



Matematika a velké dalekohledy

Petr Kubánek, Vera C. Rubin Observatory

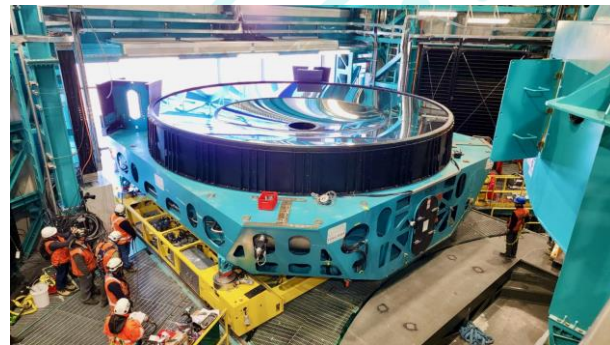
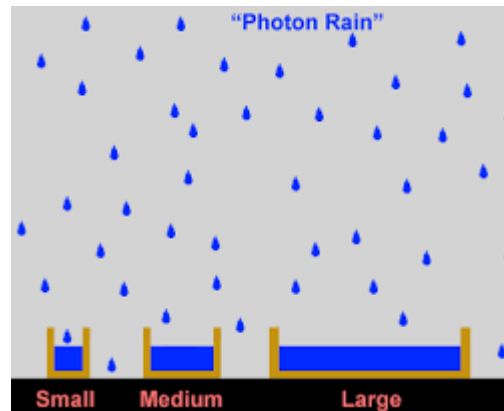


U.S. DEPARTMENT OF
ENERGY



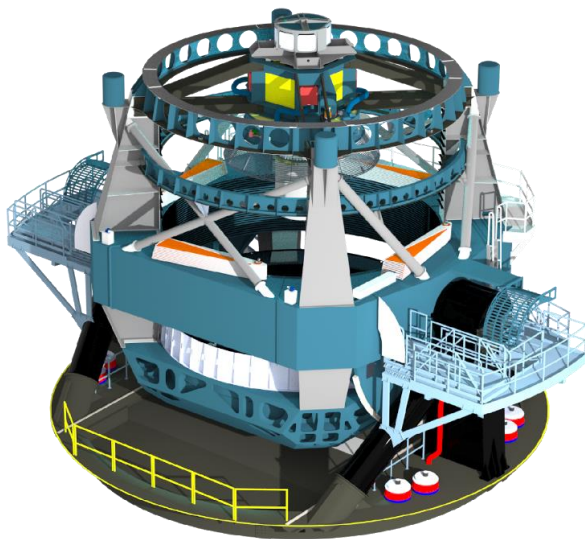
- Softwarový inženýr (MFF UK) / Soft Computing (Universidad de Granada)
- Diplomová práce na MFF UK: Systém pro řízení plně robotický observatoří / RTS2(.org)
- Zkušenosti s instalací a provozem dalekohledů (Španělsko, USA, Chile, Čína, Jihoafrická Republika, Nový Zéland, ...)
- Od malých (30 cm) plně robotických dalekohledů k těm největším (LBTO, 2x8.4m primární zrcadla, LSST 8.4m primární a terciární zrcadlo)
- Primárně architekt, programátor, tester, analytik, ...

- Dalekohled jako light bucket - trychtýř na světlo
- Sklo - ideální materiál pro výrobu zrcadel
 - Dá se brousit - zaoblit do požadovaného tvaru
 - Rozumná teplotní roztažnost
 - Dá se pokovit - nanést tenkou odrazovou vrstvu materiálu
 - *Na 2.2m zrcadlo dalekohledu na CAHA 8g hliníku*

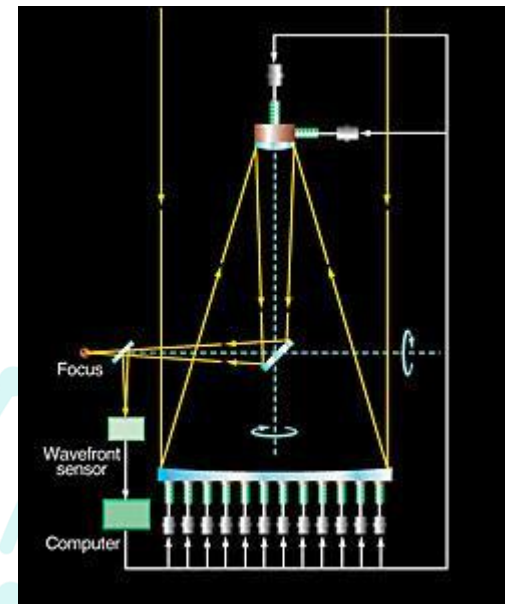


- Uchycení by mělo umožňovat pohyb a rotaci ve všech osách, aby bylo možné doladit optický systém
- Uchycení nesmí být pevné, protože sklo se nikdy nebude teplotně roztahovat stejně jako konstrukce dalekohledu
 - Koeficient teplotní roztažnosti borosilikátového skla $2.77 \times 10^{-6} / \text{K}$
 - Při změně $20 \text{ C}(=\text{K})$ cca 0.4 mm pro 8.4 m zrcadlo na LSST
- Sklo na zrcadlo nesmí být ani moc tenké, ani moc tlusté - zlomilo by se vlastní vahou

Adaptivní a aktivní optika

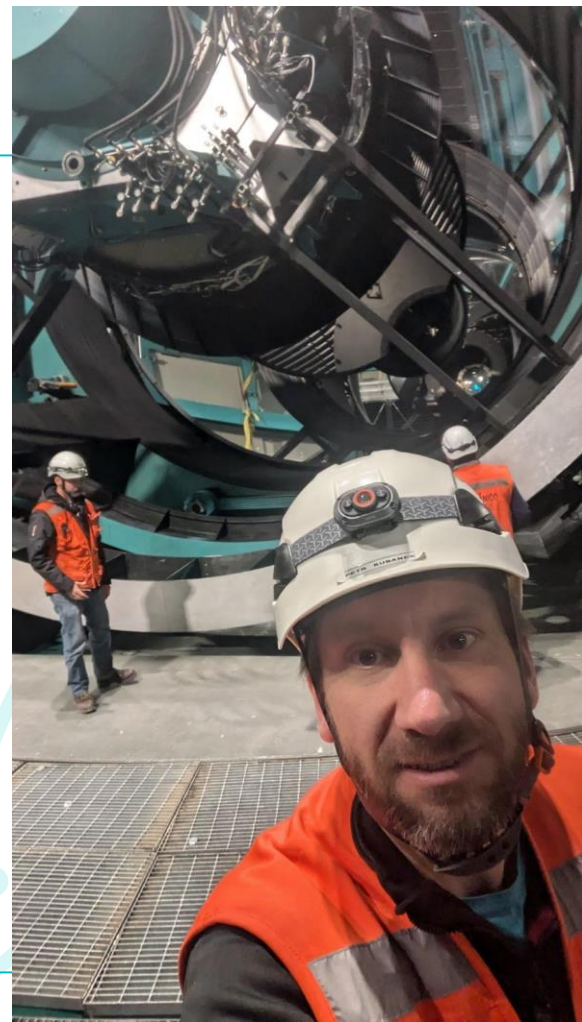
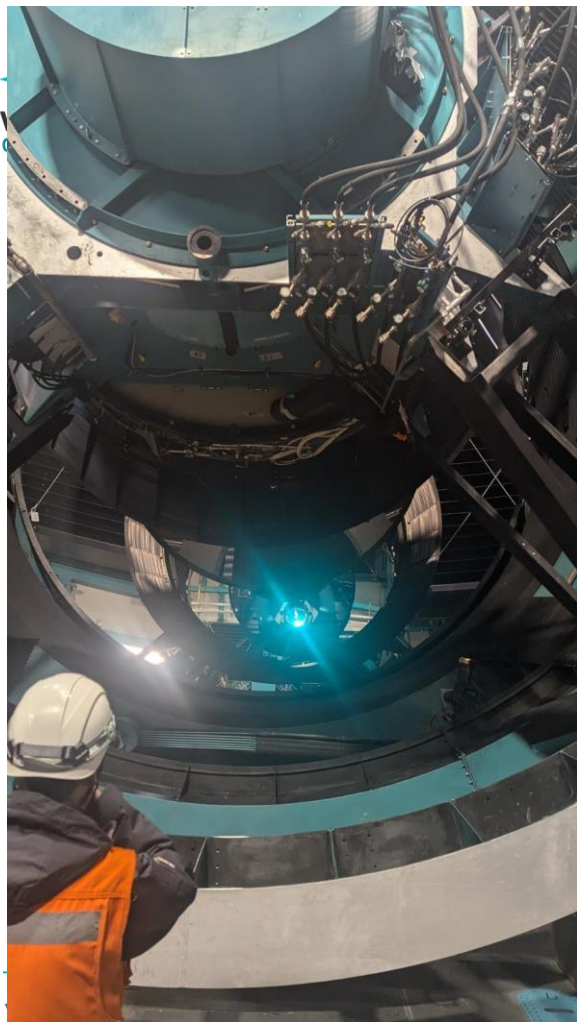


- zrcadla se vlivem rozdílného působení gravitace prohýbají
- úkolem aktivní optiky je tyto deformace vyrovnávat
- jedná se o systém s uzavřenou smyčkou - closed-loop system
- adaptivní optika používá podobné principy jako aktivní optika - pouze se adaptuje na prostředí, tedy mění tvar zrcadla dostatečně rychle aby bylo možné korigovat jevy vznikající rozdílnou trajektorií průchodu světla atmosférou



Systém aktivní optiky VLT.
Kredit: ESO





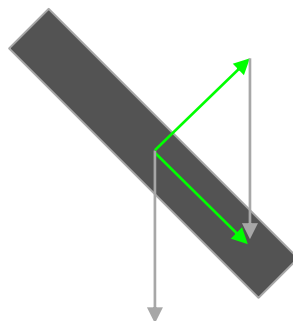
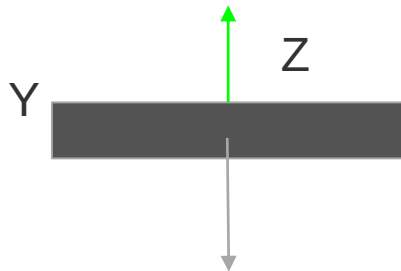
Aktivní a adaptivní optika

- reaguje na pomalé změny
- opravy spíše jednou za několik sekund
- není omezena výpočetním výkonem
- nutná podmínka pro adaptivní optiku

- reaguje na rychlé změny
- v desítkách Hz až ~tisíce Hz
- je omezena výpočetním výkonem
 - snaha o zrychlení přes paralizaci / HW (FPGA)

Jak uzavřít smyčku - gravitace

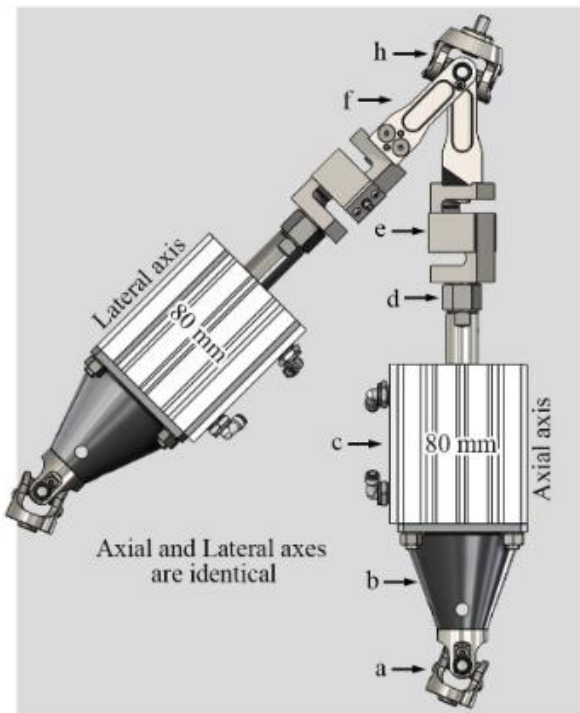
Gravitační síla, která “táhne” zrcadlo dolů, se rovná hmotnosti zrcadla v zenitu (dalekohled se dívá nahoru) pro Z osu (směřuje skrz zrcadlo). Pokud se zrcadlo nakloní, síla se rozkládá na Z a Y složku (Y osa směřuje u zrcadla na horizontu nahoru).



