




Využití Tosca pro neparametrické optimalizace ve strukturálních a EM simulacích

Jakub Cejpek, David Kuřátko

Simulia Days 2025

 PUBLIC

1. Úvod: Co uvidíte v prezentaci
2. Strukturální topologická optimalizace
3. Strukturální tloušťková optimalizace
4. Neparametrická optimalizace v CST Studio Suite
5. Závěr

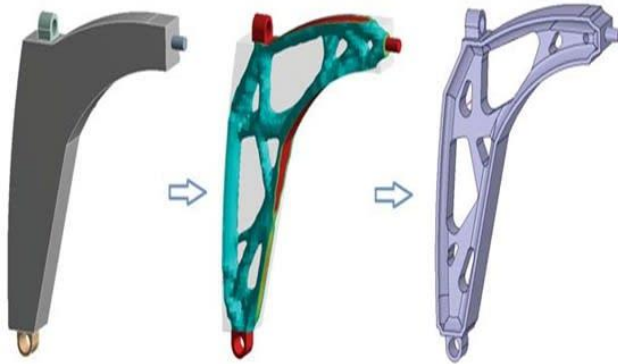
- CO?
 - Příklady využití topologické optimalizace ve struktuře a v elektro-magnetismu
- PROČ?
 - Málo z vás ji používá, není se ji třeba bát
 - Topologická optimalizace je šikovný a použitelný nástroj
- JAK?
 - Praktické a jednoduché příklady s popisem postupu

