

# High Luminosity Upgrade - ATLAS

## Výzkumná infrastruktura CERN-CZ

Alexander Kupčo  
Fyzikální ústav AV ČR

Vila Lanna

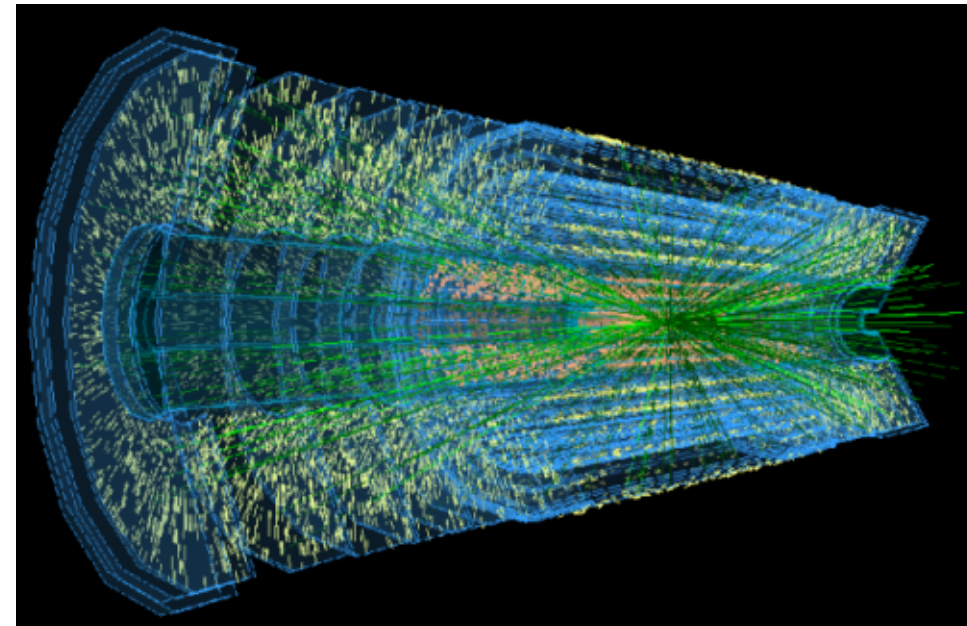
16. prosince 2015

- harmonogram HL-LHC a plány experimentu ATLAS
- naše plány (finanční + náš příspěvek k upgrade ATLAS)

