




Simulace dynamických účinků pohybů výrobního robota

Jakub Cejpek, Radek Linhart, Jan Kalivoda

Simulia Days 2025

 PUBLIC

1. Úvod
2. Abaqus
3. Simpack
4. 3DEXPERIENCE
5. Závěr

- Cíl prezentace:
 - Přiblížit možnosti řešení dynamických úloh pomocí MKP i MBS
 - Možnosti
 - Výhody / Nevýhody
- Demonstrace na příkladu: nouzové brždění výrobního robota



DEMONSTRAČNÍ PŘÍKLAD

NOUZOVÉM BRZDĚNÍ VÝROBNÍHO ROBOTA

- Analýza **silových účinků** při nouzovém brzdění výrobního robota
- Metoda simulace:
 - Abaqus
 - Simpack
 - 3DExperience Multibody

- STÄUBLI Robotics TX2-60L
- výrobní robot
- 6 os
- Hmotnost 52,9kg
- Břemeno 3,7kg

Axis 1 (A)	± 180°
Axis 2 (B)	± 127.5°
Axis 3 (C)	± 152.5 °
Axis 4 (D)	± 270°
Axis 5 (E)	+ 132.5°/-121°
Axis 6 (F)	± 270° ⁽¹⁾

Joint speed -axis 1	435°/s
Joint speed -axis 2	385°/s
Joint speed -axis 3	500°/s
Joint speed -axis 4	995°/s
Joint speed -axis 5	1065°/s
Joint speed -axis 6	1445°/s
Maximum speed at load gravity center	11.1 m/s
Maximum inertia axis 5	0.125 kg.m ²
Maximum inertia axis 6	0.032 kg.m ²



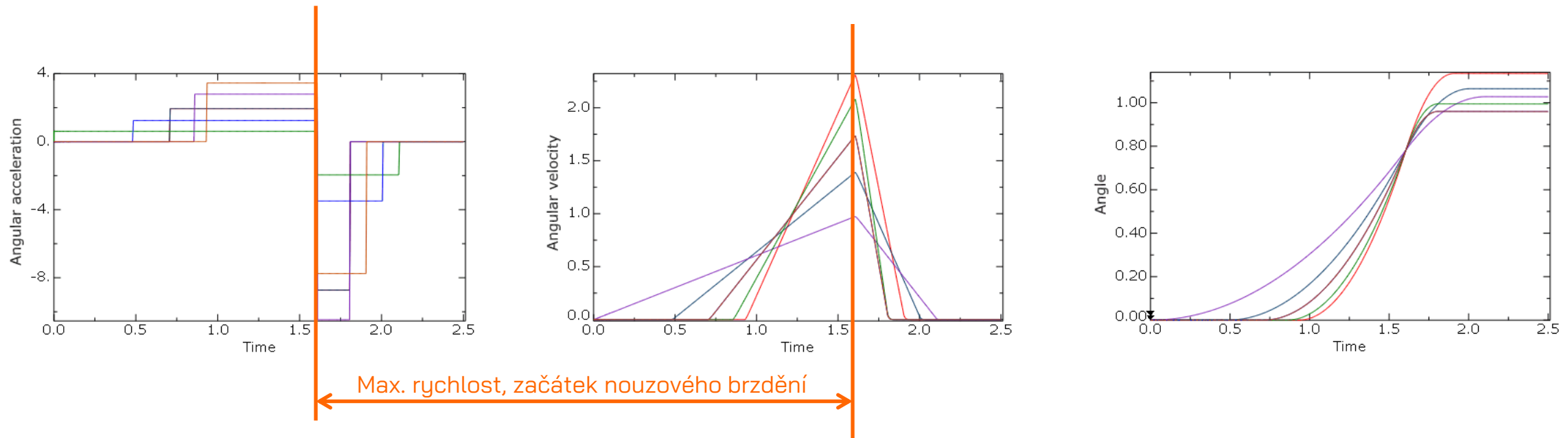
	TX2-60L
Load capacity	3.7 kg
Reach (between axis 1 and 6)	920 mm
Number of degrees of freedom	6
Repeatability - ISO 9283	± 0.02 mm
Average power consumption	0.4 kW
Weight	52.9 kg



VSTUPY DO SIMULACE

ANEK BEZ ČEHO SE NEOBEJDEME

- CAD Geometrie
- Hmotnostní rozbor
- Výchozí stav robota při začátku brždění (poloha, rychlost)
- Brzdné parametry

