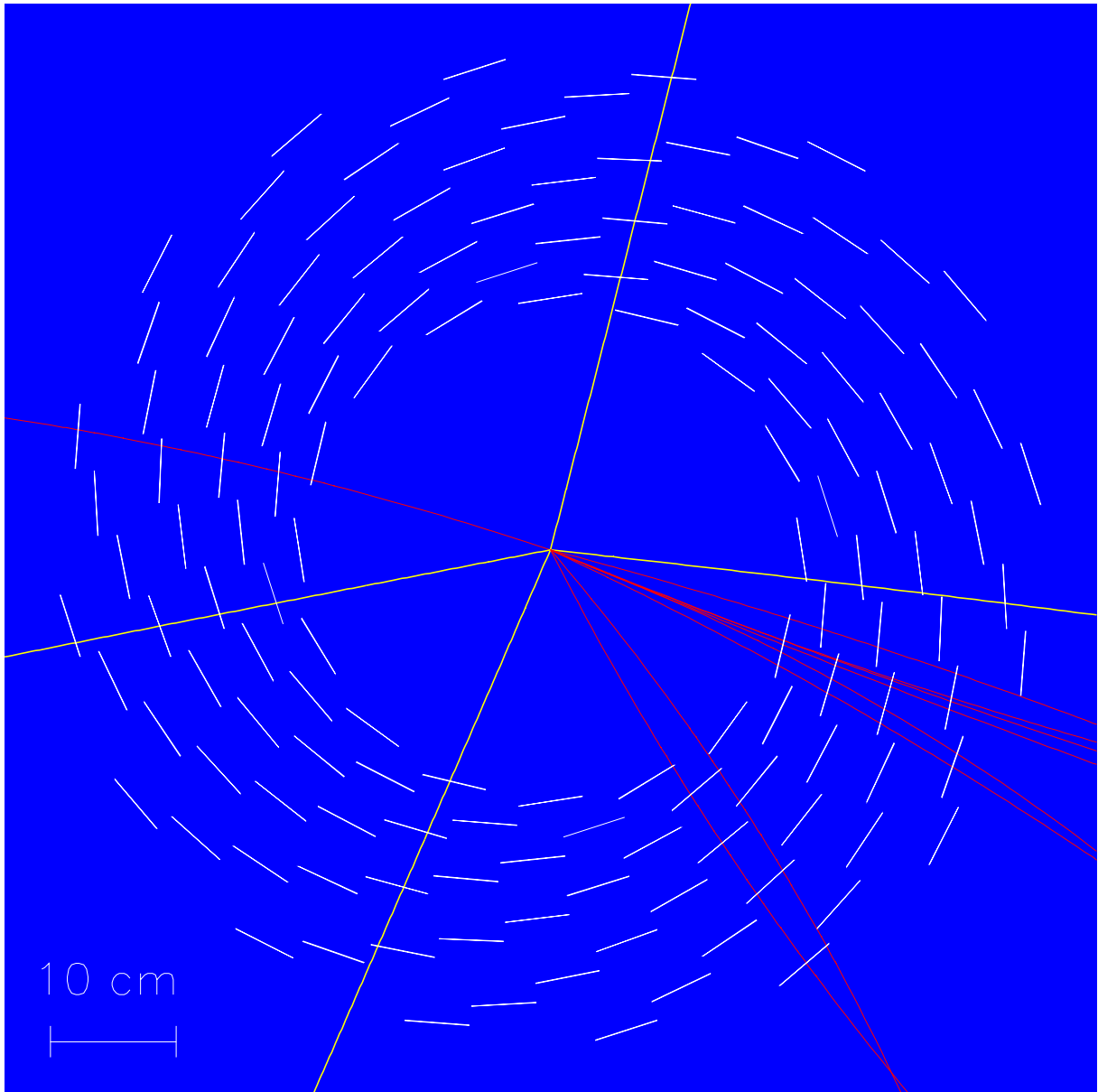


Znajdź 4 proste ślady.

Rozwiązanie łamigłówki

Zrekonstruowane ślady o $p_t > 2$ GeV.

Wśród nich dobrze widoczne 4 miony z rozpadu Higgsa.



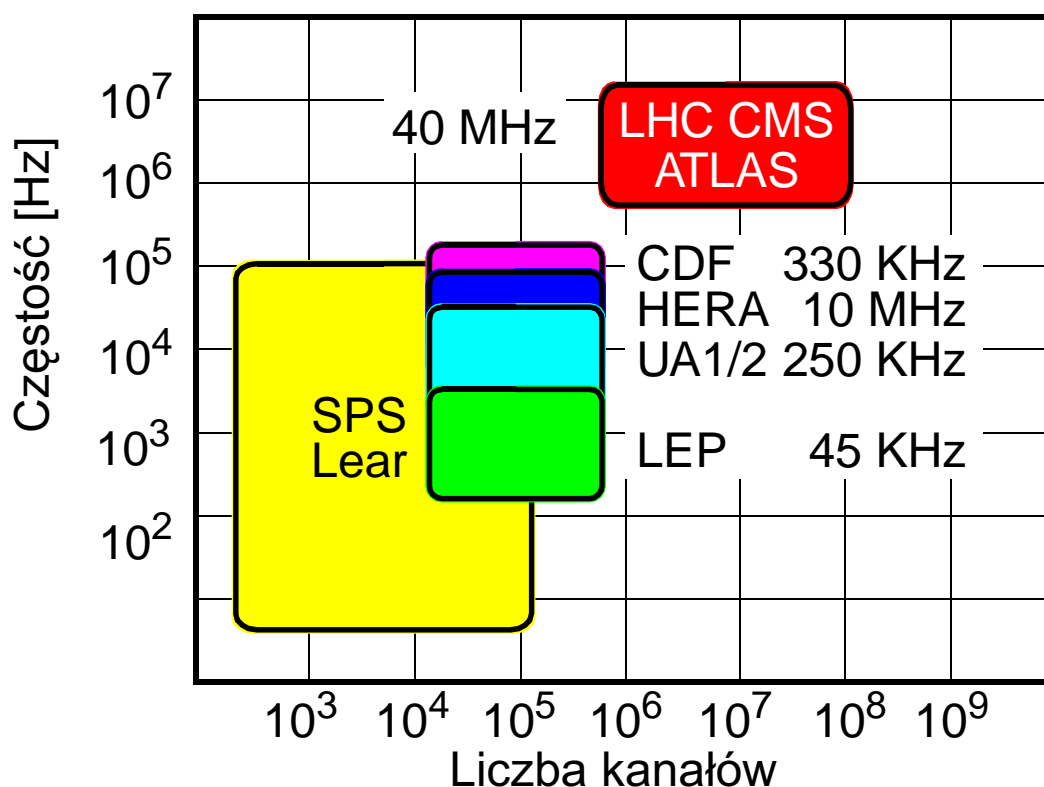
Rozwiązanie możliwe jeśli zajętość detektora **~1%**