# HL-LHC - High Luminosity LHC Upgrade

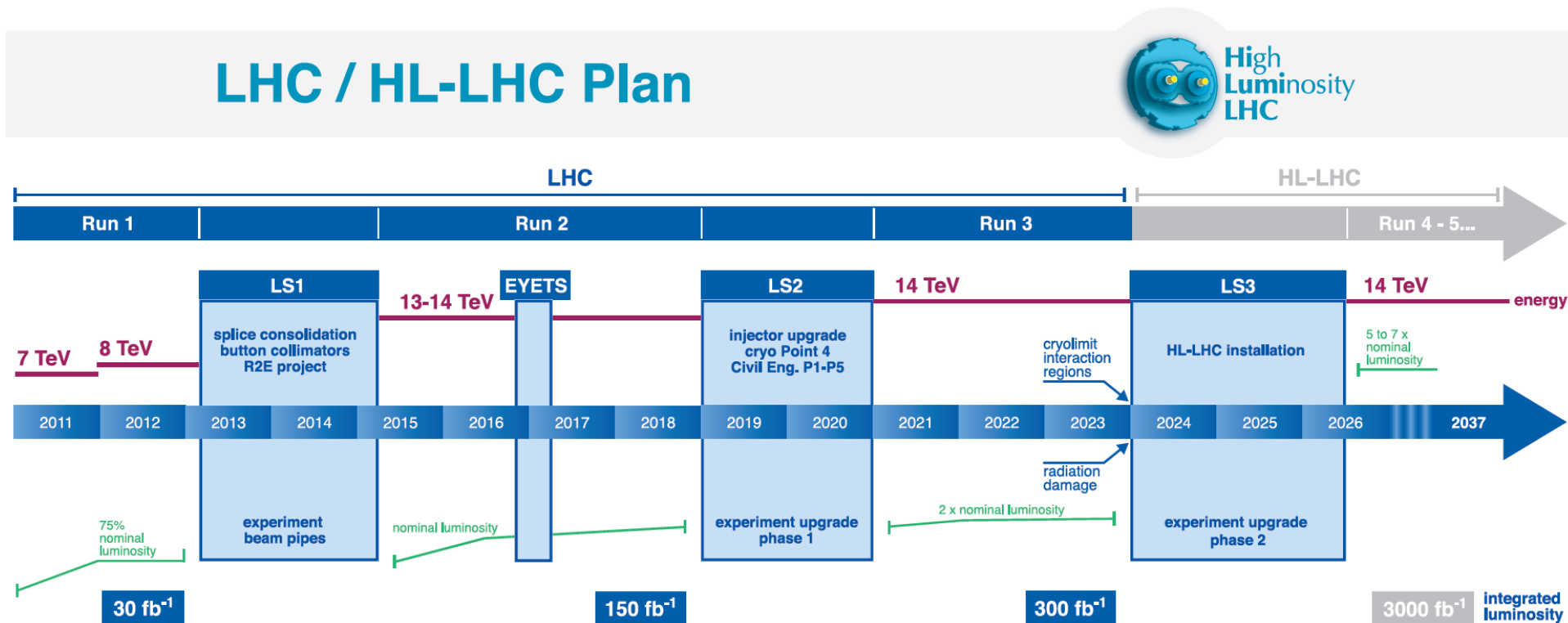
---

- zvýšit Run 2+3 luminositu  $10\times$  na  $3 \text{ ab}^{-1}$  ( $\mu_{max} \sim 200$ )
- klíčové cíle experimentu ATLAS (B. di Girolamo, ATLAS LHC RRB, 4/2014)
  - detailní proměřeních produkčních a rozpadových kanálů H(125)
  - párová produkce HH
  - rozšíření oblasti hledání nové fyziky až o  $\Delta m \sim 1 \text{ TeV}$
  - detailnější studium nových objevů v Run-2 a Run-3
- vyžaduje značný rozsah modernizace detektoru ATLAS
  - vyčítací elektronika
  - trigger
  - kompletně nový, radiačně odolný vnitřní dráhový detektor
  - ...



# Časový plán

- posun harmonogramu HL-LHC (posun LS3 o rok na začátek 2024)



- září 2015 - ATLAS publikoval **Phase-II Upgrade Scoping Document**
  - tři varianty: 200 (Low), 235 (Medium) a 275 (Reference) MCHF
  - ty byly posouzeny LHCC a UCG (Upgrade Cost Group)
  - závěry projednány říjnovém zasedání LHC RRB

# Hlavní části modernizace - referenční scénář

---

- **TDAQ** (Trigger and Data Acquisition): dvojúrovňový hardwarový trigger (L0/L1) se specifikací 1 MHz/400 kHz a  $10 \mu\text{s}/60 \mu\text{s}$  latencí; 10 kHz z Event Filter
- **ITk** (Inner Tracker): rozšíření pokrytí z  $|\eta| = 2.7$  na 4.0
- **LAr** (Liquid Argon Calorimeter)
  - upgrade vyčítací elektroniky
  - nahrazení FCal novým detektorem s menší segmentací sFCal
  - přidání časového detektoru v  $\eta$  od 2.4 do 4.3 pro potlačení pile-up
- **TileCal**
  - upgrade vyčítací elektroniky
  - přidání poslední vrstvy do L0 mionového triggeru
- **Mionové detektory**
  - upgrade elektroniky včetně triggeru
  - rozšíření v  $\eta$  z 2.6 na 4.0 (Very-forward Muon tagger)