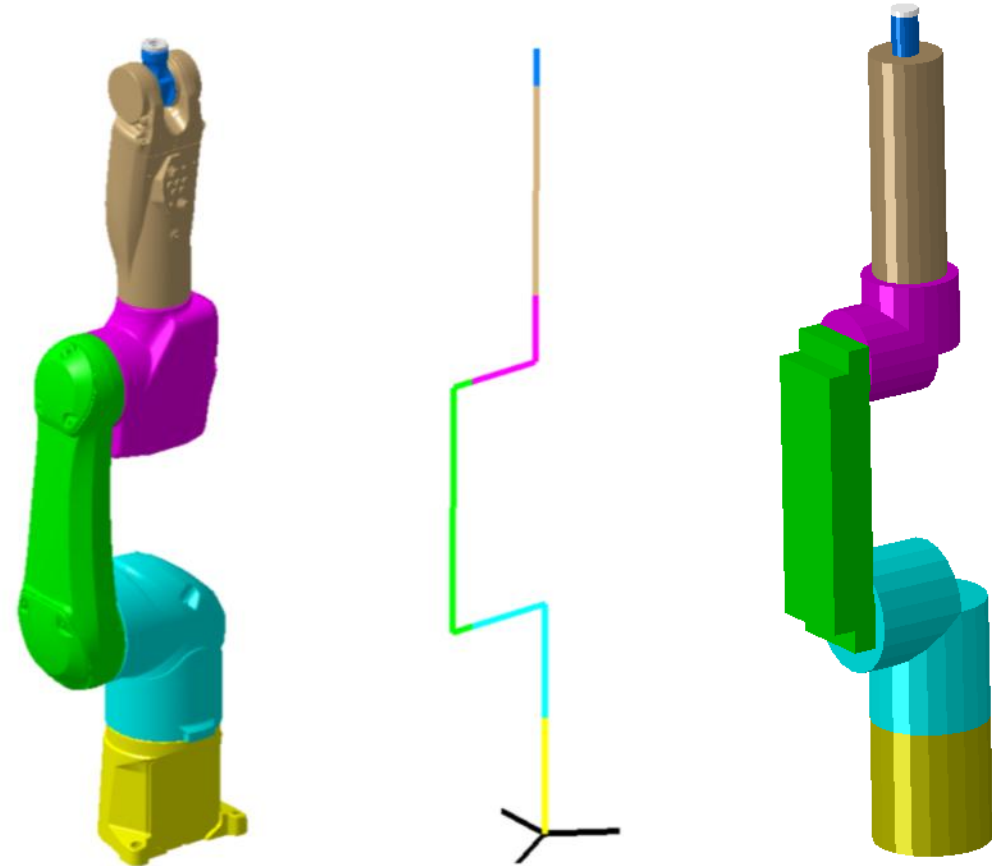


1. Úvod
2. Abaqus
3. Simpack
4. 3DEXPERIENCE
5. Závěr

ŘEŠENÍ V ABAQUSU

ZÁKLADNÍ ROZVAHA

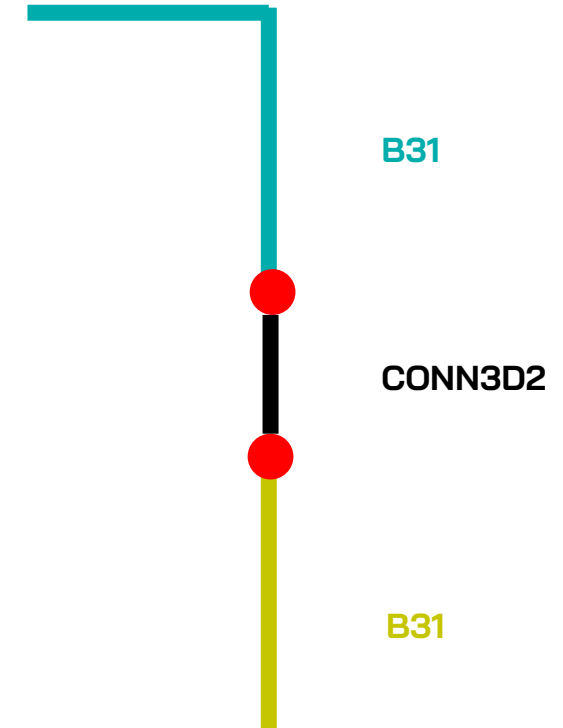
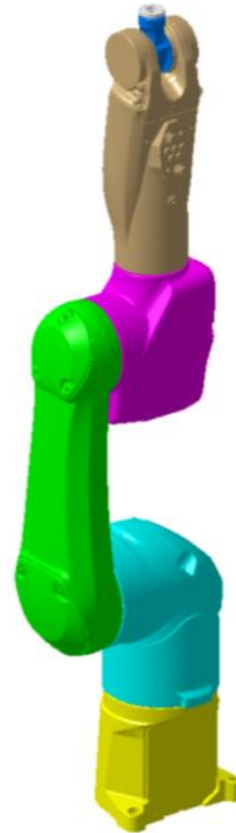
- Geometrie – solid nebo beam?
- Step bude implicitní dynamika -> mnoho inkrementů
- Solid:
 - Lepší distribuce hmoty
 - Dlouhý výpočet nebo Rigid body
- Beam
 - INP lze napsat ručně
 - Poddajné těleso
 - Zjednodušení profilu
 - Horší distribuce hmoty



ŘEŠENÍ V ABAQUSU

KINEMATIKA MODELU

- Kinematika využije elementy Conn3D2
- Důležité nastavení konektoru:
 - Typ konektoru
 - Souřadný systém
 - Rozsah úhlů
 - Tuhost
 - Amplituda zrychlení
 - Požadavky na výstup



ŘEŠENÍ V ABAQUSU

DEFINICE KONEKTORU

***CONNECTOR SECTION**, ELSET=OSA_1, BEHAVIOR=Behav_1

Hinge

Ori_Axis_1

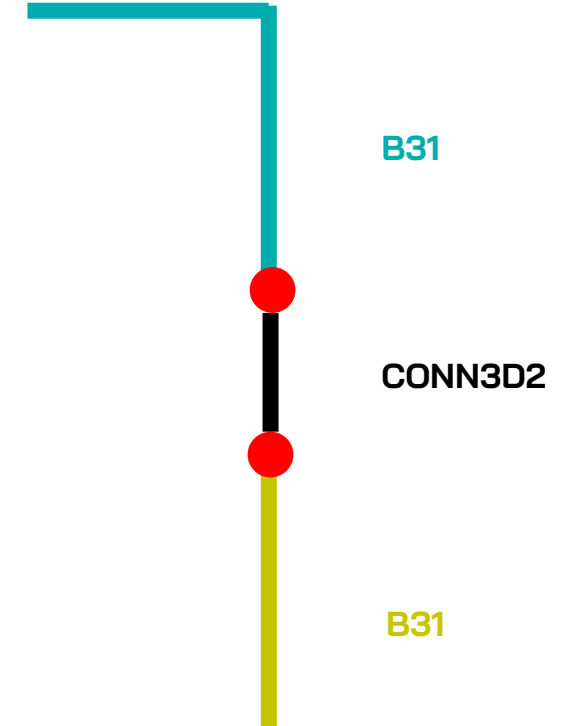
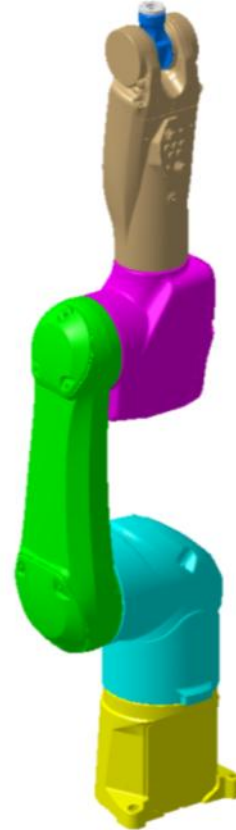
***ORIENTATION**, NAME=Ori_Axis_1, DEFINITION=NODES

