

# Co działo się w LHC podczas LS1?

Polish Teachers Programme 22/10/2014

Anna Chrul, IFJ PAN/CERN

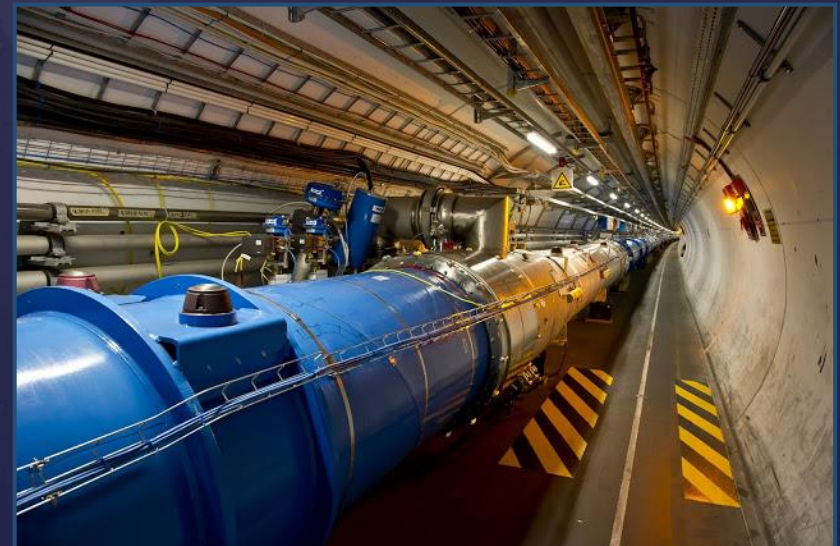
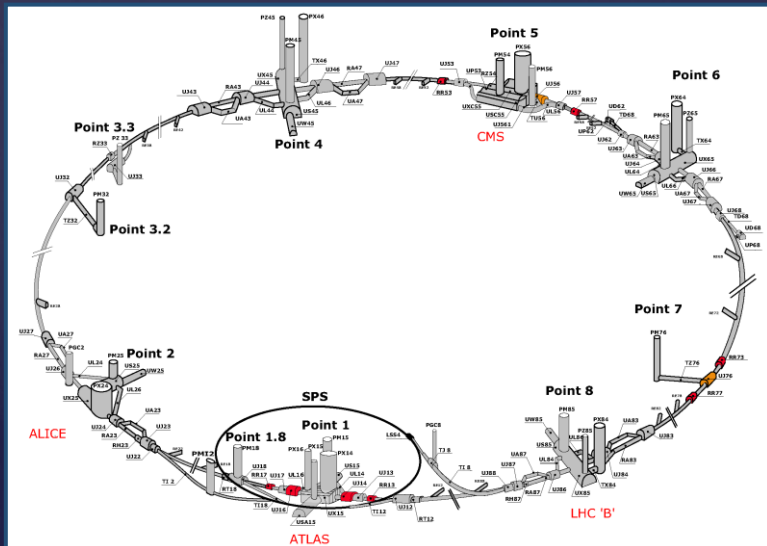
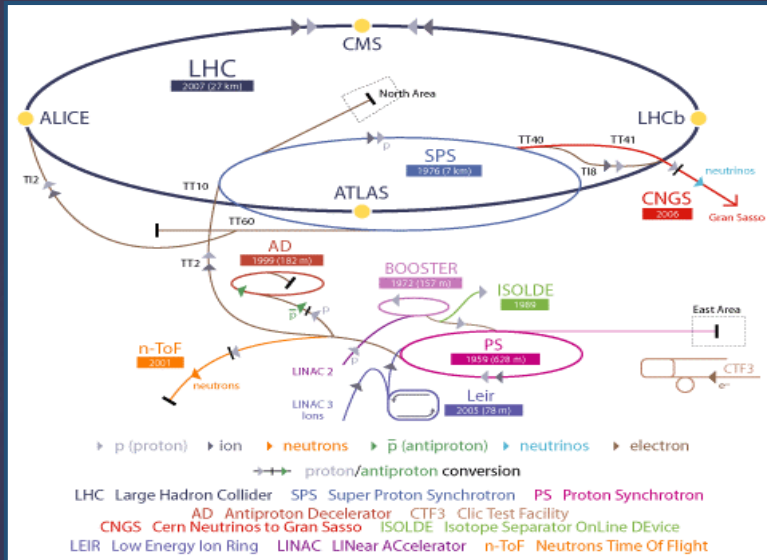


# Plan prezentacji

- & LHC - krótkie wprowadzenie
- & Long Shutdown 1
- & Projekt SMACC
- & Status LHC



# LHC – Large Hadron Collider



# Historia

1984.03. – ogłoszona idea budowy LHC w tunelu LEP

1994.04. – prototyp dipola LHC osiągnął 8,73 T

1994.12.16 – Rada CERN zatwierdziła projekt budowy LHC

2004 – początek instalacji LHC

2008.09.10 – pierwsza wiązka protonów w LHC

2008.09.19 – awaria maszyny w trakcie testów mocy

2009.11.20 – restart maszyny po naprawie

2010.03.30 – pierwsze zderzenia wiązek protonów o energii 3,5TeV

2010.11.08 – pierwsze zderzenia jonów ołowiu o energii 1,38TeV/nukleon

2012.07.04 – ogłoszenie wstępnych wyników badań eksperymentów ATLAS i CMS  
w zakresie poszukiwań bozonu Higgsa