# Další varianty

Trigger and Data Acquisition	Scoping Scenarios		
	Reference (275 MCHF)	Middle (235 MCHF)	Low (200 MCHF)
<b>Level-0 Trigger System</b>			
Central Trigger	✓	✓	✓
Calorimeter Trigger (e/γ)	$ \eta  < 4.0$	$ \eta  < 3.2$	$ \eta  < 2.5$
Muon Barrel Trigger	MDT everywhere RPC-BI Tile-μ	MDT (BM & BO only) Partial η coverage RPC-BI Tile-μ	MDT (BM & BO only) No RPC-BI Tile-μ
Muon End-cap Trigger	MDT everywhere	MDT (EE&EM only)	MDT (EE&EM only)
<b>Level-1 Trigger System</b>			
Output Rate [kHz]	400	200	200
Central Trigger	✓	✓	✓
Global Trigger	✓	✓	✓
Level-1 Track Trigger ( <i>RoI based tracking</i> )	$p_T > 4$ GeV $ \eta  \leq 4.0$	$p_T > 4$ GeV $ \eta  \leq 3.2$	$p_T > 8$ GeV $ \eta  \leq 2.7$
<b>High-Level Trigger</b>			
FTK++ ( <i>Full tracking</i> )	$p_T > 1$ GeV 100 kHz	$p_T > 1$ GeV 50 kHz	$p_T > 2$ GeV 50 kHz
Event Filter	10 kHz output	5 kHz	5 kHz
<b>DAQ</b>			
Detector Readout	✓ [400 kHz L1 rate]	✓ [200 kHz L1 rate]	✓ [200 kHz L1 rate]
DataFlow	✓ [400 kHz L1 rate]	✓ [200 kHz L1 rate]	✓ [200 kHz L1 rate]

- 235 MCHF
  - redukce kapacity TDAQ na polovinu
  - redukce v  $\eta$  (4.0  $\rightarrow$  3.2)
- 200 MCHF
  - další redukce v  $\eta$  (na 2.7)