→ powierzchnia mikropaska **~1mm²**

→ **>10⁷** kanałów odczytu

CMS a inne eksperymenty

detektor	l. kanałów	zajętość	przypadek
mozaikowy	80 000 000	0.01 %	100 kB
mikropaskowy	16 000 000	3 %	700 kB
wczesnych kaskad	512 000	10 %	50 kB
kalorymetry	125 000	5 %	50 kB
mionowy	1 000 000	0.1 %	10 kB
całkowita wielkość przypadku			1 MB



Strumień danych kontrolnych CMS (temperatura, napięcie itp.) jest porównywalny ze strumieniem wszystkich danych jednego ze współczesnych eksperymentów LEP (100 kB/s)

System wyzwalania (tryger)

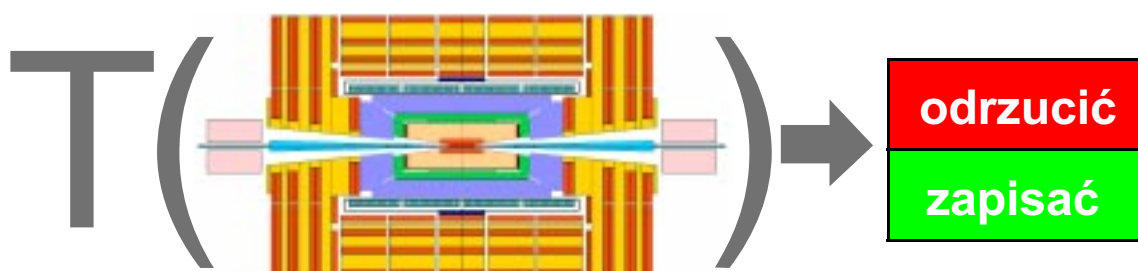
Nowoczesne systemy pamięci masowej pozwalają zapisywać ~ 100 MB/s.

Spośród $\sim 10^9$ przypadków zaobserwowanych w ciągu każdej sekundy jedynie 100 może być zapisanych.

Wyboru dokonuje system wyzwalania zwany *trygerem*.

TRYGER jest to dwuwartościowa funkcja

- zarejestrowanych danych
- stanu detektora
- badanej fizyki

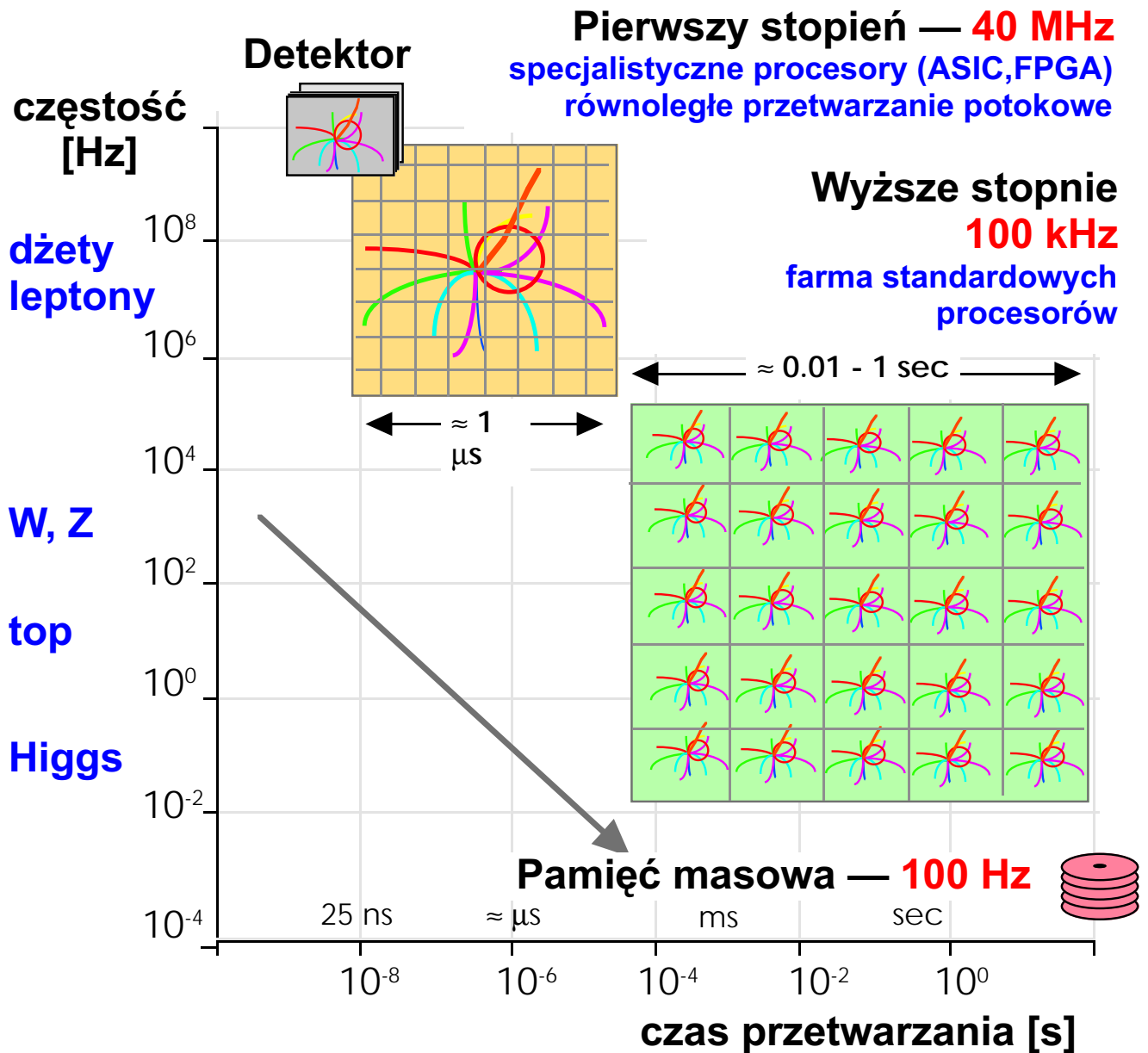


Ponieważ nie wszystkie dane są natychmiast dostępne a funkcja jest skomplikowana, $T(\cdot)$ jest obliczane w kolejnych przybliżeniach zwanych

stopniami trygera

Do odrzucenia przypadku wystarczy ograniczona dokładność, do następnego stopnia przechodzą więc tylko przypadki z decyzją "zapisać".

Selekcja przypadków



Liczba procesorów w farmie CMS jest porównywalna z liczbą wszystkich stacji roboczych i komputerów osobistych w CERNie w 1995 roku (~4000).