1, 11, 2

***CONNECTOR BEHAVIOR**, NAME=Behav_1

***CONNECTOR STOP**, COMPONENT=4

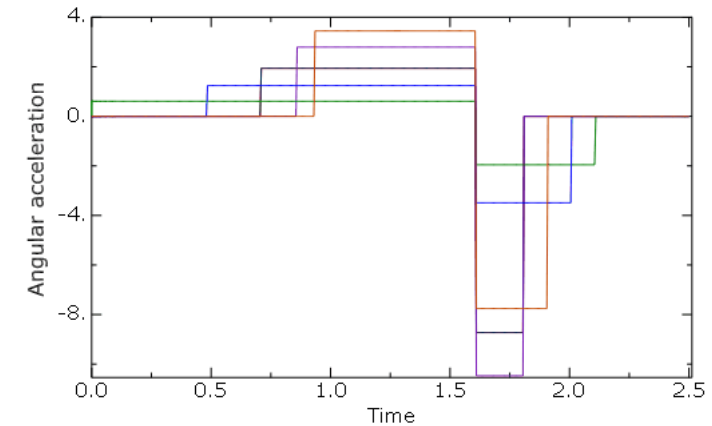
-3.1416, 3.1416



ŘEŠENÍ V ABAQUSU

DEFINICE STEPu

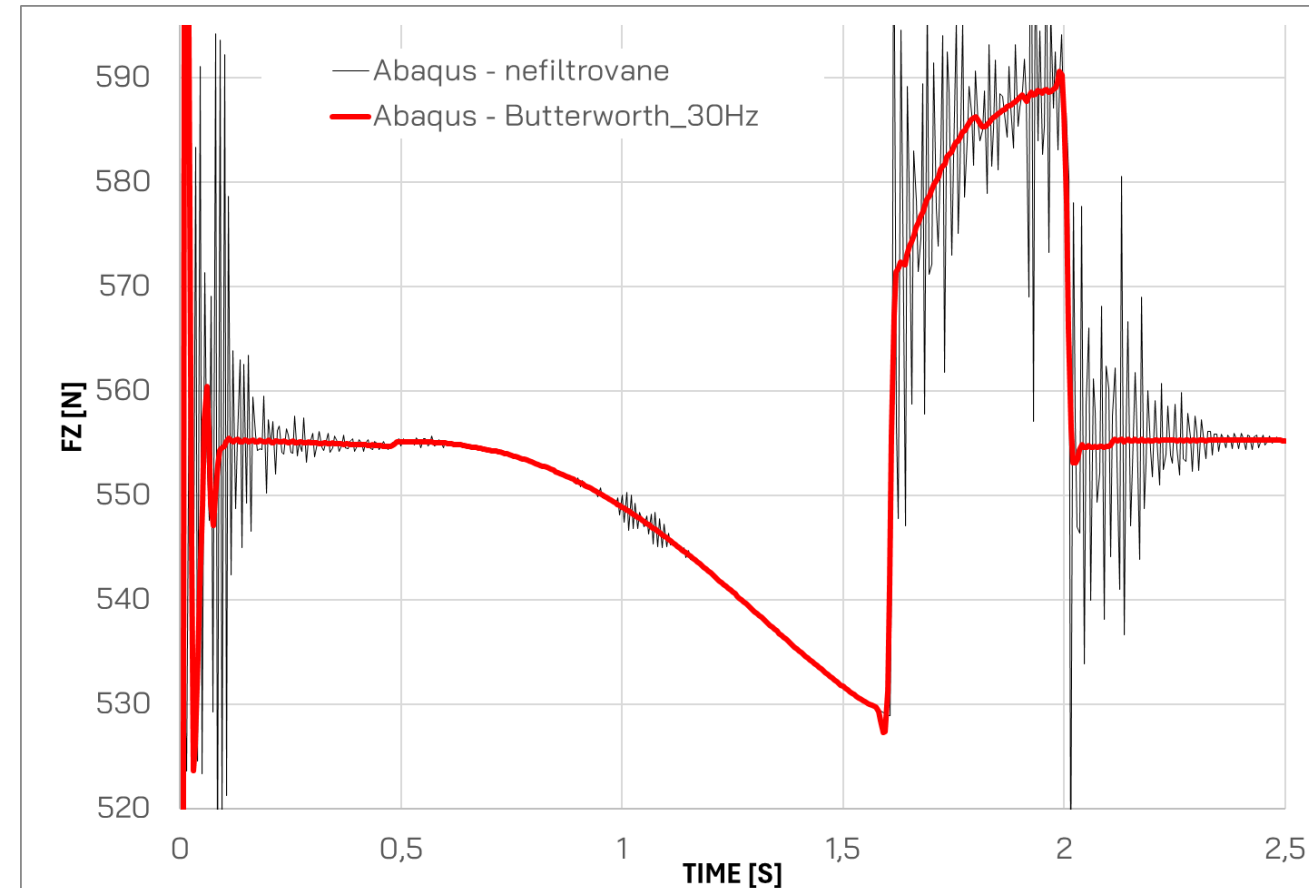
```
*STEP, INC=1000000, NLGEOM=YES
*DYNAMIC, SINGULAR MASS=WARNING
0.001, 2.5, 4.E-5
*BOUNDARY, TYPE=DISPLACEMENT, OP=NEW
BC, 1, 6, 0
*CONNECTOR MOTION, TYPE=ACCELERATION, AMPLITUDE=Axis_1
OSA_1, 4, 0.017453293
...
*OUTPUT, FIELD, TIME INTERVAL=0.005
*NODE OUTPUT
A,CF,RF,U,V
**
*OUTPUT, HISTORY, FREQUENCY=1
*ELEMENT OUTPUT, ELSET=OSA_1
CUR1, CVR1, CAR1
```



ŘEŠENÍ V ABAQUSU

POSTPROCESSING

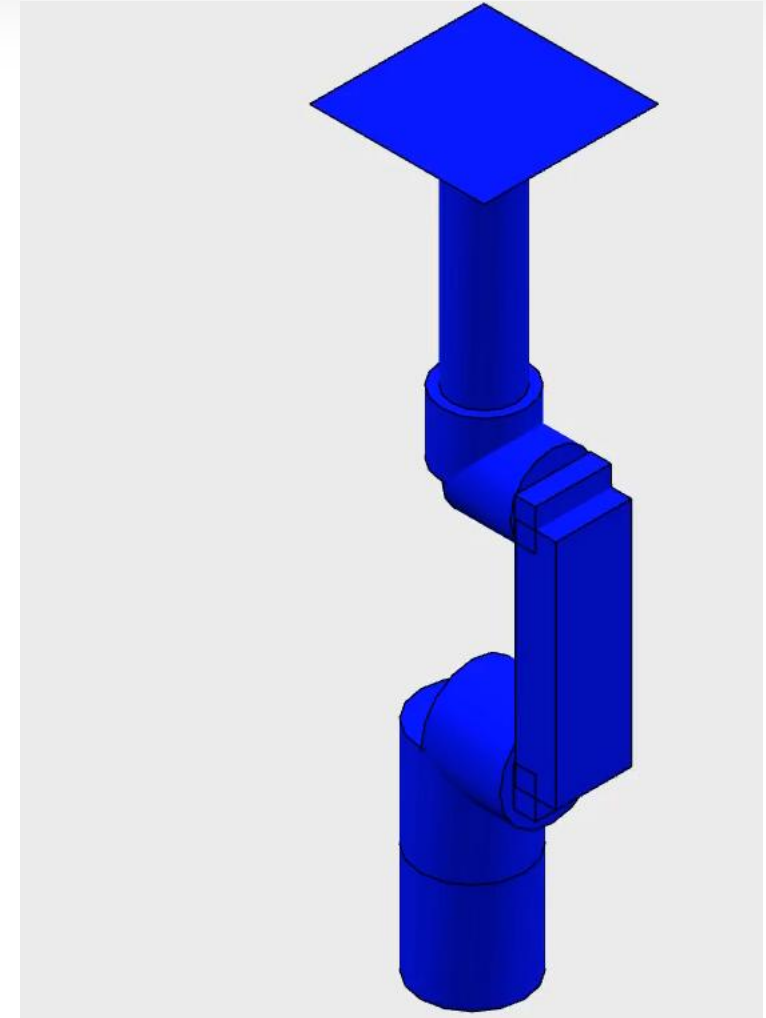
- Poddajná tělesa kmitají vlastním tvarem na určité frekvenci
- K jevu přispívá i absolutně tuhé vetknutí
- Výsledky je třeba filtrovat, např. filtr Butterworth 30Hz



ŘEŠENÍ V ABAQUSU

ZÁVĚR

- Výhody MKP přístupu
 - Implicitní možnost analyzovat poddajná tělesa
 - Jednoduché příklady mohu napsat ručně a parametricky naskriptovat
 - Robot
 - Řízení v letadle
- Nevýhody MKP přístupu
 - Výrazně delší simulační čas, zejména u složitých modelů
 - Konvergence kontaktu
 - Aproximace tvaru konečnými prvky
 - U beamových prvků složitější ladění hmoty
 - Složitější postprocessing (poddajná tělesa)