Struktura

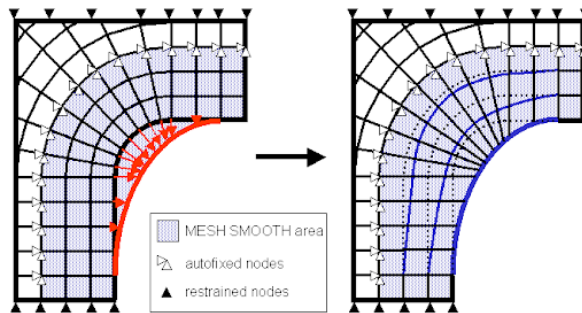
Elektro
Magnet

Proudění

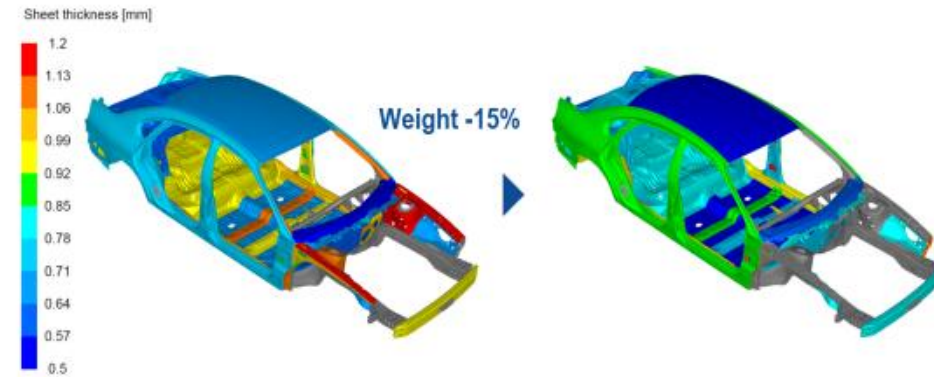
- Topologická optimalizace



- Tvarová optimalizace

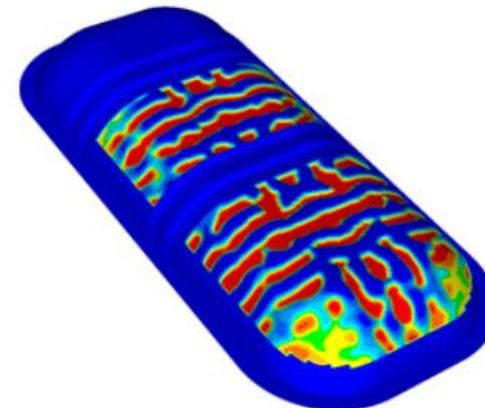


- Tloušťková optimalizace



Struktura

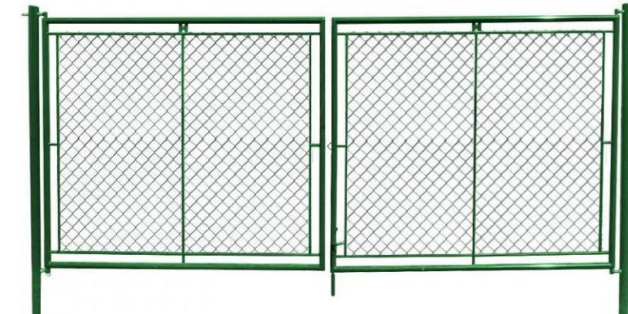
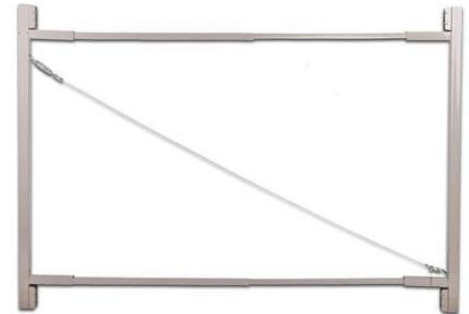
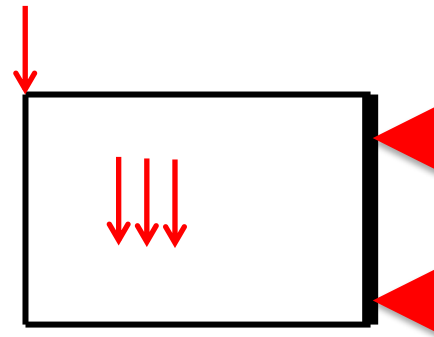
- Optimalizace prolisů



1. Úvod: Co uvidíte v prezentaci
2. Strukturální topologická optimalizace
3. Strukturální tloušťková optimalizace
4. Neparametrická optimalizace v CST Studio Suite
5. Závěr

STRUKTURÁLNÍ SIMULACE A TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

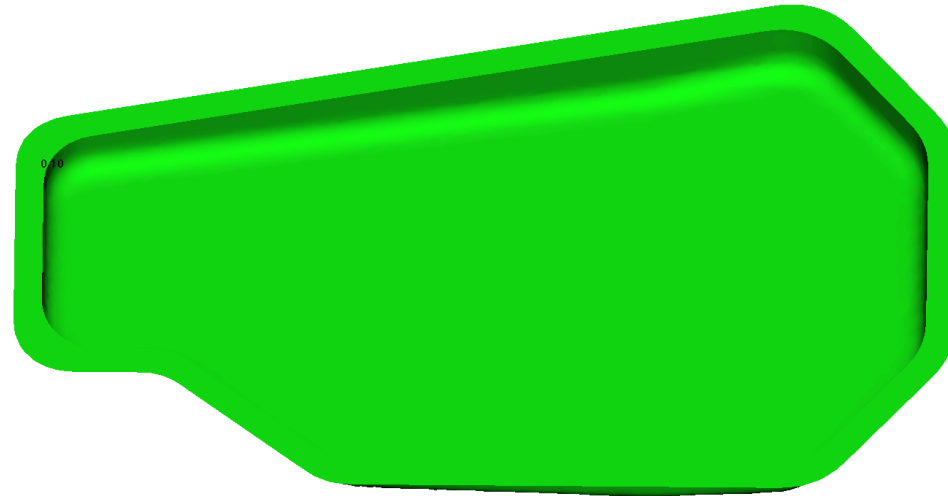
- Úkol:
 - Navrhni uspořádání a mohutnost profilů zahradní brány
- Požadavky:
 - Rozměr křídla: 3x2m, 2 panty 250mm od horní / dolní hrany
 - Minimalizuj hmotnost a průhyb
 - Jäcklový rám a výztuhy, pletivo do plochy
- Zatížení:
 - Gravitace -> průhyb
 - Vandal 200kg -> napětí
- Materiál:
 - S235JR
 - $\sigma_{DOV}=235\text{MPa}$



