

Dan slovenskega superračunalniškega omrežja, MREŽA ZNANJA
13. oktober 2022

arnes



EURO

SLING

Integrirano modeliranje jedrske fuzije

Leon Kos, Laboratorij za konstruiranje LECAD, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

Disclaimer: The views and opinions expressed herein do not necessarily reflect those of the ITER Organization

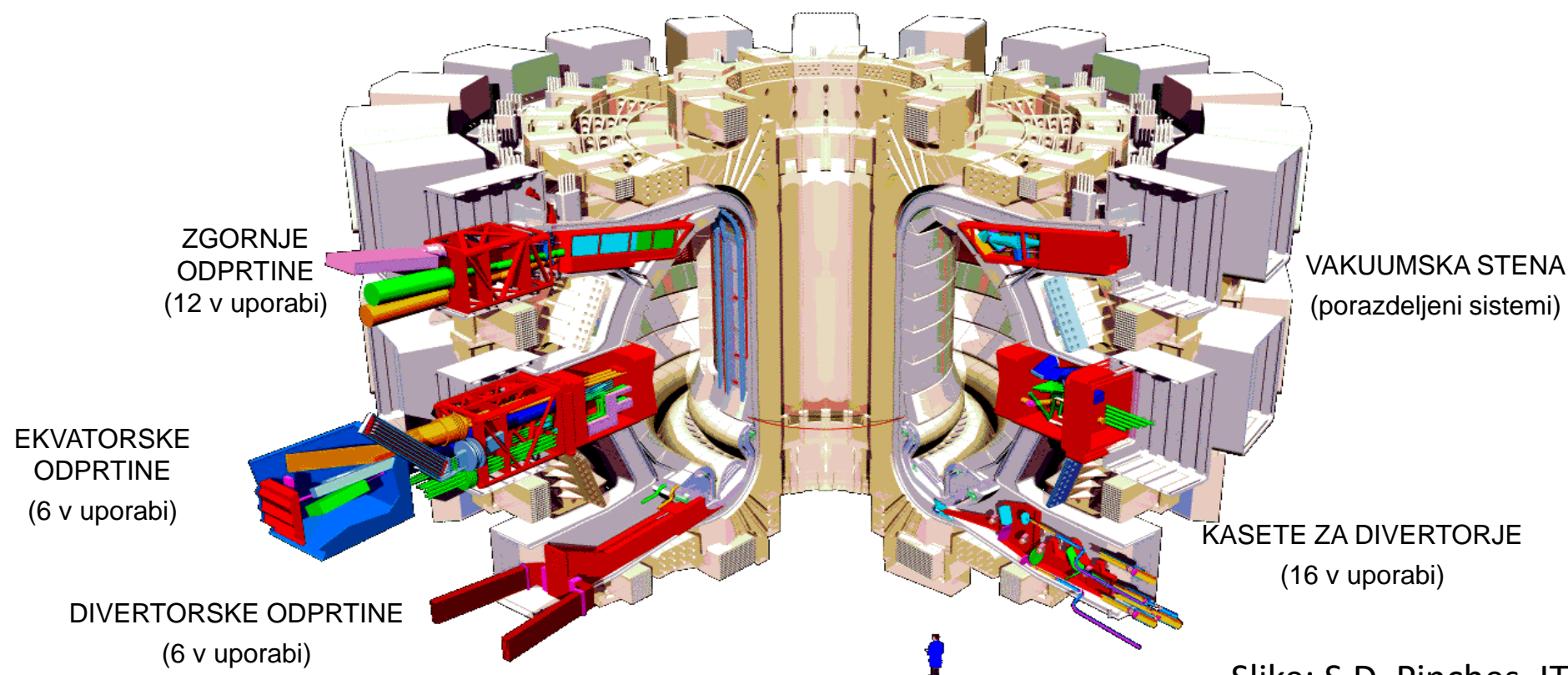
Obdelava podatkov mora biti učinkovita: ITER bo ustvaril velepodatke



ITER bo imel okoli 50 glavnih diagnostičnih sistemov

Uporabljeni bodo za zaščito eksperimenta, nadzor in fizikalne študije

- Obseg podatkov naj bi dosegel do 2,2 PB surovih podatkov na dan



Slike: S.D. Pinches, ITER

IMAS za začetnike



- Integrated Modelling & Analysis Suite (IMAS) je zbirka programske opreme, ki se bo uporabljala za integrirano modeliranje in analizo na ITER-ju.
- Uporablja modularni pristop, ki gradi **okoli standardizirane predstavitve podatkov (IDS)**, s katero lahko opiše eksperimentalne in simulacijske podatke za katero koli napravo
- Vključitev podatkov o popisu naprave (*machine description*) omogoča razvoj in validacijo **komponent in delovnih tokov (workflow) znotraj** programov članic ITER pred uporabo na ITER
 - Članom ITER omogoča, da prispevajo k razvoju (in imajo koristi od njega), vključno z:
 - **High Fidelity Plasma Simulator in njegovih komponent**
 - **Orodja za obdelavo in analizo podatkov**

