

# B-tagging na ATLAS

(vliv misalignmentu na b-tagging)



Monika Panuskova  
FZU Prague

with Grant Gorfine and Valentin Sipica

- Alignment sets & Error scaling
- Impact of misalignment & error scaling on tracking
- Impact of misalignment & error scaling on b-tagging
- B-tagging (re)calibration

# B-tagging - motivace



- B-tagging je metoda identifikace b-quarku vzniklého ve srážce
- Proč?
  - Správná identifikace b-quarku výrazně zlepšuje kvalitu fyzikální analýzy mnoha procesů
  - Např. Higgsova fyzika ( $H \rightarrow bb$ ), top fyzika ( $t \rightarrow Wb$ ), SUSY, Exotika, ...

# B-tagging - základy



- B-quark má některé vlastnosti, které ho umožňují identifikovat proti jiným kvarkům
  - Má relativně velkou střední dobu života ( $c\tau \sim 400 \mu\text{m}$ )  $\Rightarrow$  B-hadron se rozpadá mimo interakční bod  $\Rightarrow$  lze rekonstruovat sekundární vertex
  - Je výrazně těžší, než cokoli na co se může rozpadnout  $\Rightarrow$  produkty mají velkou hybnost

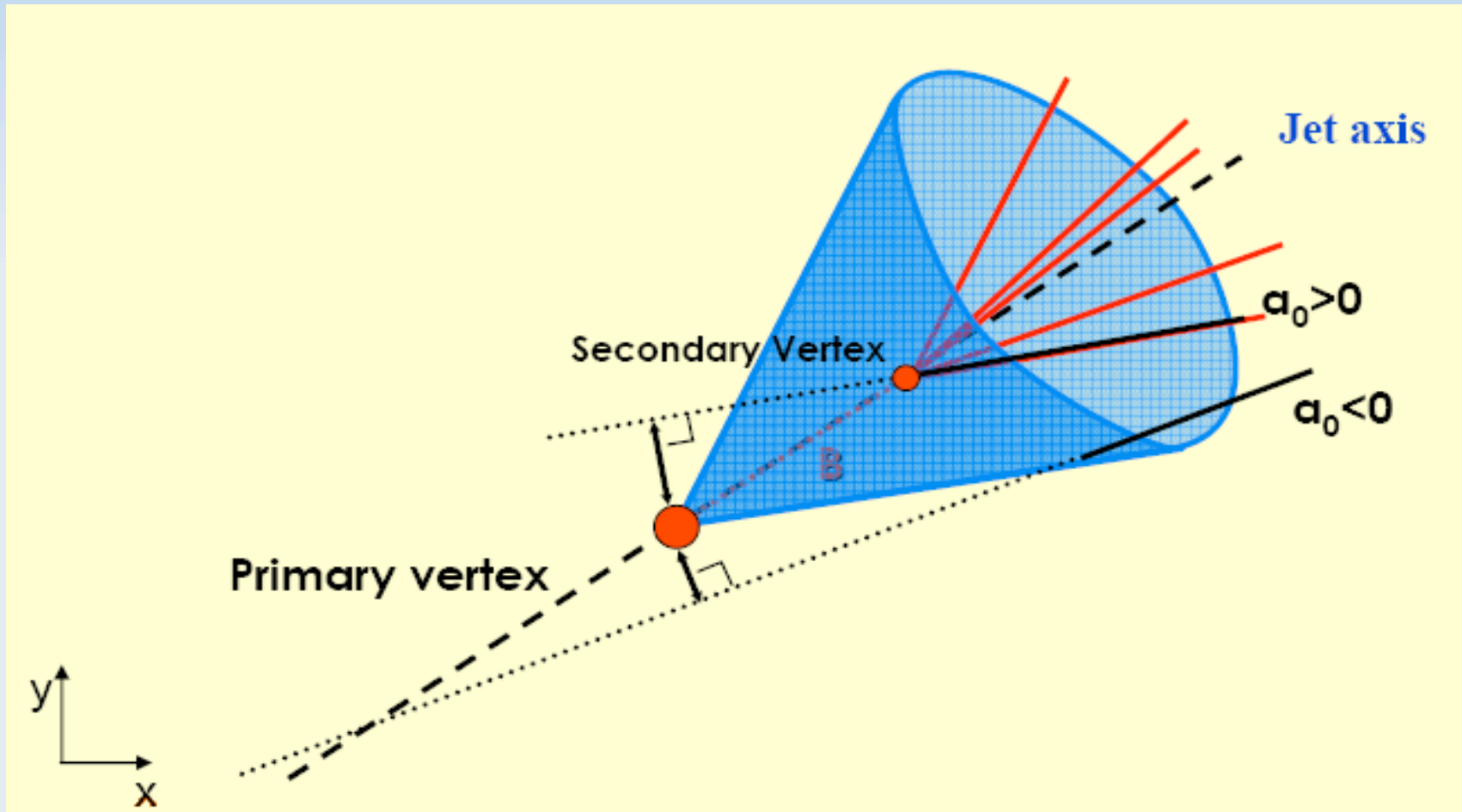
# B-tagging - jak?



- Cílem b-taggingu je na základě rekonstruovaných drah a vertexů rozhodnout, zda daný jet pocházel z b-quarku či ne
- Rozhodovací algoritmy se nazývají “tagger”
  - Taggerů je mnoho druhů, dělí se podle toho, jaké pozorovatelné používají k rozhodování
  - Jako nejefektivnější se ukazuje kombinace několika taggerů

# Příklad: IP tagger

- IP znamená **impact parameter**



# Příklad: IP tagger (2)



- Z hodnoty impact parametru  $a_0$  se určí tzv. Signifikance impact parametru  $S$ :

$$S = \frac{a_0}{\sigma(a_0)}$$

- $\sigma(a_0)$  je rozlišení detektoru ve směru měření impact parametru
- Každá dráha příslušná k danému jetu má svoji hodnotu signifikance impact parametru

# Příklad: IP tagger (3)



- Distribuce signifikance IP je rozdílná pro b-jety a pro lehké jety
- Tyto distribuce lze najít pomocí Monte Carla => kalibrace b-taggingu
- Pokud znám distribuci signifikance IP mohu určit pravděpodobnost toho, že dráha  $i$  s určitou hodnotou signifikance IP  $S_i$  pochází z b-jetu/lehkého jetu.
  - Pravděpodobnosti označím  $b(S_i)$ , resp.  $u(S_i)$



# Příklad: IP tagger (4)



- Pravděpodobnost, že zkoumaný jet je b-jet je pak rovna součinu pravděpodobností, že jednotlivé dráhy náležejí b-jetu:

$$p_b(S_1, S_2, \dots, S_n) = \prod_i^n b(S_i)$$

- Analogicky pro lehký jet:

$$p_u(S_1, S_2, \dots, S_n) = \prod_i^n u(S_i)$$

# Příklad: IP tagger (5)



- Kvalitu selekce měří dva parametry:
  - Efektivita, tj. Jakou část signálu jsme vybrali
  - Čistota, tj. Jakou část našeho výběru tvoří pozadí
- Optimální výběr je takový, který pro danou efektivitu zajistí maximální čistotu vzorku
- Neyman-Pearson lemma říká, že optimální testovací statistika je podíl signálu a pozadí, a její libovolná monotónní funkce

# Příklad: IP tagger (6)



- V případě b-taggingu se testovací statistika nazývá váha jetu a počítá se jako logaritmus podílu  $p_b$  a  $p_u$