Przetwarzanie potokowe

Tryger musi zanalizować dane z **każdego zderzenia**

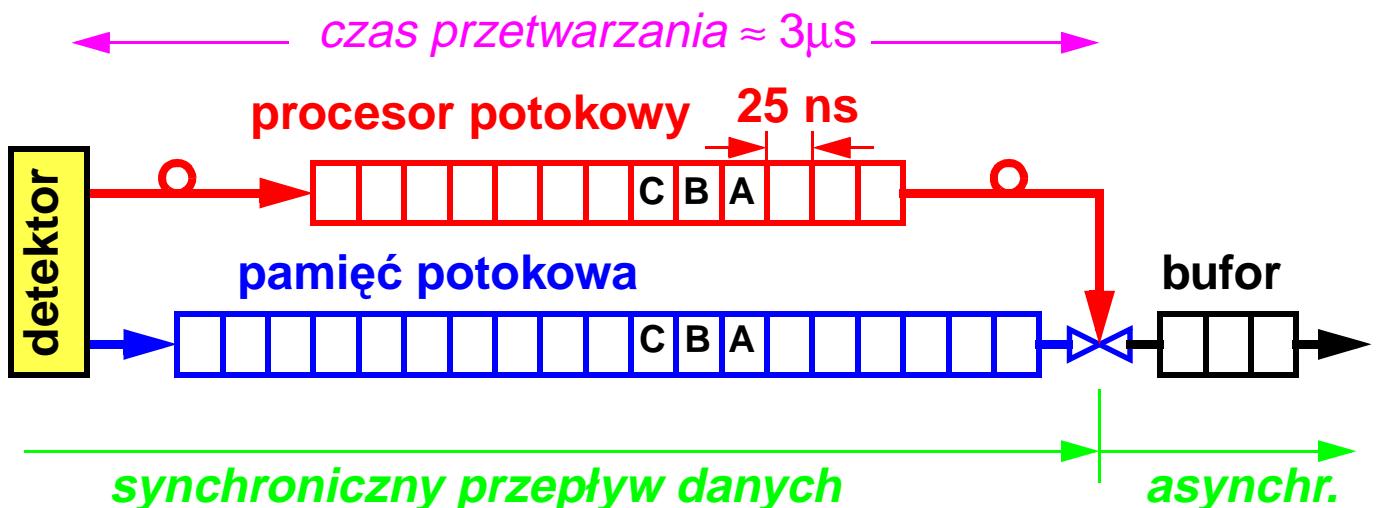
- **co 25ns** musi zapisać decyzja czy je zapisać

Jej wypracowanie wymaga jednak dłuższego czasu.

Rozwiązanie problemu:

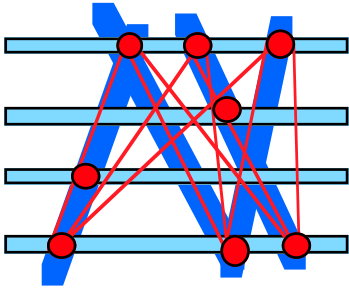
przetwarzanie potokowe, czyli “*taśma produkcyjna*”:

- algorytm podzielony jest na kroki wykonywalne w 25ns;
- procesor stanowi łańcuch elementów, z których każdy wykonuje jeden krok algorytmu w 25ns i przekazuje wynik następnemu;
- w ten sposób przetwarzane dane płyną przez procesor $\sim 3\mu\text{s}$, a wyniki pojawiają się na jego wyjściu co 25ns;
- pełne dane czekają na decyzję trygera, płynąc synchronicznie w pamięci potokowej.



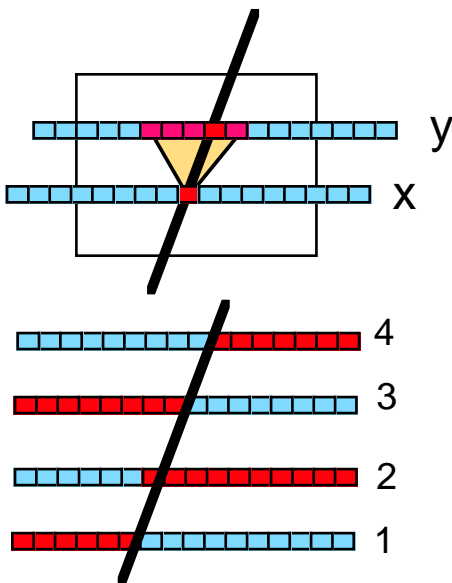
Track finding

Associate hits in a 2-D plane in order to identify segments, circles, etc...



Pattern recognition on global 2-D data

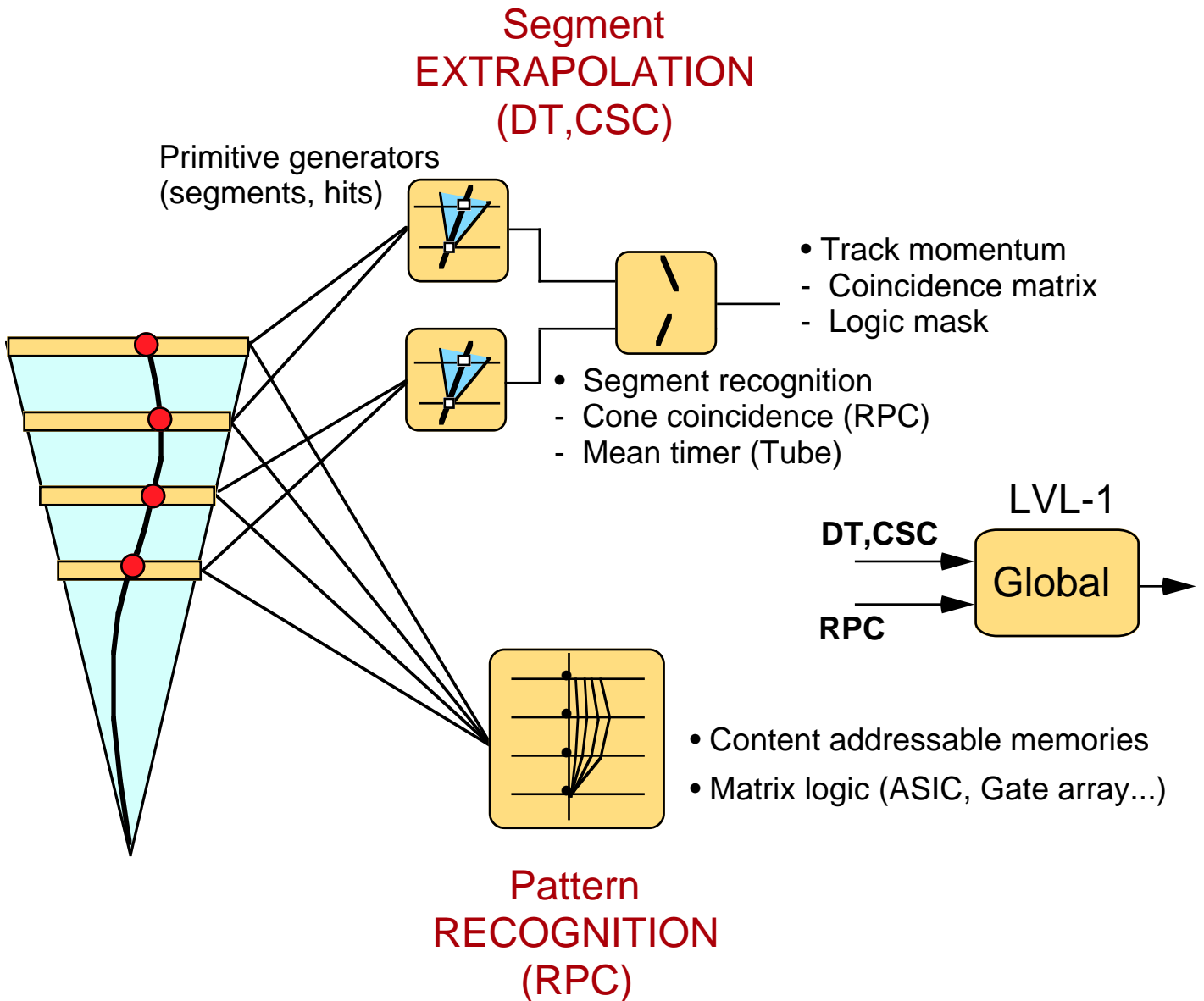
- Combinatorial logic
- Lookup table
- Associative memories