Izzivi integracije fizike



SLING

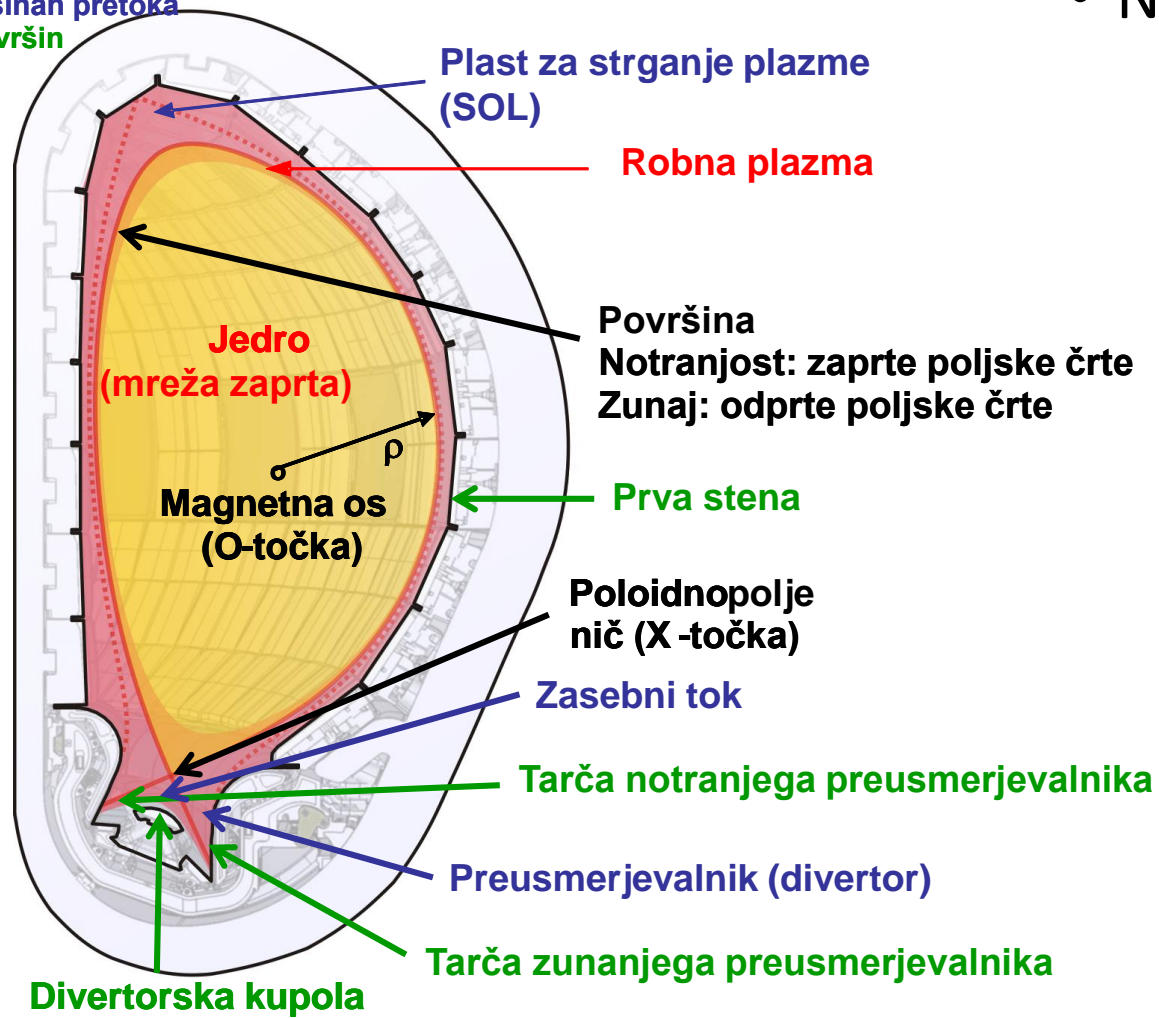
Legenda

Lastnosti magnetne površine

Plazma na zaprtih pretočnih površinah

Plazma na odprtih površinah pretoka

Omejitve materialnih površin



• Na koncu bo potrebno:

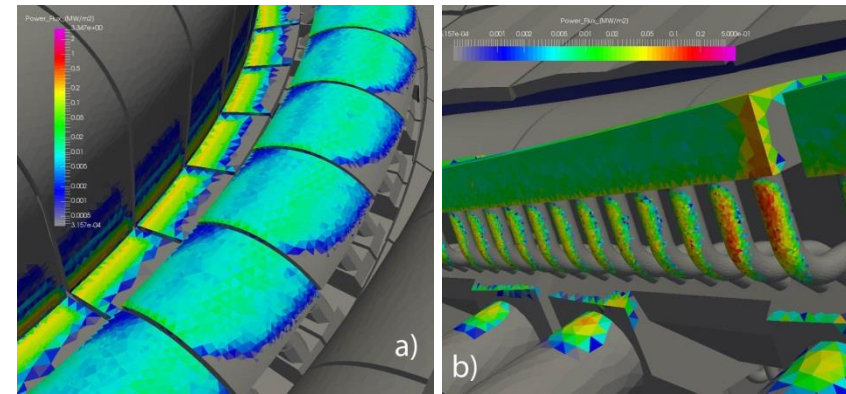
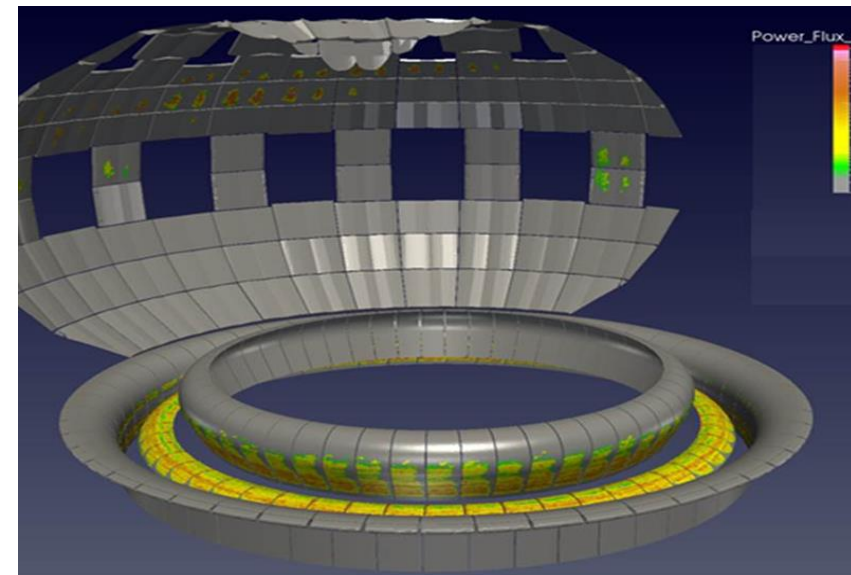
- Spajanje vseh prostorskih plazemskih domen (jedro, rob, plast za strganje in preusmerjevalnik)
- Dinamično povezovanje posameznih fizikalnih modelov, pomembnih za vsako področje
- Interakcija med plazmo in proti plazmi obrnjenimi komponentami
- Povezava plazme z zunanjimi vezji, ogrevalni in tokovni pogon, dovajanje goriva, črpanje in drugi sistemi za omejevanje in nadzor plazme

Računalniški izzivi



- Raziskave **novih algoritmov** in **tehnik**, ob razvoju strojne opreme
 - Ponovno preučevanje tradicionalnih pristopov
- Izkoristiti **napredek v arhitekturi**
 - Npr. Pospešitev preko $\times 50$ z uporabo GPE za sledenje hitrim ionom
→ $\times 200$ z uporabo štirih kartic GPE
- Izkoriščanje tehnik **strojnega učenja** (ML).
 - Pospeši modele prenosa za $\times 10^7$

Pretok moči ionov žarka zaradi
3D polj iz tuljav ELM, valovanja
toroidnega polja TF in jeklenih vložkov



R. Akers et al., LOCUST-GPU

Podatkovni model



- **Podatkovni slovar (DD) določa strukturiranje in poimenovanje podatkov**
 - Iste podatkovne strukture, uporabljene za **eksperimentalne** (vse naprave) in **simulacijske** podatke
 - Velja za **vse naprave** (vključuje podatke (MD) o **opisu naprave**) – ni omejeno na ITER
 - Natančna **pravila oblikovanja** zagotavljajo globalno homogenost
 - Uporablja **drevesno strukturo** (omogoča ponovno uporabo imen)
 - Dobro definirani **postopki življenjskega cikla** omogočajo skupen razvoj podatkovnega modela
- **Podatkovne strukture vmesnika (IDS)**
 - **Standardizirane entitete** za uporabo med komponentami programske opreme in shranjevanjem
 - Primeri vključujejo sisteme obrata (*diagnostika, ogrevalni sistemi*) in fizikalne koncepte (*ravnovesje, profili osnovne plazme*)
 - Vsebuje informacije o **sledljivosti (izvoru)** in **samoopisu**
 - **Podpira modularnost** in **olajša izmenjavo komponent** med sodelavci

PODATKOVNI MODEL IMAS (3.37.0)