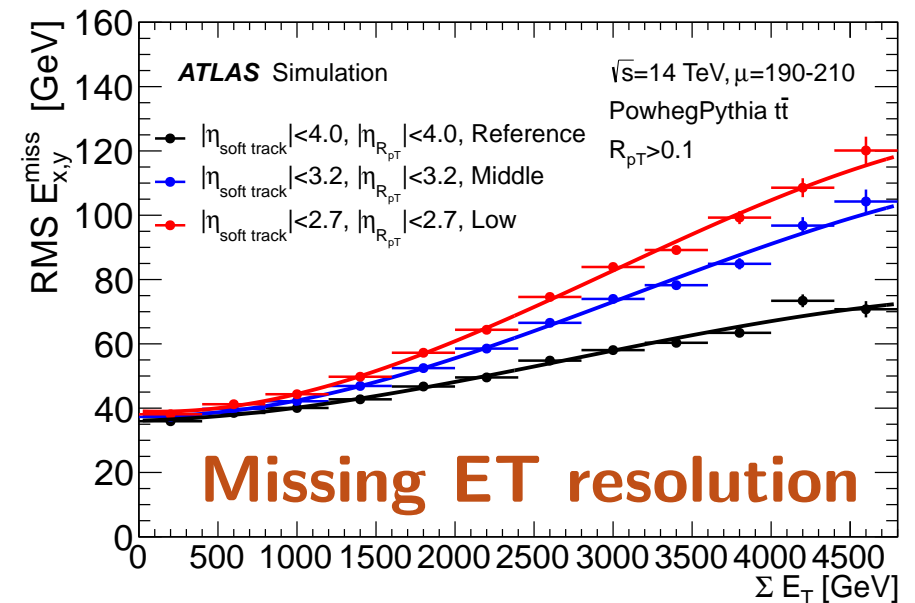
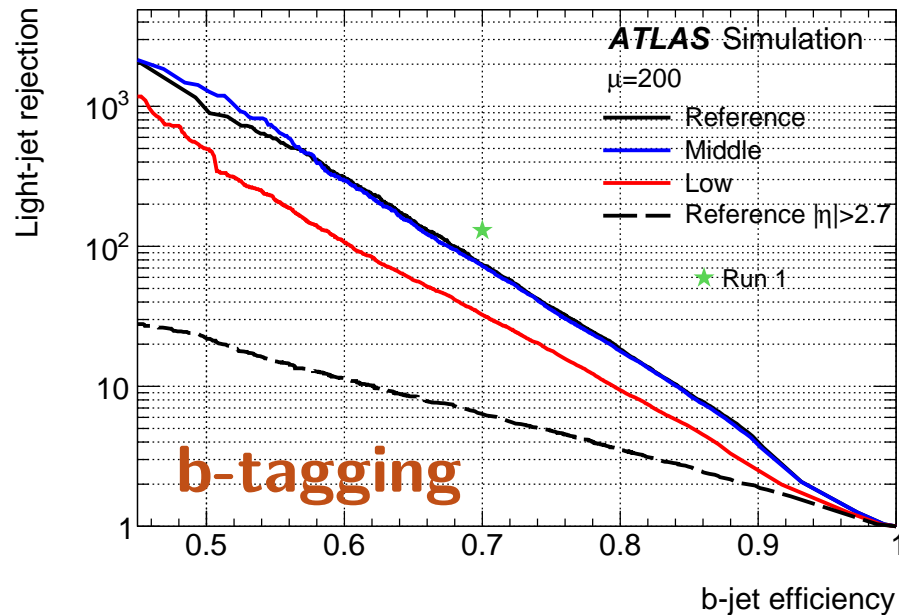
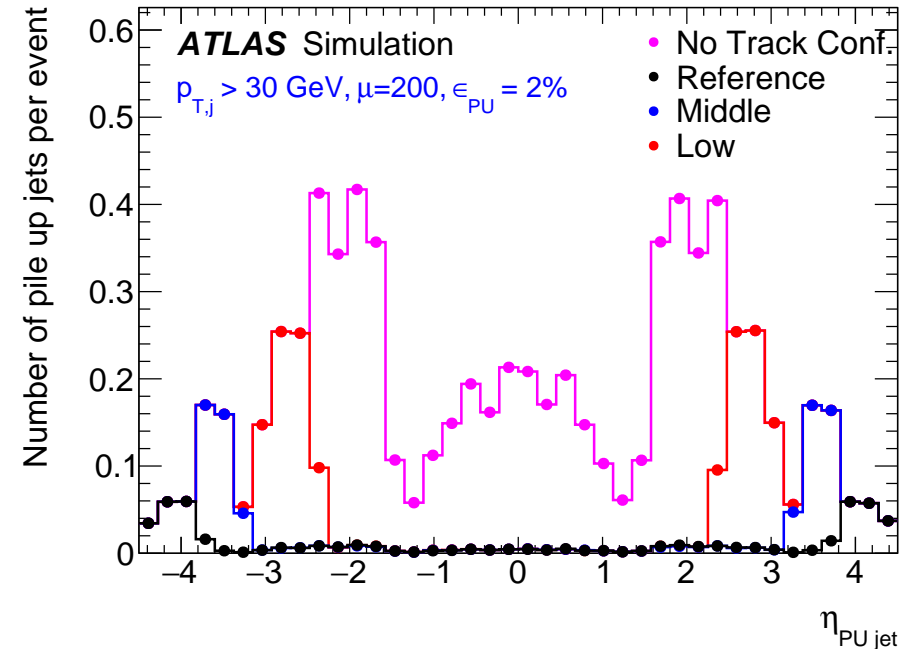
Detector System	Scoping Scenarios		
	Reference (275 MCHF)	Middle (235 MCHF)	Low (200 MCHF)
<b>Inner Tracker</b>			
Pixel Detector	$ \eta  \leq 4.0$	$ \eta  \leq 3.2$	$ \eta  \leq 2.7$
Barrel Strip Detector	✓	✓ [No stub layer]	✓ [No stereo in layers #2,#4] [Remove layer #3] [No stub layer]
Endcap Strip Detector	✓	✓ [Remove 1 disk/side]	✓ [Remove 1 disk/side]
<b>Calorimeters</b>			
LAr Calorimeter Electronics	✓	✓	✓
Tile Calorimeter Electronics	✓	✓	✓
Forward Calorimeter	✓	✗	✗
High Granularity Precision Timing Detector	✓	✗	✗