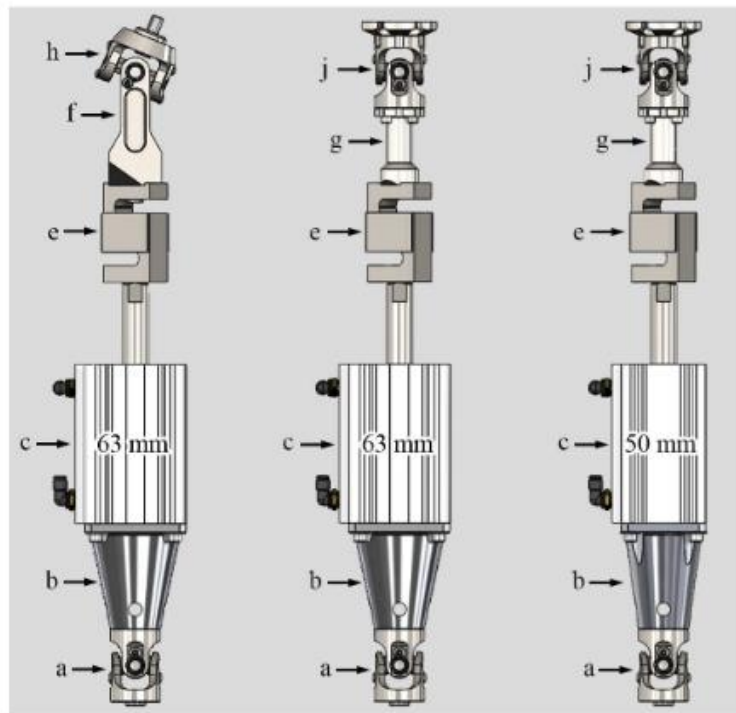
Gravitační síla

- Rozložení “tíhy” přes sin/cos
- Doladění přes senzory
 - Hardpointy - jediné “pevné” spojení zrcadla se zrcadlovou klecí
 - Load cell - tenzometrické snímače - umožňují změřit sílu
 - Hardpointy tvoří hexapod, vektor 6ti naměřených sil lze přes matici 6x6 transformovat na vektor 6ti sil translačních a rotačních

Single a Duální aktuátory



DAA for Triple, Quad
Puck Load Spreader



SAA for Triple
Puck Load Spreader

SAA for Dual
Puck Load Spreader

SAA for Single
Puck Load Spreader

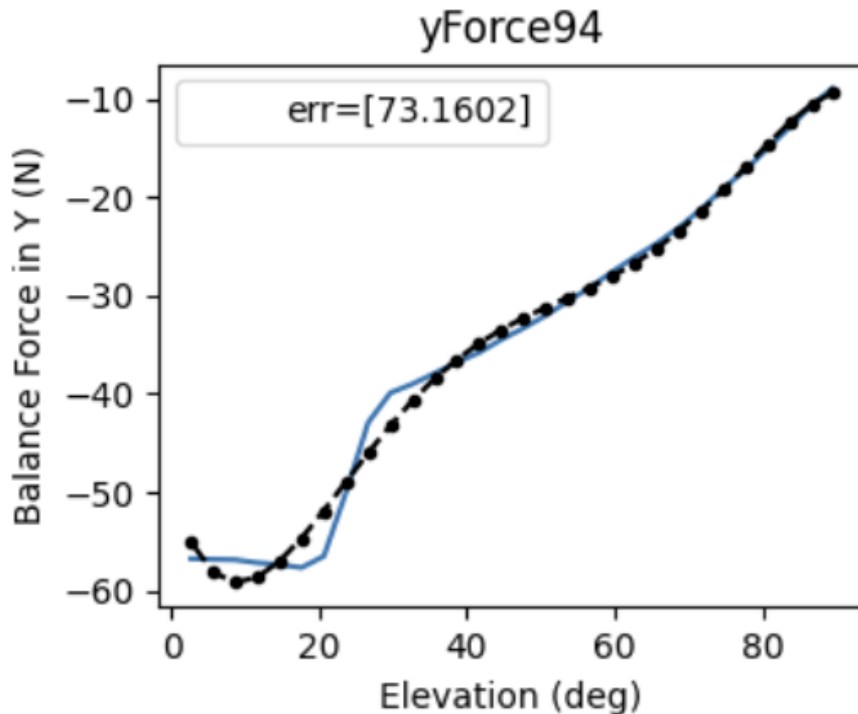
LBTO vs. LSST

- 2x8.4m primární zrcadlo
- přímý derivát MMT (1x6m primární zrcadlo)
- skutečně sin/cos, rozdělení na 112 aktuátorů přes distribuční matici
- VxWorks real-time OS

- 8.4m primární a terciární zrcadlo
- derivát LBTO, ale dost nepřímý
- 156 aktuátorů
- distribuce přes pětičlenný polynom - matice 156×5 , vstupní vektor jsou mocniny
- NI/Emerson cRIO

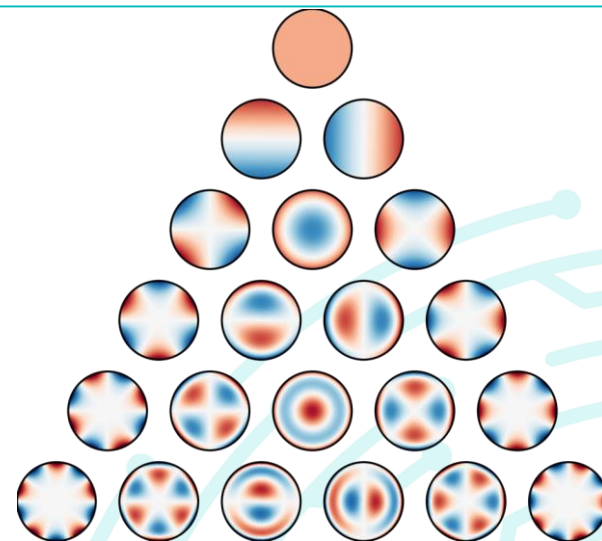
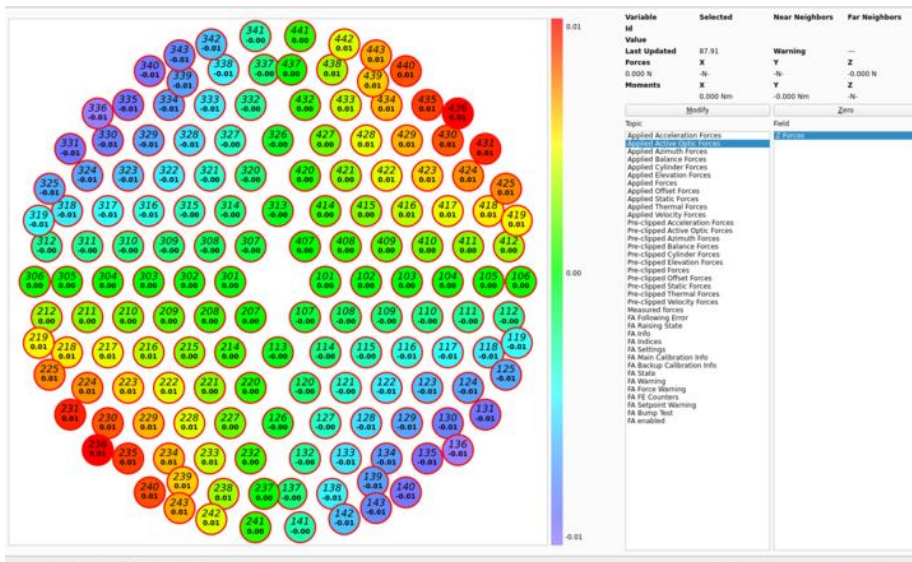
Na LBTO se o optimalizaci stará force balancing - vezmou se síly z hardpointů, rozdistribují se na aktuátory a přidají se k síle.

LSST, díky polynomu pro každý aktuátor, zvládne re-fit distribuční matice..

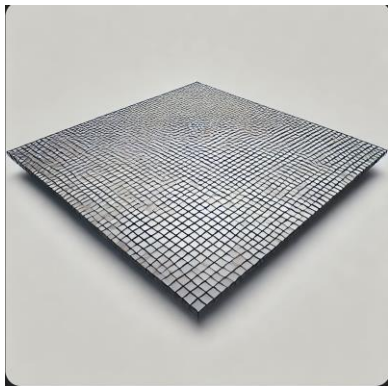


Jak uzavřít smyčku - vlnoplochy

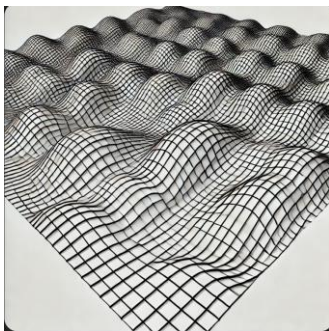
Deformaci vlnoplochy popisují Zernikovi polynomi. Stačí tedy nějak změřit deformace, a jejich opak replikovat na ploše zrcadla.



Prvních 21 Zernikových Polynomů.
Wikipedie



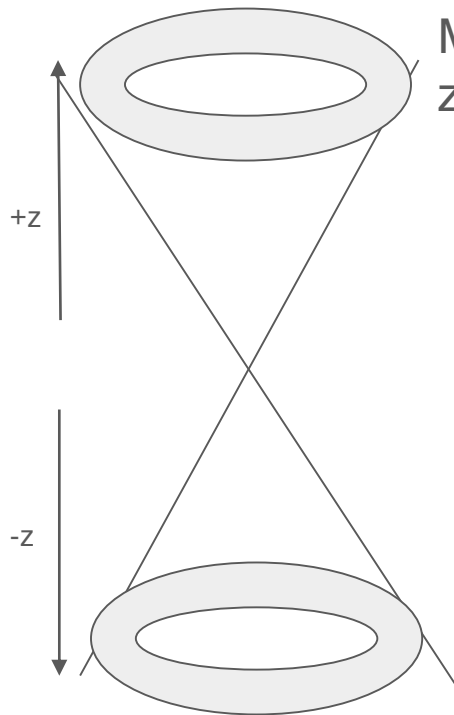
Perfektní vlnoplocha..



Degradovaná vlnoplocha. Sklony
ovlivňují kvalitu výsledného
obrázku.

Jak změřit vlnoplochu

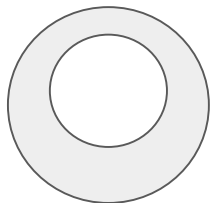
Páry “wavefront sensors”, umístěné v rozích kamery. Senzory s různou výškou měří off-focus obrázky hvězd.



Mimo zaostření se obraz hvězdy (=bod) změní na donut - koblihu.

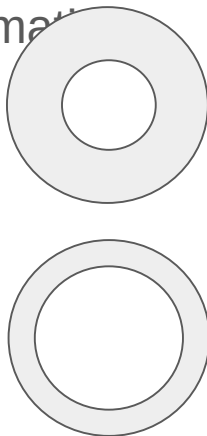
Jak vypadá vlnoplocha

- Coma



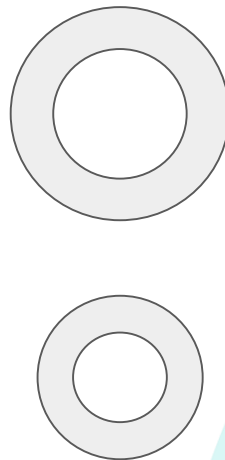
Střed donutu
není
zcentrován

- Astigmatism



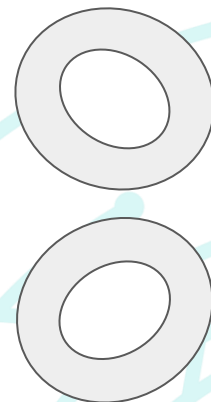
Tlustší a tenčí
donut, podle toho
jakým směrem

- Spherical



Jeden donut je větší než
druhý. Velikost záleží na
směru defocusu.

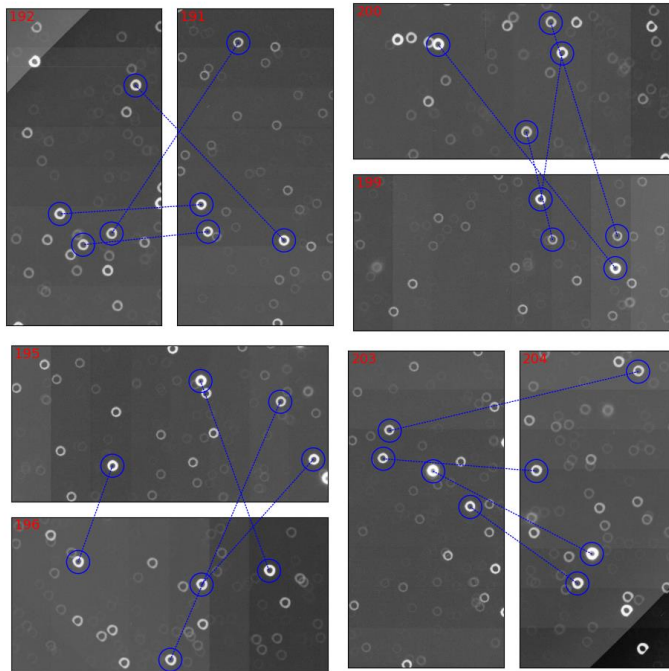
- Defocus



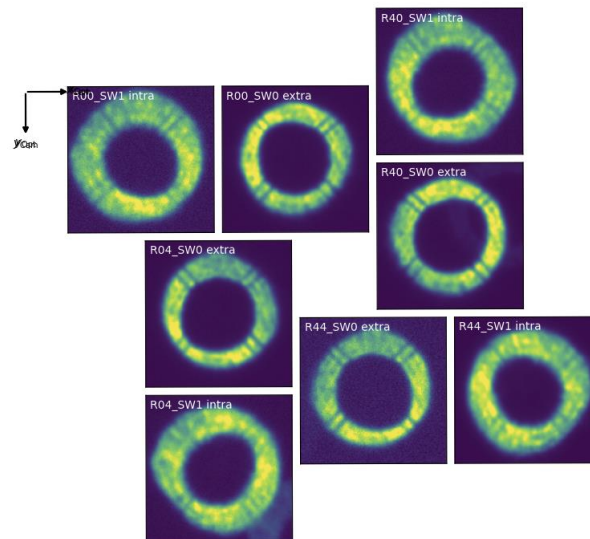
Excentricita donutu se mění
- je zplošten. Páry jsou
zploštěny v kolmých
směrech.

Obrázky..