SLING

Sistemi gretja

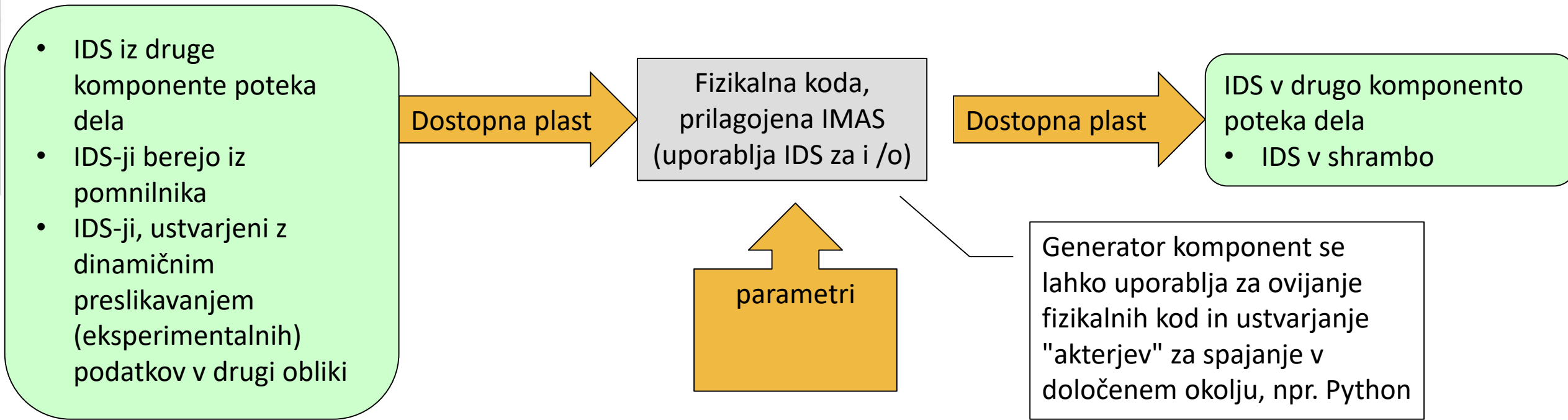
Diagnostika

amns_data	disruption	iron_core	reflectometer_profile
barometry	distribution_sources	langmuir_probes	refractometer
bolometer	distributions	lh_antennas	sawteeth
bremssstrahlung_visible	divertors	magnetics	soft_x_rays
calorimetry	ec_launchers	mhd	spectrometer_mass
camera_ir	ece	mhd_linear	spectrometer_uv
camera_visible	edge_profiles	mse	spectrometer_visible
charge_exchange	edge_sources	nbi	spectrometer_x_ray_crystal
coils_non_axisymmetric	edge_transport	neutron_diagnostic	summary
controllers	em_coupling	ntms	temporary
core_instant_changes	equilibrium	pellets	thomson_scattering
core_profiles	gas_injection	pf_active	tf
core_sources	gas_pumping	pf_passive	transport_solver_numerics
core_transport	gyrokinetics	polarimeter	turbulence
cyrostat	hard_x_rays	pulse_schedule	wall
dataset_description	ic_antennas	radiation	waves
dataset_fair	interferometer	real_time_data	workflow

Uporaba podatkovne strukture vmesnika (IDS) za povezovanje programskih kod



- Dostopna plast IMAS se uporablja za pridobivanje/shranjevanje podatkov in prav tako omogoča enostavno spajanje kod z uporabo IDS, tudi če so napisane v različnih jeziki.
 - Avtomatizirana definicija podatkovnih struktur za vse podprte jezike
 - Fortran, C++, Python, Java, MATLAB
- To je osnova, na kateri so ustvarjeni modularni delovni tokovi, kot so simulatorji plazme in verige za obdelavo podatkov



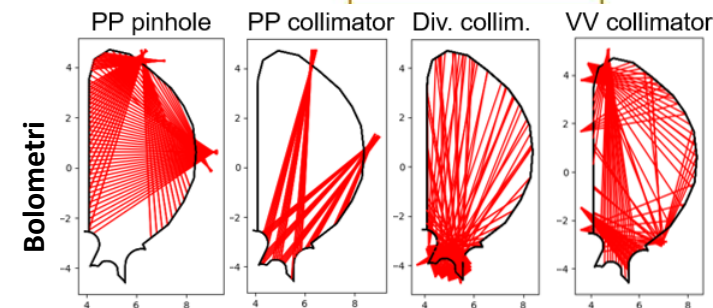
Baza podatkov IMAS Machine Description



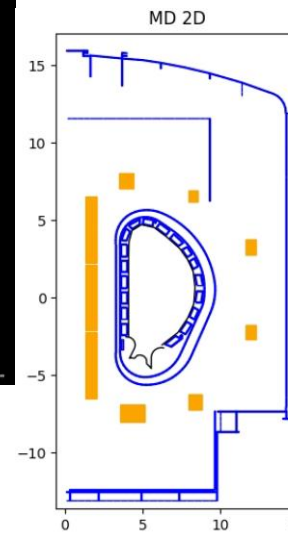
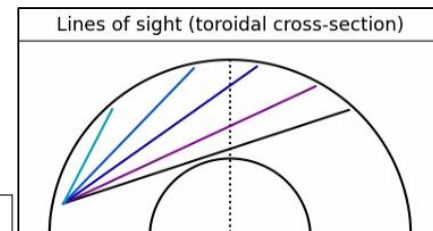
- Opis stroja (MD) je na voljo za sisteme H&CD, številne diagnostike, stene, magnete in tuljave.

```
[pinches@sdcc-login03 ~]$ md_summary
----> Default call equivalent to:
      md_summary -c pbs,ids,description
```

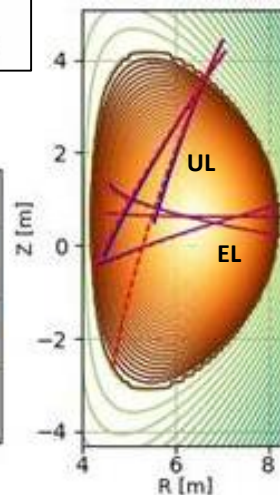
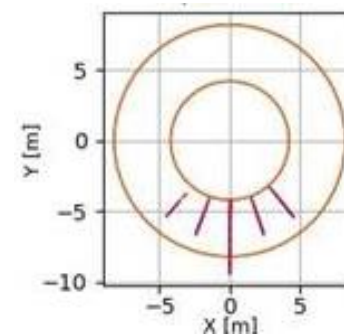
PBS	IDS	DESCRIPTION	SHOT/RUN
PBS-11	pf active	PF/CS Coil System, TF busbars (equivalent) and Virtual Coils	111001/3
PBS-11	tf	TF Coil System	111002/1
PBS-11	coils non axisymmetric	Ex-Vessel Coils (EVC) Systems (CC)	111003/1
PBS-15	coils_non_axisymmetric	In-Vessel Coils (IVC) Systems (ELM)	115001/1
PBS-15	coils_non_axisymmetric	In-Vessel Coils (IVC) Systems (ELM periodic)	115002/1
PBS-15	coils_non_axisymmetric	In-Vessel Coils (IVC) Systems (VS)	115003/1
PBS-15	pf passive	Vacuum Vessel (VV), Triangular Support (TS) and Divertor Inboard Rails (DIR) from IDM	115004/1
PBS-15	pf passive	Vacuum Vessel (VV), Triangular Support (TS) and Divertor Inboard Rails (DIR) from DINA	115005/2
PBS-55.D1	bolometer	PP pinholes and collim., Div. collim., VV collim. (550 channels)	150401/2
PBS-55.E5	spectrometer_x_ray_crystal	Core X-Ray Spectrometer (XRCS)	150505/2
PBS-55.EC	spectrometer_visible	Charge Exchange Recombination Spectroscopy (CXRS) Edge	150512/2
PBS-55.E1	spectrometer_visible	Charge Exchange Recombination Spectroscopy (CXRS) Core	150501/2
PBS-55.EF	spectrometer_visible	Charge Exchange Recombination Spectroscopy (CXRS) Pedestal	150515/2
PBS-52	ec launchers	Electron Cyclotron (EC) launchers	120000/1
PBS-55.F1	ece	Electron Cyclotron Emission (ECE) - Radial 0-mode	150601/1
PBS-55.F1	ece	Electron Cyclotron Emission (ECE) - Radial X-mode	150601/2
PBS-55.F1	ece	Electron Cyclotron Emission (ECE) - Oblique 0-mode	150601/3
PBS-55.F1	ece	Electron Cyclotron Emission (ECE) - Oblique X-mode	150601/4
PBS-51	ic antennas	Ion Cyclotron (IC) antennas	110000/1
PBS-55.C5	interferometer	Toroidal Interfero-Polarimeter (TIP)	150305/1
PBS-55.FA	interferometer	Density Interfero-Polarimeter (DIP)	150610/1
PBS-55.A*	magnetics	AD, AE, AF, AH, AI, A3, A4, A5, A6, AA, AB, AJ, AL, A9, AC, AG, AP magnetic systems	150100/3
PBS-53	nbi	Heating Neutral Beams (HNB) - H beams 870 keV - off-off	130000/1201
PBS-53	nbi	Heating Neutral Beams (HNB) - H beams 870 keV - off-on	130000/1301
PBS-53	nbi	Heating Neutral Beams (HNB) - H beams 870 keV - on-on	130000/1501
PBS-53	nbi	Heating Neutral Beams (HNB) - D beams 1 MeV - off-off	130000/2201
PBS-53	nbi	Heating Neutral Beams (HNB) - D beams 1 MeV - off-on	130000/2301
PBS-53	nbi	Heating Neutral Beams (HNB) - D beams 1 MeV - on-on	130000/2501
PBS-53	nbi	Diagnostic Neutral Beam (DNB) - on-axis	130000/3201
PBS-53	nbi	Diagnostic Neutral Beam (DNB) - off-axis	130000/3101
PBS-55.C6	polarimeter	Poloidal Polarimeter (POP)	150306/1
PBS-55.F9.40	refractometer	Sub-system refractometer of HFS reflectometer	150609/401
PBS-55.E6	spectrometer_visible	Visible Spectroscopy Reference System (VRS)	150506/2
PBS-16	wall	First wall and divertor geometry for PFPO and FP0 phases	116000/2
PBS-16.FC	wall	First Plasma Protection Components (FPPC)	116612/1
PBS-16	pf passive	Blanket Module Panel (BMP)	116001/1