Muon Spectrometer	Scoping Scenarios		
	Reference (275 MCHF)	Middle (235 MCHF)	Low (200 MCHF)
<b>Barrel Detectors and Electronics</b>			
RPC Trigger Electronics	✓	✓	✓
MDT Front-End and readout electronics (BI+BM+BO)	✓	✓ [BM+BO only]	✓ [BM+BO only]
RPC Inner layer in the whole layer	✓	✓ [in half layer only]	✗
Barrel Inner sMDT Detectors in the whole layer	✓	✓ [in half layer only]	✗
MDT L0 Trigger Electronics (BI +BM+BO)	✓	✓ [BI +BM only]	✓ [BI +BM only]
<b>End-cap and Forward Muon Detectors and Electronics</b>			
TGC Trigger Electronics	✓	✓	✓
MDT L0 Trigger and Front-End read-out electronics (EE+EM+EO)	✓	✓ [EE +EM only]	✓ [EE +EM only]
sTGC Detectors in Big Wheel Inner Ring	✓	✓	✓
Very-forward Muon tagger	✓	✗	✗

# Vliv na rekonstrukci objektů

- signifikantní rozdíly mezi jednotlivými variantami
- zvlášť u varianty 200 MCHF (Low)

## Jet pile-up rejection



# Referenční fyzikální procesy

- kanály pro studium výkonu jednotlivých variant modernizace

Detector system	Trigger-DAQ		Inner Tracker	Inner Tracker + Muon Spectrometer	Inner Tracker + Calorimeter		
Physics Process	Efficiency/Thresholds		b-tagging	$\mu^\pm$ Identification/Resolution	Pile-up rejection	Jets	$E_T^{\text{miss}}$
	$\mu^\pm$	$e^\pm$					
$H \rightarrow 4\mu$	✓			✓			
VBF $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow llll$	✓	✓		✓	✓	✓	
VBF $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow l\nu l\nu$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SM VBS ssWW	✓	✓		✓	✓	✓	✓
SUSY, $\chi_1^\pm \chi_2^0 \rightarrow l b \bar{b} + X$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BSM $HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$			✓			✓	

# Vliv na výslednou fyziku

## $H \rightarrow 4\mu$

Scenario	$H \rightarrow 4\mu$	$ZZ^{(*)} \rightarrow 4\mu$	$\Delta\mu/\mu$
Reference	$2551 \pm 51$	$741 \pm 27$	0.022
Middle	$2104 \pm 46$	$351 \pm 19$	0.024
Low	$2014 \pm 45$	$336 \pm 18$	0.024

- signifikantní rozdíly v WW kanálech
- v některých kanálech nové fyziky scénáře Middle a Low odpovídají  $\times 2 / \times 4$  navýšení luminosity

## VBF a VBS ( $\Delta\mu/\mu$ )

Scenario	VBF $H \rightarrow WW^{(*)}$	VBF $H \rightarrow ZZ^{(*)}$	VBS $ssW^\pm W^\pm$
Reference	0.14	0.134	0.059
Middle	0.20	0.137	0.11
Low	0.30	0.142	0.13

## chargino + neutralino

## resonance $HH \rightarrow 4b$

Scenario	SUSY $\chi_1^\pm \chi_2^0 \rightarrow l\bar{l} + X$		BSM $HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$ ( $M_{G_{KK}^*} = 2.0$ TeV)	
	Mass (GeV)	$\mathcal{L}_{\text{equiv.}}^{\text{int.}} [\text{fb}^{-1}]$	Significance	$\mathcal{L}_{\text{equiv.}}^{\text{int.}} [\text{fb}^{-1}]$
Reference	850	3000	4.4	3000
Middle	770	6000	4.5	
Low	675	12000	3.1	7200