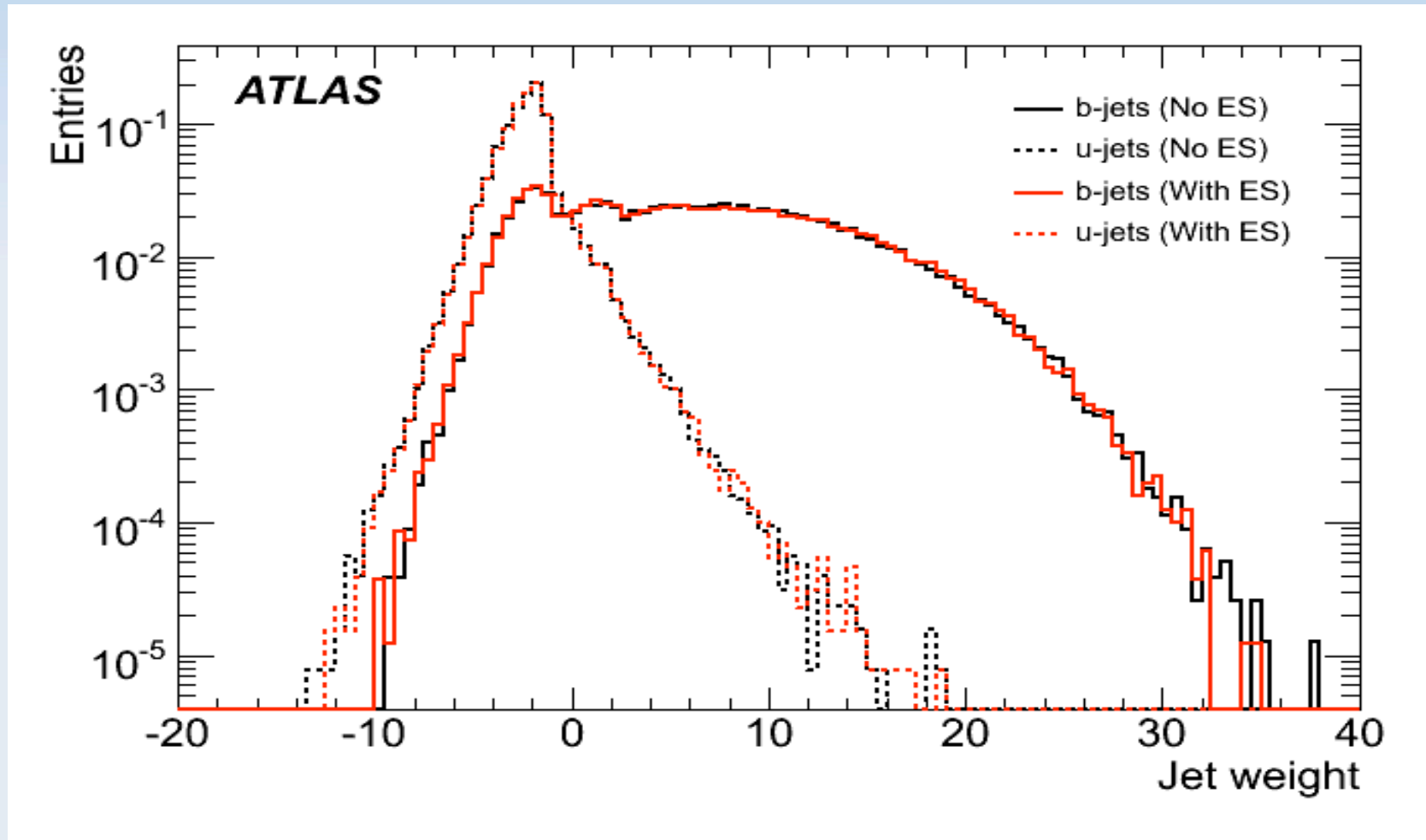
$$W = \sum_i^n \ln \frac{b(S_i)}{u(S_i)}$$

- Váha umožňuje rozlišit mezi b-jety a lehkými jety

# Příklad: IP tagger (7)



- Distribuce váhy jetu pro b-jety a lehké jety



# Příklad: IP tagger (8)



- Vidíme, že distribuce je velmi rozdílná, umožňuje tudíž rozlišit mezi b-jety a lehkými jety
- Rozlišuje se pomocí nastavení cutu
- Standardní rozhodovací cut je 4.5
  - Pokud je hodnota váhy menší, je jet označen jako lehký
  - Pokud je hodnota váhy vyšší, je jet označen jako b-jet

# Jiné taggery

- Ostatní taggery používají komplikovanější rozhodovací kritéria, ale princip je stejný:
  - Na základě Monte Carla se najde distribuce vybrané pozorovatelné
  - Zkoumaný jet se s ní porovná
  - Vhodně zkonstruovaná testovací statistika rozhodne, zda jet je, či není b-jet

# Přehled některých taggerů



Spatial taggers based on likelihood ratios		
IP1D	Long. impact parameter	Mostly for debugging
IP2D	Trans. impact parameter	Simple, robust
IP3D		Combination of two above
SV1 (not for standalone)	Secondary vertex	Powerful, but delicate
SV2 (not for standalone)		Variation on SV1
IP3D+SV1	Recommended combination for physics studies	
JetFitter	Secondary vertex	New (in rel 13)
Other taggers		
JetProb	Impact parameter	à la ALEPH
SoftElectron	ECAL+TRT+tracker	
SoftMuon	MU+tracker	(HCAL not used yet)
.....	Counting tracks w/ IP	(in preparation)

# Určení výkonu b-taggingu



- 2 klíčové veličiny
  - **Efektivita b-taggingu** = počet identifikovaných b-jetů/ počet všech b-jetů
  - **Light jet rejection** =  $1/\text{efektivita light-taggingu}$ 
    - tj. určuje podíl špatně identifikovaných b-jetů
    - Např. Rejections = 100 znamená, že 1 ze 100 jetů označených jako b-jet je ve skutečnosti light jet
    -
- Pozn. Light jet pochází z **u,d,s,g**



# Vliv misalignmentu



- Naše skupina zkoumala vliv misalignmentu na kvalitu b-taggingu
- Misalignment je stav, kdy je skutečná geometrická konfigurace detektoru rozdílná od té, co používáme pro rekonstrukci
- Díky tomu jsou naše výsledky zatížené chybou, která ovlivňuje kvalitu b-taggingu

# Vliv misalignmentu (2)



- Abychom prozkoumali vliv misalignmentu, definovali jsme několik sad, které popisují různé úrovně misalignmentu (viz další slidy)
- Zkoumali jsme i efekt tzv. Error scalingu, který umí do určité míry zabránit ztratám kvality kvůli misalignmentu
- Vše je zhrnuto v CSC note, která byla dokončena minulý měsíc

- **Perfect**
  - Perfektní alignment, tag **OFLCOND-CSC-00-01-01**
- **ResIni**
  - Ručně vnesený misalignment ( $\sim 10 \mu\text{m}$ ), v note označený “Random10”, tag **OFLCOND-CSC-00-01-02**
- **ResFinal**
  - Ručně vnesený misalignment ( $\sim 5 \mu\text{m}$ ), v note označený “Random5”, tag **OFLCOND-CSC-00-01-03**
- **Aligned**
  - Realistický alignment poskytnutý alignment group, tag **OFLCOND-CSC-00-01-04**

# Sady alignmentů - podrobně



- **Perfect**

- Ideální případ, všechny detekční moduly jsou na svých místech

- **Aligned**

- Sada vyprodukovaná oficiálním k tomu určeným algoritmem
- Obsahuje některé systematické deformace (posuny a rotace mezi vrstvami/disky)
- Neobsahuje deformace velkých struktur (disky, lišty), ačkoli je známo, že existují => sada je poněkud optimistická
- Nejvíce realistická sada v této studii

# Sady alignmentů - podrobně



## ■ Random10

- Pouze pro pixelový detektor
- Jednotlivé moduly byly náhodně vychýleny a pootočeny (viz příští slide)
- Podobně byly posunuty a pootočeny celé disky/vrstvy
- Malý náhodný posun byl aplikován na celý pixelový detektor
- Je to odhad pro stav na počátku sběru dat