Toroidni interfero-polarimeter



EC lansirniki



- Podatkovna baza MD zagotavlja geometrijo sistemov naprave, ki se uporablja kot vnos simulacijskih kod

Primer (Python) skripte

```
import os, imas
from imas.imasdef import MDSPLUS_BACKEND,CLOSEST_SAMPLE
from dip_tip.wrapper import dip_tip_actor as dip_tip
```

```
# SCENARIO AND MD INPUT DATA, LOCAL OUTPUT DATA
shot_scen, run_scen, user_scen, database_scen = 134174, 117, 'public', 'iter'
shot_md, run_md, user_md, database_md = 150305, 1, 'public', 'ITER_MD'
shot_out, run_out, user_out, database_out = 134174, 118, os.getenv('USER'), 'iter'
```

```
# OPEN SCENARIO DATA
scenario = imas.DBEntry(MDSPLUS_BACKEND,database_scen,shot_scen,run_scen,user_scen)
scenario.open()
```

```
# OPEN AND READ MACHINE DESCRIPTION DATA
mach_descr = imas.DBEntry(MDSPLUS_BACKEND,database_md,shot_md,run_md,user_md)
mach_descr.open()
interferometer_md = mach_descr.get('interferometer')
```

```
# CREATE LOCAL OUTPUT DATAFILE
output = imas.DBEntry(MDSPLUS_BACKEND,database_out,shot_out,run_out,user_out)
output.create()
```

```
# TIME ARRAY
time_array = scenario.partial_get(ids_name='equilibrium',data_path='time')
ntime = len(time_array)
```

```
# START TIME LOOP
first_time_slice = 1
for itime in range(ntime):
```

```
    # TIME PASSING BY
    print('Time = %5.2f' % time_array[itime], 's, itime = ', itime, '/', ntime)
```

```
    # GET EQUILIBRIUM AND CORE_PROFILES FOR CURRENT TIME SLICE
    equilibrium_scen = scenario.get_slice('equilibrium', time_array[itime],CLOSEST_SAMPLE)
    core_profiles_scen = scenario.get_slice('core_profiles',time_array[itime],CLOSEST_SAMPLE)
```

```
    # RUN THE SYNTHETIC DIAGNOSTIC
    interferometer_out = dip_tip(equilibrium_scen,core_profiles_scen,interferometer_md,'parameters.xml')
```

```
    # SAVE OUTPUT TO LOCAL DATABASE
    if first_time_slice == 1:
        output.put(interferometer_out) # !!! FOR STATIC DATA TO BE SAVED
    else:
        output.put_slice(interferometer_out)
```

```
    first_time_slice = 0
```

```
scenario.close()
mach_descr.close()
output.close()
```

```
print('Done.')
```

} Določite vnose v zbirki podatkov za branje plazemskega scenarija, opisnih podatkov stroja in shranjevanje izhodnih podatkov

} Odprite zbirko podatkov scenarijev, preberite opisne podatke stroja in ustvarite vnos izhodne baze podatkov

} IDS

} Zaženite sintetično diagnostiko

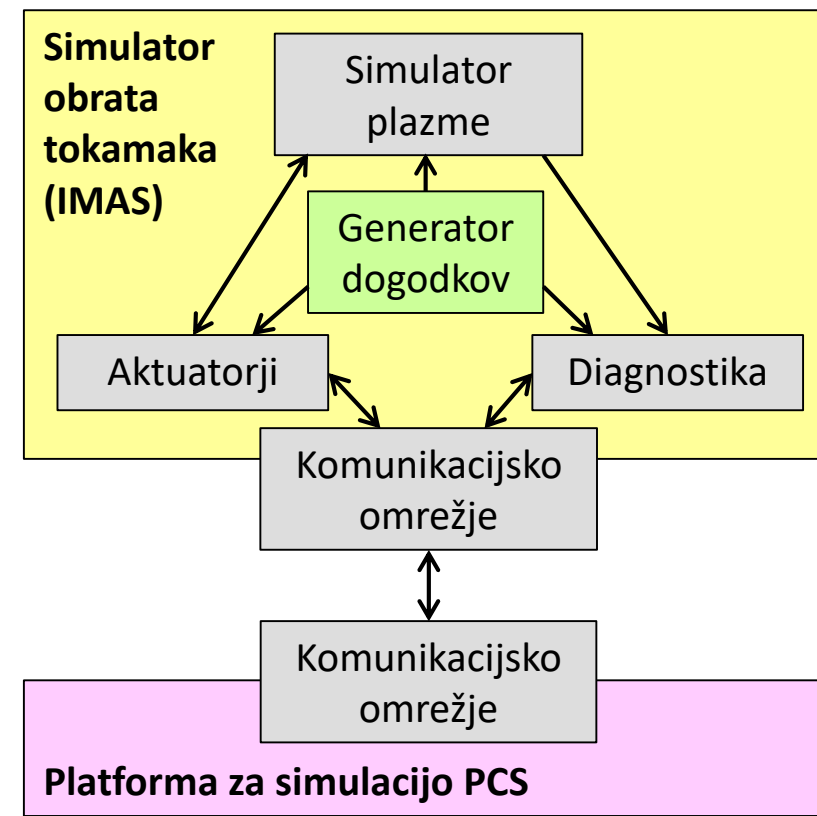
} Shrani izpis

} Zanka čez časovne rezine

Simulator plazme IMAS



- Eden od glavnih rezultatov programa IMAS je simulator plazme za podporo fizikalne validacije scenarijev plazme - *High-Fidelity Plasma Simulator*.
- Ko-simulacije simulatorja plazme in platforme za simulacijo sistema za nadzor plazme (PCSSP)
 - Osnova za validacijo fizike
 - Razvitje strategije nadzora od sprožitve plazme do nadzora gorenja
 - Izboljšanje odziva na dogodke
 - L-H prehod
 - Prekinitev napajanja
 - Slabša diagnostika/napake