Track following. Find **segments** built by a couple of points aligned in a given direction

- Coincidence matrix
- Lookup table
- Mean timer

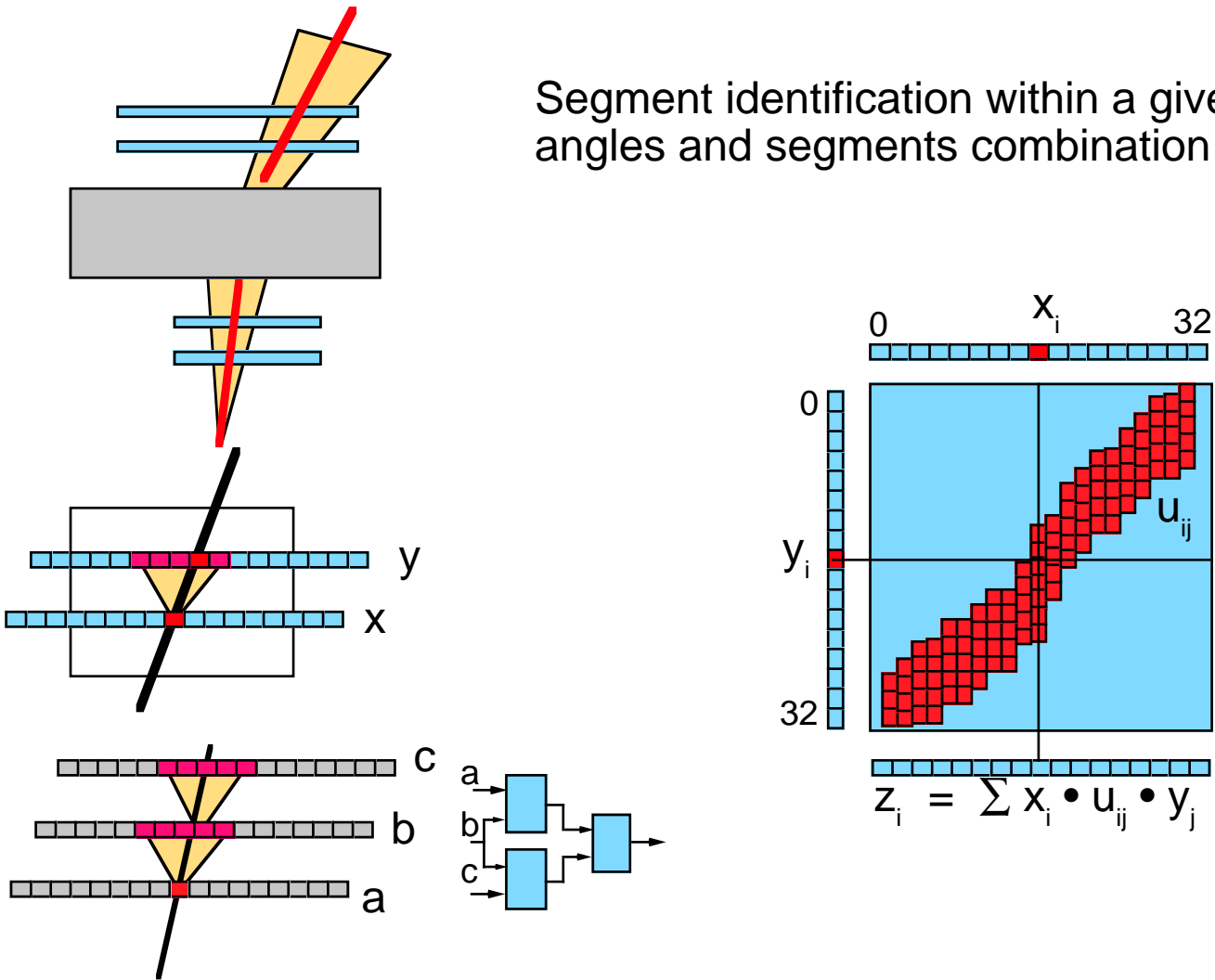
CMS level-1 muon trigger



Coincidence matrix

(ATLAS level-1 muon trigger)