# Summary - Performance

---

- For both experiments the **Reference Scenario** provide performant detectors capable of addressing the physics at the HL-LHC.
- The limitations of the **Low Scenario** are very apparent, offering significantly worse detector capabilities.
  - Generally speaking, reduced detector performance affects Standard Model (SM) physics less severely than signatures of physics Beyond the SM (BSM).
- In the **Intermediate Scenario**, the nominal physics performance is only moderately deteriorated.
  - The detector redundancy is significantly reduced, resulting in a less robust apparatus, more sensitive to detector inefficiencies and failures, and less capable of dealing with the harsher running conditions as anticipated by the ultimate luminosity available.

# LHC RRB - říjen 2015

---

Based on the LHCC and UCG findings and their subsequent endorsement by the CERN Research Board, the CERN Management is asking the RRB to agree with the following statement:

“The RRB considers the Step1 of the approval process for the Phase II Upgrades for the ATLAS and CMS experiments **successfully completed**.

A **scale of funding** between the full funding and the intermediate scenario seems to meet the performance requirements.

The CERN Management, supported by the recommendations of the LHCC and the UCG, deems as realistic the availability of prospective funds contained in the preliminary “Money Matrices” submitted by the experiments.

The experiments are therefore encouraged to proceed to the next step of the Phase II upgrades, as described in the document CERN-LHCCC-2015-007 .  
The LHCC and the UCG as well as the Management will regularly update the RRB on progress of the process”

# Výzkumná infrastruktura CERN-CZ

- sedmiletý projekt: 2016-2022
- rozsah obdobný jako v současných INGO projektech CERN+ATLAS
  - + prostředky na HL upgrade: 25 mil. Kč / rok  
6.1 MCHF pro ATLAS, 1.05 MCHF pro ALICE
  - prostředky na “vědu” (užití infrastruktury) - prostor pro další projekty
  - investice (je možno se o ně ucházet v programu OPVVV)
- projekt je zařazen do nové Cestovní mapy výzkumných infrastruktur ČR 2016-2022
- rozpočet čeká na schválení rozsahu programu vládou ČR
  - ve hře jsou varianty s krácením na 80% a 90% a rozšíření o projekty A3-A4
  - pro neshody, jednání vlády v tomto bodě bylo v pondělí přerušeno a odloženo na 21. 12.



# Návazný program OPVVV

---

- očekává se vyhlášení zítra (17. 12.)
- parametry (presentované H. Dlouhou na včerejším semináři):
  - 4 letá výzva (a pak snad následná 3 letá)
  - otevřený pro všechny VI hodnocené stupněm A1-A4

## Shrnutí

- proces schvalování HL upgrade se dostává do fáze přípravy TDR
  - ATLAS HL upgrade bude na úrovni mezi 235-275 MCHF
- oblasti a rozsah příspěvku ČR do modernizace ATLAS se v průběhu roku upřesnil:
  - ITk** (navazující příspěvek M. Havránka), elektronika **TileCal**, **AFP**
- financování CERNských aktivit skrze projekt Výzkumných infrastruktur
  - brzy se dozvíme, v jakém rozsahu