1. Úvod
2. Abaqus
3. Simpack
4. 3DEXPERIENCE
5. Závěr

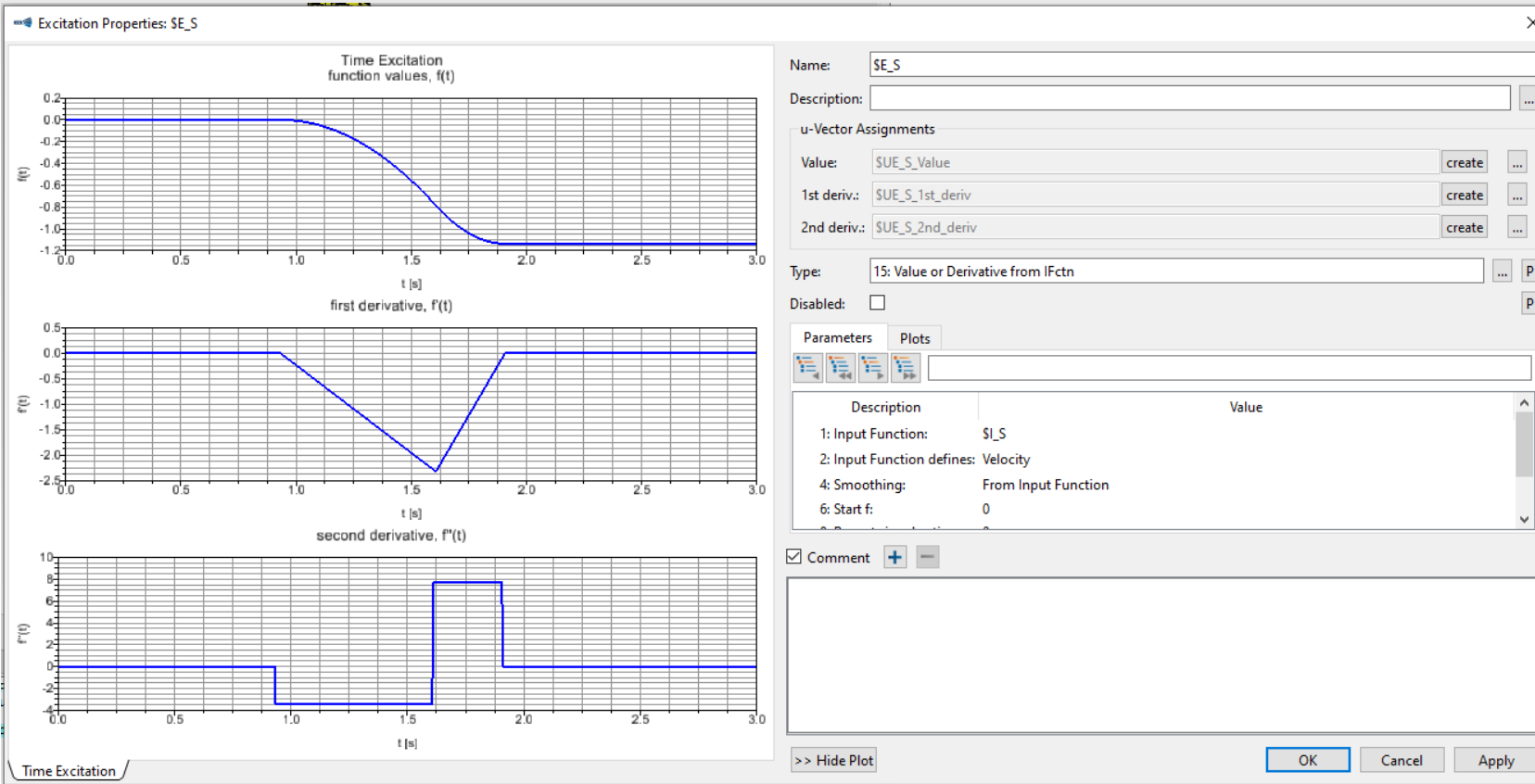
- [illegible]