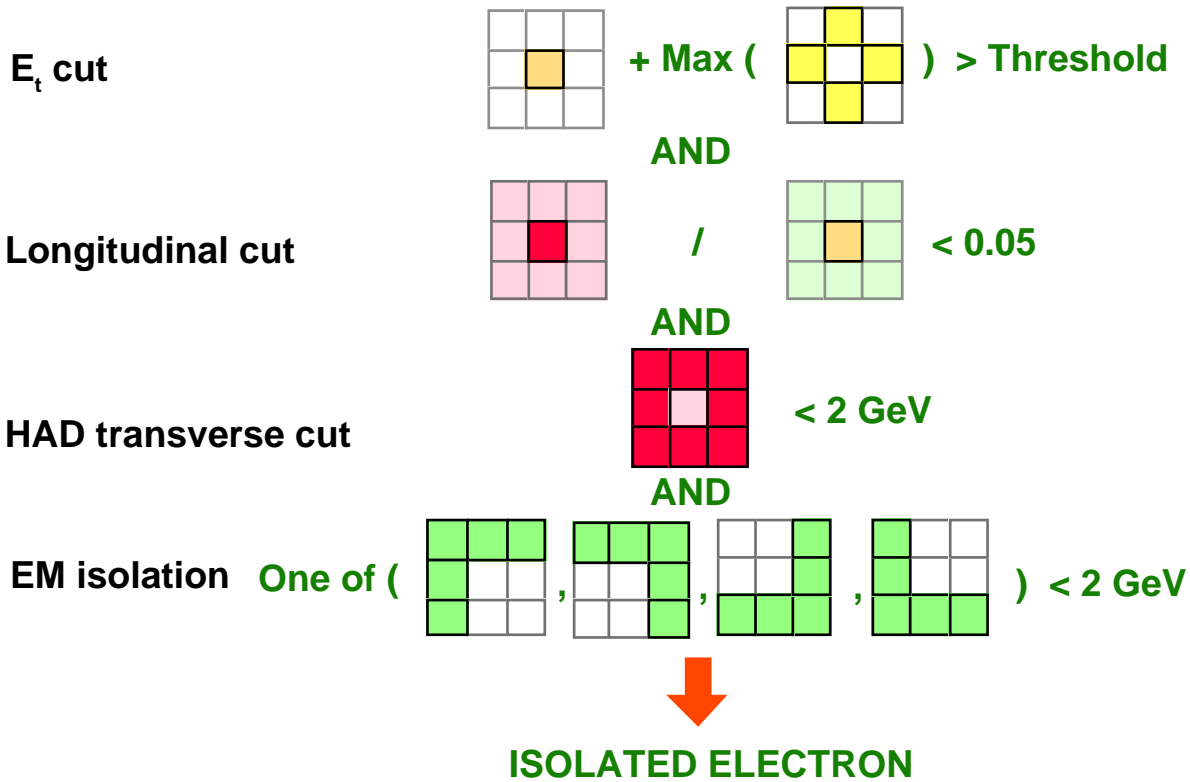
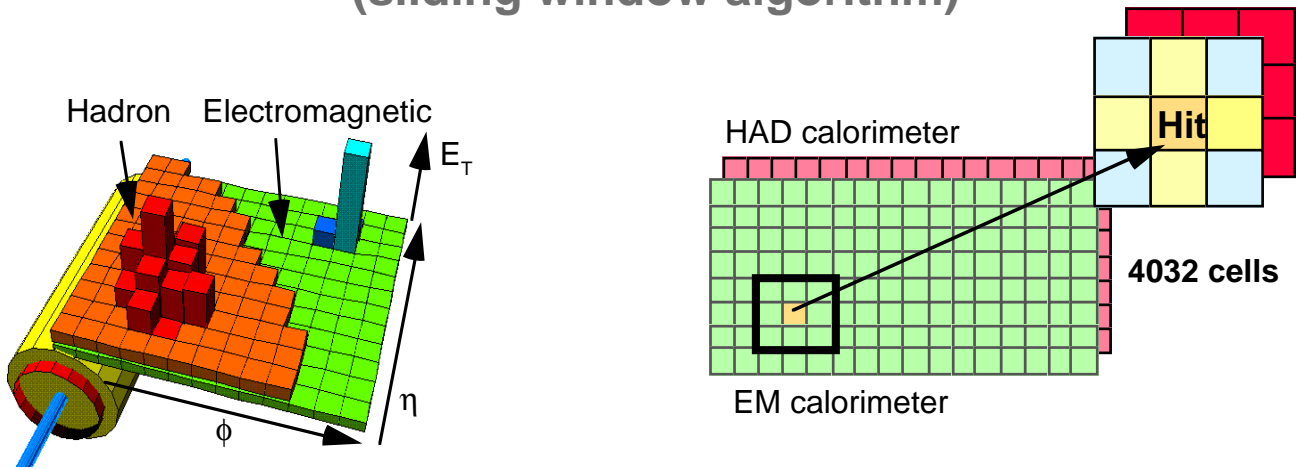
Segment identification within a given angles and segments combination



- Two planes low occupancy detectors
- Tree logic for more plane/segments (and pipeline)

CMS calorimeter level-1. Isolated electron

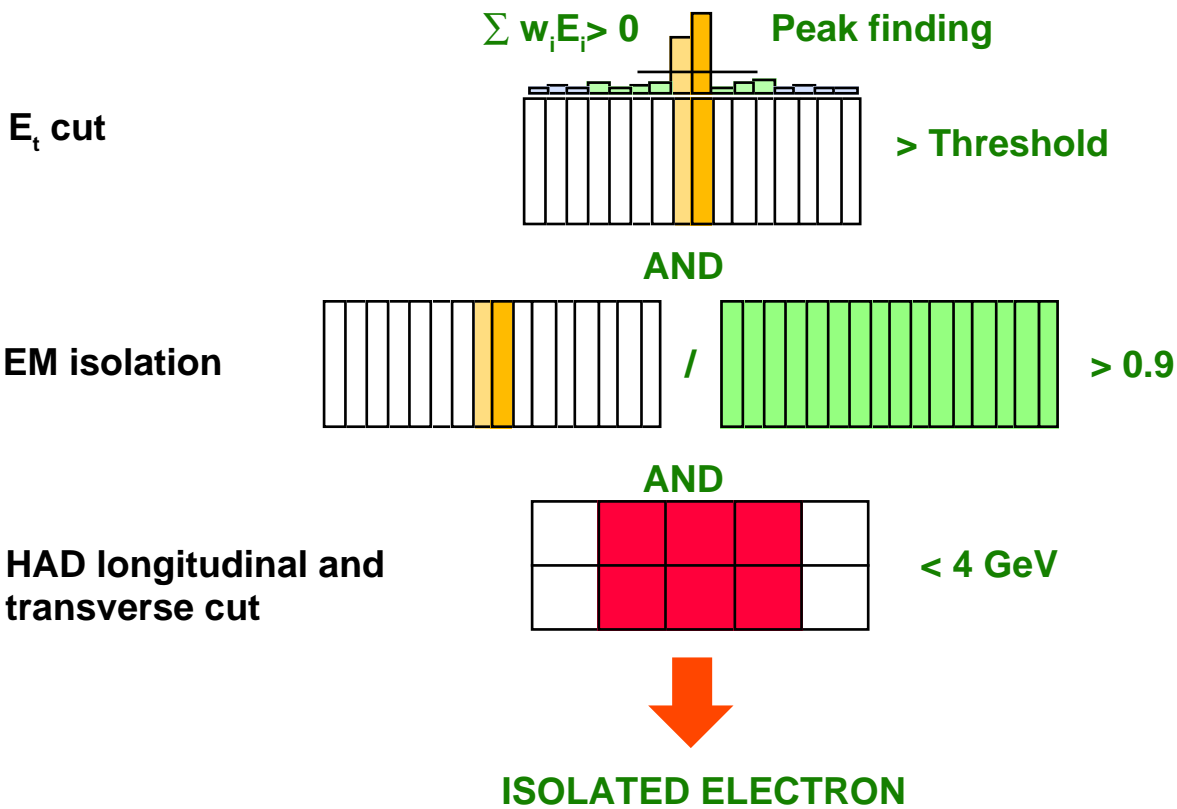
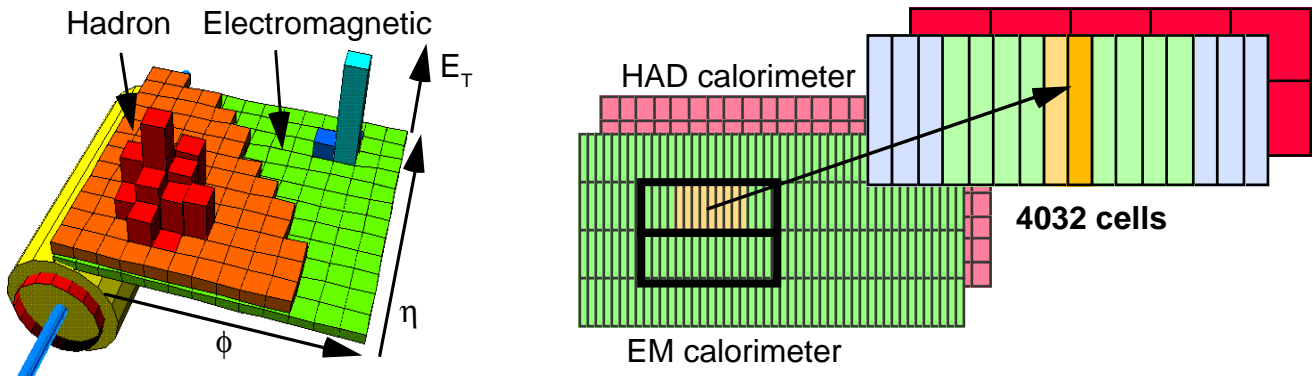
(sliding window algorithm)