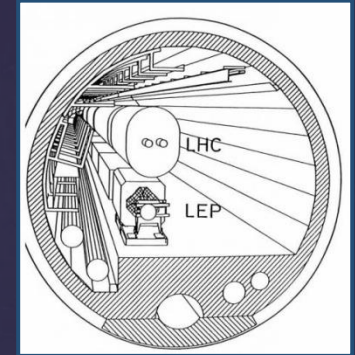
2013.02.14 – początek Long Shutdown 1

# Przyszłość

2015 – uruchomienie maszyny po LS1 (wzrost  
energii zderzeń do 14TeV)

2017-2018 – LS2, HL-LHC faza 1

2022 – LS3, HL-LHC- faza 2



1984 – LEP i LHC w jednym tunelu



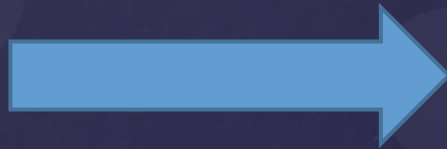
# LHC w liczbach <sup>1/2</sup>

- ~27km obwodu,
- >9000 magnesów,
- ~10000 ton ciekłego azotu,
- 120 ton ciekłego helu,
- $10^{-13}$ atm – ultrawysoka próżnia w liniach wiązki,
- $-271.3^{\circ}\text{C}$  (1.9 K) temperatura operacyjna w liniach wiązki,
- 8.33 T – pik pola magnetycznego w dipolu, wytworzony przez przepływ prądu o natężeniu 11 700 A,
- 7600 km nadprzewodzących kabli (NbTi), co odpowiada ok.270 000 włókien, z kolei każde włókno zbudowane jest z ok. 9 000 filamentów,
- 99.9999991% prędkości światła – prędkość cząstek (protonów) przy maksymalnej energii wiązki 7 TeV;



# LHC w liczbach 2/2

- ⌘ **Rozmiar:** największy akcelerator cząstek na świecie
- ⌘ **Temperatura:** najzimniejsze miejsce na świecie
- ⌘ **Ciśnienie:** około 10x niższe niż na Księżycu
- ⌘ **Pole magnetyczne:** ~60000 razy silniejsze niż ziemskie pole magnetyczne



*“In fact, 1 TeV is about the energy of motion of a flying mosquito.*

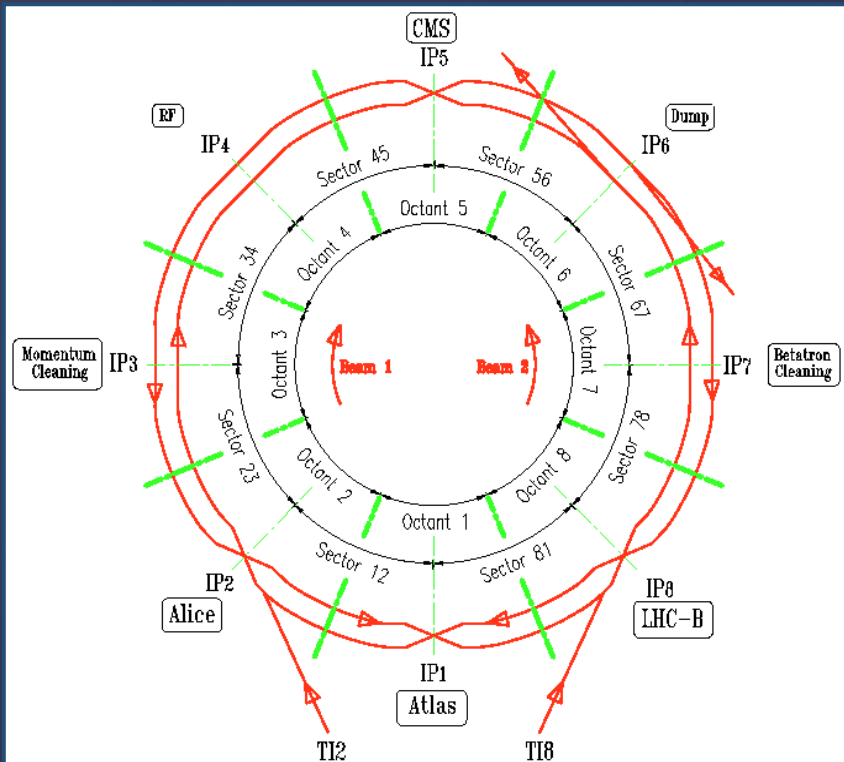
*What makes the LHC so extraordinary is that it squeezes energy into a space about a million million times smaller than a mosquito.”*

(CERN FAQ)

*“At full energy (7 TeV per beam), each of the two proton beams in the LHC will have a total energy equivalent to a 400t train (like the French TGV) travelling at 150 km/h.”*

(CERN FAQ)

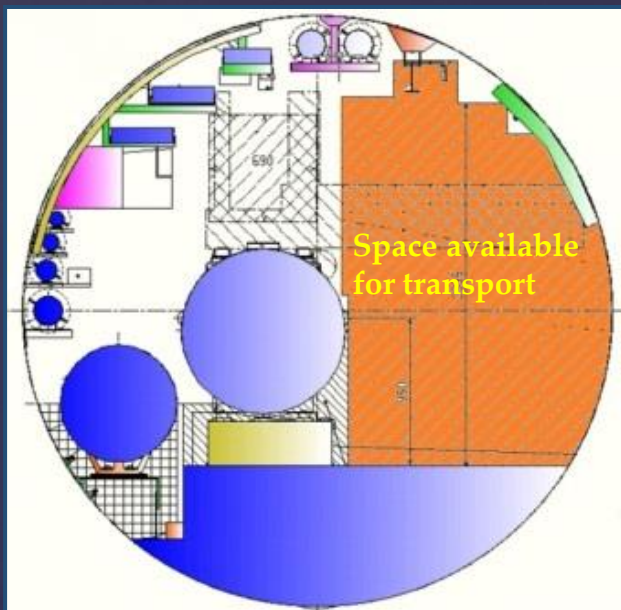
# Tunel LHC 1/2



8 niezależnych sektorów (łuki + sekcje proste)  
1 sektor = 23 komórki  
8 punktów dostępowych  
położenie: 50-175m pod ziemią  
średnie nachylenie  $\sim 1,4\%$