## ■ Random5

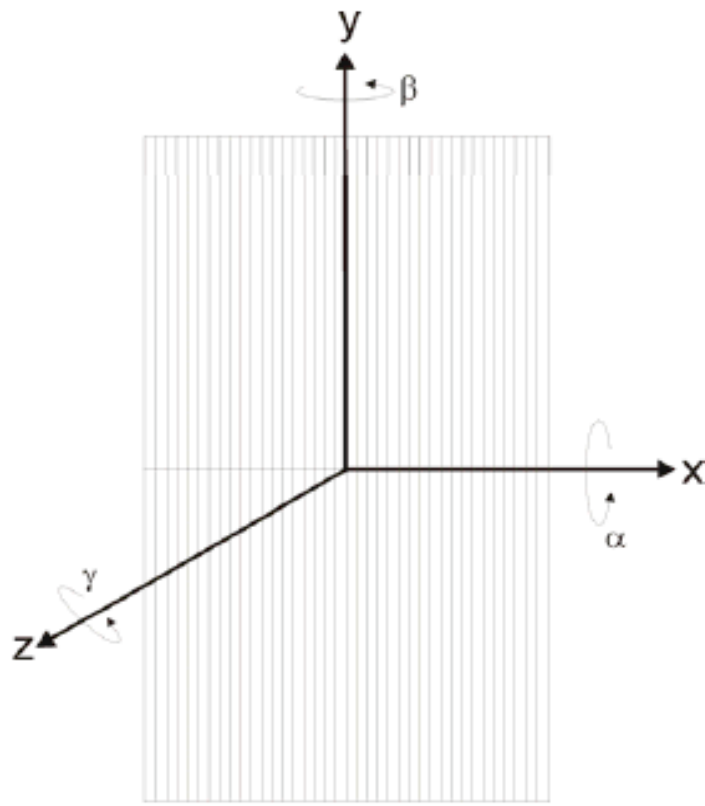
- Podobně jako předchozí, jen posuny a rotace byly zhruba poloviční
- Odhad pro stav po několika letech sběru dat

# Sady náhodného misalignmentu



From Grant Gorfine

Pixel Only



**Initial**

ResIni/Random10 (Guess of Initial running)

	x	y	z	RotX	RotY	RotZ
Module	10	30	30	0.3	0.5	0.2
layer	10	10	15	0.05	0.05	0.1
disk	10	10	30	0.2	0.2	0.1
all	10	10	15	0.1	0.1	0.1

**Final**

ResFinal/Random5 (Guess of Final running)

	x	y	z	RotX	RotY	RotZ
Module	5	15	15	0.15	0.3	0.1
layer	7	7	10	0.02	0.02	0.05
disk	7	7	20	0.1	0.1	0.05
all	7	7	10	0.05	0.05	0.05

Displacements in micron, Rotations in mrad

# Error Scaling - proč?



- **Dokonale seřazený detektor:**
  - Všechny chyby jsou správně určeny, normalizace k 1
- **Špatně seřazený detektor:**
  - Máme chyby navíc, normalizace ale stejná jako předtím => nevyjde 1
  - Ovlivní to: přiřazení hitu k dráze a tracking=> **vertexing, přesnost určení impakt parametru**  
=> B-tagging
- **Chyby trackingu musí být správně přiřazeny**

# Error Scaling - výpočet



- 2 parametry modifikují error matici:

$$\sigma'^2 = a^2 \cdot \sigma^2 + c^2$$

- $\sigma$  je chyba určená standardním algoritmem
- $a$  koriguje nepřesnosti v určení vlastní chyby. Získá se z dokonalého seřazení tak, že budu brát šířky normalizovaných distribucí chyb. Je třeba několik iterací.
- $c$  koriguje efekty přicházející čistě ze špatného seřazení. Získá se z detektoru se špatným seřazením. Opět je třeba několik iterací.



# Error Scaling - výsledky



*From Grant Gorfine*

	All	Perfect	Random10	Random5	Aligned
	a	c( $\mu\text{m}$ )	c( $\mu\text{m}$ )	c( $\mu\text{m}$ )	c( $\mu\text{m}$ )
<b>Pixel Barrel Phi</b>	1.03	0	31	13	3
<b>Pixel Barrel Eta</b>	0.97	0	71	34	13
<b>Pixel Endcap Phi</b>	1.05	0	30	14	3
<b>Pixel Endcap Eta</b>	1.08	0	43	11	15
<b>SCT Barrel</b>	0.78	0	0	2	7
<b>SCT Endcap</b>	0.86	0	6	5	8
<b>TRT Barrel</b>	0.82	0	11	3	37
<b>TRT Endcap</b>	0.77	0	11	10	19

- **ttbar**
  - obsahuje semi-leptonický a di-leptonický kanál
  - Pro měření efektivity *b-taggingu* i light-taggingu
- **$WH(M_H = 120) \rightarrow uu/bb$** 
  - 2 podvzorky. Rozpad na  $\mu\nu uu$  se užívá k výpočtu efektivity light-taggingu, rozpad na  $\mu\nu bb$  se užívá na efektivity b-taggingu
- **8 datasetů bylo cetrálně vyprodukováno**
  - 4 typy alignmentu s/bez error scalingu
  - Rekonstruováno Athenou verze 13.0.30.4
  - Alespoň 50k eventů v každém datasetu

# Efekt misalignmentu na tracking



- WH  $\rightarrow$   $\mu\nu$ bb bylo užito na měření výkonu trackingu s misalignment a za použití error scalingu

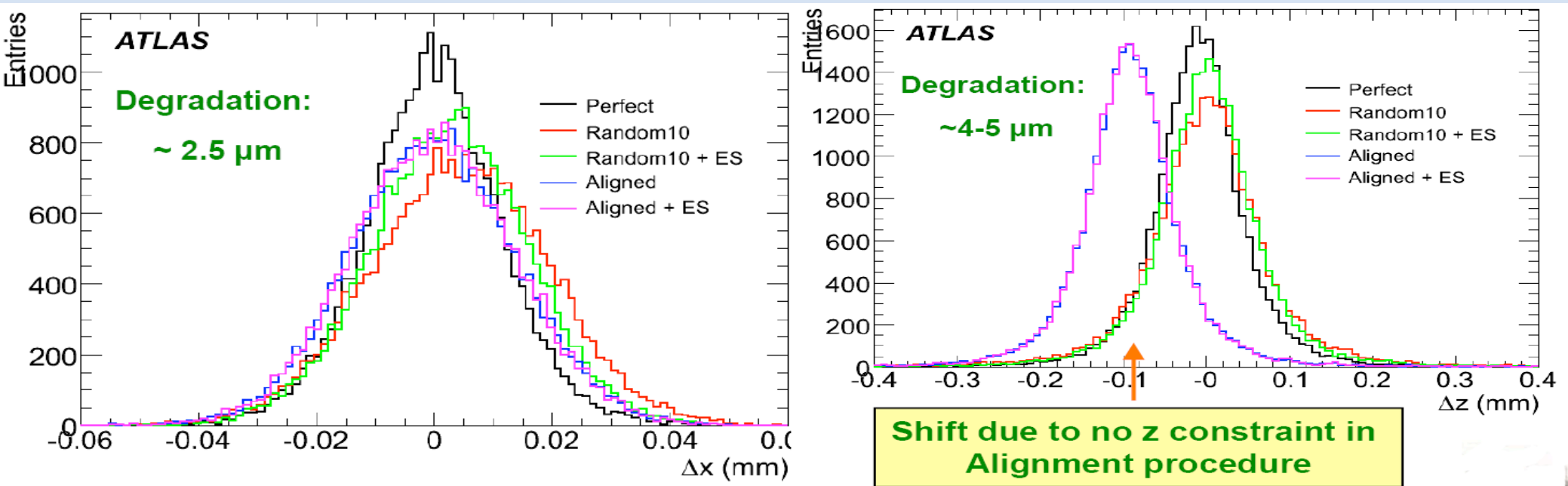
*From Grant Gorfine*

Setup	Efficiency (%)	Fake rate (%)
Perfect	$97.09 \pm 0.02$	$2.33 \pm 0.02$
Random10	$95.50 \pm 0.03$	$2.46 \pm 0.02$
Random10 + Error scaling	$97.22 \pm 0.02$	$2.29 \pm 0.02$
Aligned	$97.07 \pm 0.02$	$2.34 \pm 0.02$
Aligned + Error Scaling	$97.04 \pm 0.02$	$2.27 \pm 0.02$

# Efekt misalignmentu na vertexing



- **Efektivita nalezení primárního vertexu** (počet rekonstruovaných / Monte Carlo) nebyla ovlivněná misalignmentem: **99.7 %** pro všechny scénáře
- Rozlišení primárního vertexu (Monte Carlo – rekonstruovaný)



Degradace s misalignmentem, náprava s error scalingem

# Efekt misalignmentu na b-tagging: WH



- Light Jet rejections (1/efektivita light-taggingu)