ŘEŠENÍ V SIMPACKU

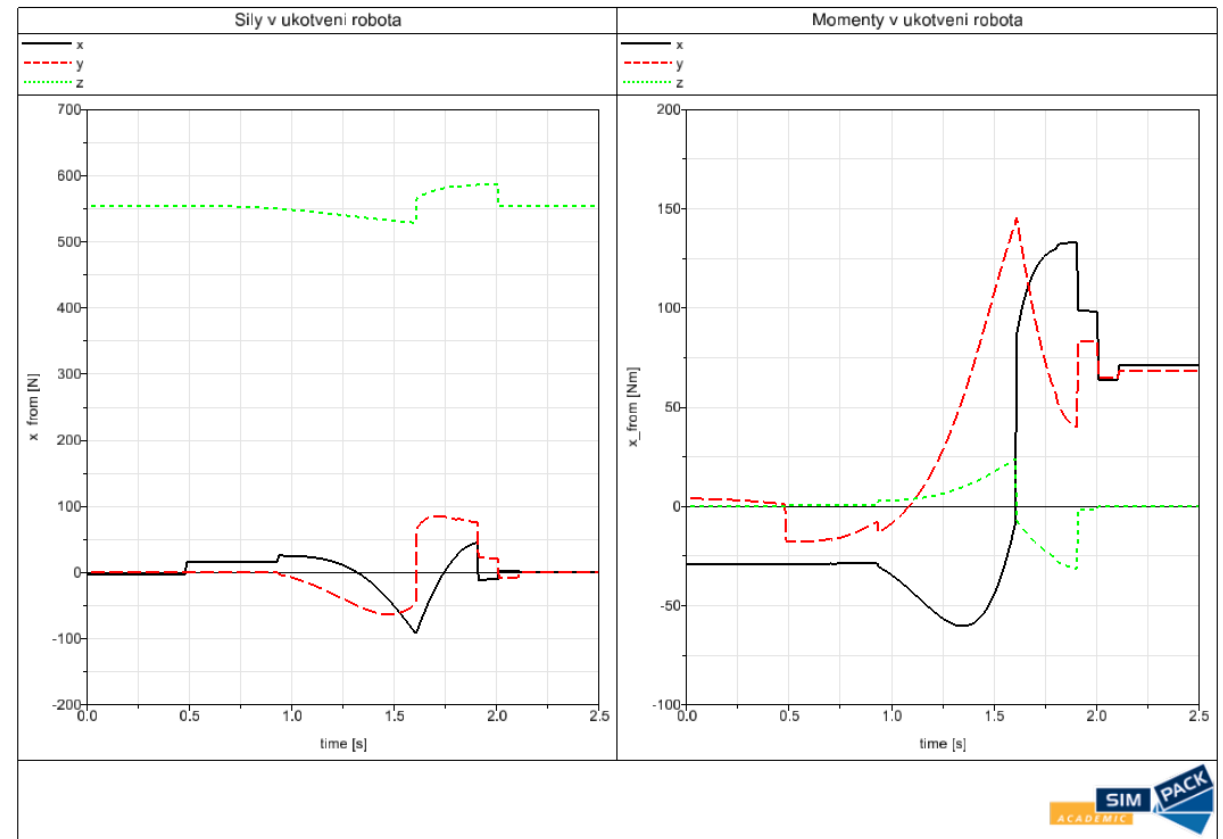
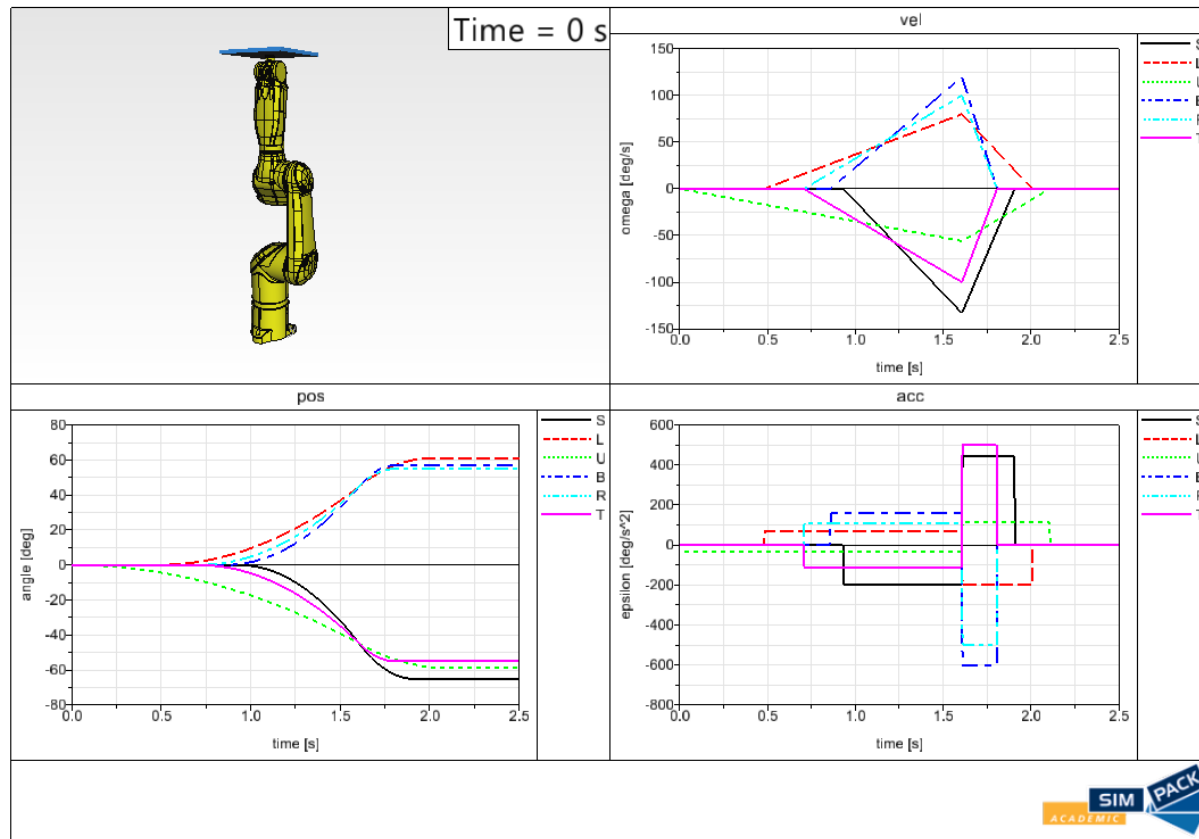
SIMPACT PRE – DEFINICE POHYBU

- Definice buzení
 - rychlostní profil,
 - poloha a zrychlení se dopočte automaticky



ŘEŠENÍ V SIMPACKU

VÝPOČET + SIMPACK POST

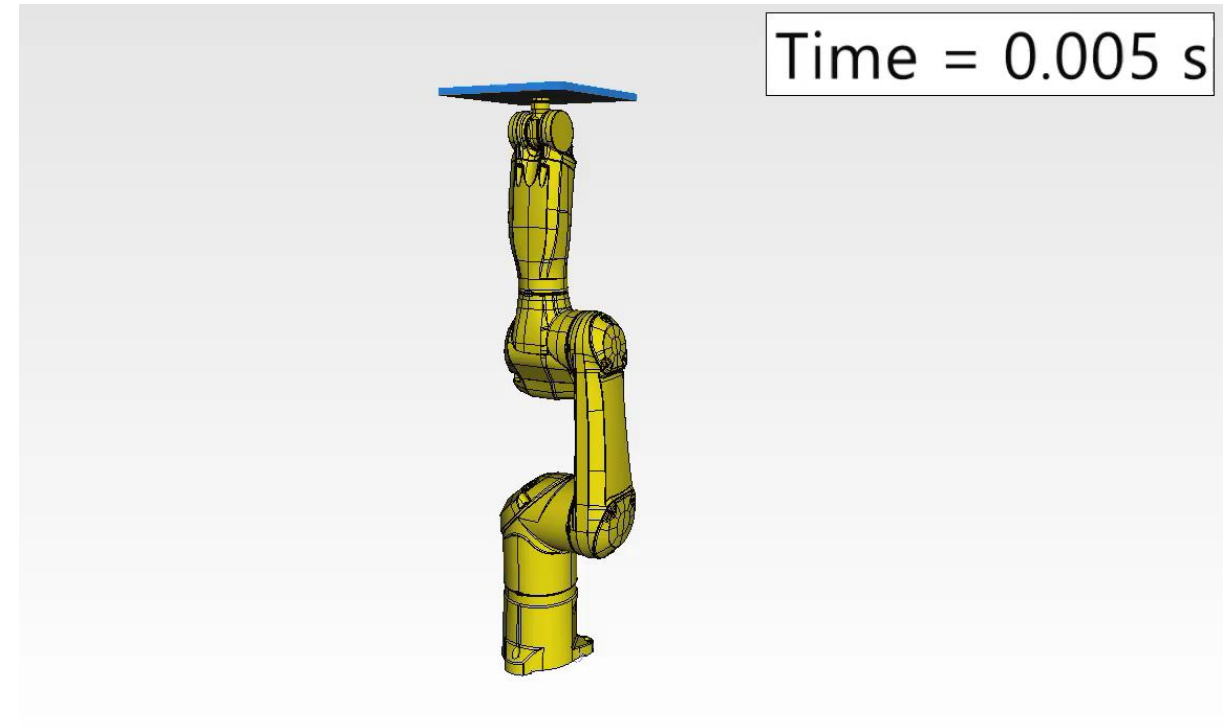


- Doba výpočtu 8s
- Simpack post projekt s výstupními veličinami
- Export požadovaných veličin v textovém formátu