# Tunel LHC <sup>1/2</sup>

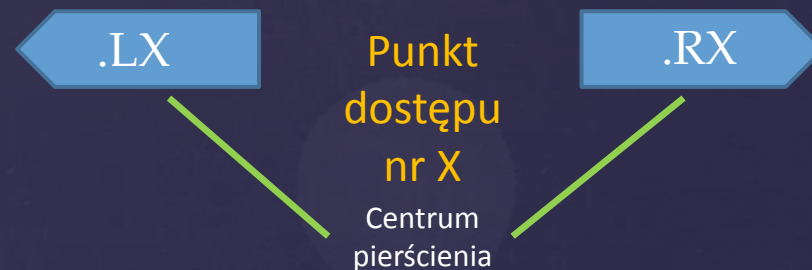
Przekrój przez tunel LHC



<4m

QRL

LHC



Dokładna pozycja w tunelu LHC jest określona przez całkowity dystans (**cumulate distances - DCUM**) od punktu 1 LHC do danego miejsca podany w metrach.

DCUM ma wartości od 0 to 26658.

Sector	Dcum. Start	Dcum. End
1-2	0	3332.3604
2-3	3332.3604	6664.7208
3-4	6664.7208	9997.0812
4-5	9997.0812	13329.4416
5-6	13329.4416	16661.802
6-7	16661.802	19994.1624
7-8	19994.1624	23315.3028
8-1	23315.3028	26658.8832

... ← P.A.4 ← Sector 45 (.R4 & .L5) ← **P.A.5** → Sector 56 (.R5 & .L6) → P.A.6 → ...



# Magnesy nadprzewodzące

Co już było?



Jaki był pomysł?



Jakie było rozwiązanie?

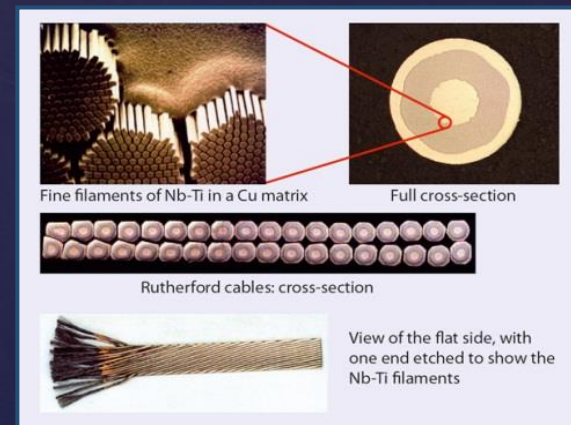
Nadprzewodnictwo - stan materiału polegający na spadku do zera jego oporu elektrycznego jeśli materiał jest schłodzony poniżej charakterystycznej temperatury, nazywanej temperaturą krytyczną.



**1232** nadprzewodzące magnesy dipolowe, długość - 15m, funkcja – zakrzywianie wiązki;



**392** nadprzewodzące magnesy kwadrupolowe, długość – 7m, funkcja – ogniskowanie wiązki;

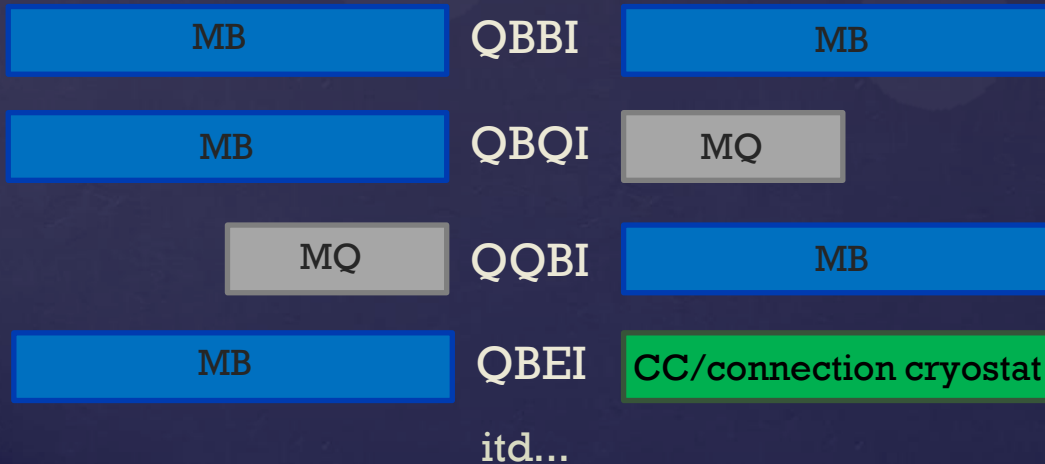


<7000 km kabli (Cu/Nb-Ti)

# Interkonekcje



Jak rozpoznać typ interkonekcji w tunelu?