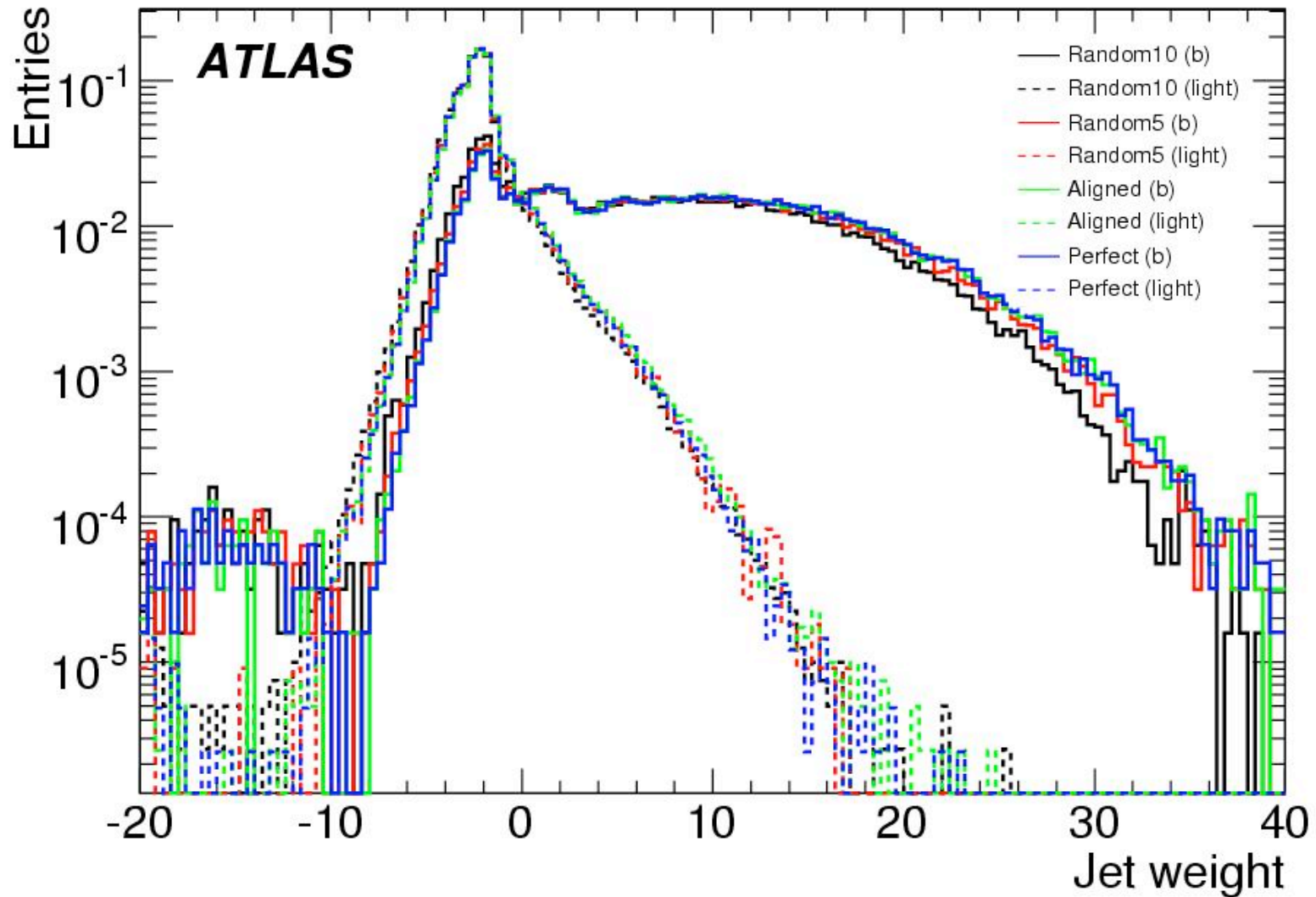
Setup	Rejection rate			
	IP3D (50%)	IP3D (60%)	IP3D+SV1 (50%)	IP3D+SV1 (60%)
Perfect	211 ± 4	67 ± 1	399 ± 11	104 ± 2
Perfect + ES	215 ± 5	67 ± 1	372 ± 11	98 ± 2
Random10	51 ± 1	23 ± 1	49 ± 1	21 ± 1
Random10 + ES	80 ± 1	29 ± 1	166 ± 3	49 ± 1
Random5	144 ± 3	49 ± 1	165 ± 3	53 ± 1
Random5 + ES	182 ± 7	53 ± 1	311 ± 16	80 ± 2
Aligned	193 ± 4	62 ± 1	300 ± 8	84 ± 1
Aligned + ES	190 ± 4	62 ± 1	306 ± 8	87 ± 1

- Random10: -50 % výkonu (-75% bez ES)
- Random5: -30 % výkonu (-50% bez ES)
- Aligned: -20 % výkonu (-20% bez ES)

# Effect misalignmentu na b-tagging: WH



- Váhy jetů (s ES)



# Efekt misalignmentu na b-tagging: ttbar



- Light Jet rejections (1/efektivita light-taggingu)

Setup	Rejection rate			
	IP3D (50%)	IP3D (60%)	IP3D+SV1 (50%)	IP3D+SV1 (60%)
Perfect	$238 \pm 11$	$68 \pm 2$	$480 \pm 30$	$166 \pm 6$
Perfect + ES	$244 \pm 11$	$70 \pm 2$	$474 \pm 30$	$161 \pm 6$
Random10	$86 \pm 2$	$32 \pm 1$	$95 \pm 3$	$38 \pm 1$
Random10 + ES	$71 \pm 2$	$25 \pm 0$	$242 \pm 11$	$77 \pm 2$
Random5	$192 \pm 7$	$56 \pm 1$	$290 \pm 14$	$95 \pm 3$
Random5 + ES	$133 \pm 4$	$46 \pm 1$	$360 \pm 20$	$116 \pm 4$
Aligned	$234 \pm 10$	$67 \pm 2$	$442 \pm 27$	$143 \pm 5$
Aligned + ES	$206 \pm 8$	$62 \pm 1$	$428 \pm 24$	$138 \pm 5$