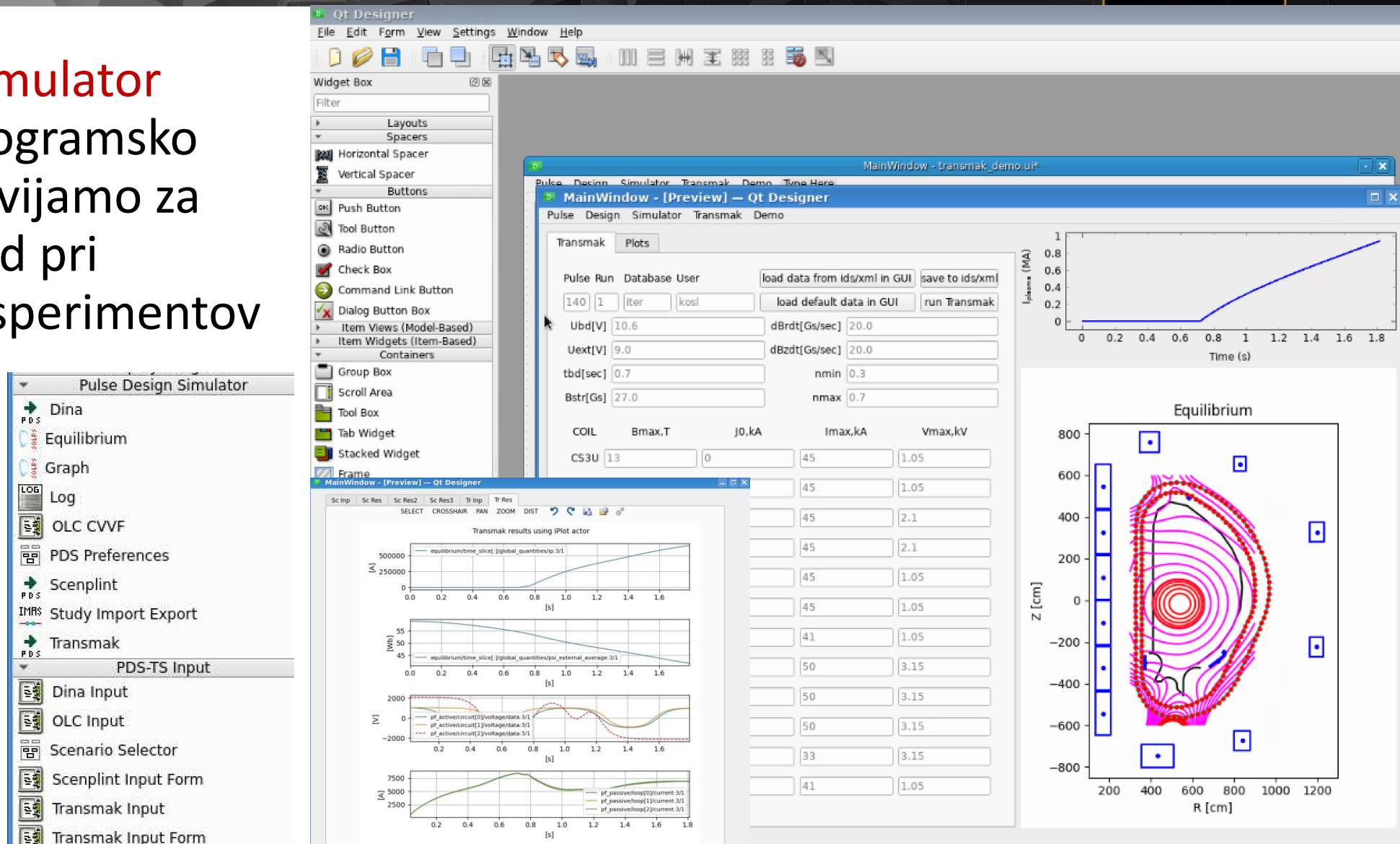


Načrtovanje simulacij plazme z PDS-WF



Pulse Design Simulator Workflow je programsko okolje, ki ga razvijamo za povezovanje kod pri načrtovanju eksperimentov prve plazme:

- Scenplint
- Transmak
- DINA
- ...



Shranjevanje plazemskih simulacij



- Simulacije plazme so shranjene v zbirki scenarijev IMAS, ki zdaj vsebuje >750 ITER scenarijev oz. simulacij različnih podrobnosti
- Podatki so predstavljeni kot nabori Interface Data Structures (IDSs)
- To je edini vir, prek katerega so zdaj na voljo vsi fizikalni simulacijski podatki
 - Npr. za podporo tekočih projektnih dejavnosti, vključno z razvojem diagnostičnih modelov (sintetična diagnostika)
- Orodje SimDB za izboljšano upravljanje naborov podatkov ter oddaljeno odkrivanje in pridobivanje podatkov

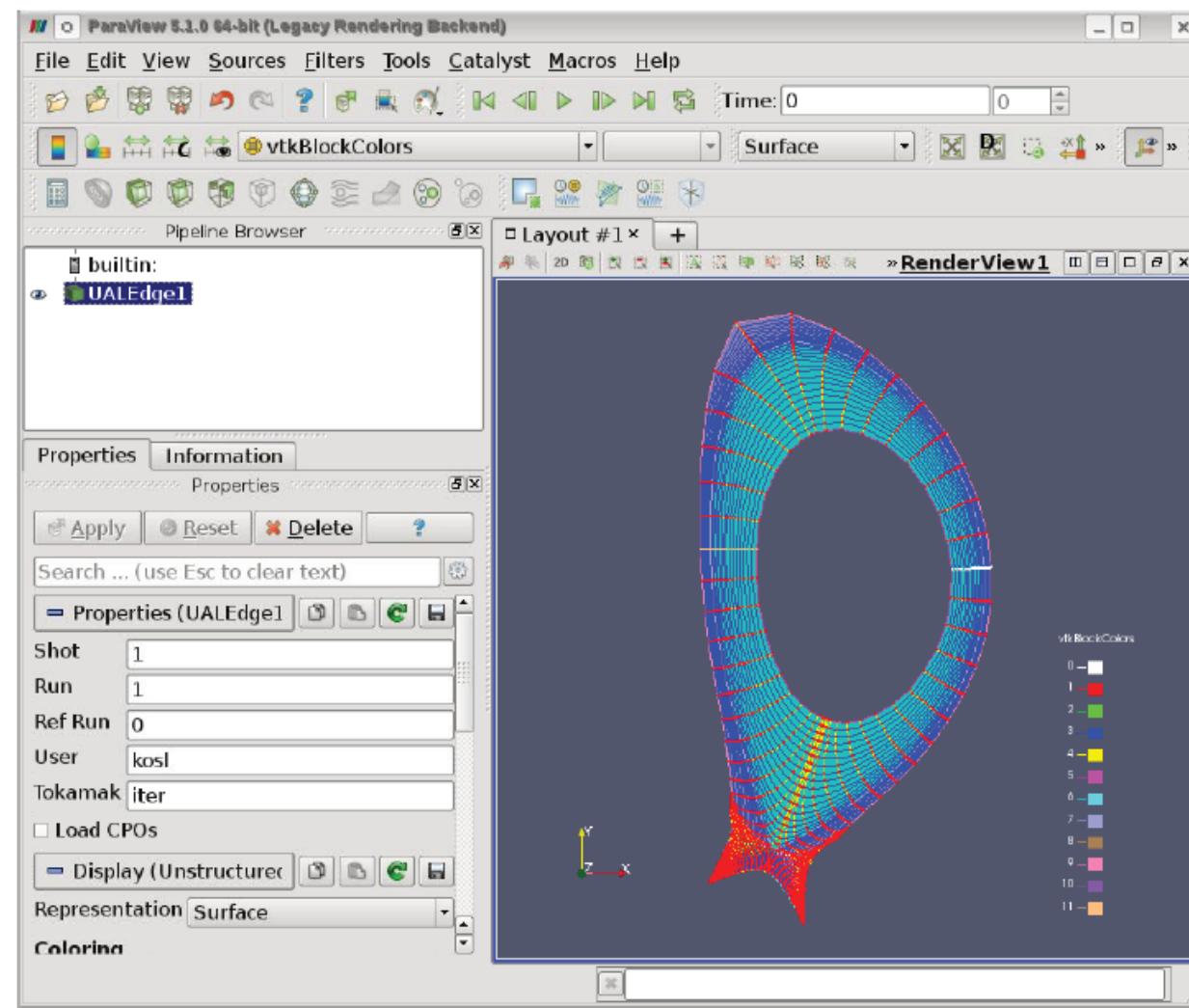
Več kot 750 aktivnih scenarijev v DB scenarijev IMAS