Liczba interkonekcji w LHC

QBBI	800
QBQI	423
QQBI	423
QBBI	2
QBQI	9
QBQM	5
QBUI	1
QDBI	3
QDQI	11
QEBI	8
QEDI	1
QEQI	8
QQBM	5
QQDI	11
QQEI	8
QQQI	16
QQQI	16
QUBI	1

# Long Shutdown 1 2013-2014

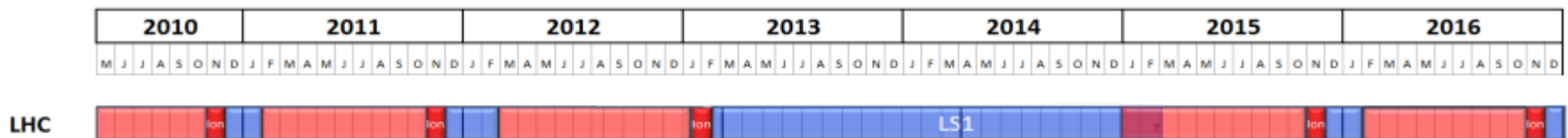
# Long Shutdown 1 (LS1)

Modernizacja i przygotowanie maszyny do pracy z energią nominalną, prewencyjna wymiana elementów nie spełniających norm, sprawdzenie krytycznych dla działania maszyny systemów (VAC, CRYO, RF,...), m.in.:

- ⌘ konsolidacja połączeń nadprzewodzących
- ⌘ wymiana magnesów nadprzewodzących nie spełniających norm (prewencja)
- ⌘ projekt *Radiation to Electronics* (R2E)
- ⌘ testy zasilania (*Powering Tests*)
- ⌘ eksperymenty – czas na modernizację detektorów
- ⌘ testy i modernizacja systemów bezpieczeństwa i kontroli dostępu

... i wiele innych zadań, poprzedzonych okresem przygotowań (planowanie, dokumentacja, procedury, szkolenia, infrastruktura, transport, bezpieczeństwo, ochrona radiologiczna, kursy językowe,...).

Czas: luty 2013 - grudzień 2014



# Harmonogram LS1

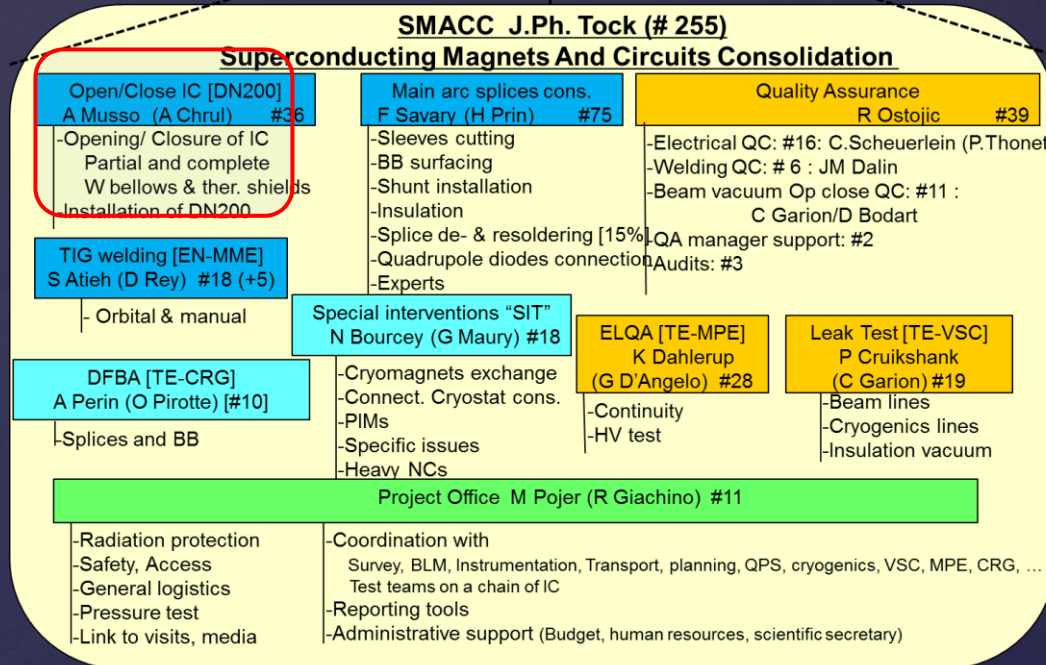
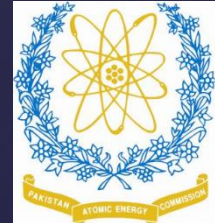


# Projekt SMACC

(Superconducting Magnets And Circuits Consolidation)



**SMACC** Long Shutdown 1 Organization Chart  
F. Bordry



Największy projekt realizowany podczas LS1:

⌘ ponad 350 osób

⌘ ok.1 000 000 godzin pracy (wliczając okres przygotowań)

⌘ międzynarodowa współpraca

# Otwarcia/zamknięcia interkonekcji

## 1695 IC do otwarcia

otwarcia zaplanowane w harmonogramie  
oraz interwencje specjalne,  
czas: kwiecień – listopad 2013;