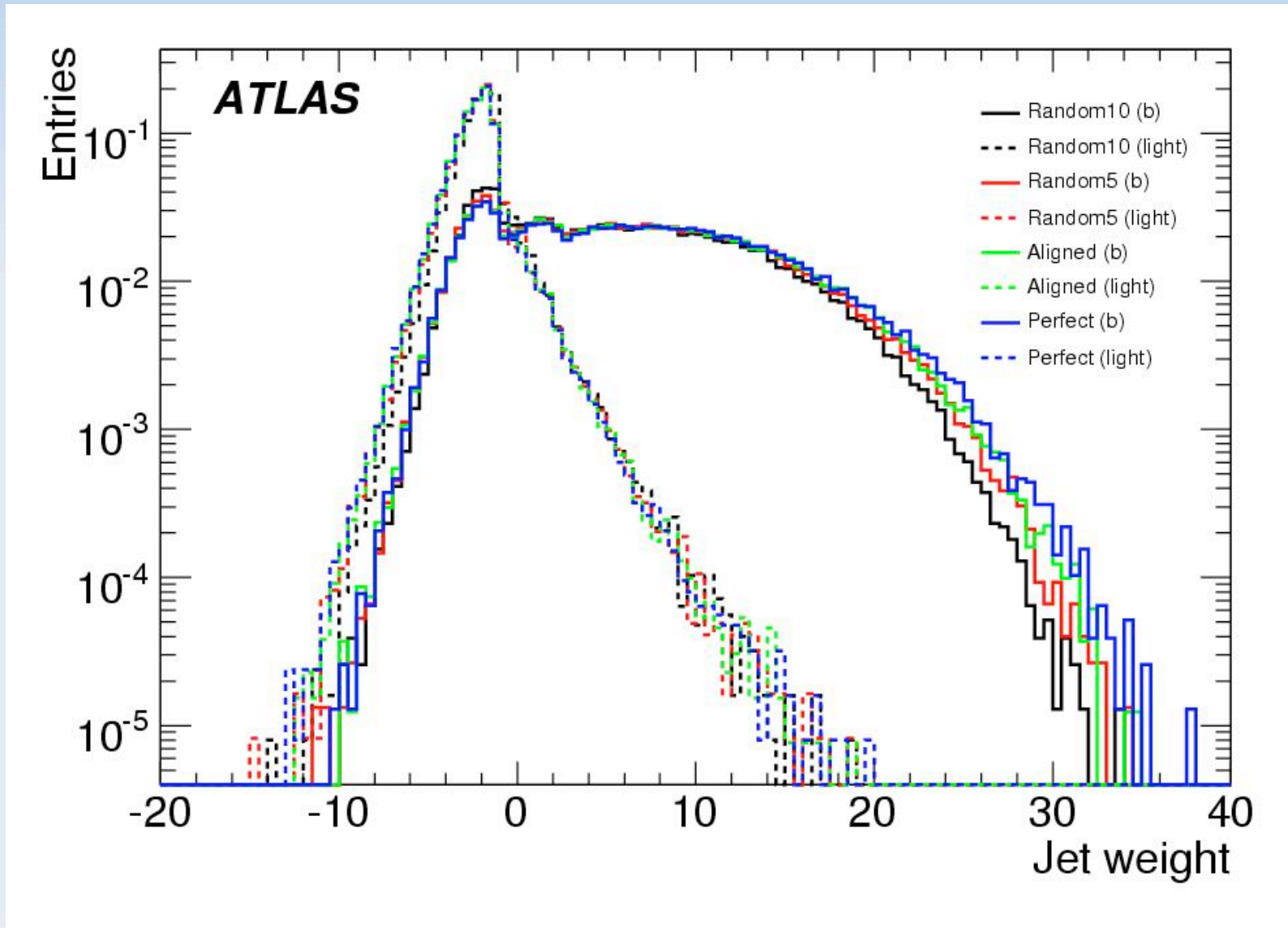
- Random10: -50 % výkonu (-75% bez ES)
- Random5: -30 % výkonu (-50% bez ES)
- Aligned: -20 % výkonu (-20% bez ES)



# Efect misalignmentu na b-tagging: $t\bar{t}b\bar{b}$



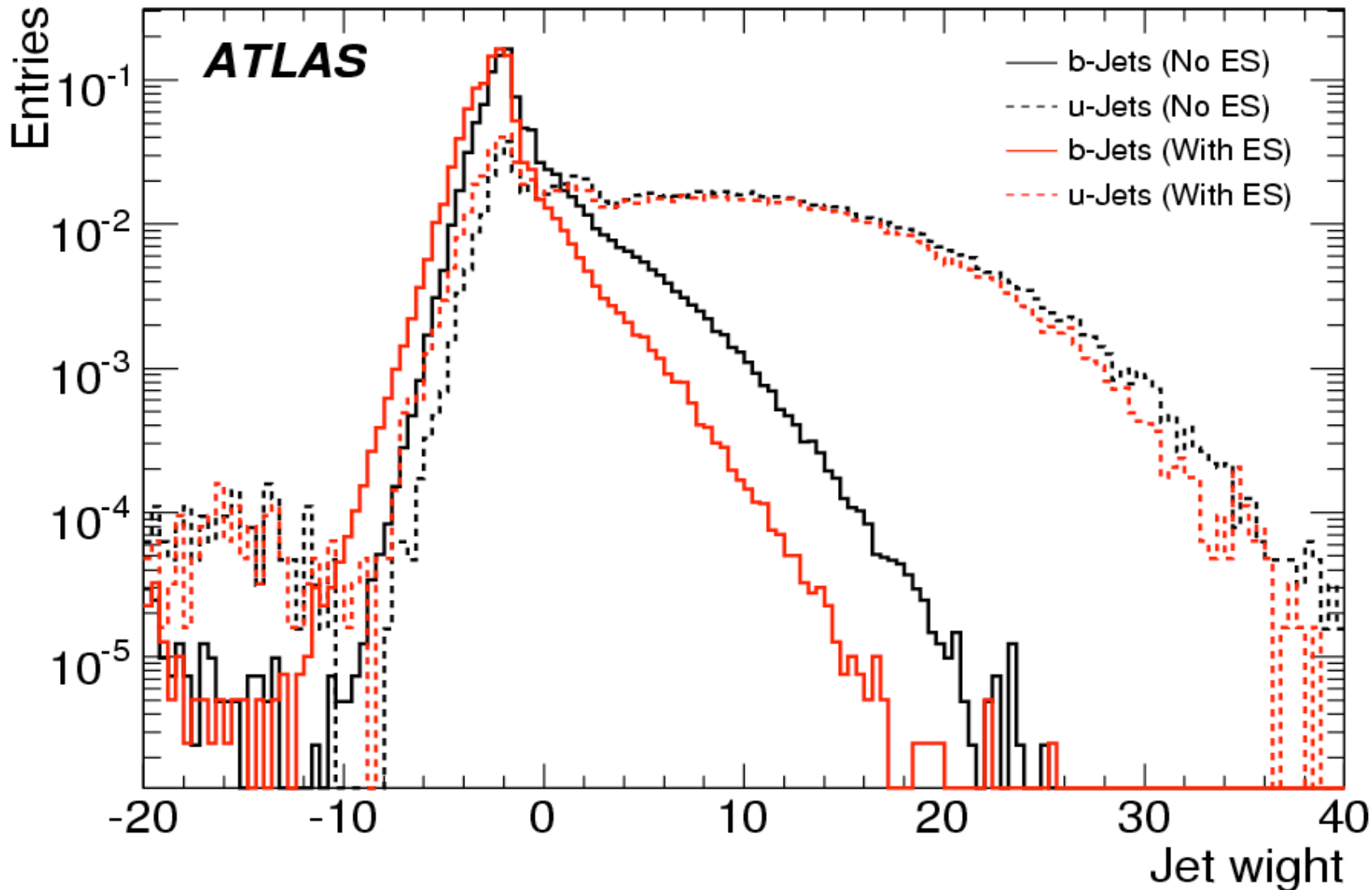
- Váhy jetů (s ES)