2025091300646



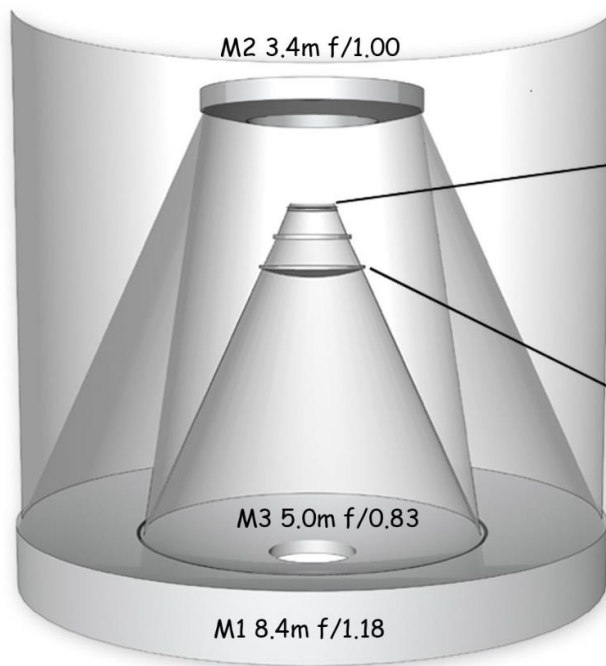
2025091300651



Primární a terciální zrcadlo - M1M3
Sekundární zrcadlo - M2
Kamera na hexapodu (a de-rotátoru)

M2 je menší, lépe se s ním hýbe -
pozicování, ...

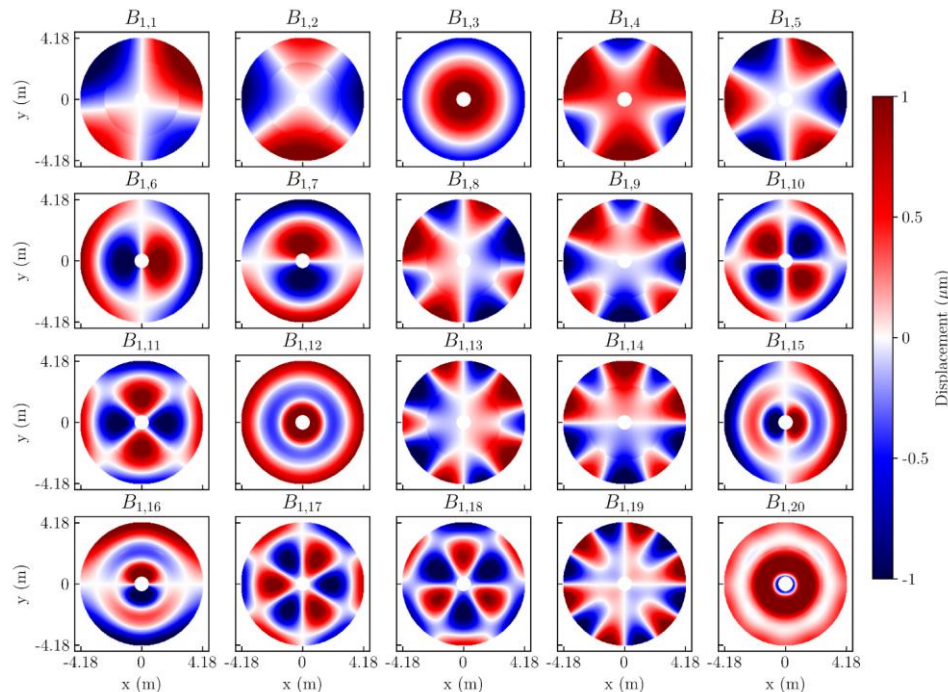
Změna tvaru M1M3 a M2.



M1M3 Bending Modes

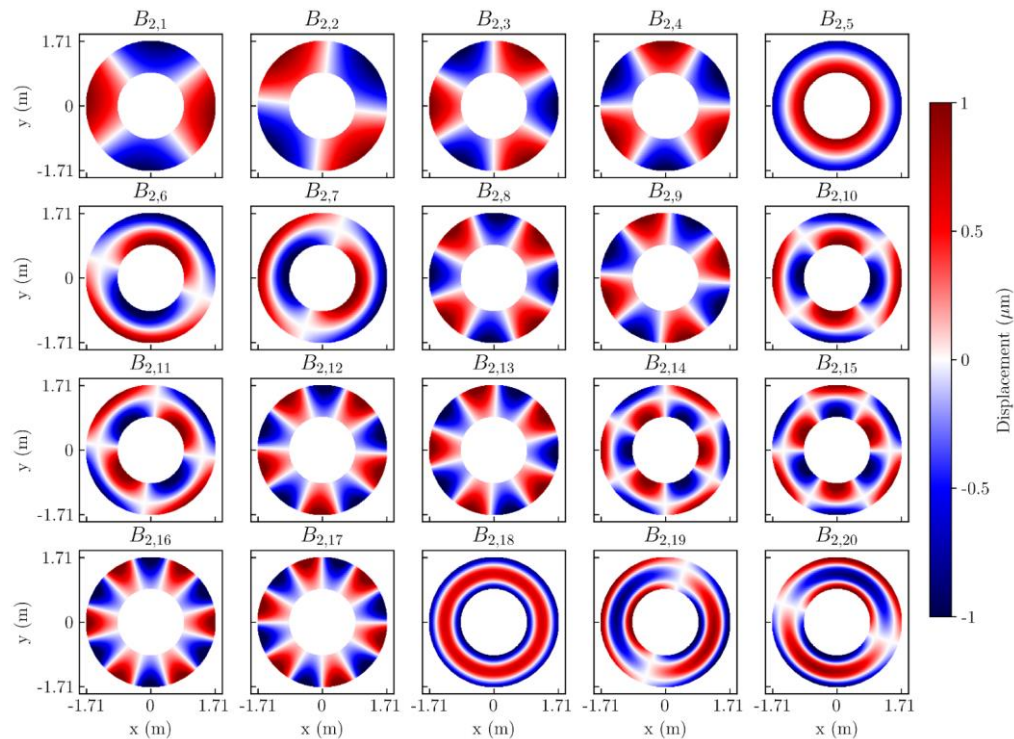
They look similar to Zernikes, don't they?

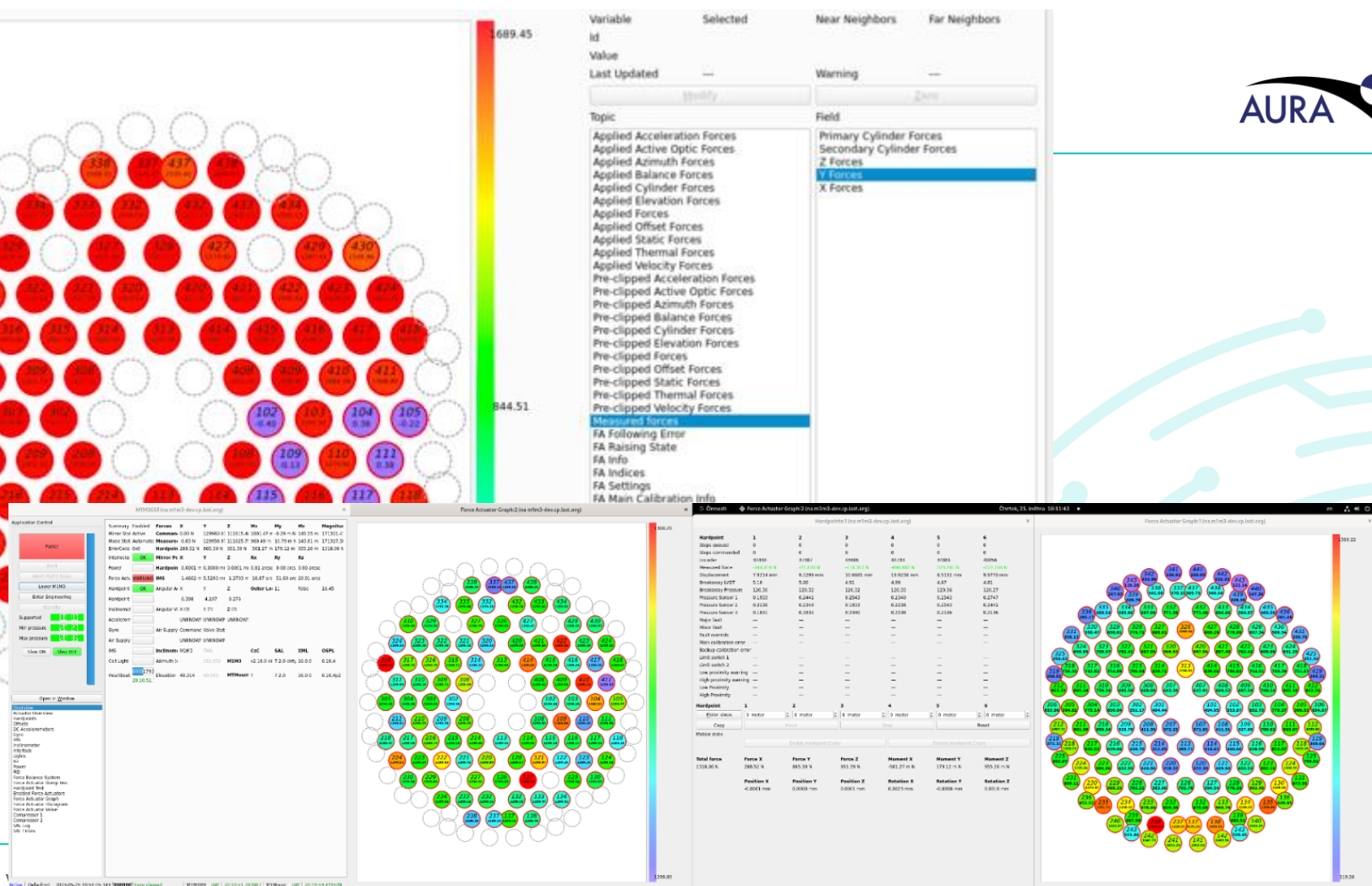
B1, B2: Astigmatic modes
B3: Focus mode
B4, B5: Trefoil modes
B6, B7: Coma modes
B8, B9: Quadrafoil modes
B10, B11: Secondary astigmatism
B12: Spherical mode
B13, B14: Pentafoil modes
B15, B16: Secondary coma modes
B17, B18: Secondary trefoil
B19: Hexafoil mode
B20: Corresponds to actually B27 in the mode, but we call it B20. Higher-order mode.

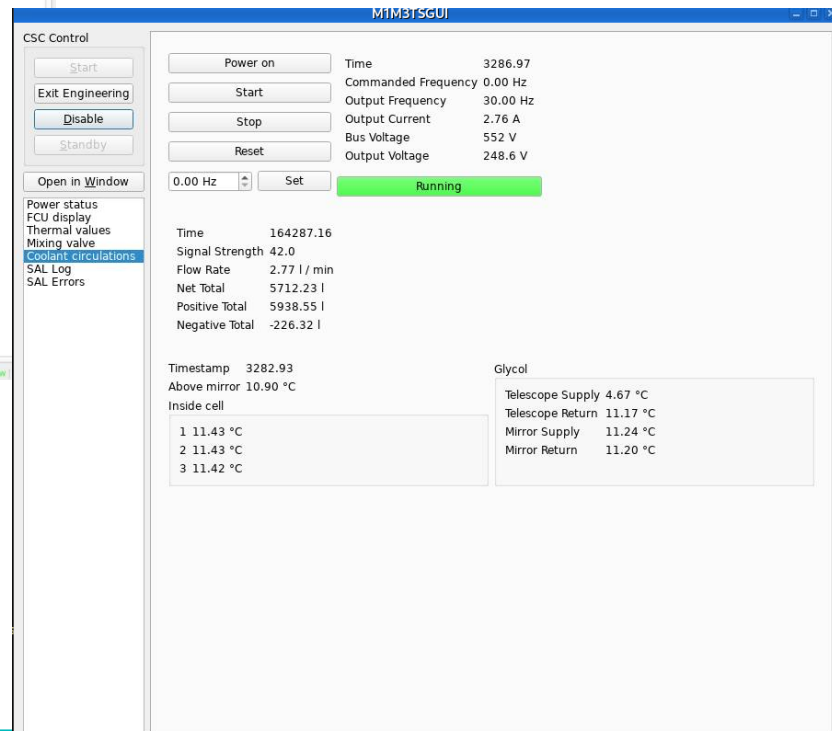


M2 Bending Modes

B1, B2: Astigmatic modes
B3, B4: Trefoil modes
B5: Focus mode
B6, B7: Coma modes
B8, B9: Quadrafoil modes
B10, B11: Secondary astigmatism
B12, B13: Pentafoil modes
B14, B15: Secondary trefoil modes
B16, B17: Hexafoil modes
B18: Spherical mode
B19, B20: Secondary coma modes







Na zrcadlo “zavěšené” na aktuátorech při zrychlení působí inerciální/setrvačné a odstředivé síly. Ty se přenáší na hardpointy, takže je třeba se jich zbavit (aby nám sklo neprasklo).