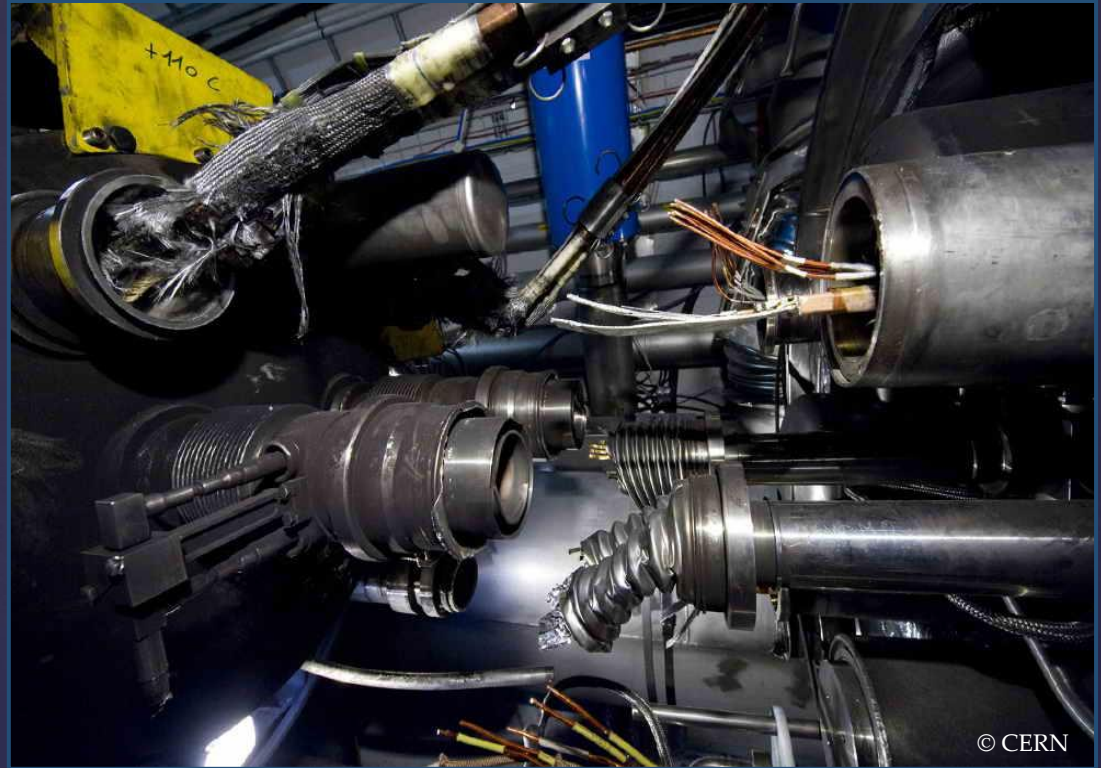
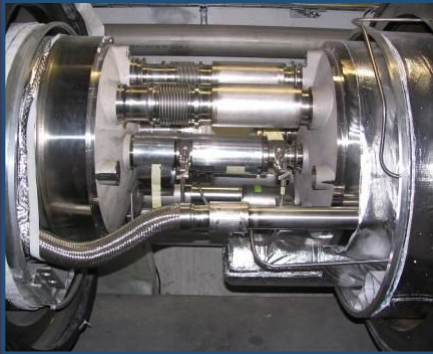
## 1695 IC do zamknięcia

czas: sierpień 2013 – czerwiec 2014;

**Modyfikacja ekranów termicznych**  
nowy projekt → eliminacja  
spawania, cięcia i szlifowania →  
bezpieczniejszy i szybszy dostęp do  
interkonekcji;



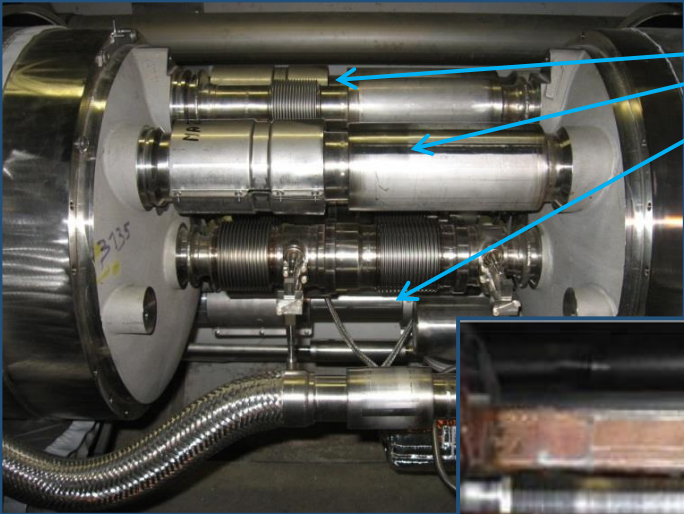
# 1 na 10 000...



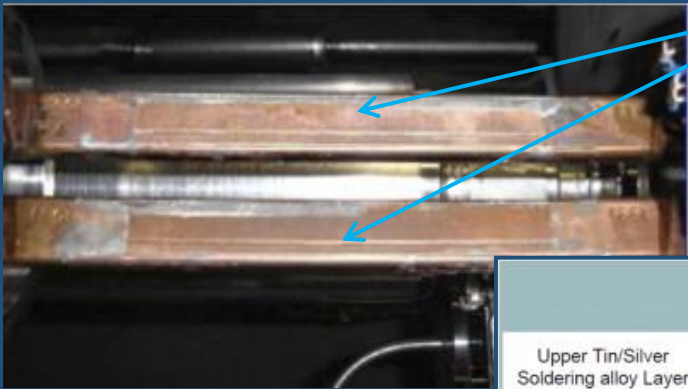
„19 września 2008 – w czasie testów mocy (bez wiązki) nastąpiło zwarcie na wadliwie wykonanym połączeniu elektrycznym między dwoma nadprzewodzącymi magnesami. Powstały najprawdopodobniej łuk elektryczny doprowadził do stopienia się złącza i rozszczelnienia magnesów. Implozja związana z rozszczelnieniem doprowadziła do wyzwolenia dużej energii, która zniszczyła lub uszkodziła blisko 60 magnesów (...). Nastąpił wyciek kilku ton ciekłego helu do tunelu. Naprawa awarii trwała około 14 miesięcy” ([http://pl.wikipedia.org/wiki/Wielki\\_Zderzacz\\_Hadronów](http://pl.wikipedia.org/wiki/Wielki_Zderzacz_Hadronów))