# Efekt Error Scalingu

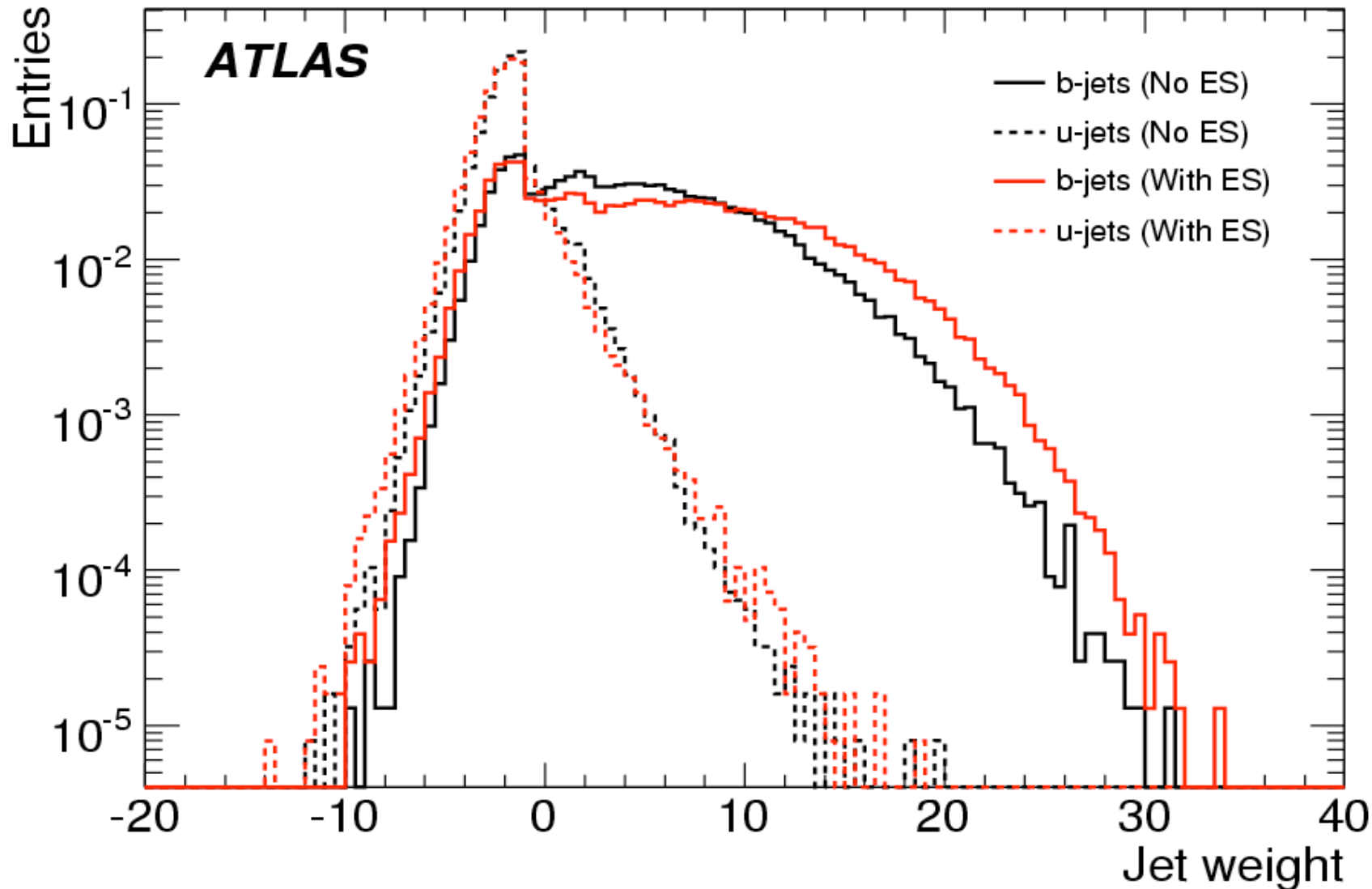
- Největší pro **Random10**



**WH**

# Efekt Error Scalingu

- Největší pro **Random10**

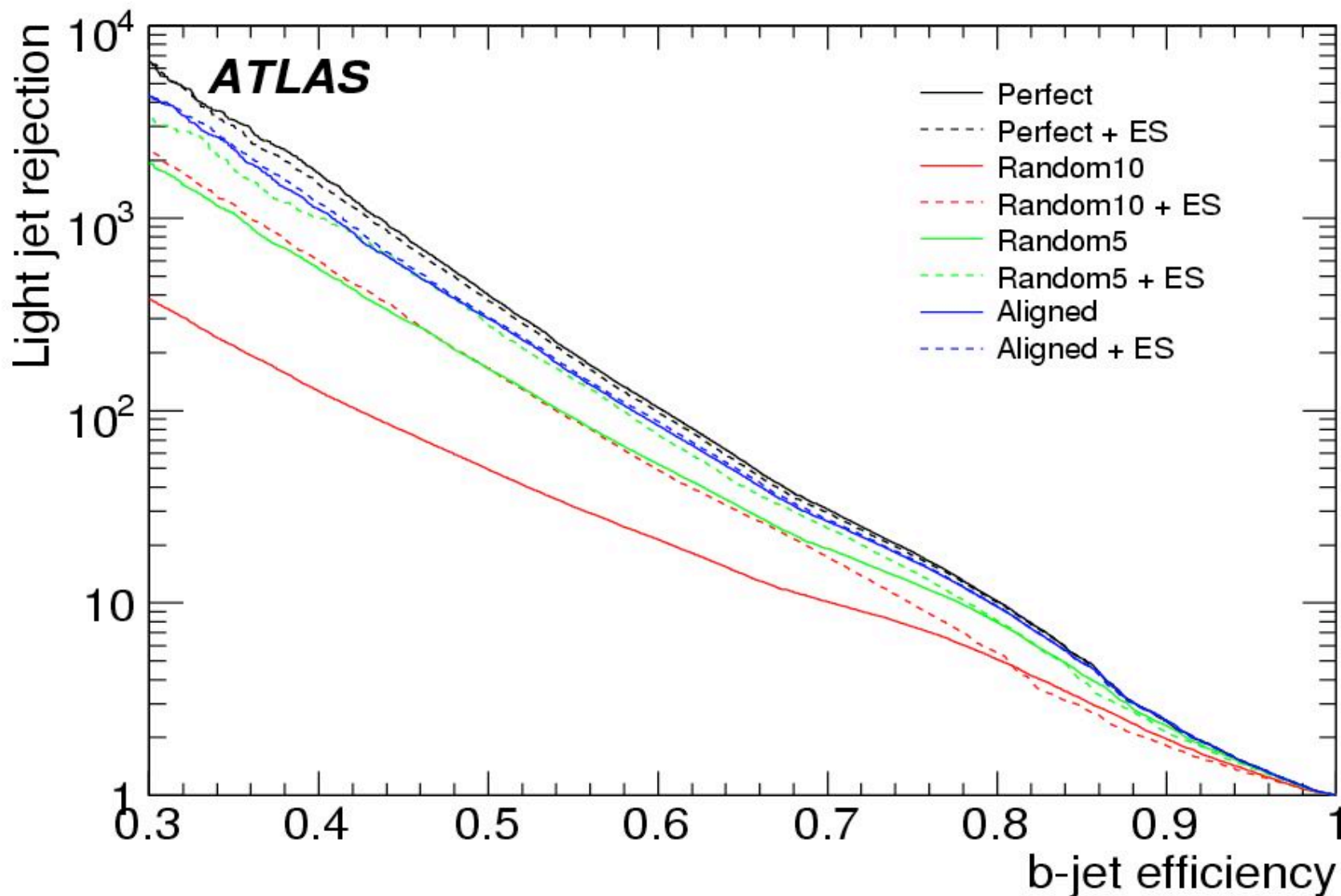


**ttbar**

# Efekty misalignmentu a error scalingu



- Největší pro **Random10**

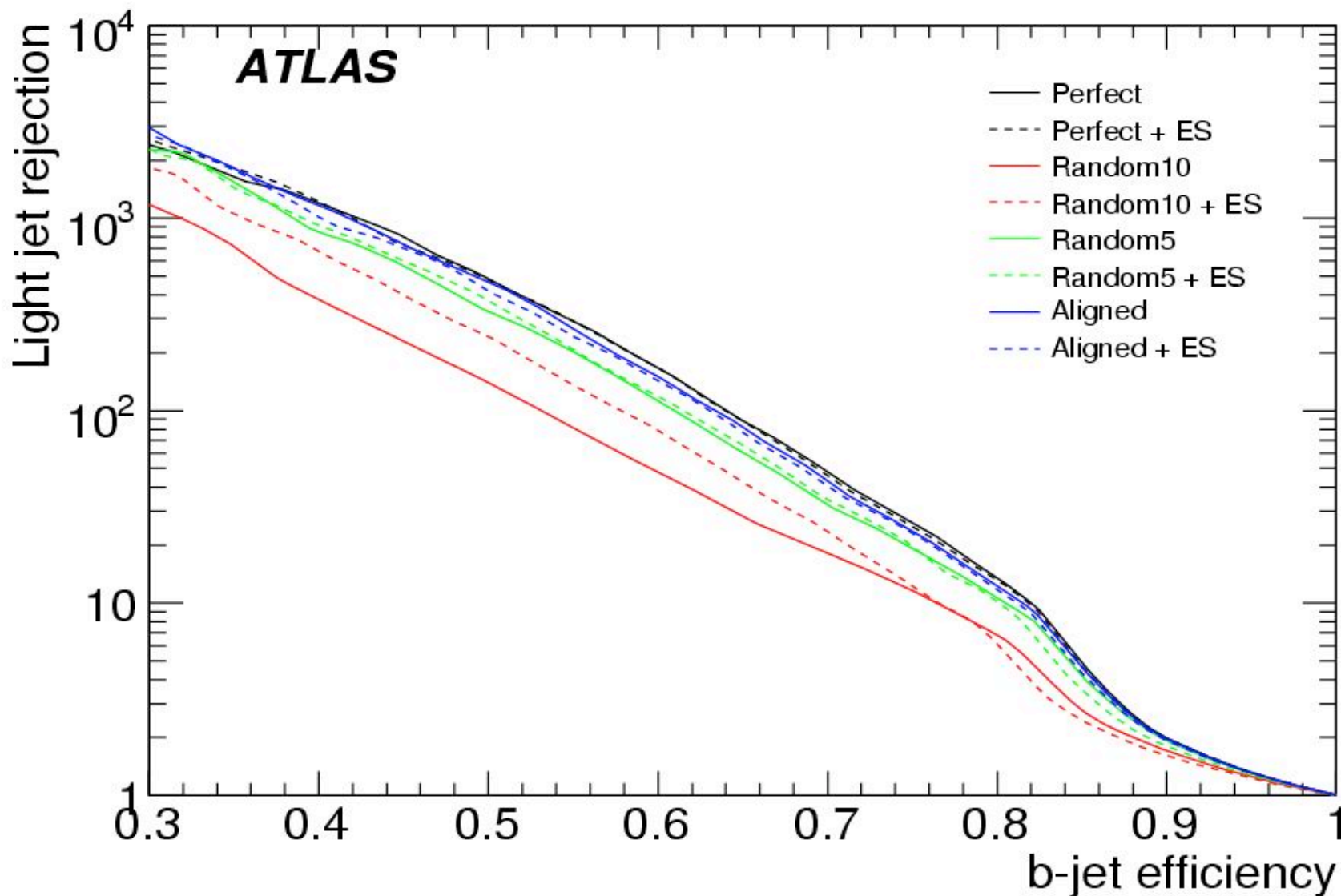


**WH**

# Efekty misalignmentu a error scalingu



- Největší pro **Random10**

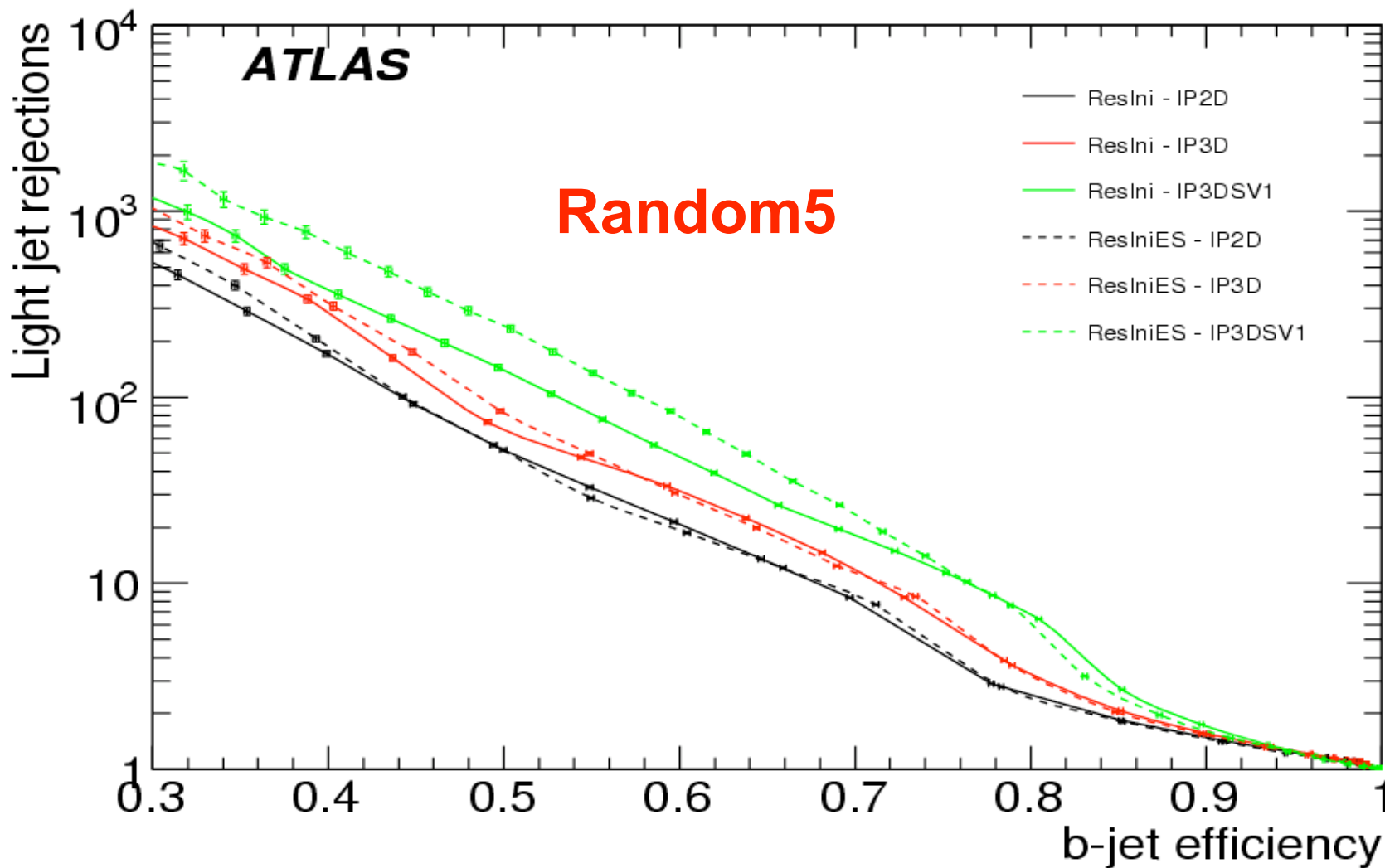


**ttbar**

# Efekty misalignmentu a error scalingu



- Různé taggery; **největší pro kombinovaný tagger**

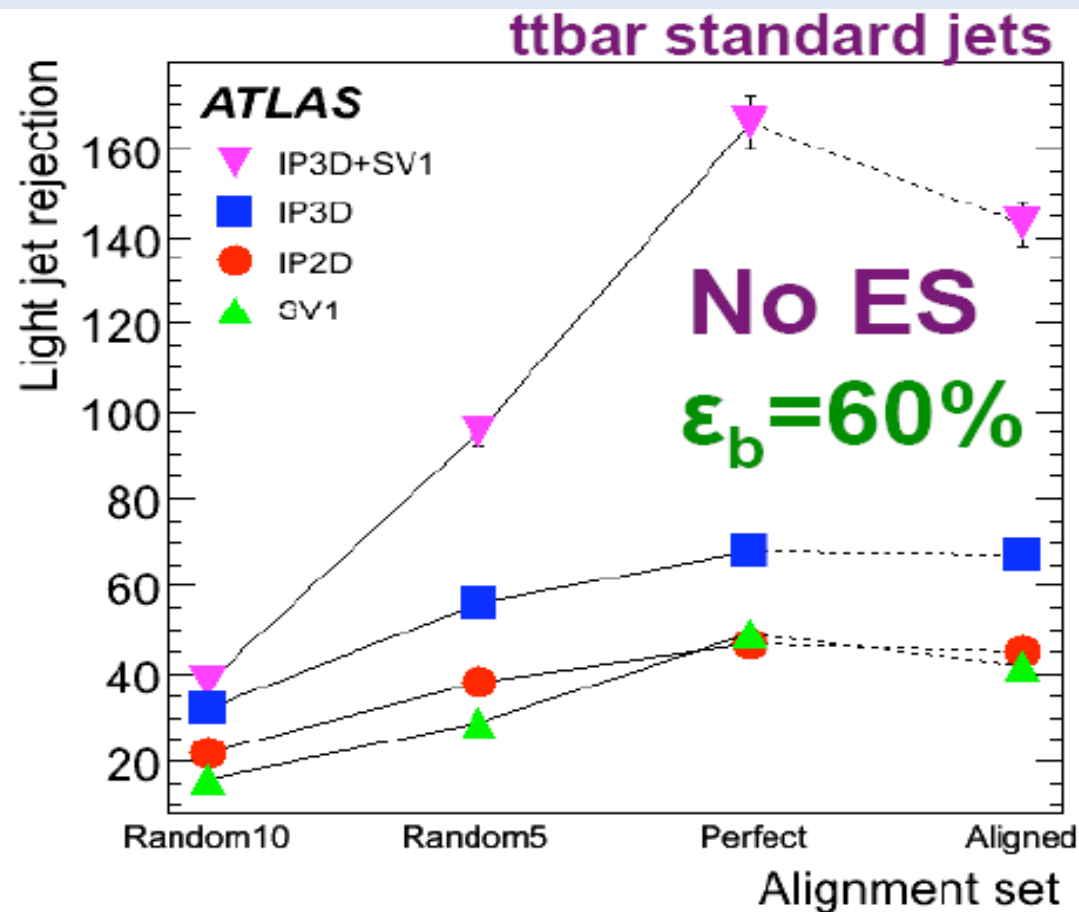
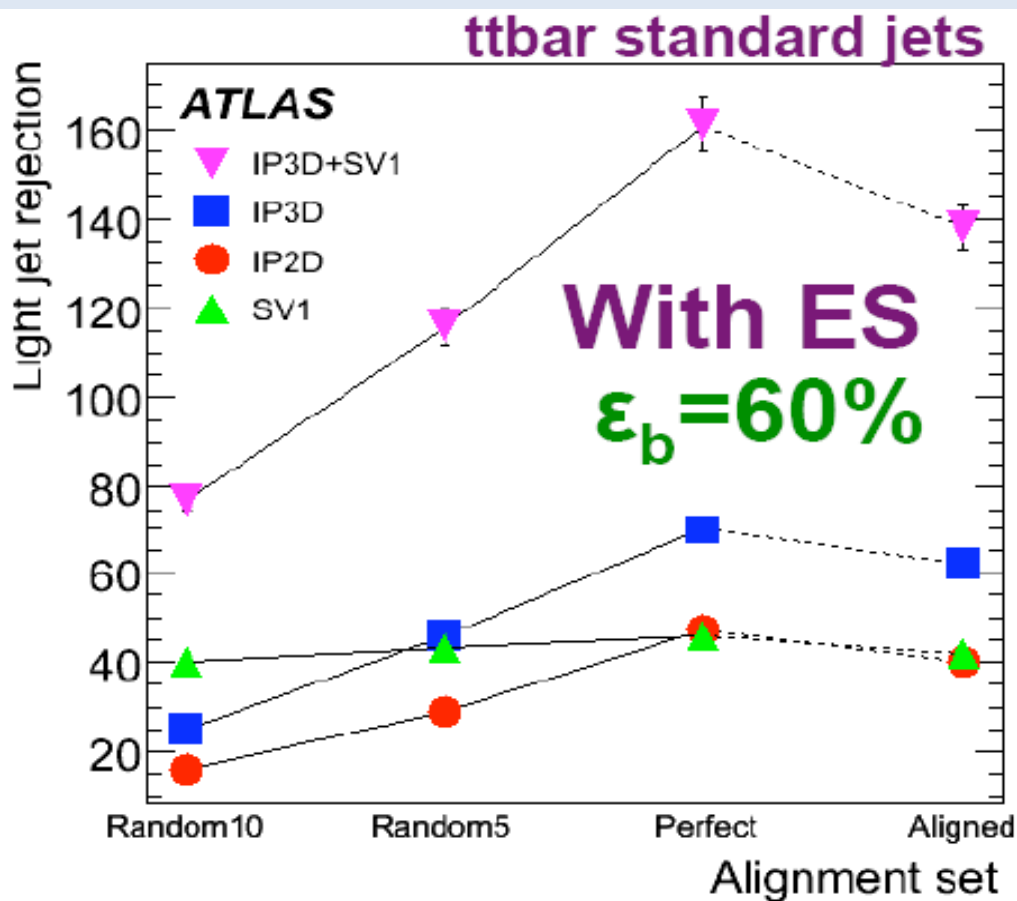


**ttbar**

# Různé taggery

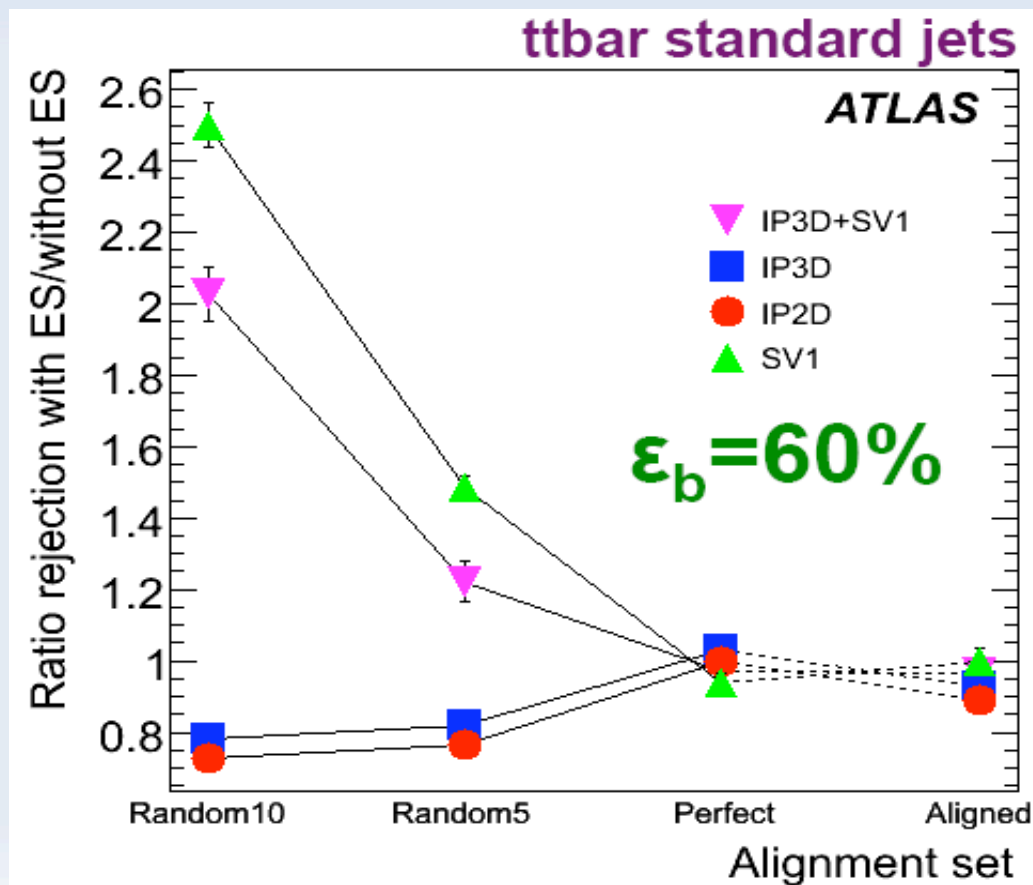