# Backup

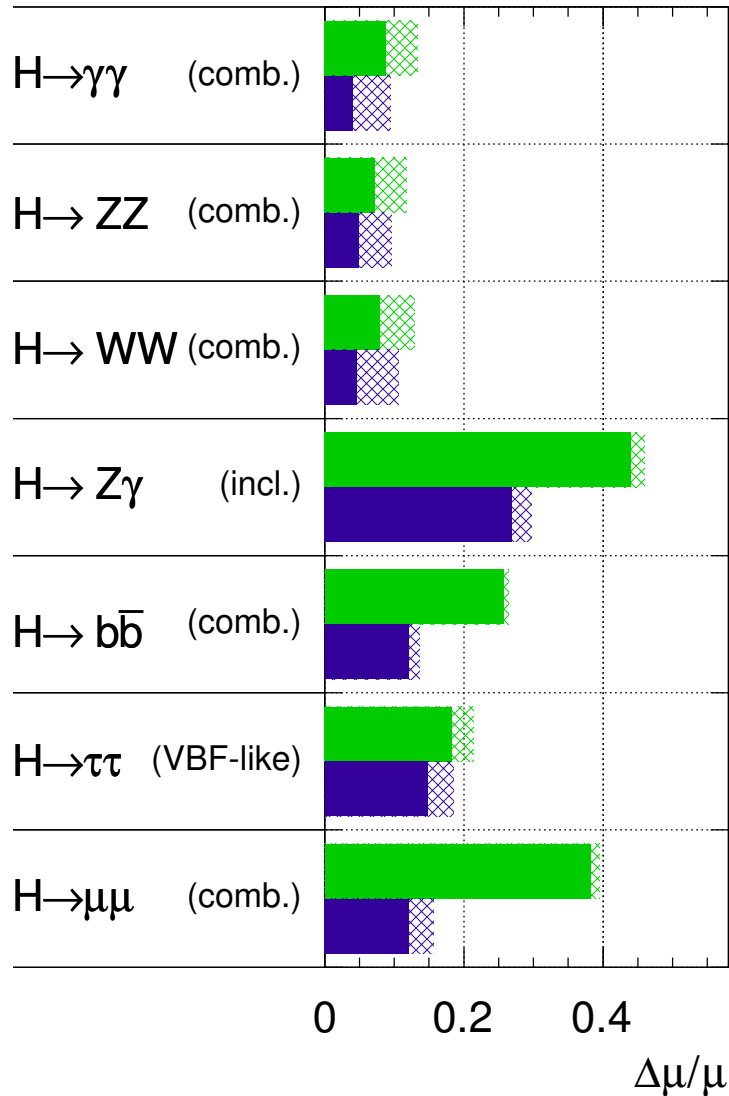
---

# Produkce H a vazbové parametry

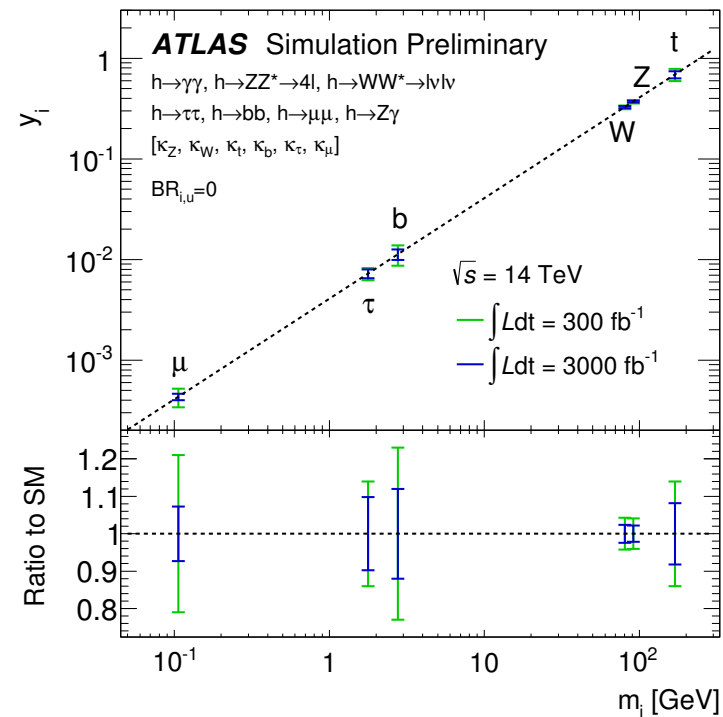
ATL-PHYS-PUB-2014-016

**ATLAS Simulation Preliminary**

$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ :  $\int L dt = 300 \text{ fb}^{-1}$  ;  $\int L dt = 3000 \text{ fb}^{-1}$