ŘEŠENÍ V SIMPACKU

ZÁVĚR

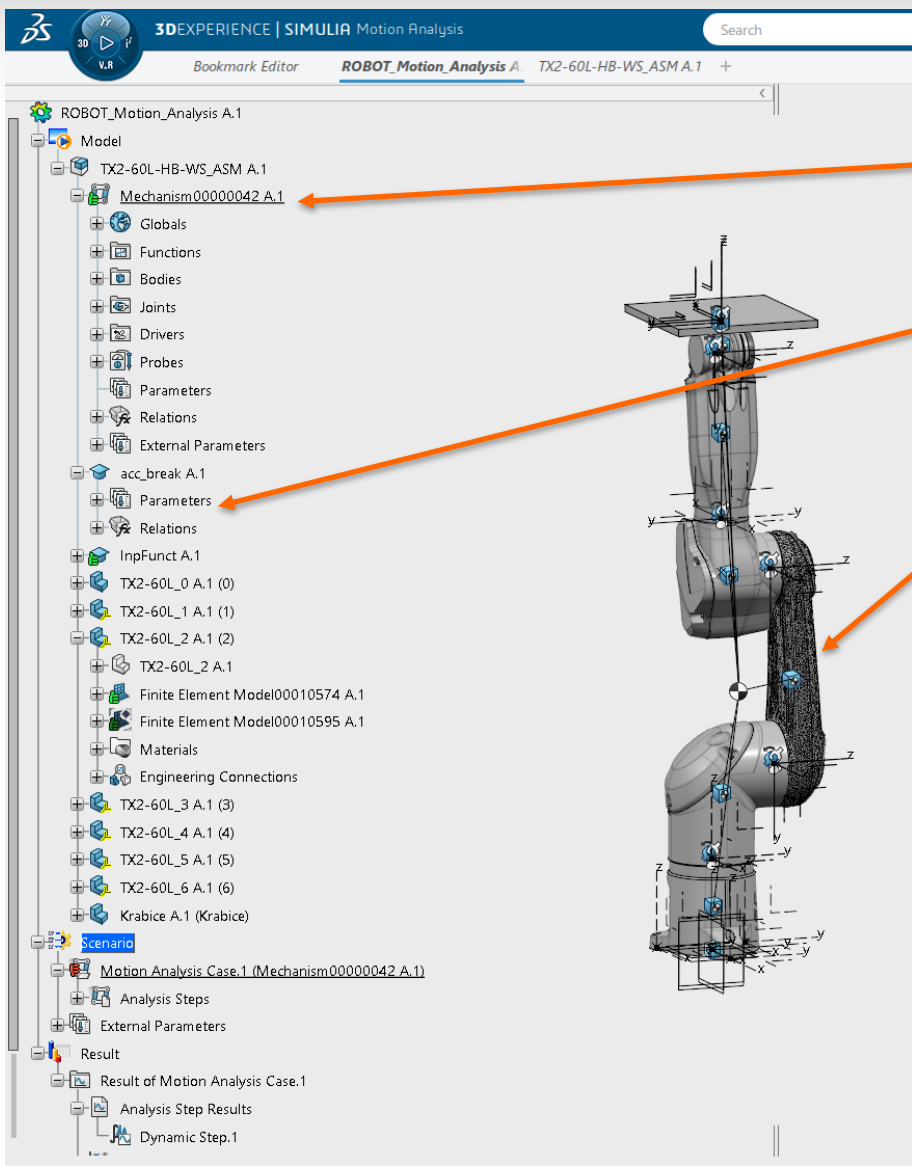
- Výhody Simpack přístupu
 - Krátký simulační čas i u složitých a početných sestav
 - Jednoduchost použití
- Nevýhody Simpack přístupu
 - Nelineární materiálová odezva pouze v co-simulaci s Abaqusem



1. Úvod
2. Abaqus
3. Simpack
4. 3DEXPERIENCE
5. Závěr

ŘEŠENÍ VE 3DEXPERIENCE

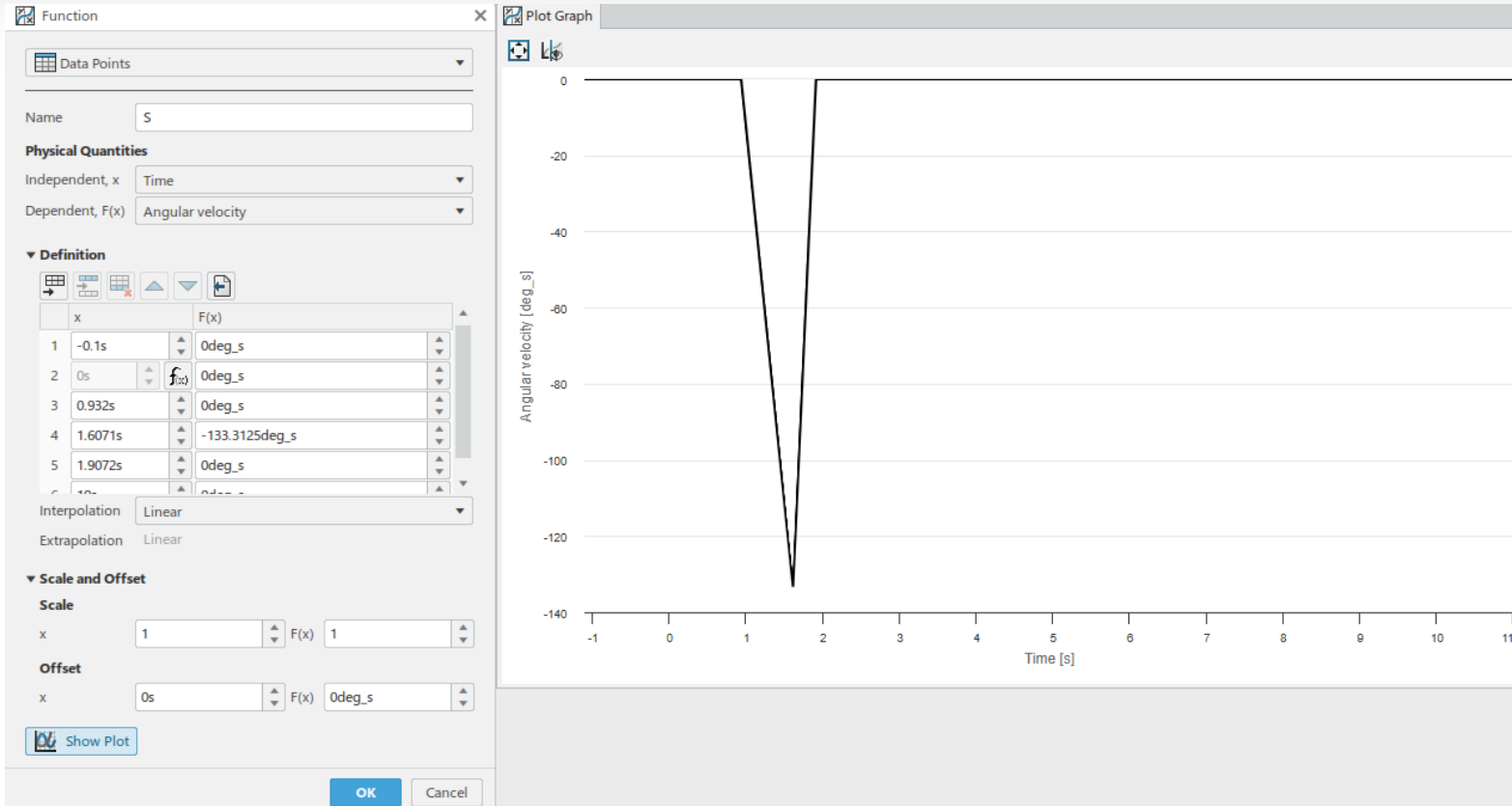
PŘÍPRAVA MODELU



- Mechanismus definovaný na existující geometrii v databázi
- Mechanismus je další položkou ve stromě sestavy
- Model plně parametrický
- Poddajná tělesa jsou vytvořena přímo v dílech mechanismu, možno libovolně přepínat mezi variantami