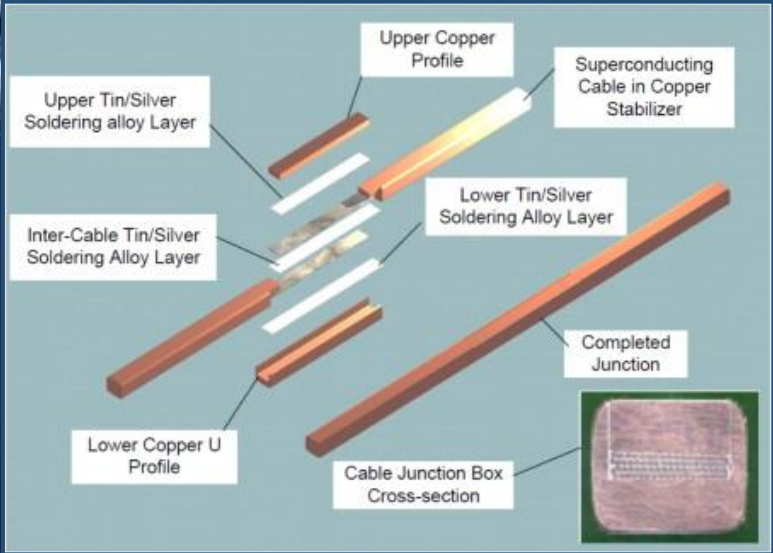
# Sekwencja instalacji *shunt* i izolacji <sup>1/2</sup>



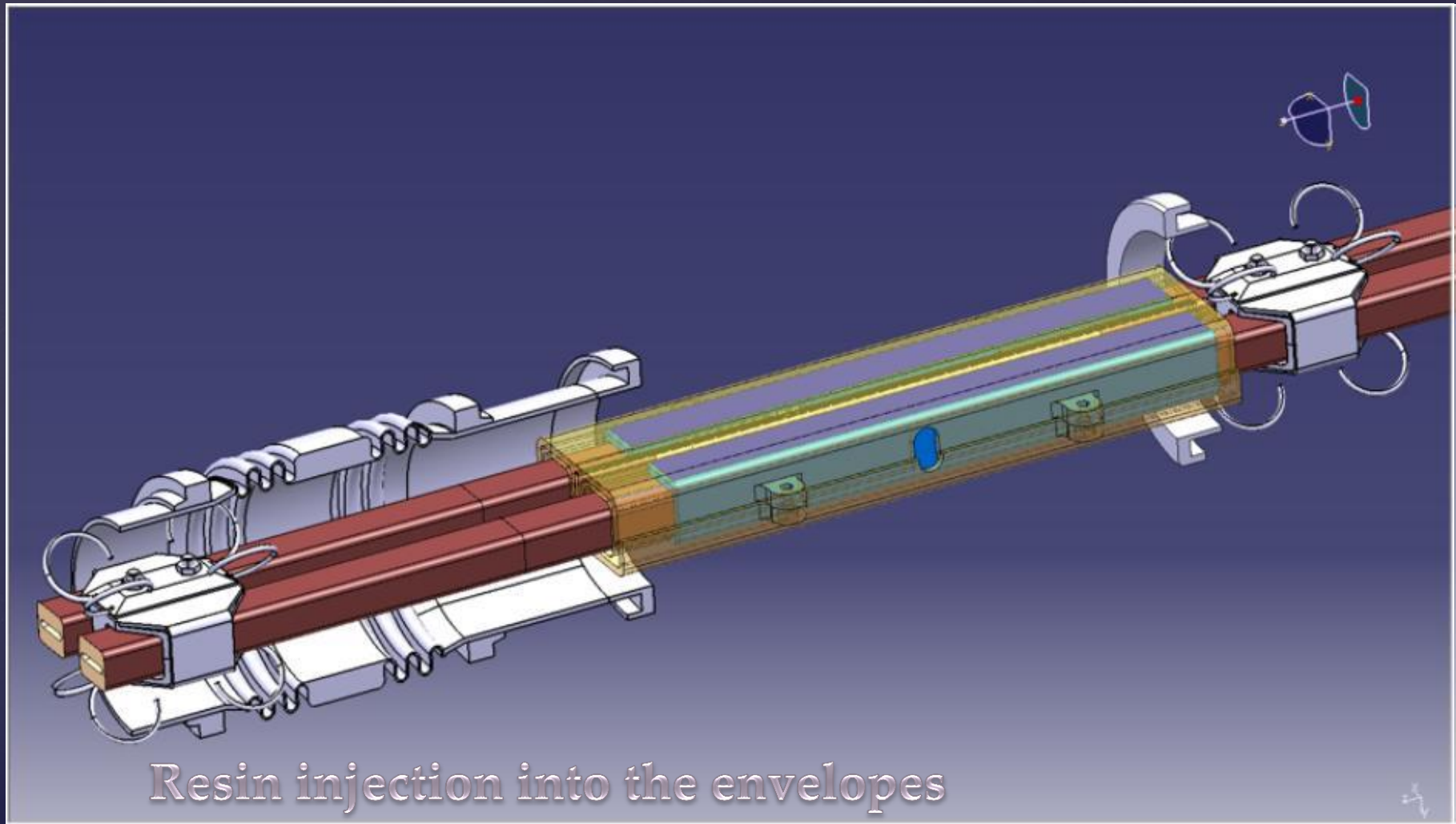
M-lines



Bus bars



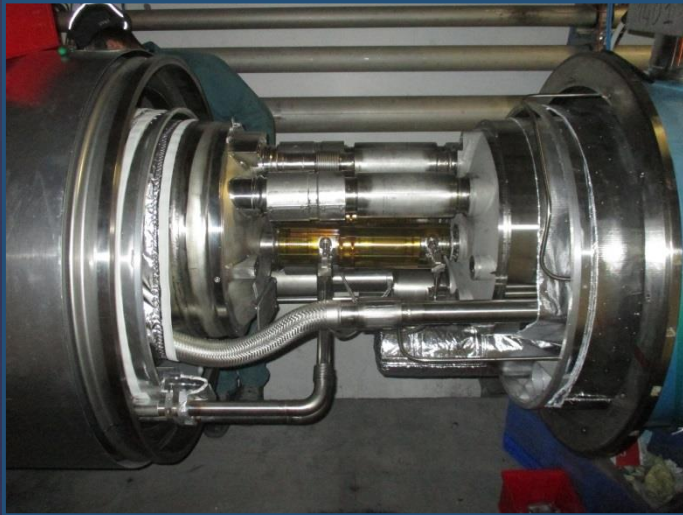
# Sekwencja instalacji *shunt* i izolacji <sup>2/2</sup>