M1M3 Hardpoint Forces, Lowering/Raising, Pressure



UTC

Local



Variables



Annotations



2025-09-17 06:20 - 2025-09-17 06:50

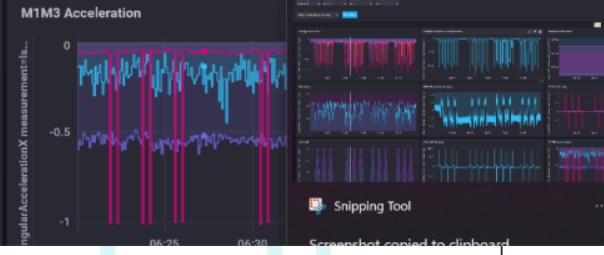
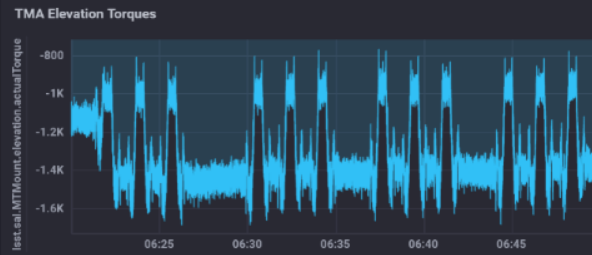
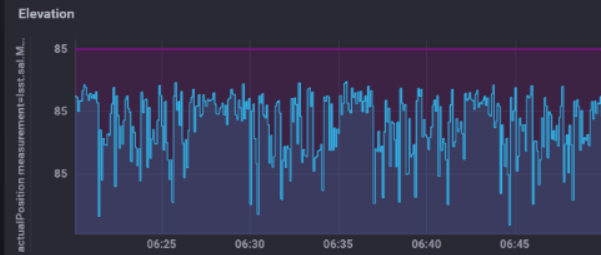
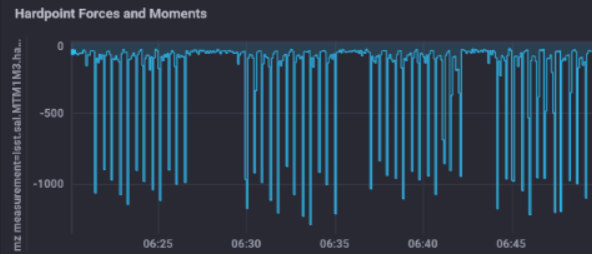


:Downsample: :Function: :Forces: :Hardpoints:
Default min() MZ all

+ Add Template Variable

Filter Annotations By Tags + Filter

+ Annotate



Snipping Tool

Screenshot copied to clipboard

Downsample: ☐ Function: ☐ Forces: ☐ Hardpoints: ☐
Default spread() all all

[+ Add Template Variable](#)

Filter Annotations By Tags

[+ Filter](#)[+ Annotations](#)

Hardpoint Forces



Hardpoint Forces and Moments



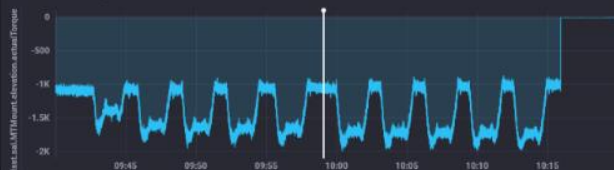
Hardpoint Encoders



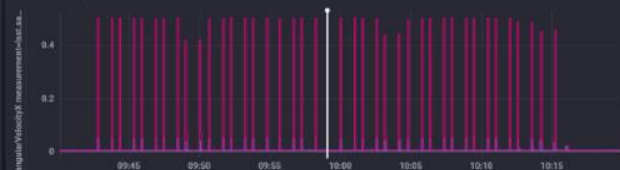
Elevation



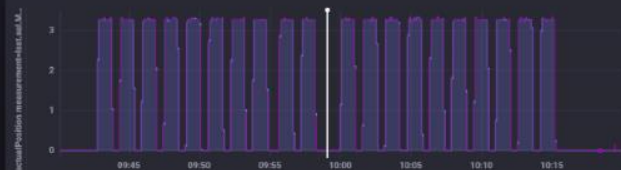
TMA Elevation Torques



M1M3 Velocity



Azimuth



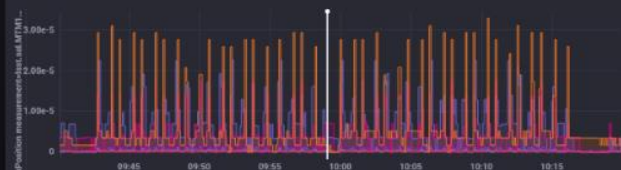
Azimuth Torques



M1M3 Acceleration



IMS



HP Breakaway Pressure



Cell pressure



Jak to celé navrhnout?

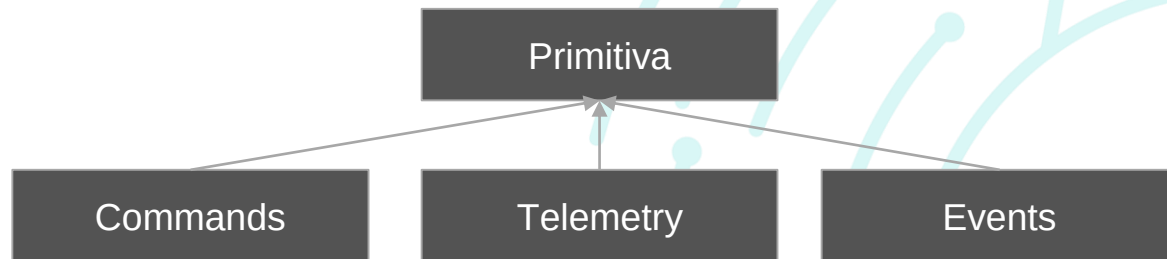


- Dalekohled je dvouosý robot, ve svém zjednodušení.
- Optické systémy přidávají další stupně volnosti - běžně velké dalekohledy mají desítky až stovky stupňů volnosti.
- Systém je většinou psaný na jeden konkrétní přístroj.



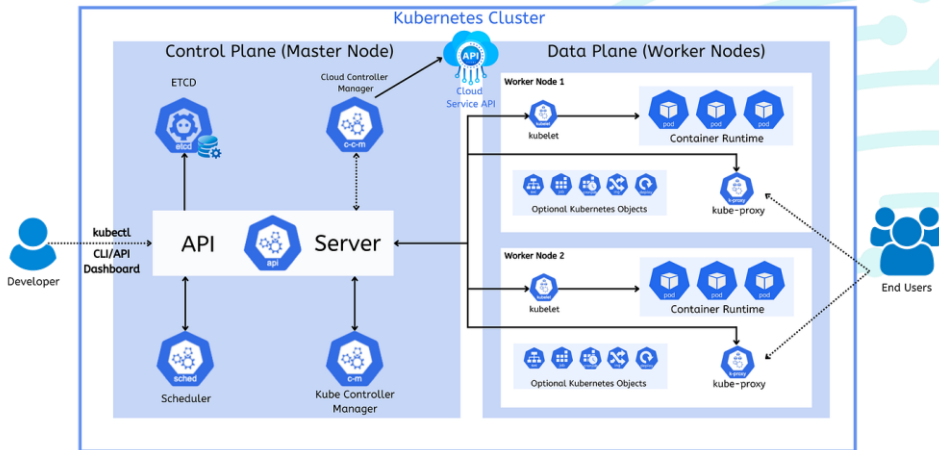
Ukazuje se, že vše co se ovládání týče se dá zjednodušit na:

1. příkazy - něco co se pokouší změnit stav systému (posunout dalekohledem)
2. telemetrie - chodí v pravidelných intervalech (aktuální poloha os dalekohledu)
3. události - něco se stane (začne se otevírat střecha)



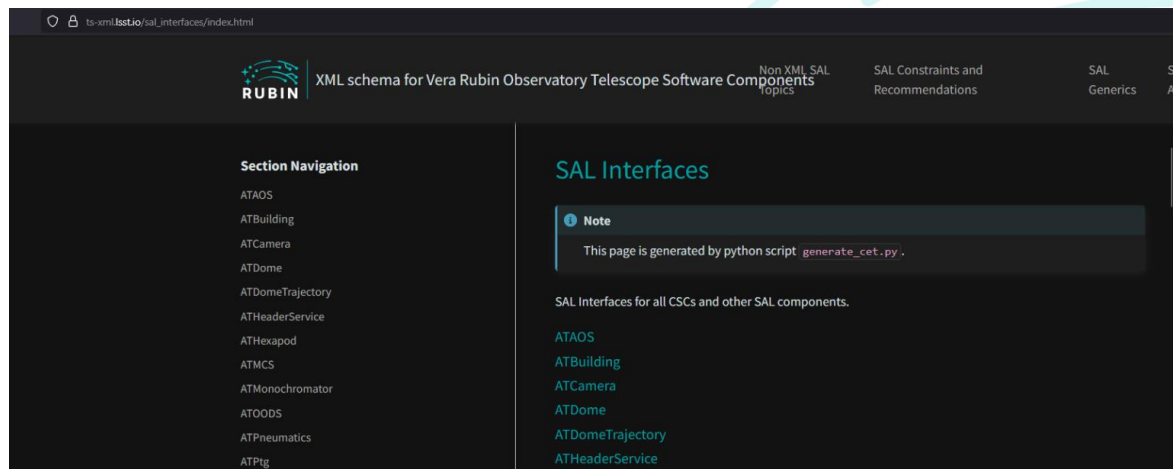
Systém řízení LSST nasazujeme jako mikroslužby na cluster (on summit, samosebou). Většina CSC - Commandable SAL Component - běží v kontejnerech.

M1M3 a několik dalších běží na NI cRIO.



Vše na GitHubu: <https://github.com/lstt-ts>:

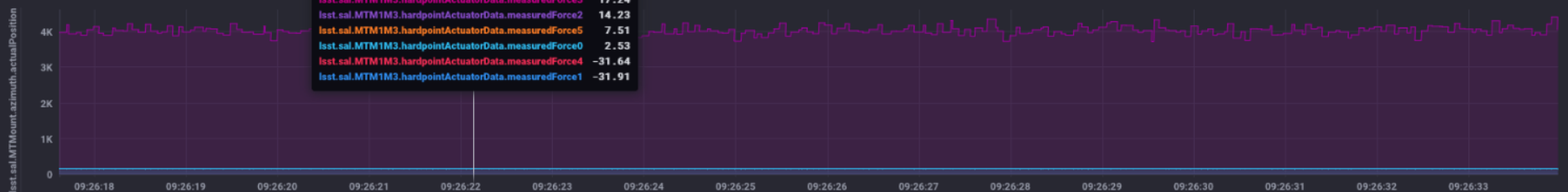
- ts_xml - obsahuje definice primitiv pro jednotlivé CSC, v XML
- ts_sal - poskytuje C++ a Java binding pro SAL
- ts_salobj - Python binding pro SAL
- https://ts-sal.lsst.io/sal_user_guide.html



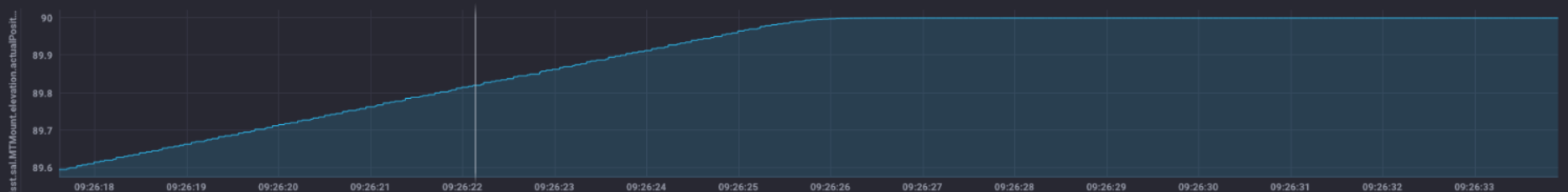
HardPoints Measured Forces

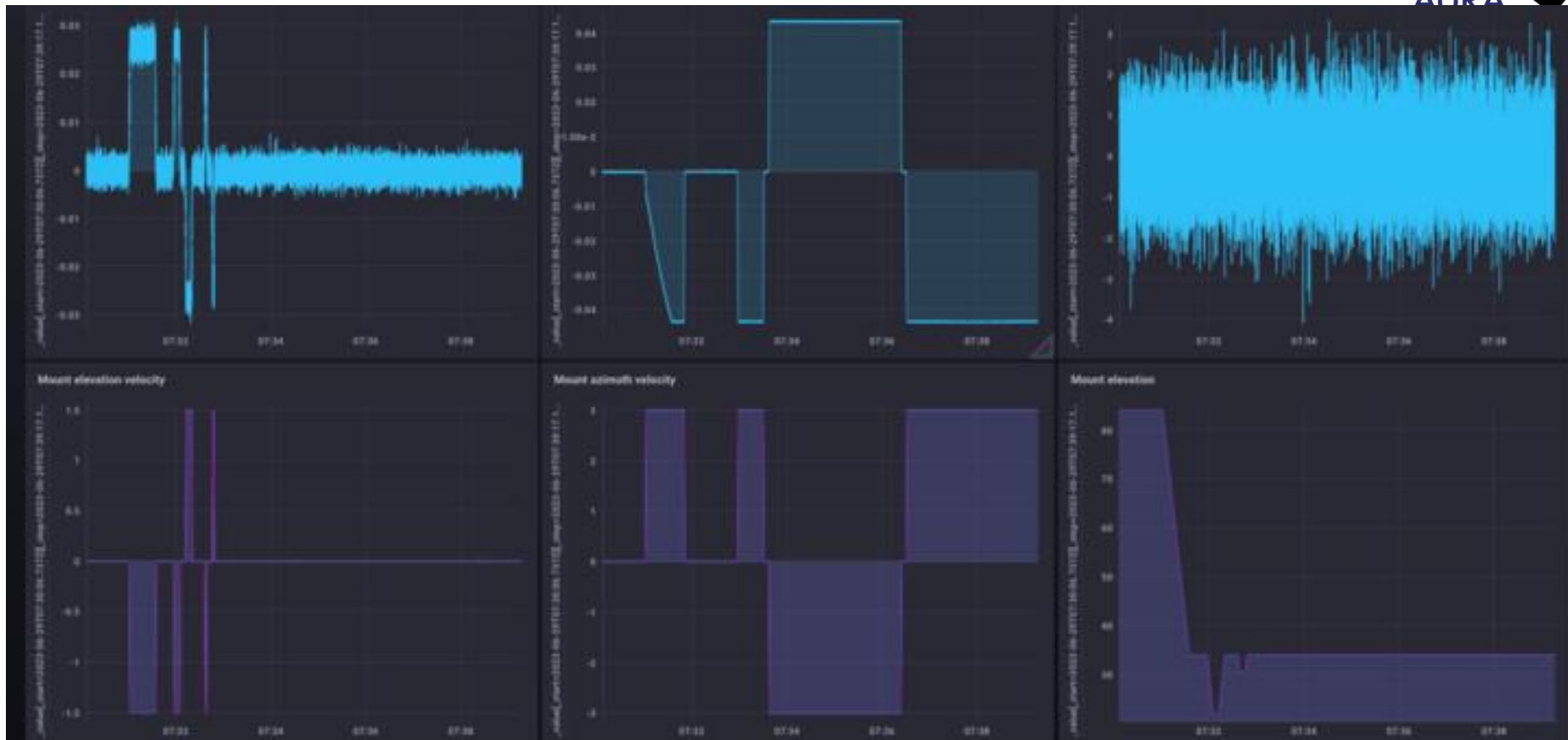


Azimuth Position and Torque



Elevation Position and Torque





Astronomie je věda zabývající se věcmi na které není možné si většinou šáhnout, umístit v laboratoři. Již od počátku hraje velkou roli pozorování a statistika odvozená z pozorování.