ŘEŠENÍ VE 3DEXPERIENCE

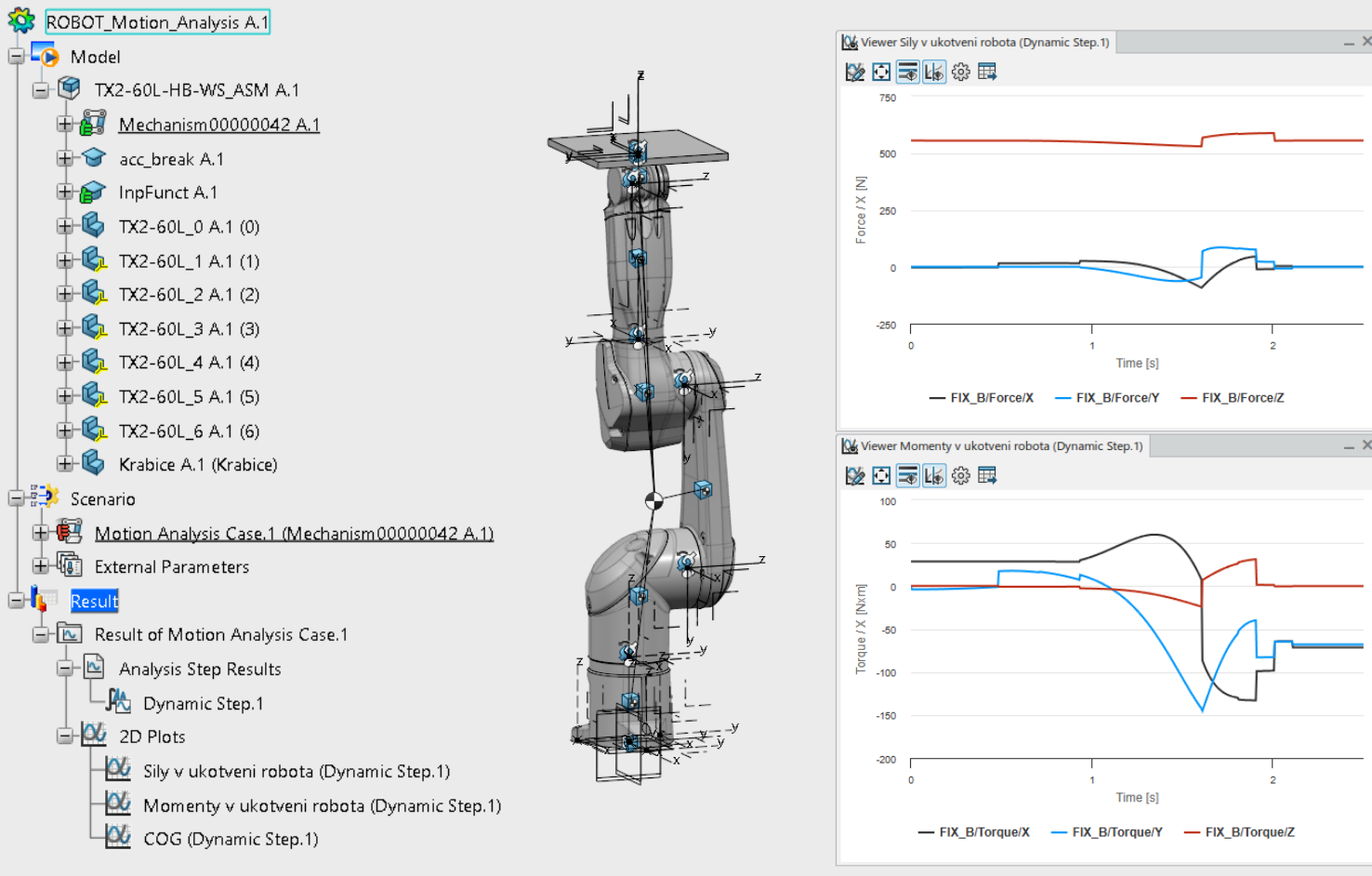
DEFINICE POHYBU



- Rychlostní profil

ŘEŠENÍ VE 3DEXPERIENCE

VÝPOČET A VYHODNOCENÍ



- Doba výpočtu 8s
- Výsledky další položkou se stromě simulace
- Export požadovaných veličin v textovém formátu
- Strukturální simulace na jedno kliknutí

ŘEŠENÍ VE 3DEXPERIENCE

ZÁVĚR

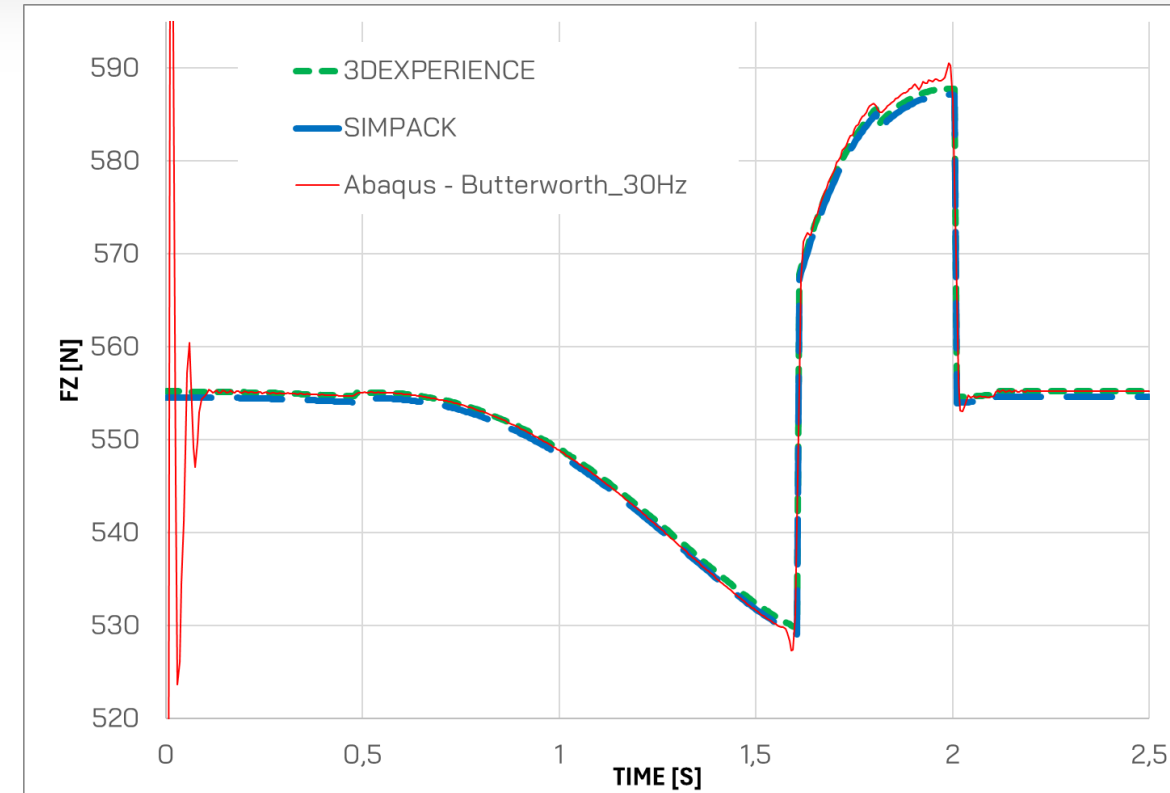
- Výhody přístupu **3DEXPERIENCE**
 - Plné propojení s CAD daty
 - Krátký simulační čas i u složitějších sestav
 - Ještě jednodušší použití než u Simpack
- Nevýhody přístupu **3DEXPERIENCE**
 - Databáze na pozadí – některé operace trvají dlouho
 - Zatím omezená nabídka speciálních prvků
 - Zatím není možnost propojení na optimalizace a DOE (v plánu)