Courtesy H. Prin

# DN200 (SRV)– zawory bezpieczeństwa $\frac{1}{2}$

120 ton ciekłego He w instalacjach kriogenicznych!



# DN200 (SRV) – zawory bezpieczeństwa 2/2

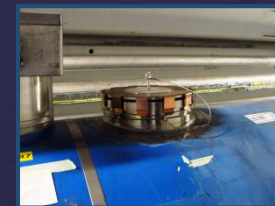


**Podczas LS1 zainstalowano:**

**+ 612 brakujących DN200 (w sektorach 2-3, 4-5, 7-8, 8-1)**

**+ 17 DN200 na kriostatach wymieniających magnesów**

**+ 2 dodatkowe DN200 dla CryoBLM (sektor 4-5 and sektor 7-8)**



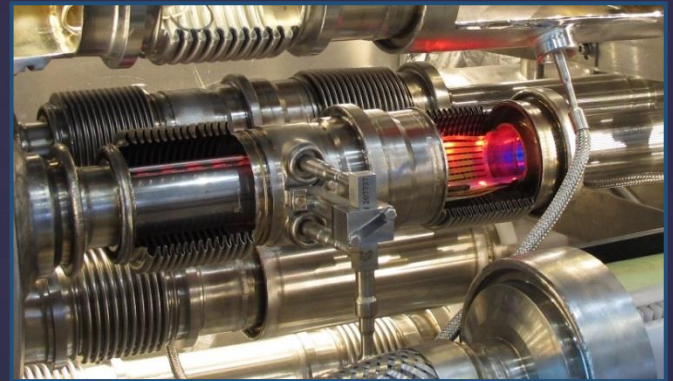
# Konsolidacja PIM-ów

Podczas LS1:

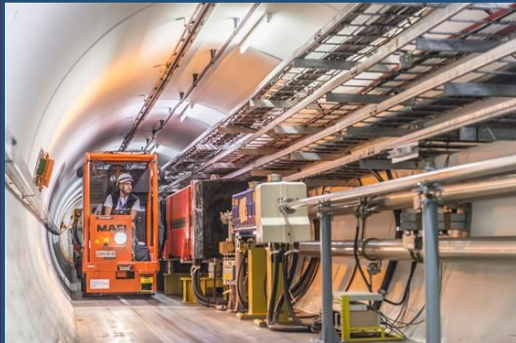
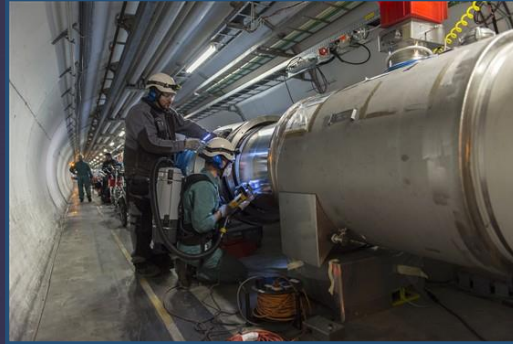
- 18 PIM-ów wymieniono prewencyjnie ,
- ok.70 PIM-ów wymieniono podczas wymiany pagnesów,
- ok.20 PIM-ów wymieniono z powodu uszkodzeń mieszeków, które powstały przed lub podczas LS1.

Dodatkowo na każdej interkonekacji zainstalowano specjalne osłony (PEI).

W trakcie testów „RF Ball” znaleziono tylko 2 PIMy, które wymagały naprawy (spodziewano się <10).



# Wymiana magnesów nadprzewodzących



- 15 magnesów dipolowych
- 3 magnesy kwadrupolowe



# The main 2013-14 LHC consolidations

1695 Openings and final reclosures of the interconnections

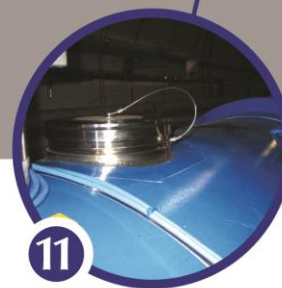
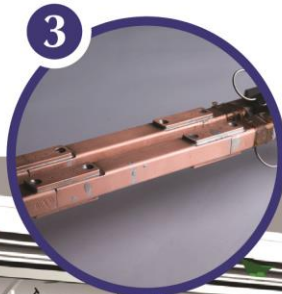
Complete reconstruction of 3000 of these splices