Trigger granularity ($D_h * D_f$)		No. of trigger towers
ECAL : $ h \leq 2.1$	$0.087 * 0.087$	$56 * 72 = 4032$
	$ h > 2.1$	as ECAL
HCAL :	as ECAL	162

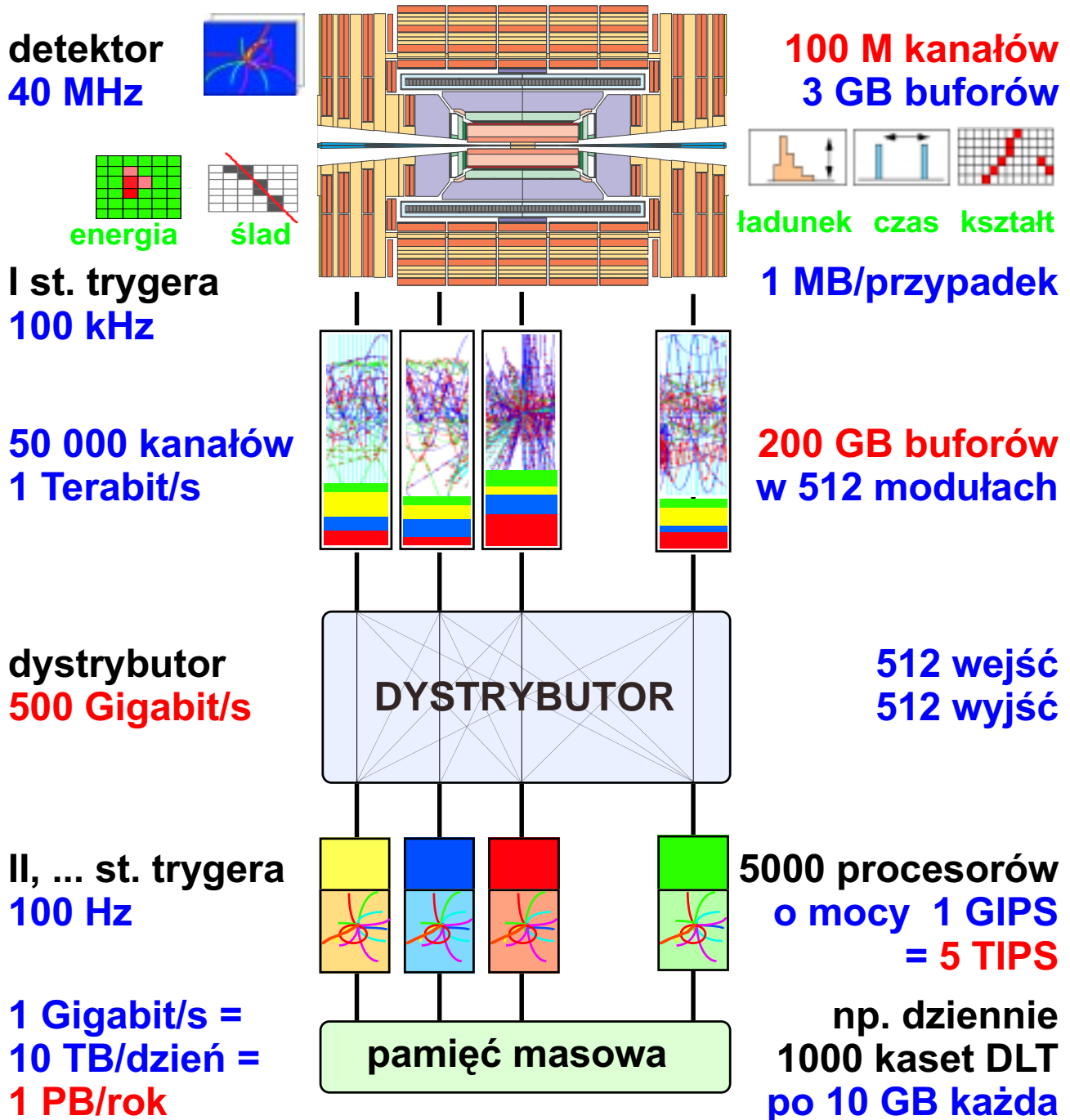
CMS calorimeter level-1. Isolated electron

(peak finding algorithm)



Trigger granularity (Dh * Df)		No. of trigger towers
ECAL : h ≤ 2.1	0.044 * 0.174	112 * 36 = 4032
h > 2.1	0.087 * 0.174	1008
HCAL :	0.174 * 0.174	162

Przeptyw danych w CMS



1 TB = 1 terabajt = 10^{12} bajtów
 1 PB = 1 petabajt = 10^{15} bajtów

1 GIPS = 10^9 instrukcji/s
 1 TIPS = 10^{12} instrukcji/s

Dystrybutor

Dystrubutor

to "górnica rozrządowa" systemu zbierania danych.