AI se dá rozumně nasadit pokud máte například klasifikovat velké množství dat. Nebo rychle řídit složité procesy vyžadující zpracování obrazových dat - viz aktivní optika.



Supernovy (explozivní hvězdy, od novy - nová).
Věci co se objeví na obloze a pak zase zmizí.

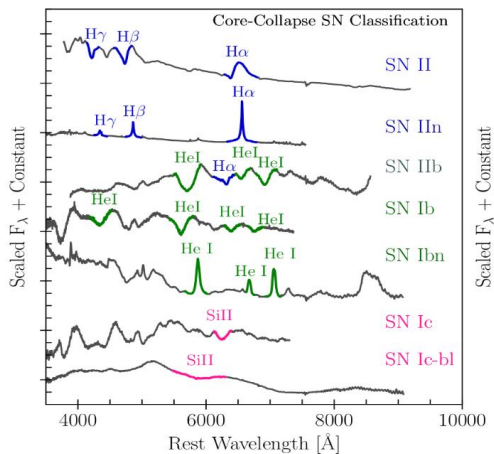


Figure 2. Typical spectra of core-collapse SNe, where defining lines are highlighted. Type IIb spectrum show hydrogen lines in early phase and prominent helium lines afterwards. [13]

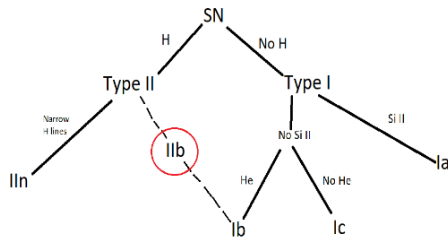


Figure 1. Classification of SNe based on which spectral lines are present in the spectrum. This thesis will focus on SN 2017gkk and SN 2019gaf which both are type IIb SNe.



Observational study of the type IIb supernovae
2017gkk and 2019gaf
Master's thesis
University of Turku
Astronomy
December 2022
B.Sc. Niilo Koivisto

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 884:83 (15pp), 2019 October 10

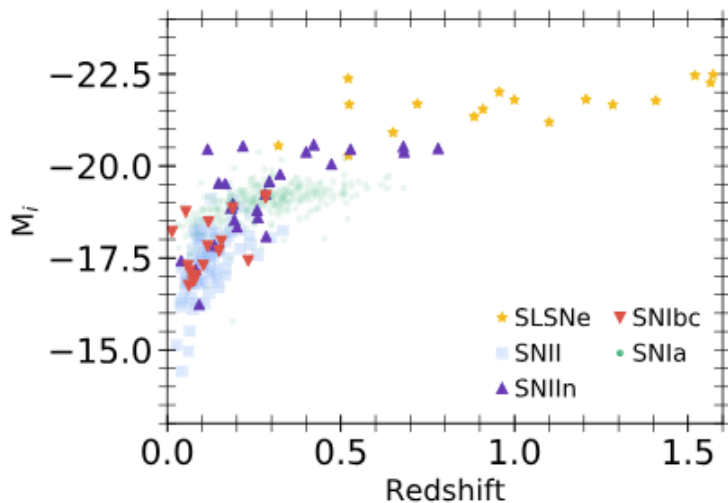


Figure 1. Peak i_{p1} -band absolute magnitude vs. redshift for the sample of PS1-MDS spectroscopically classified SNe used in this study. We apply a cosmological k -correction to the peak magnitudes, but do not correct for the intrinsic spectral energy distribution of the various SNe. The sample includes five SN classes: Ia (green circle), Ibc (red downward triangle), II (blue square), IIn (purple upward triangle), and SLSNe (yellow star).

Villar et al.

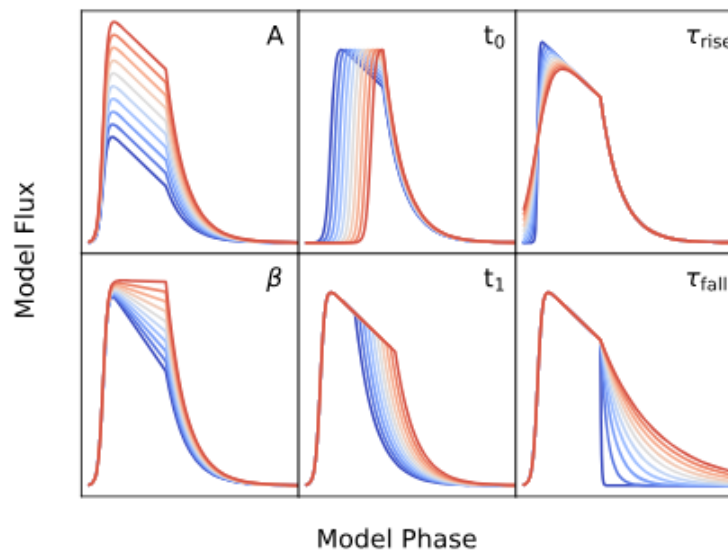


Figure 2. Example model light curves (LCs) based on Equation (1) highlighting how each of the free parameters affects them. The parameters are individually varied from low (blue) to high (red) values.

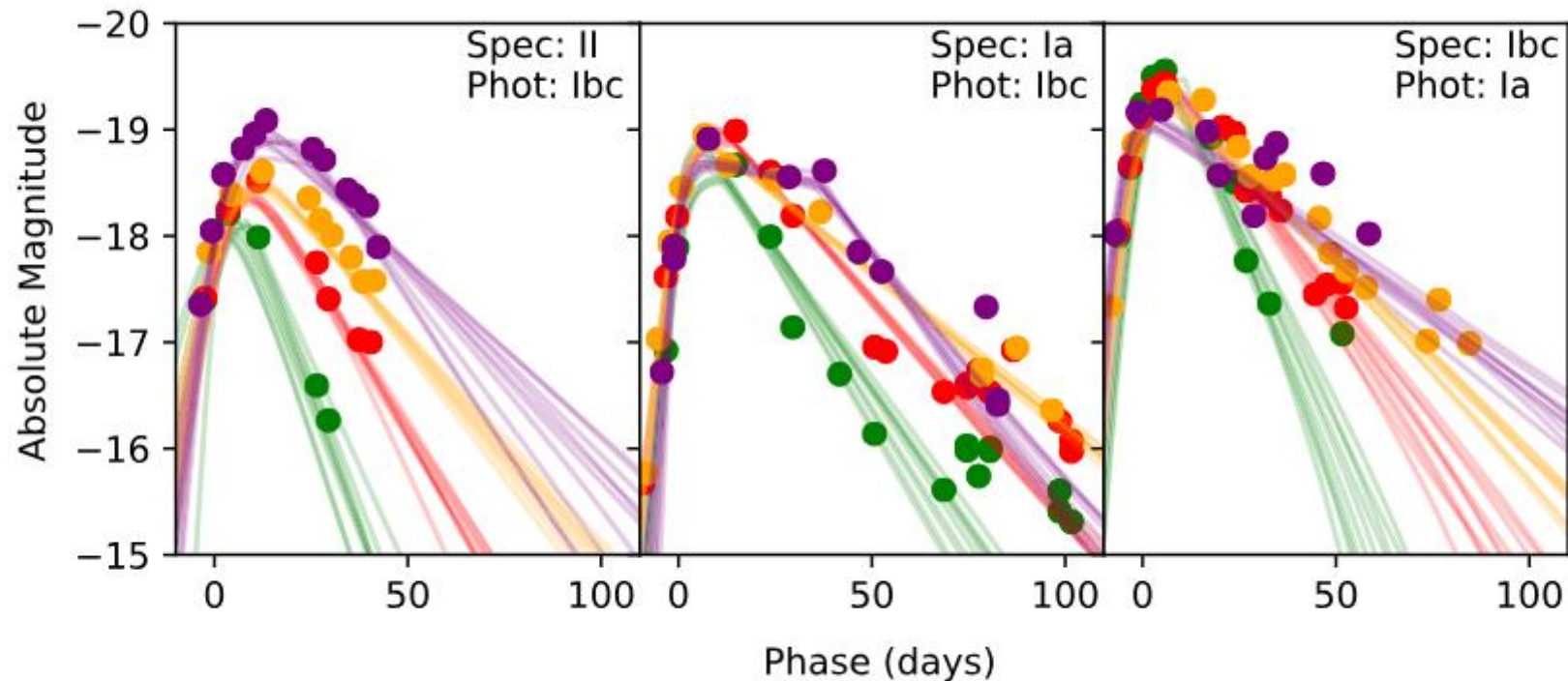


Figure 12. Light curves of three SNe classified incorrectly, but with high confidence ($p > 0.9$). We note the spectroscopic and photometric classification of each event. Given the high data quality, these misclassifications are due to inherent overlap between SNe in feature space.

<https://rubin-weather-forecast.jesteves.workers.dev/>

Rubin Summit Temperature Forecast

Forecast of the Day

Last update: 13 min ago

Forecast at Twilight

5.5°C

± 1.3°C

-- °C (Weather Tower)