- Light Jet rejections pro různé taggery a alignment sady
- Pro  $t\bar{t}b$ , 60% efektivita b-taggingu
- S a bez error scalingu



# Vliv error scalingu

- Nejlepší vliv na SV1 a kombinovaný tagger
- Větší vliv na větší misalignment
- Degradace pro samotný IP tagger



# Závěry



- Vliv misalignmentu na tracking je malý a opravitelný error scalingem.
- Rozlišení určení primárního vertexu je degradováno o  $2.5 \mu\text{m}$  s misalignmentem a ES.
- Kvalita b-taggingu je snížena s misalignmentem, úměrně hodnotě posunu měřících modulů
- IP taggery jsou nejvíce ovlivněny misalignmentem, error scaling zde nepomůže.
- Error scaling byl velmi důležitý pro taggery SV a kombinovaný tagger: pomohl navrátit většinu výkonu.



# Závěry



- Realistický scénář “Aligned” dal optimistické výsledky: kvalita b-taggingu byla snížena jen velmi jemně
  - ttbar:
    - 10 % at 50% efficiency for standard jets
    - 14 % at 60% efficiency for standard jets
  - WH
    - 18 % at 50 % efficiency for standard jets
    - 11 % at 60 % efficiency for standard jets

# Další kroky



- Podrobnější studie vlivu jednotlivých veličin (proč ES u SV taggerů pomáhá a u IP ne, ...)
- Použití dalšího alignment setu vyprodukovaného alignment skupinou
- Rekonstrukce s nejnovější verzí softwaru (ver. 14) (obsahuje řadu zlepšení oproti verzi 13)
- Zkoumání jiných druhů misalignmentu (ohyby, zkroucení modulů...)