Jego zadaniem jest zebranie danych dotyczących danego przypadku ze wszystkich części detektora i przesłanie ich do określonego procesora.

moduły odczytu różnych części detektora



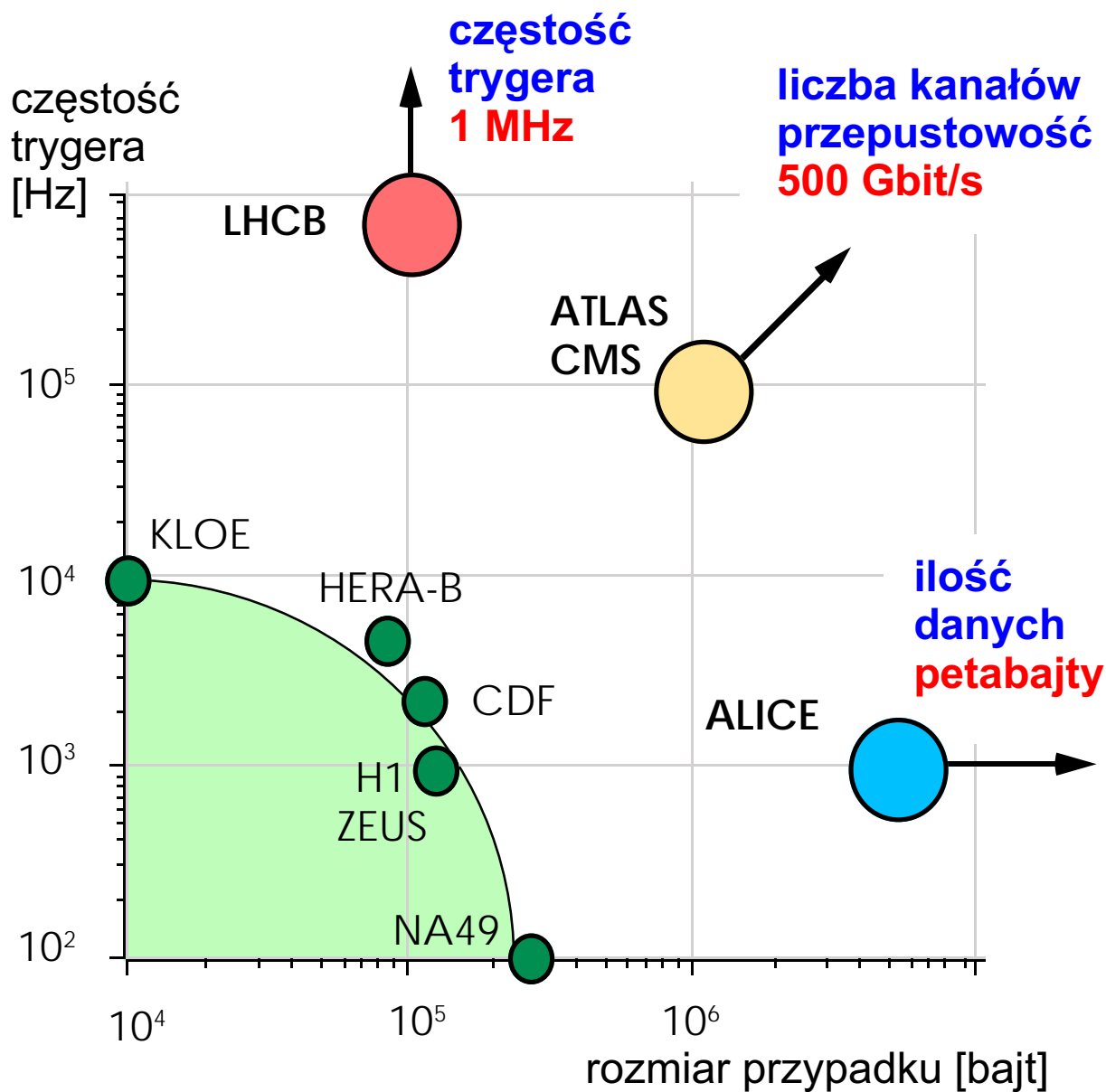
farma procesorów

przepustowość:

500 Gigabit/s

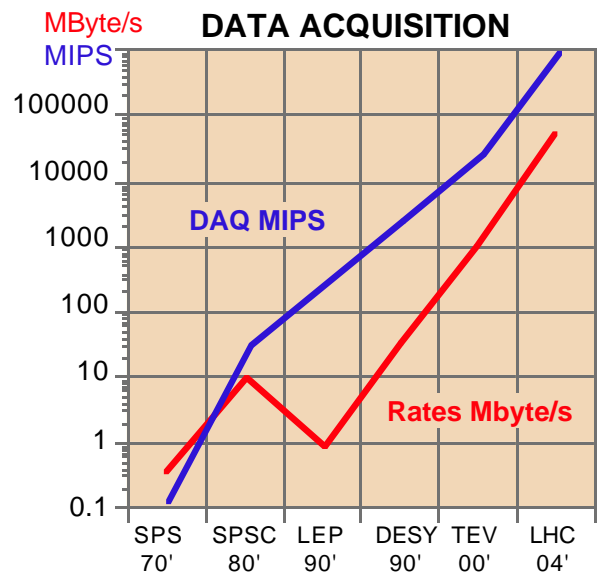
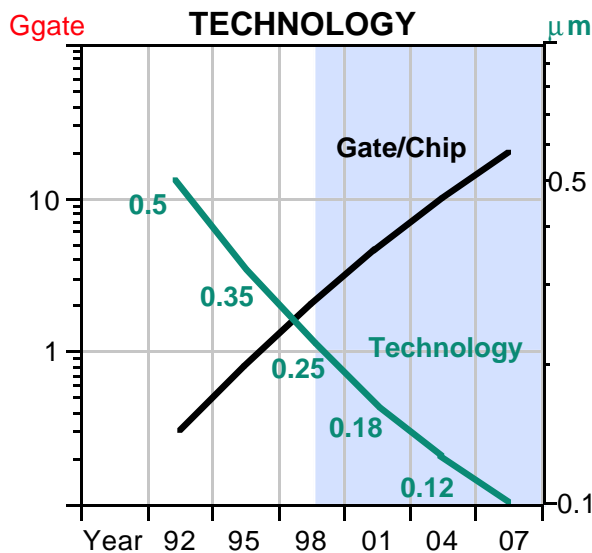
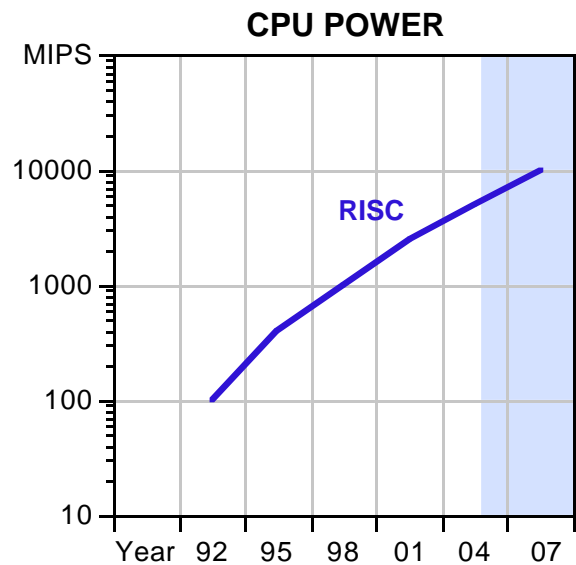
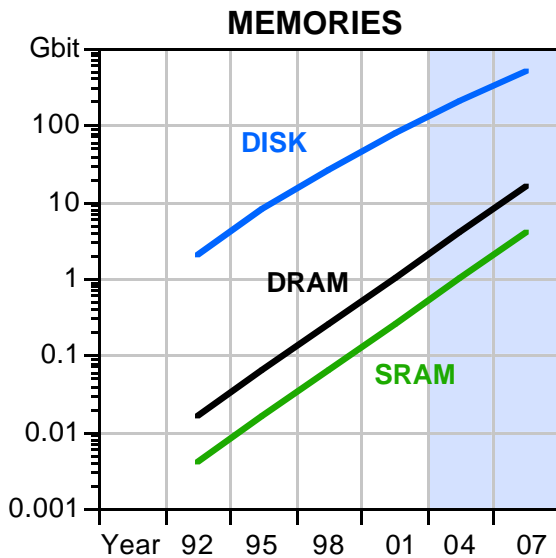
jest równoważna ilości danych przesyłanych przez całą dzisiejszą telekomunikację europejską.