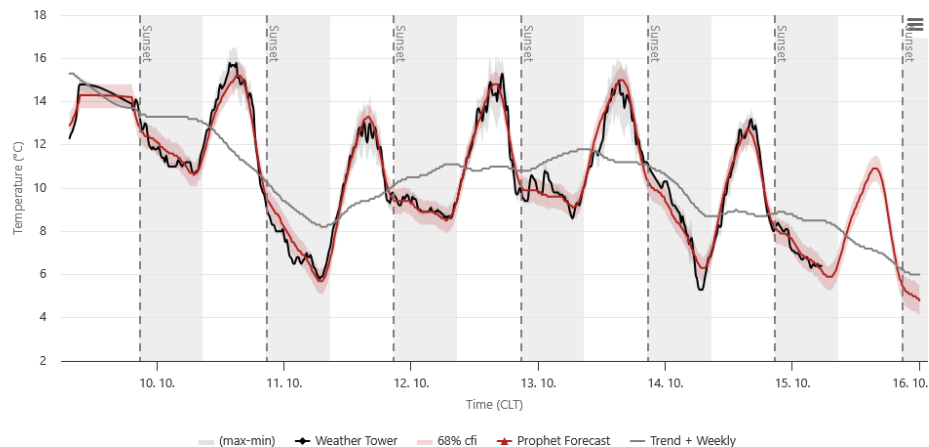
Current Time

05:43 CLT

Twilight Time

20:45 CLT

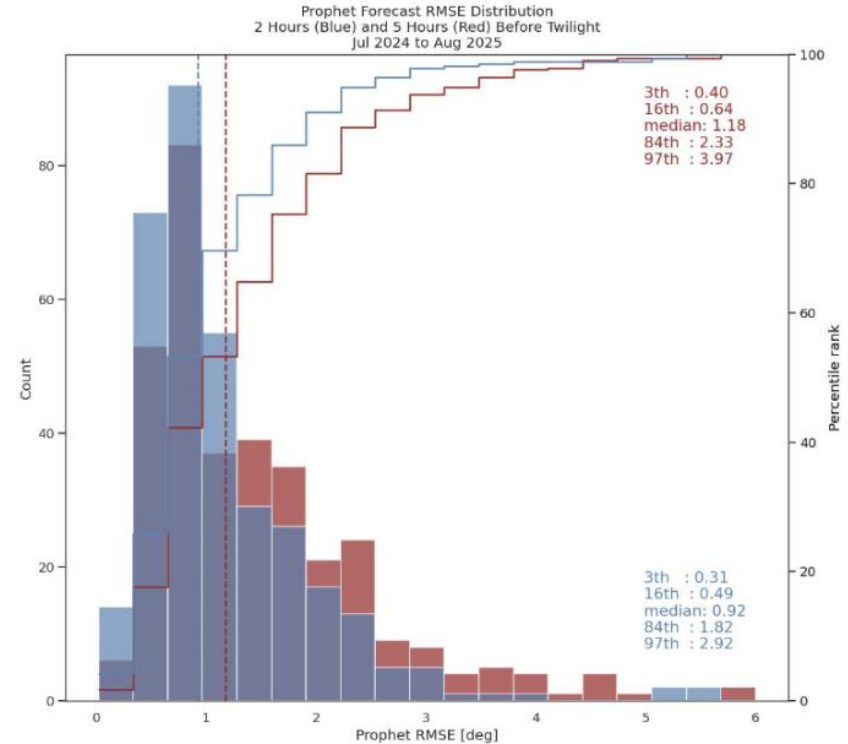
In 15h 1min



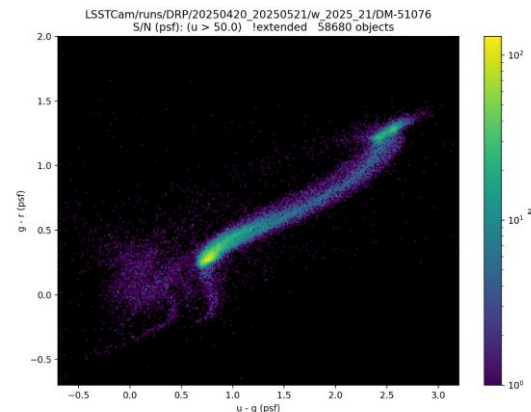
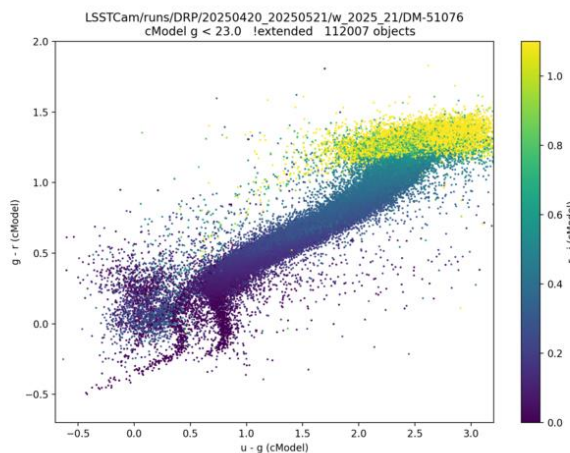
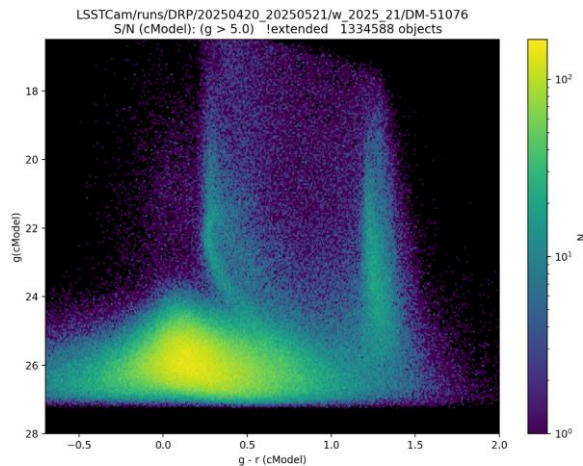
Note: the forecast model is continuously updated throughout the day.

Validation for an entire year

- Results are robust across an entire year of data.
- Predictions made within 5 hours before twilight achieve precision better than 1.20 °C in most cases and 2.5°C for 90% of cases.
- Adjusting the AC setpoint in the last 2 hours can improve precision to below 0.95 °C in most cases and 2°C for 90% of cases.

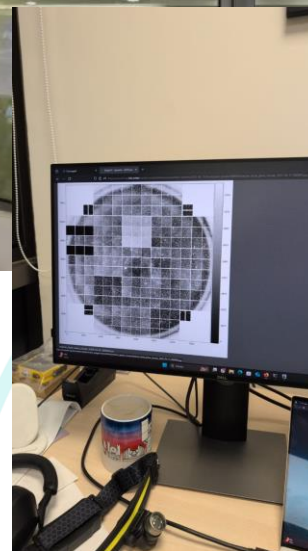


- 1 PB dat během pár týdnů..
- 1000's nových asteroidů
 - ATLAS 3l předobjevové snímky
- Astronomie na pár kliků..



První snímek s celým systémem

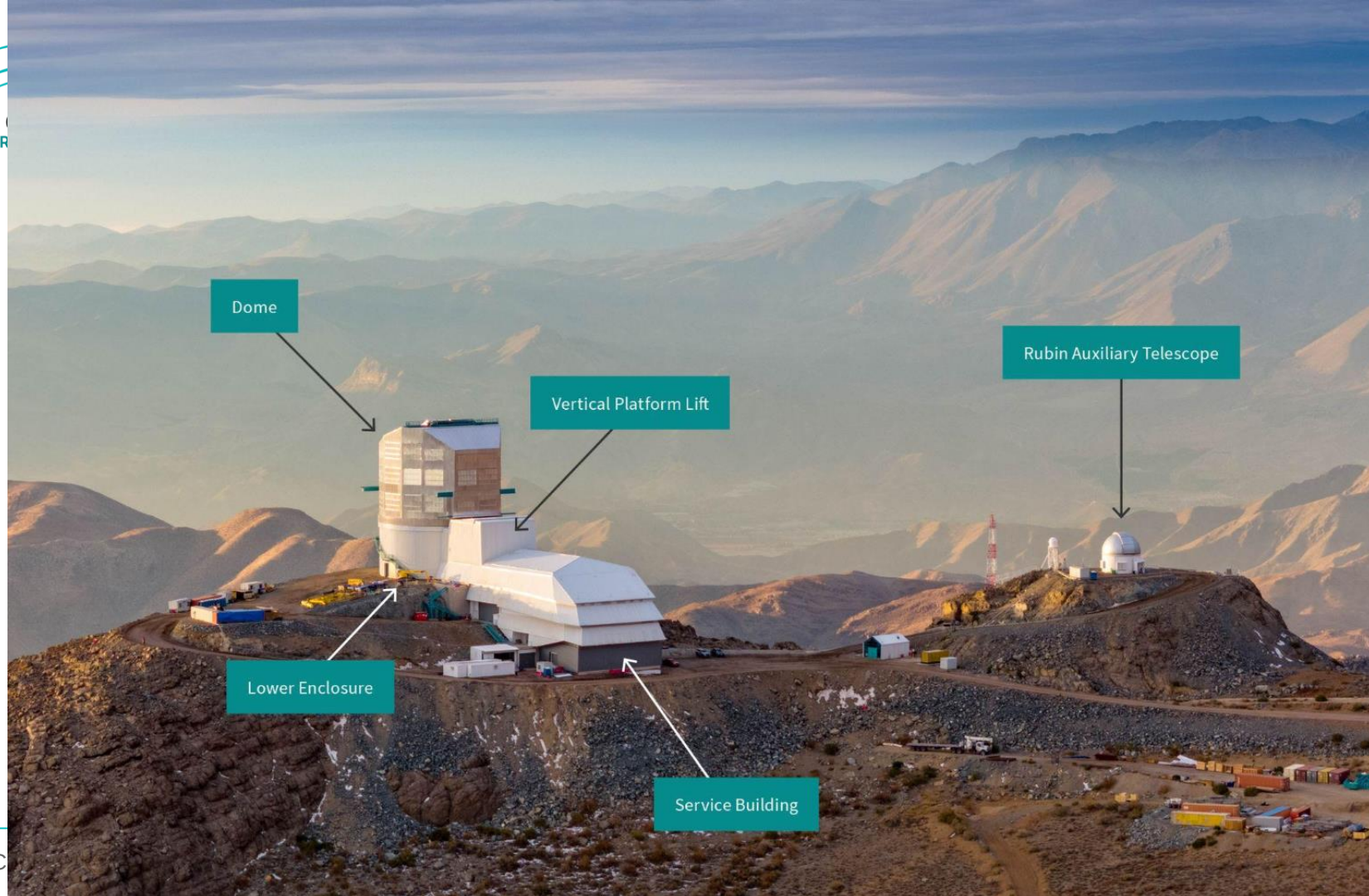
16. dubna 2025



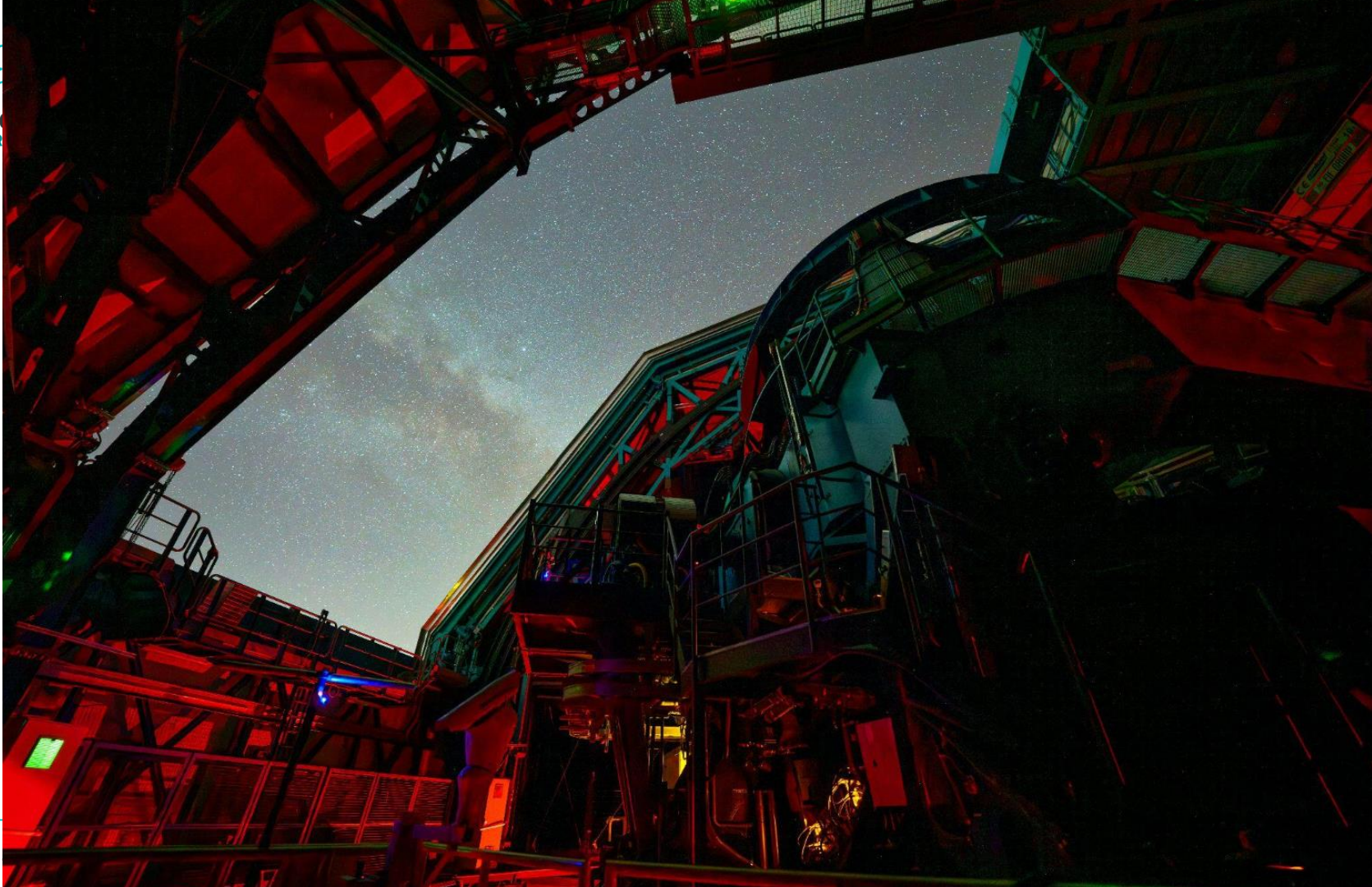
On the summit ...