----> Default call equivalent to: scenario_summary -c shot,run,database,ref_name,ip,b0,fuelling,confinement,workflow									
Pulse	Run	Database	Reference	Ip[MA]	B0[T]	Fuelling	Confinement	Workflow	
100001	2	ITER	ITER-full-field-H	-15.0	-5.3	H	L-mode	METIS	
100002	1	ITER	ITER-half-field-H	-7.5	-2.65	H	L-mode	METIS	
100003	1	ITER	ITER-third-field-H	-5.0	-1.8	H	L-H-L	METIS	
100007	1	ITER	ITER-intermediate-3T-H	-8.5	-3.0	H	L-H-L	METIS	
100008	1	ITER	ITER-intermediate-3.3T-H	-9.5	-3.3	H	L-H-L	METIS	
100009	1	ITER	ITER-intermediate-4.5T-H	-12.5	-4.5	H	L-mode	METIS	
100013	1	ITER	ITER-PFP01-1.8T-H	-5.0	-1.8	H	L-H-L	METIS	
100014	2	ITER	ITER-PFP02-1.8T-H-0.5*n_GW-NBI_530keV_9.4MW	-5.0	-1.8	H	L-H-L	METIS	
100015	1	ITER	ITER-PFP02-1.8T-H-0.9*n_GW-NBI_745keV_22.3MW	-5.0	-1.8	H	L-H-L	METIS	
100501	3	ITER	ITER-nonactive-H	-7.5	-2.65	H	L-H-L	CORSIKA	
100502	3	ITER	ITER-nonactive-H	-7.5	-2.65	H	L-H dithering	CORSIKA	
100503	3	ITER	ITER-nonactive-H	-7.5	-2.65	H	L	CORSIKA	
100504	3	ITER	ITER-nonactive-H	-9.6	-3.25	H	L	CORSIKA	
100505	3	ITER	ITER-nonactive-H	-12.7	-4.7	H	L	CORSIKA	
100506	3	ITER	ITER-nonactive-H	-15.0	-5.3	H	L	CORSIKA	
100507	3	ITER	ITER-nonactive-H	-5.0	-1.77	H	L-H-L	CORSIKA	
101000	50	ITER	PFP0-2 tf=tE,2NBI,highTped,postST	-7.5	-2.65	H	H-mode	ASTRA	
101001	50	ITER	PFP0-2 tf=tE,2NBI,highTped,preST	-7.5	-2.65	H	H-mode	ASTRA	
101002	50	ITER	PFP0-2 tf=tE,2NBI,lowTped,postST	-7.5	-2.65	H	H-mode	ASTRA	
101003	50	ITER	PFP0-2 tf=tE,2NBI,lowTped,preST	-7.5	-2.65	H	H-mode	ASTRA	
101004	60	ITER	PFP0-2 tf=2tE,2NBI	-7.5	-2.65	H	H-mode	ASTRA	
101005	60	ITER	PFP0-2 tf=tE,2NBI	-7.5	-2.65	H	H-mode	ASTRA	
101006	60	ITER	PFP0-2 tf=0.5tE,2NBI	-7.5	-2.65	H	H-mode	ASTRA	
101007	40	ITER	PFP0-2 H-5MA-20EC-10NBI Pr=0.3(tf/tE=2)	-5.0	-1.8	H	H-mode	ASTRA	
101007	41	ITER	PFP0-2 H-5MA-20EC-10NBI Pr=0.3(tf/tE=1)	-5.0	-1.8	H	H-mode	ASTRA	
101007	42	ITER	PFP0-2 H-5MA-20EC-10NBI Pr=0.3(tf/tE=0.65)	-5.0	-1.8	H	H-mode	ASTRA	
101008	40	ITER	PFP0-1 iterH08.HOHFSBBI	-5.0	-1.8	H	Ohmic	ASTRA	
104001	1	ITER	Militello Asp et al IAEA 2016 TH/P2-23 paper Figur	-15.0	-5.16	H	L-mode	JINTRAC mkimas	
104001	2	ITER	Militello Asp et al IAEA 2016 TH/P2-23 paper Figur	-15.0	-5.3	H	L-mode	JINTRAC mkimas	
104010	1	ITER	OPE1057 - Three ion ICRH scheme first attempt	-8.8	-3.13	H	H-mode	JETTO mkimas	
104100	1	iter	Easp F4E-GRT502 H 10MA 20MW L-mode	-10.0	-5.23	H	L-mode	JINTRAC mkimas	
104100	2	iter	Easp F4E-GRT502 H 15MA 20MW L-mode	-15.0	-5.16	H	L-mode	JINTRAC mkimas	
104101	1	iter	F4E-GRT502 derived H 9.5MA 4.5T 20MW L-mode	-9.5	-4.5	H	L-mode	JINTRAC mkimas	
104102	12	ITER	Vasilli H 5.0MA 1.8T L-H transition	-5.0	-1.8	H	L-mode	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104102	22	ITER	Vasilli H 5.0MA 1.8T L-H transition	-5.0	-1.8	H	L-H	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104102	32	ITER	Vasilli H 5.0MA 1.8T L-H transition	-5.0	-1.8	H	L-H	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104102	42	ITER	Vasilli H 5.0MA 1.8T L-H transition	-5.0	-1.8	H	H-mode	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104103	12	ITER	Luca H 7.5MA 2.65T Ne rich L-H transition	-7.5	-2.58	H	L-mode	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104103	22	ITER	Luca H 7.5MA 2.65T Ne rich L-H transition	-7.5	-2.58	H	L-H transition	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104103	32	ITER	Luca H 7.5MA 2.65T Ne rich L-H transition	-7.5	-2.58	H	L-H transition	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104103	42	ITER	Luca H 7.5MA 2.65T Ne rich L-H transition	-7.5	-2.58	H	H-mode	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104104	12	ITER	Emmi H 7.5MA 2.65T with He, L-H transition	-7.5	-2.65	H	L-mode	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104104	22	ITER	Emmi H 7.5MA 2.65T with He, L-H transition	-7.5	-2.65	H	L-H transition	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104104	32	ITER	Emmi H 7.5MA 2.65T with He, L-H transition	-7.5	-2.65	H	H-mode	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
104105	12	ITER	Emmi H 7.5MA 2.65T with He, L-H transition	-15.0	-5.3	H	L-mode	JINTRAC mkimas + spider-inverse	
105001	4	ITER	15MA H-DINA2017-01	-14.97	-5.3	H	Ohmic	DINA	
105002	4	ITER	15MA H-DINA2018-04	-14.97	-5.3	H	Ohmic	DINA	
105003	4	ITER	10MA H-DINA2018-03	-10.08	-5.3	H	Ohmic	DINA	