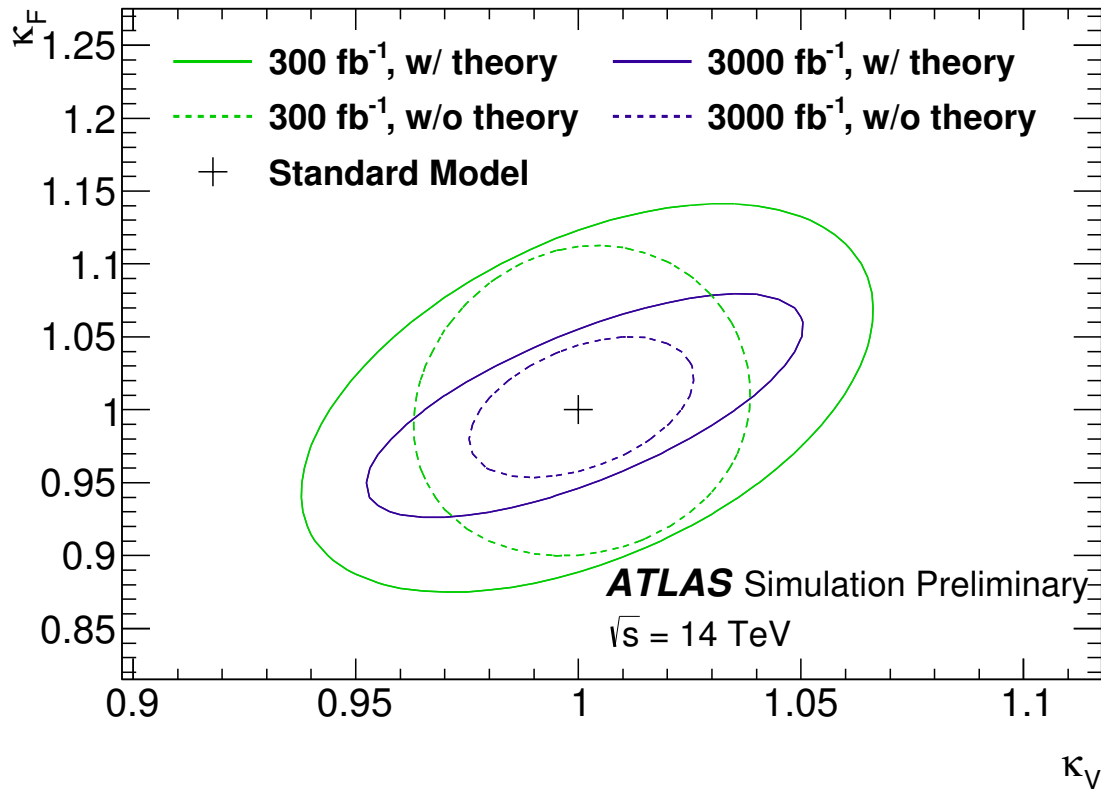


- vazba mezi H a ostatními částicemi
  - v SM je úměrná hmotnosti částice
- z četnosti rozpadových a produkčních kanálů
  - u statisticky limitovaných kanálů ( $H \rightarrow \mu\mu$ ) lze očekávat zlepšení až faktorem 3 ( $\sim \sqrt{10}$ )



# Produkce H a vazbové parametry

ATL-PHYS-PUB-2014-016



- při simultánním pokroku teorie lze očekávat proměření vazeb s přesností

$$\kappa_V \sim 3\%$$

$$\kappa_F \sim 5\%$$

- implikace pro modely za SM

- VBF kanál  $H \rightarrow \tau_{had}\tau_{lept}$ : citelné vylepšení přesnosti při rozšíření dráhového detektoru do dopředné oblasti [ATL-PHYS-PUB-2014-018](#)

$$\Delta\mu/\mu \sim 24\% \text{ (Run I rozsah)} \rightarrow 8\% \text{ pro } |\eta| < 4$$

- dle mého názoru tohle jsou “legacy measurements” HL-LHC