Consolidation of the 10170 13kA splices, installing 27 000 shunts

Installation of 5000 consolidated electrical insulation systems

300 000 electrical resistance measurements

10170 orbital welding of stainless steel lines



18 000 electrical Quality Assurance tests

10170 leak tightness tests

3 quadrupole magnets to be replaced

15 dipole magnets to be replaced

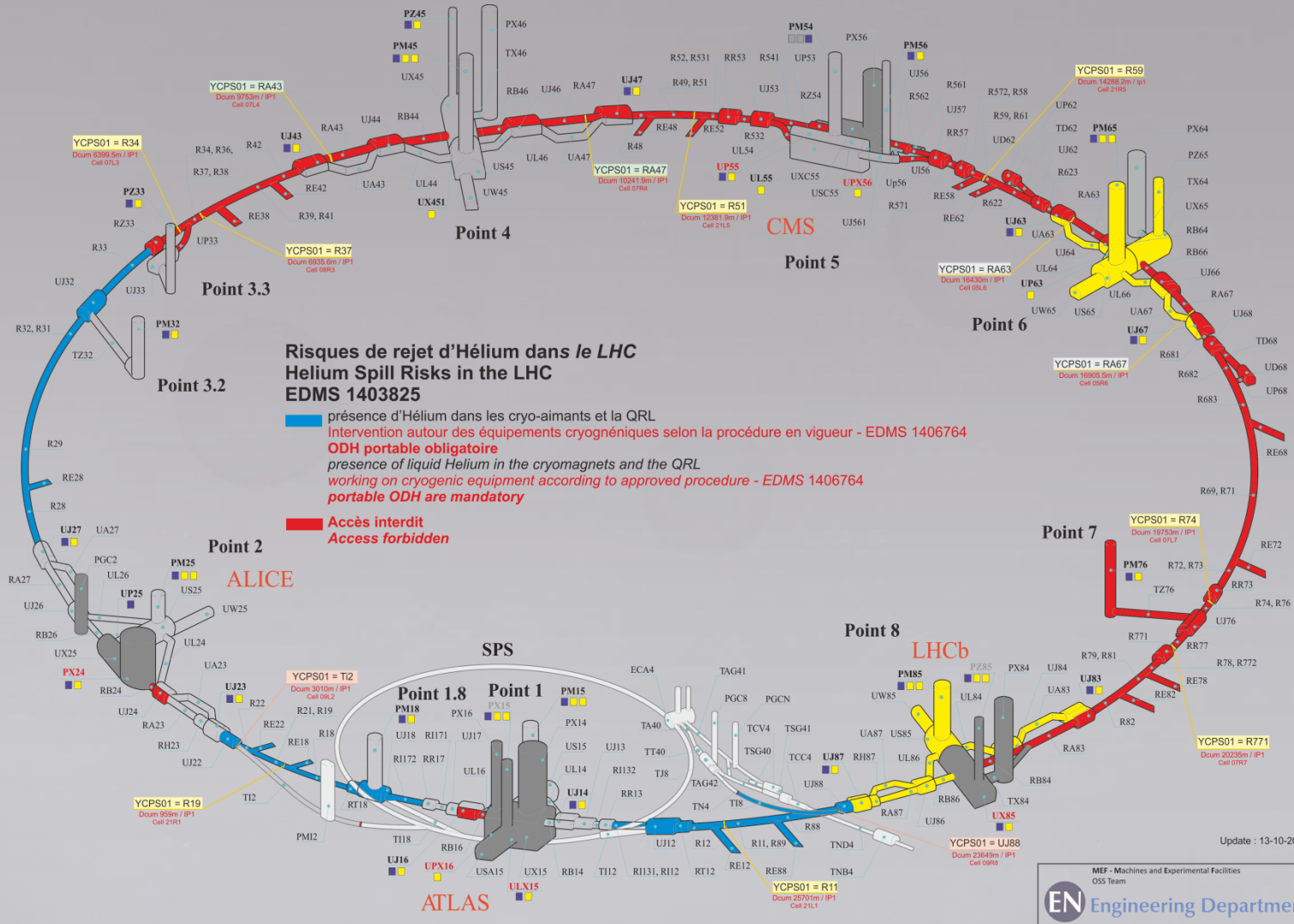
Installation of 612 pressure relief devices to bring the total to 1344

Consolidation of the 13 kA circuits in the 16 main electrical feed-boxes

# Status LHC



# Status LHC-LS1 1/2



# Status LHC-LS1 2/2

Activities	P1	Sector 12	P2	Sector 23	P3	Sector 34	P4	Sector 45	P5	Sector 56	P6	Sector 67	P7	Sector 78	P8	Sector 81
CRYO lockout Status		UNLOCKED		UNLOCKED		UNLOCKED		UNLOCKED		UNLOCKED		UNLOCKED		UNLOCKED		UNLOCKED
SMACC completed		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
P test		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
Leak loc.		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
Purge		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
ELQA		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
Flushing		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
ELQA + nQPS		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
Non Conf		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
Start of cryo system			Done				Done				Done				Done	
Cool Down start		Done		Done		W42		w41		Done		Done		Done		Done
CSCM		Done		W43-->44		W47-->49		W46-->48		W40-->43		Done		W42-->43		Done
CPC6		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done
R2E Completed	Done						Done		Done				Done		Done	
SCT	Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done		Done	
UPS	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done	Done
SF Maintenance			Done				Done				W 45-46-47				W 48-49-50	
Survey meas.&align.		W35--> 43		W40--> 44		W45-->50		W44-->48		W38--> 2		Done		W40->2		Done
ELQA @ COLD		W43-->45		W47-49		W3-4		W50-51->3-4		W45->47		Done		W45-->48		W42-->43
Powering Ph I		w45-47		W49-51		W5-6		W4-6		W48-->49		Done		W3-->4		W44-->45
Powering Ph II		w48-50		W3-5		W7-9		W6-9		W50-2->3-4		W42-44->48-50		W5-->7		W46-47-->3
Sector test				WE 44-45										WE 47-48		
DSO test	November 8th and 9th ; 15th and 16th.															

Done
In progress
Coming soon

Updated  
15th October  
EN-MEF-OSS  
M.Barberan

# Zamknięcie ostatniej IC w sektorze 4-5



18 czerwca 2014





Dziękuję!