Ewolucja systemów zbierania danych



Ilość danych przepływających przez system odczytu CMS w ciągu 5 minut pracy LHC jest porównywalna z całością danych przesyłanych przez wszystkie sieci w CERNie w ciągu całego 1995 roku.

Rozwój technologii

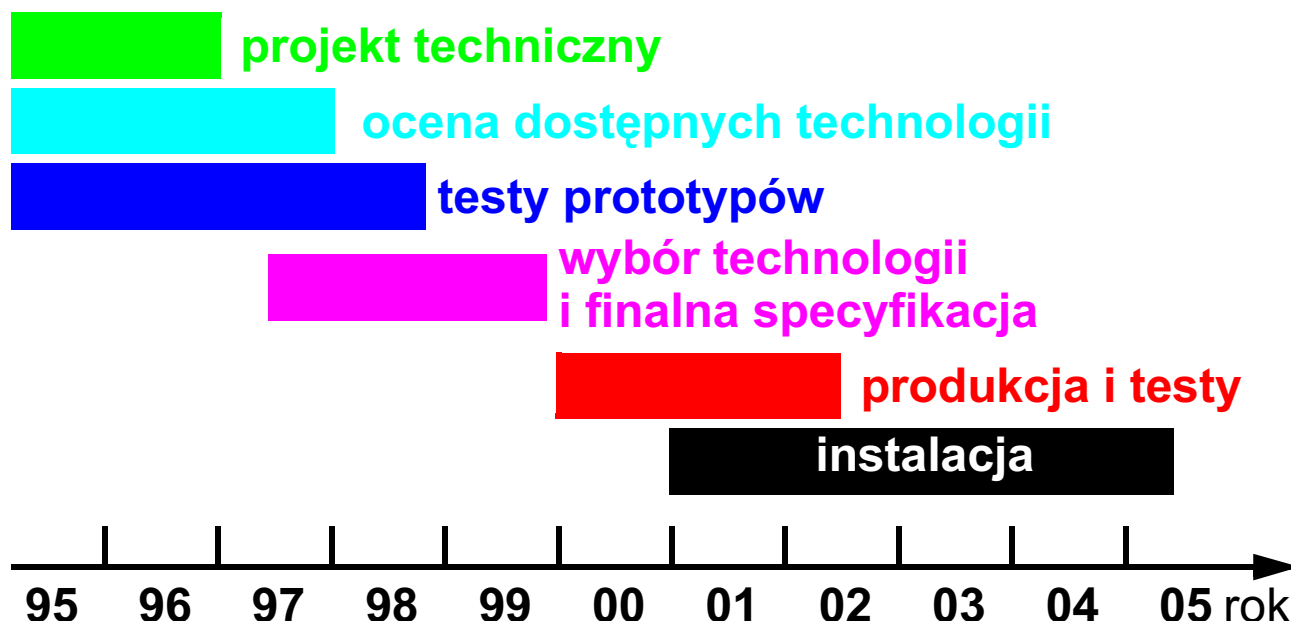


Moc obliczeniowa procesorów wzrasta 10 razy co 5 lat

Pojemność pamięci wzrasta 4 razy co 2 lata

Cała moc obliczeniowa CERNu w 1980 roku była mniejsza niż jednego współczesnego komputera osobistego.

Harmonogram prac



Skala przedsięwzięcia wymaga aby projekt techniczny był gotowy na **8 lat** przed uruchomieniem eksperymentu!

Aby urządzenie nie było przestarzałe już w momencie oddania do użytku, w czasie projektowania należy przewidzieć i uwzględnić możliwy rozwój technologii.

Cały system wyzwala i zbiera dane CMS zawiera ponad 10 000 modułów elektronicznych.

Jeżeli moduł psułby się średnio raz na 3 lata, codziennie należałoby wymieniać 10 modułów.

Podsumowanie

Współczesna fizyka cząstek ociera się o granice ludzkiego poznania, próbując zunifikować wszystkie znane obecnie oddziaływania.

Próba odpowiedzi na pytania przez nią stawiane wymaga sięgnięcia do bardzo **wysokich energii** 14 TeV i poszukiwania niezwykle **rzadkich zjawisk** $\sigma \sim fb$

Połączenie tych dwóch wymagań stanowi wyzwanie dla najnowocześniejszych technologii **informatycznych** i **telekomunikacyjnych**:

wysoka energia:

- duża liczba produkowanych cząstek $\sim 100/\text{przypadek}$
- precyzyjny pomiar w szerokim zakresie dynamicznym $\sim 100\mu/10m$

poszukiwanie rzadkich zjawisk:

- olbrzymia częstość oddziaływań $\sim 1 \text{ GHz}$
- nakładanie się oddziaływań 10-20
- mały stosunek sygnału do tła $1:10^{11} - 1:10^{16}$

wynikające z powyższego wymagania technologiczne:

- sterowanie przepływem olbrzymiej ilości danych 500 Gbits/s
- analiza przypadków w czasie rzeczywistym selekcja $1:10^7$
- gigantyczna moc obliczeniowa 5 TIPS
- super-pojemna pamięć masowa 1 PB/rok