SOLPS-ITER



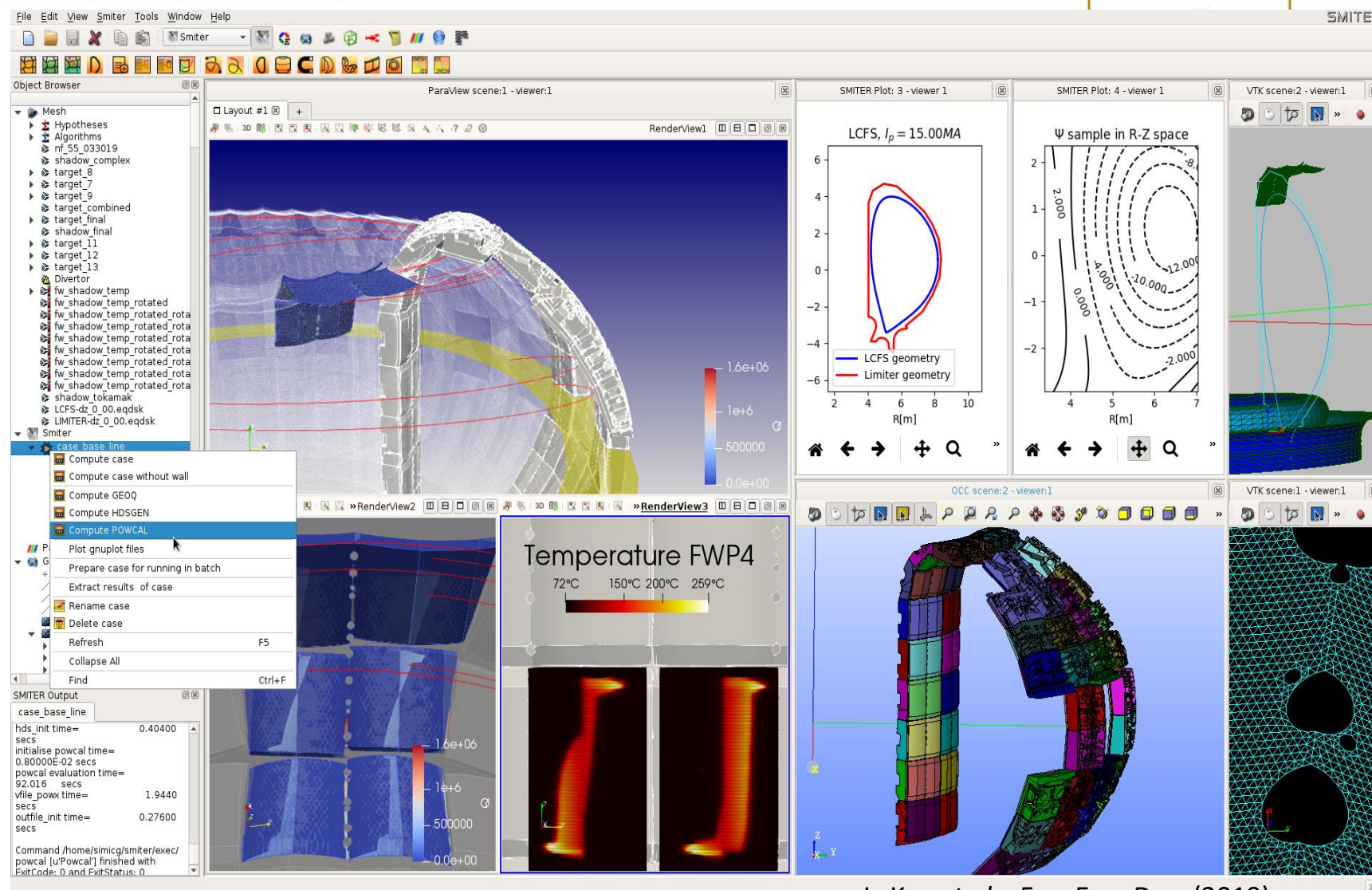
- SOLPS-ITER je ITER-jeva standardna robna fizikalna koda
 - Prilagojen za arhiviranje svojih podatkov v obliki **edge_profiles**, **edge_sources**, **edge_transport** in IDS **sevanja** ter uporabo **AMNS** za stopnje A&M v vrstah tekočin B2.5
- Okoli 500 primerov edge/SOL ITER v bazi podatkov IMAS (vključno z vsemi primeri SOLPS4.3)
- Razvili smo SOLPS-GUI, razvit za pomoč pri zagonu na HPC in spremljanju izvajanj, arhiviranju in podrobni analizi rezultatov
- DivGeo pripomoček divertor geometry lahko zdaj bere/piše WALL IDS



Koda za sledenje tokovnicam magnetnega polja SMITER



- SMITER obravnava različne primere uporabe:
 - Preslikava odlaganja moči na prvo steno in PFC divertorja
 - Vnos za krmilne algoritme in proizvodnjo sintetičnih površinskih temperatur za diagnostično načrtovanje
- Lahko bere/piše in manipulira z ID-ji WALL in EQUILIBRIUM
 - V veliki meri uporablja opis splošne mreže IMAS