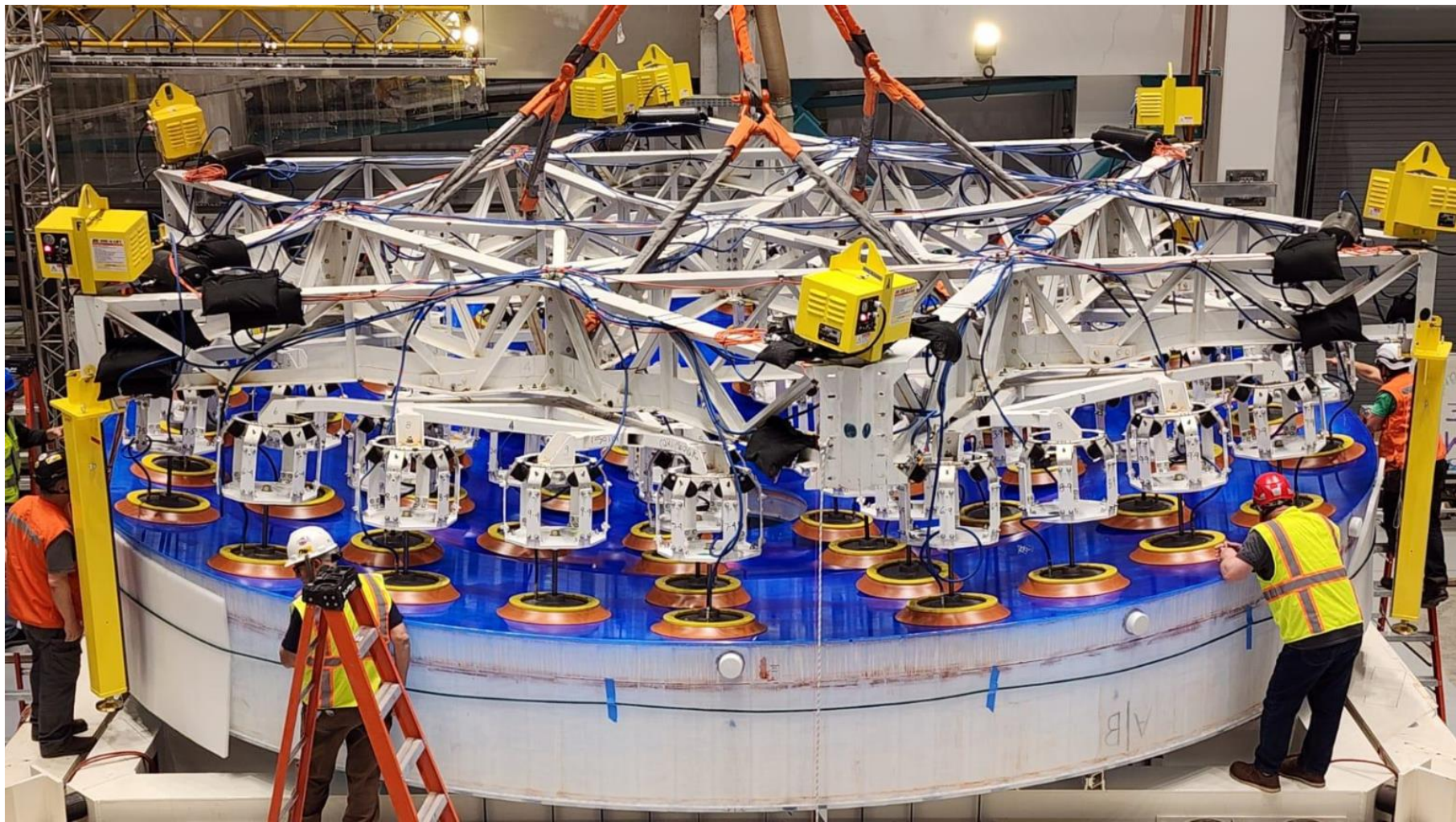


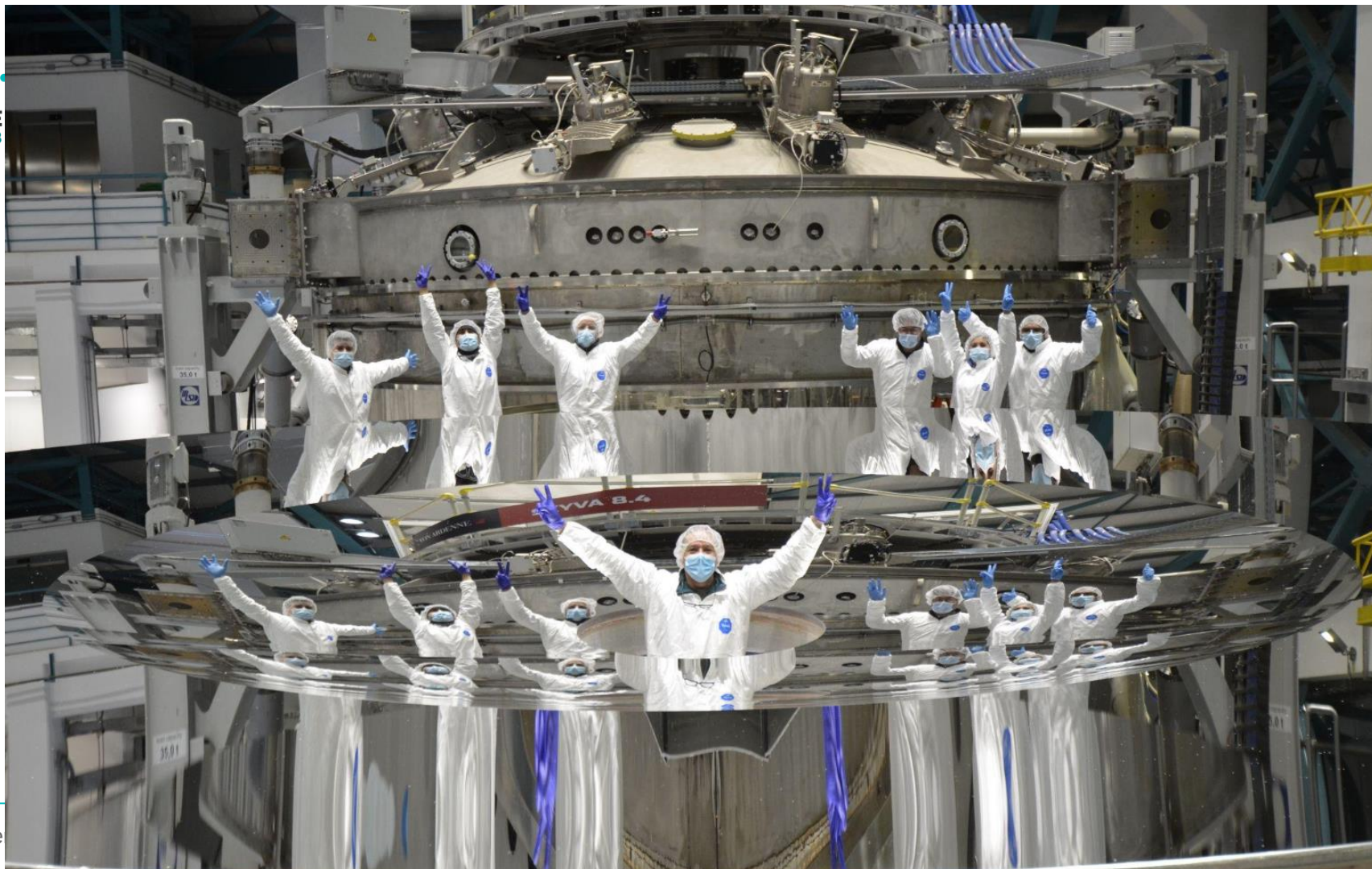


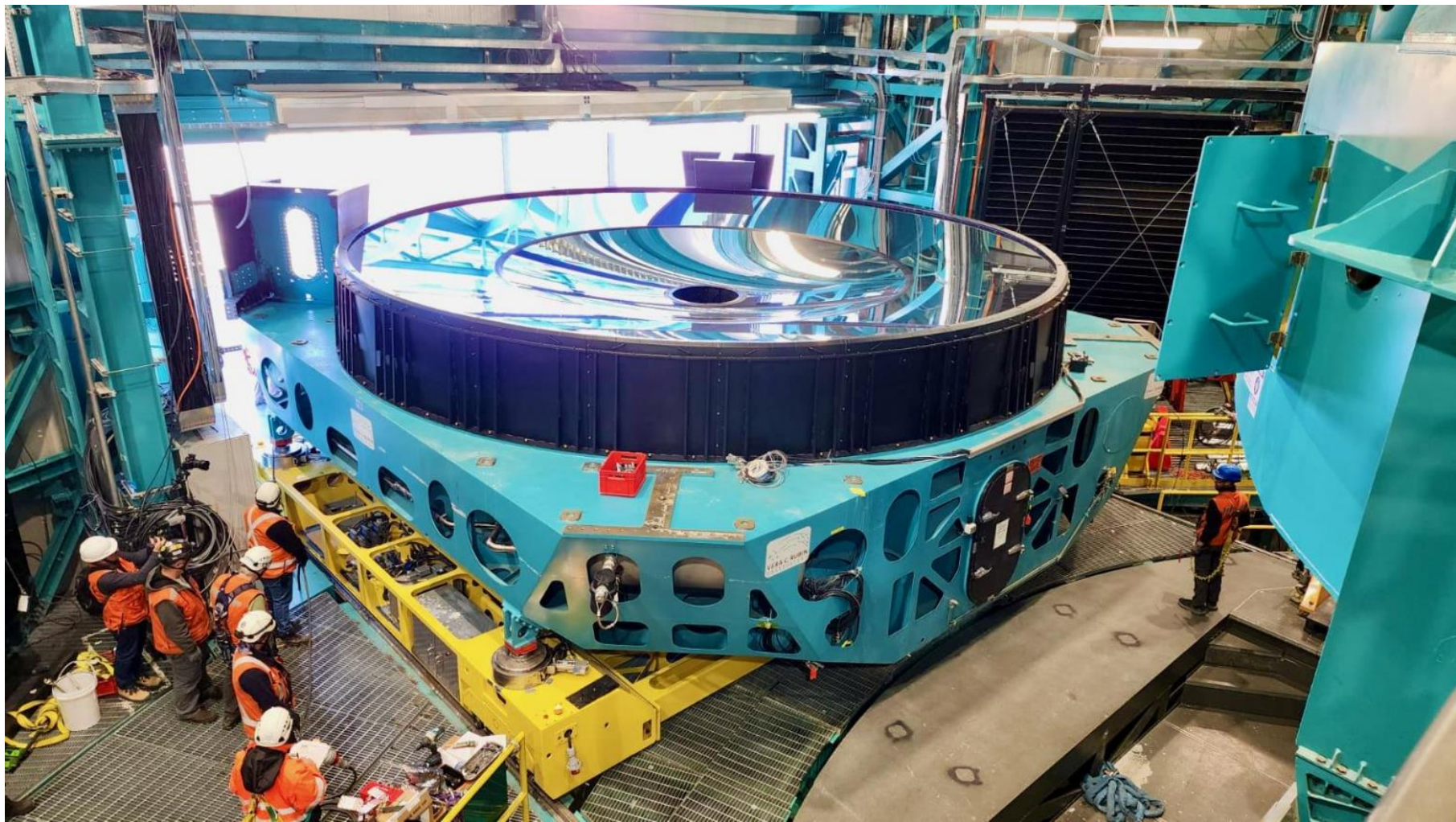


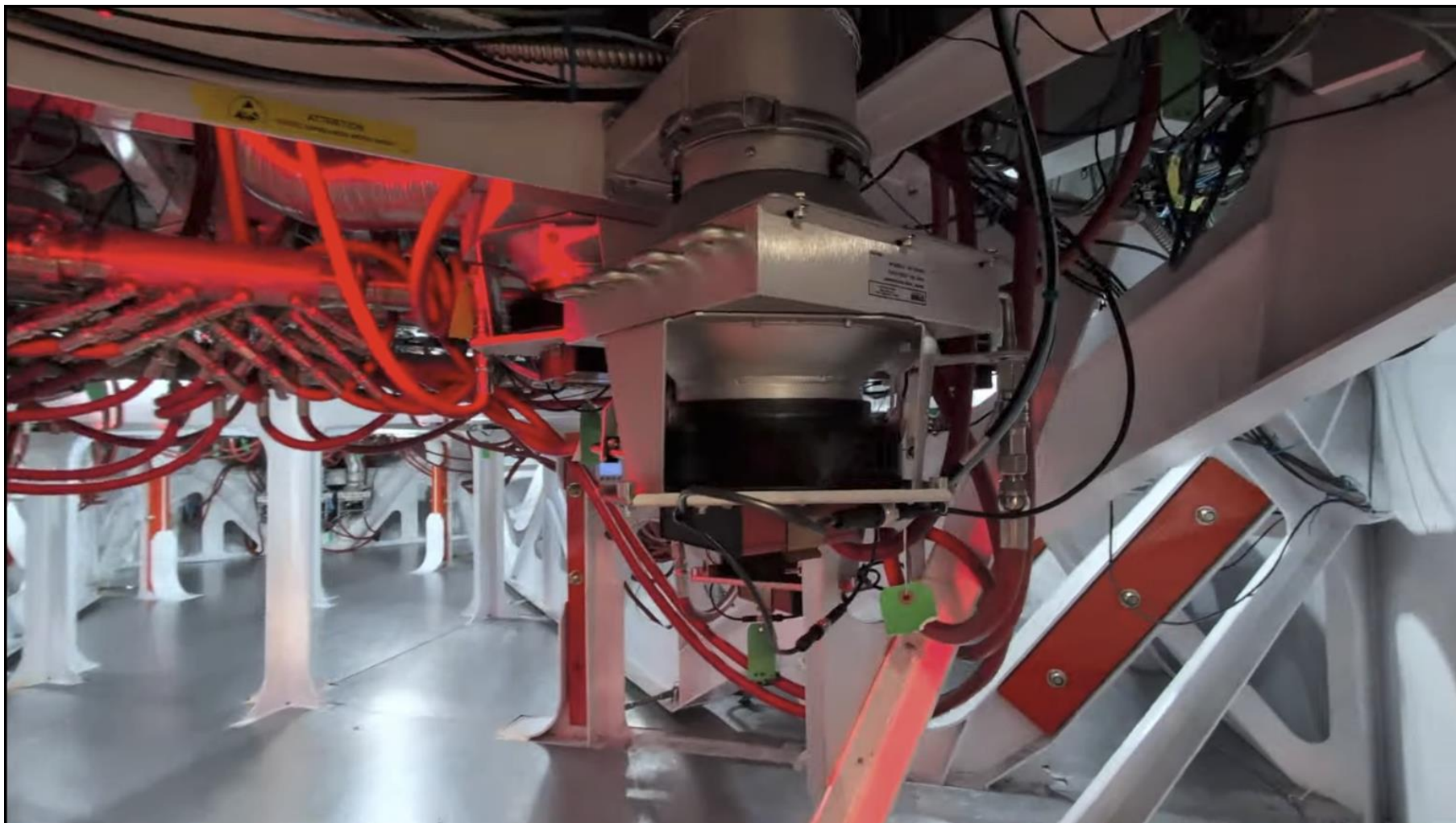


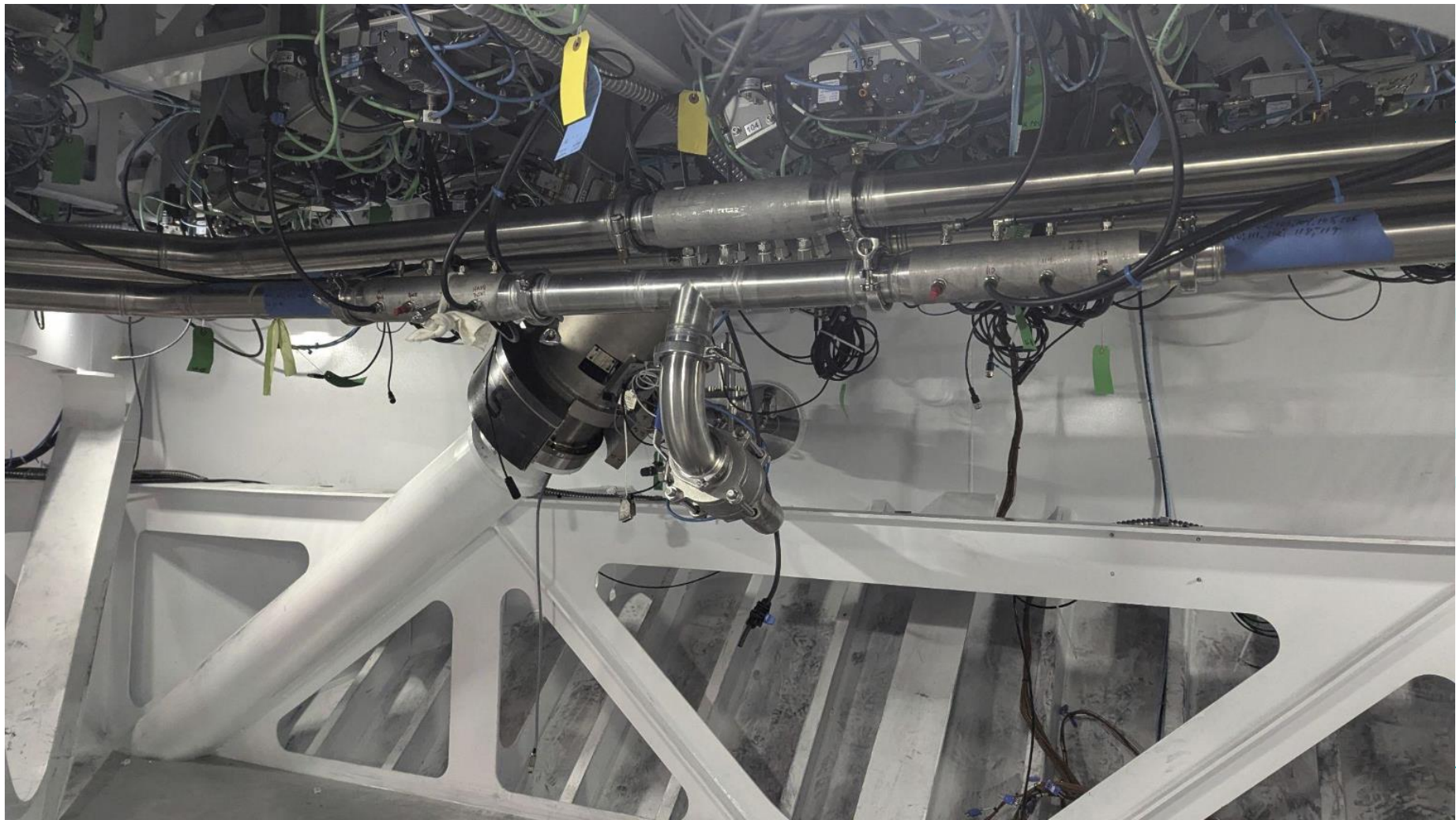


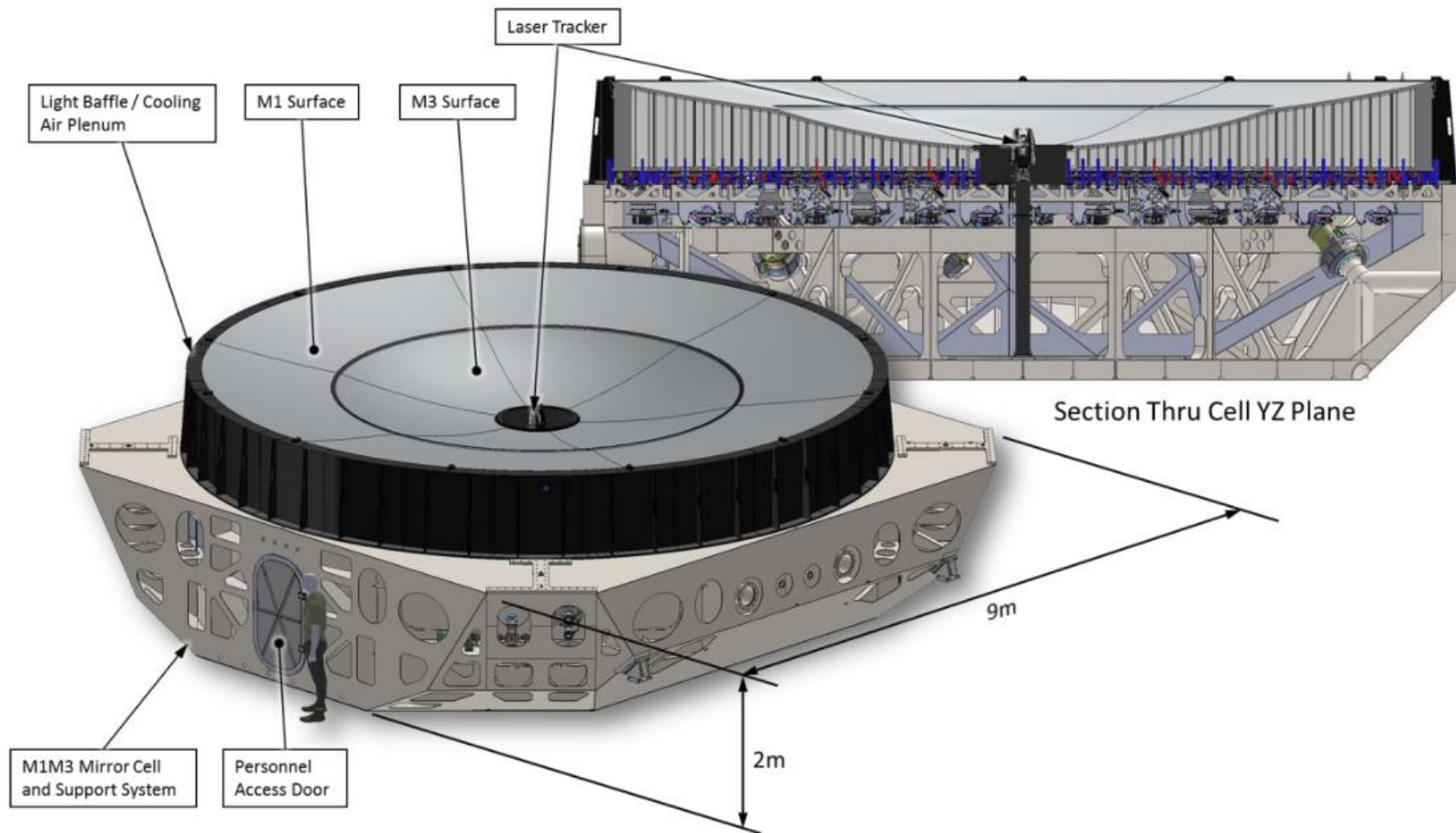


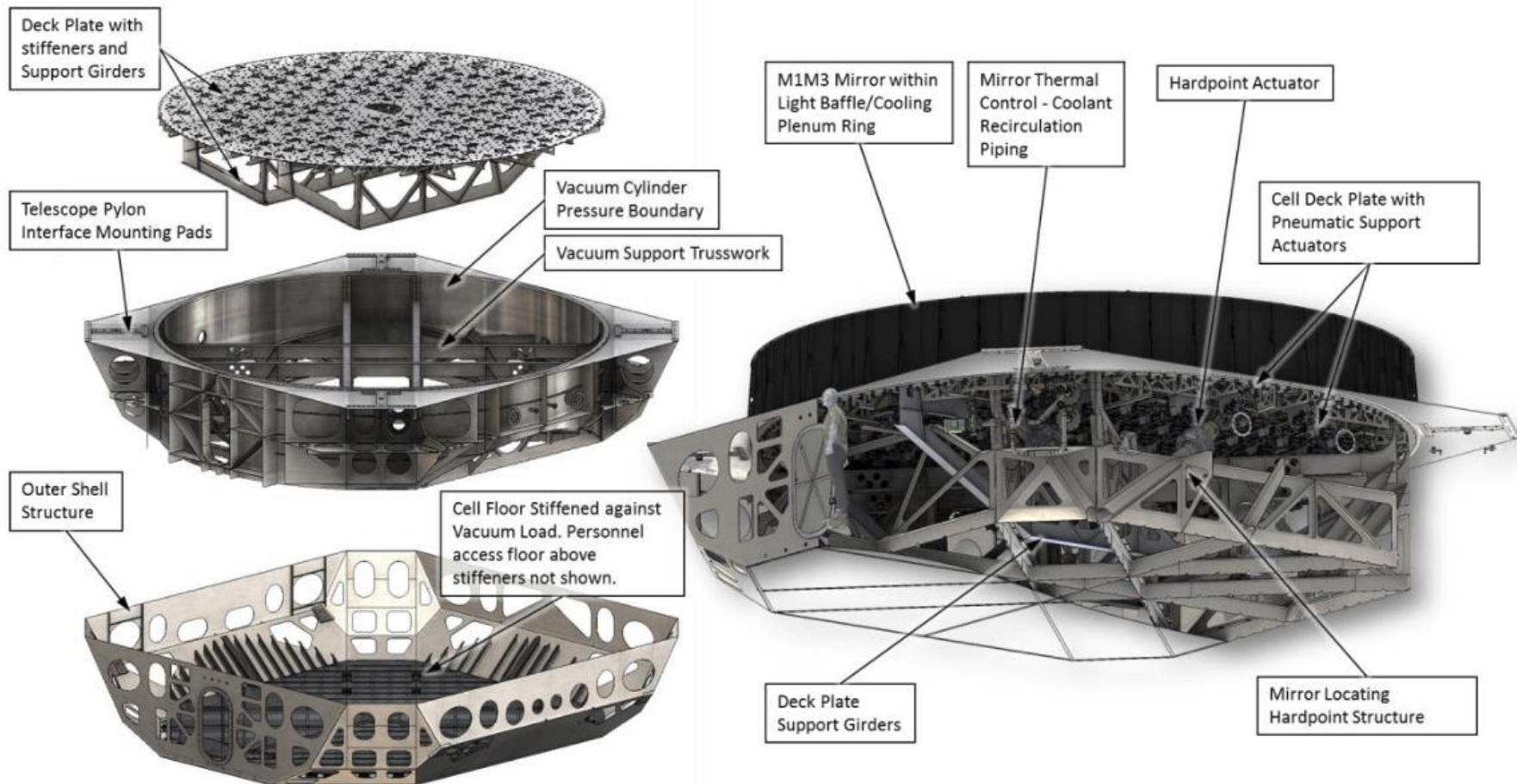