1. Úvod
2. Abaqus
3. Simpack
4. 3DEXPERIENCE
5. Závěr

ŘEŠENÍ DYNAMICKÝCH ÚLOH POMOCÍ MKP I MBS

- Všechny přístupy poskytují relevantní výsledky
- Jednoduché MB simulace můžeme zvládnout i v MKP
- U složitých MB simulací v MKP budeme řešit tyto problémy:
 - Dlouhé výpočetní časy
 - Nepřesné kontaktní chování
 - Přílišné zjednodušení (tvar a rozložení hmoty)
- MB simulace na 3DExperience jsou jednoduché a intuitivní, strmá křivka učení
- Simpack je nejmocnější a nejuniverzálnější MBS nástroj



Doba simulace: Abaqus: 5:30, Simpack & 3DExperience: 0:08

ZÁVĚR

ORIENTAČNÍ CENA SIMPACK

- Simpack Solver
 - Jednotné licencování s Abaqusem
 - Tokeny SRU
 - Kredity SUN
- Grafické rozhraní
 - Ročná licencia SIMULIA Simpack už od **6 175 EUR** bez DPH
 - Trvalá licencia SIMULIA Simpack už od **12 050 EUR** bez DPH + Maintenance



Applus IDIADA
Headquarters and Main Technical Centre
L’Albornar – PO Box 20
E-43710 Santa Oliva (Tarragona) Spain
T +34 977 166 000 F +34 977 166 007
e-mail: idiada@idiada.com

www.idiada.com

Applus IDIADA Belgium
T +32 2 757 27 07 (Brussels)
e-mail: idiada_belgium@idiada.com

Applus IDIADA Brazil
T +55 11 4330 9880 (São Paulo)
T +55 31 3591 6832 (Belo Horizonte)
e-mail: idiada_brasil@idiada.com

Applus IDIADA China
T +86 21 6210 0894 (Shanghai)
T +86 21 6210 0894 (Beijing)
T +86 431 8190 9680 (Changchun)
T +86 23 6756 8060 (Chongqing)
T +86 21 6210 0894 (Cixi)
T +86 20 2282 9202 (Guangzhou)
T +86 21 6210 0894 (Ningbo)
T +86 532 66019017 (Qingdao)
T +86 21 6210 0894 (Tianjin)
T +86 21 6210 0894 (Wuhu)
T +86 535 8933658 (Zhaoyuan)
e-mail: idiada_china@idiada.com

Applus IDIADA Czech Republic
T +420 493 654 811 (Hradec Králové)
T +420 778 430 095 (Brno)
T +420 482 424 243 (Liberec)
T +420 326 736 860 (Mladá Boleslav)
e-mail: info@idiada.cz

Applus IDIADA France
T +33 (0) 181 891 943 (Paris)
T +33 (0) 130 370 836 (Paris)
T +33 (0) 141 146 085 (Lyon)
e-mail: idiada_france@idiada.com

Applus IDIADA Germany
T +49 (0) 84188538-30 (Ingolstadt)
T +49 (0) 89309056-0 (Munich)
T +49 (0) 84188538-30 (Stuttgart)
T +49 (0) 5374920606-0 (Wolfsburg)
e-mail: idiada_germany@idiada.com

Applus IDIADA India
T +91 44 2275 2202 (Chennai)
T +91 124 4028 888 (New Delhi)
T +91 20 6605 6800 (Pune)
e-mail: idiada_india@idiada.com

Applus IDIADA Italy
T +39 051 0923530 (Bologna)
T +39 005 10923500 (Erbusco)
T +39 011 2640320 (Turin)
e-mail: idiada_italia@idiada.com

Applus IDIADA Japan
T +81 (0) 42 512 8982 (Tokyo)
T +81 (0) 52 588 5329 (Nagoya)
e-mail: idiada_japan@idiada.com

Applus IDIADA Malaysia
T ++60327281027 (Kuala Lumpur)
T +601 2410 7686 (Penang)
e-mail: idiada_malaysia@idiada.com

Applus IDIADA Mexico
T +52 (222) 644 1374 (Puebla)
e-mail: idiada_mexico@idiada.com

Applus IDIADA Morocco
e-mail: idiada_morocco@idiada.com

Applus IDIADA Poland
T +48 61 6226 905 (Poznan)
e-mail: idiada_polska@idiada.com

Applus IDIADA Slovakia
T +420 778 430 098 (Košice)
e-mail: idiada_slovakia@idiada.com

Applus IDIADA South Korea
T +82 31 478 1821 (Seoul)
e-mail: idiada_korea@idiada.co.kr

Applus IDIADA Spain
T +34 977 166 000 (Santa Oliva)
T +34 928 587 447 (Las Palmas)
T +34 915 095 795 (Madrid)
T +34 950 473 256 (Mojácar)
T +34 868 912 179 (Murcia)
T +34 948 292 921 (Pamplona)
T +34 955 117 111 (Sevilla)
T +34 986 900 300 (Vigo)
e-mail: idiada@idiada.com

Applus IDIADA Sweden
T +46 (0) 31 320 1844 (Gothenburg)
T +46 731 478 202 (Stockholm)
e-mail: idiada_sweden@idiada.com

Applus IDIADA Thailand
T +66 86 7917 071 (Bangkok)
e-mail: idiada_thailand@idiada.com

Applus IDIADA Turkey
T +90 216 250 6050 (Istanbul)
e-mail: idiada_turkey@idiada.com

Applus IDIADA UK
T +44 1223 441 434 (Cambridge)
T +44 2476 328 083 (Nuneaton)
T +44 1926 623 132 (Warwick)
e-mail: idiada_uk@idiada.com

Applus IDIADA UAE
T +971 4 2441313 (Dubai)
e-mail: idiada_uae@idiada.com

Applus IDIADA USA
T +1 248 978 0111 (Detroit)
T +1 760 246 1672 (Los Angeles)
e-mail: idiada_USA@idiada.com

Applus IDIADA Vietnam
T +84 97 724 19 86 (Hanoi)
e-mail: idiada_vietnam@idiada.com