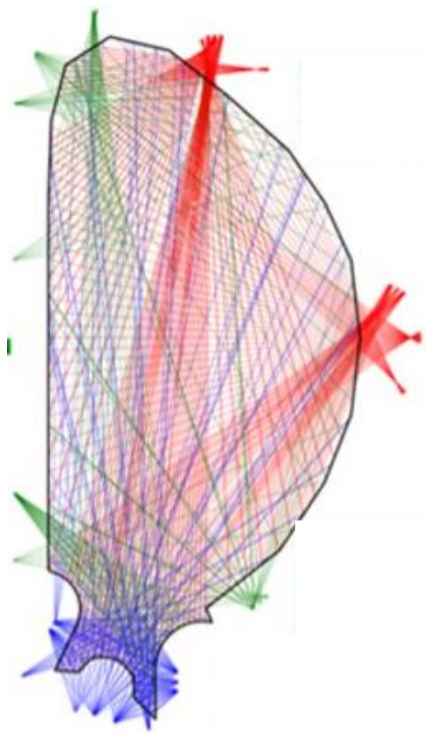


Rekonstrukcija sevalnih profilov plazme

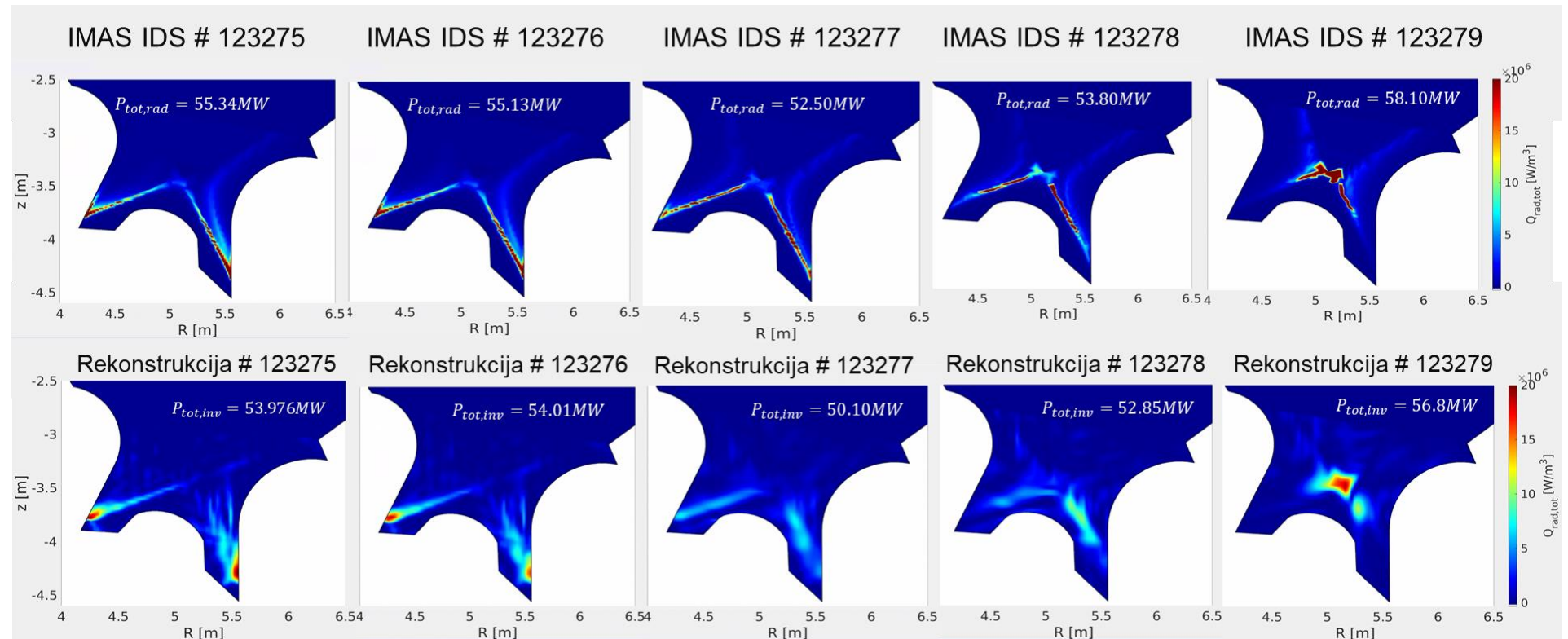


Preko sintetičnih signalov bolometrov

- Izračun sintetičnih signalov na realističnem sevalnem profilu plazme
- Rekonstrukcija sevalnega profila plazme iz sintetičnih signalov (inverzni problem)



Pozicija in vidno polje bolometrov, ponazorjeno s črto.

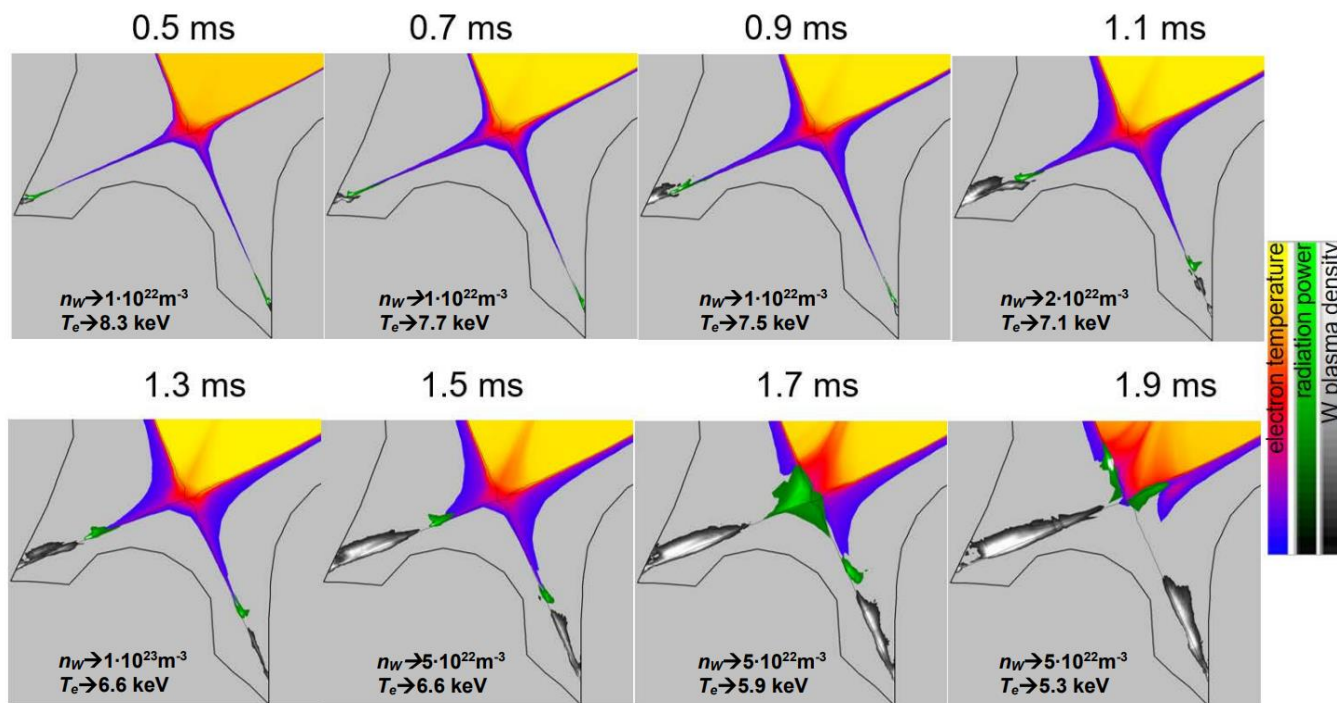


Rekonstrukcija profilov (spodaj) za 5 realističnih SOLPS primerov (zgoraj), ko z dodajanjem Ne v plazmo povzročimo pomik največjih sevalnih tokov iz stene reaktorja proti X-točki (od leve proti desni).

TOKES ("Tokamak Equilibrium and Surfaces")



- **glavne prednosti kode:** hitro izvajanje teka simulacij, parametrične študije na reaktorski skali
- simulacija hitrih prehodnih pojavov termičnih obremenitev PFC (ELM), simulacija SPI in MGI
- računanje multifluidnih procesov (tudi nečistoče in nevtralni tokovi) v jedrnih in SOL plazmah
- standardne površinske interakcije: "sputtering", simulacija površinskega uparjanja in parnega ščita...



TOKES simulacija nekontrolirane motnje
začetne energije plazme 280 MJ



Hvala!



This project has received funding from the European High-Performance Computing Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 951732. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Germany, Bulgaria, Austria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Lithuania, Latvia, Poland, Portugal, Romania, Slovenia, Spain, Sweden, United Kingdom, France, Netherlands, Belgium, Luxembourg, Slovakia, Norway, Switzerland, Turkey, Republic of North Macedonia, Iceland, Montenegro



EuroHPC
Joint Undertaking