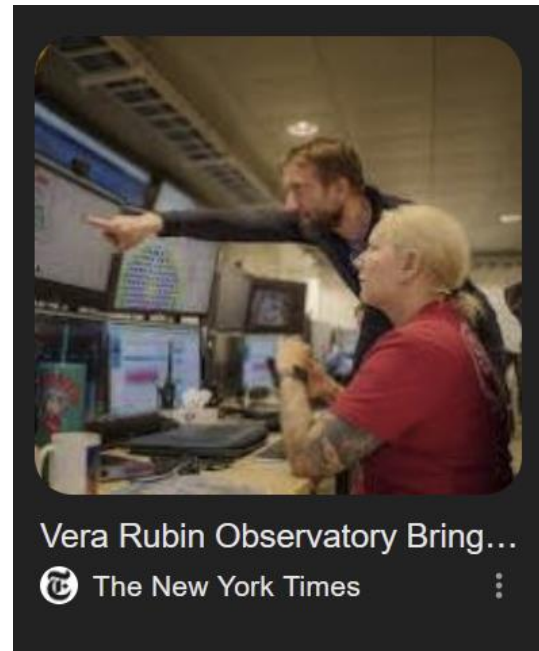








 Petr Kubánek, right, and Robinson Godoy Torres checking on actuators and valves inside the M1M3 mirror cells of the Simonyi Survey Telescope, Vera Rubin Observatory, Chile. May 30, 2025,



NS

INSIDE THE VERA RUBIN OBSERVATORY