STRUKTURÁLNÍ SIMULACE

ROZVAHA A PŘÍPRAVA MODELU

- Předpoklady efektivní topologická optimalizace:
 - Lineární materiál
 - Žádné kontakty
 - NLGEOM=NO
 - Lineární elementy
 - Správně zvolený design space



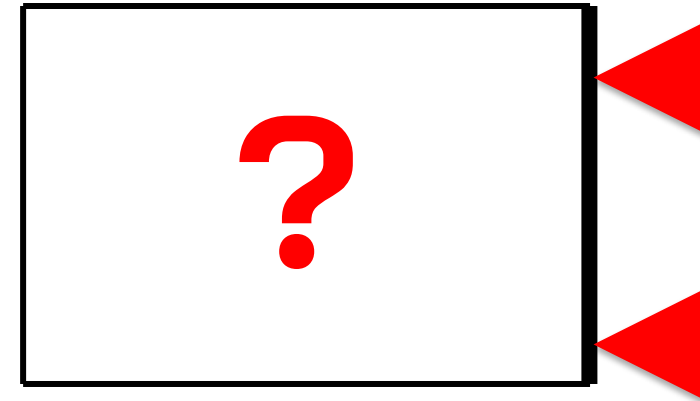
Běžná praxe: solid element design space

TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

ROZVAHA A PŘÍPRAVA MODELU

- Předpoklady efektivní topologická optimalizace:

- Lineární materiál
- Žádné kontakty
- NLGEOM=NO
- Lineární elementy
- Správně zvolený:
 - Design space
 - Odezvy modelu
 - Omezení
 - Objektivní funkce



Rám brány simulován Beam elementy

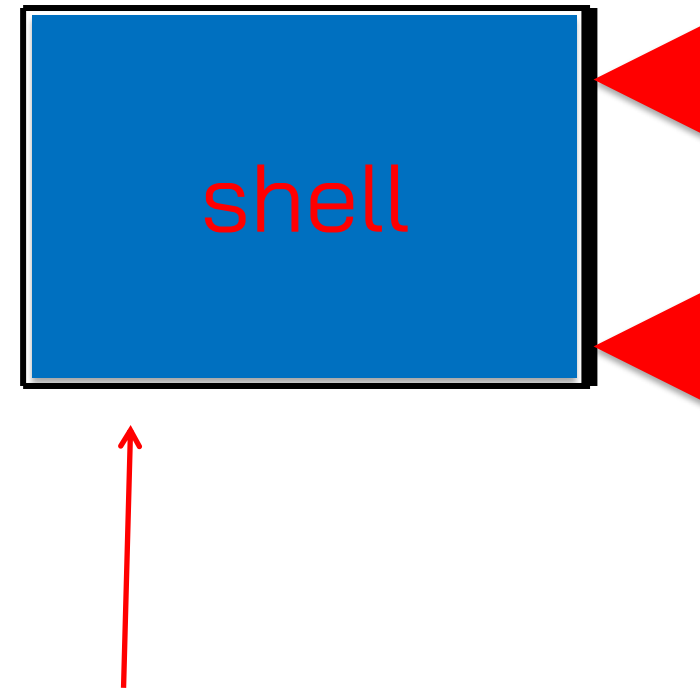
TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

ROZVAHA A PŘÍPRAVA MODELU

- Předpoklady efektivní topologická optimalizace:

- Lineární materiál
- Žádné kontakty
- NLGEOM=NO
- Lineární elementy
- Správně zvolený:
 - Design space
 - Odezvy modelu
 - Omezení
 - Objektivní funkce

Topologická optimalizace homogenní shell
výplně ukáže kudy teče zatížení.
V těchto místech následně budou profily



Rám brány simulován Beam elementy

TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

DESIGN SPACE

- Design space
- Elementový set všech elementů, které budou „odlehčovány“

```
DV_TOPO  
  ID_NAME = Task-1_DESIGN_AREA_  
  EL_GROUP = P3;VYPLN  
END_
```



TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

DESIGN RESPONSE

- Sledované odezvy modelu:
 - Průhyb ve stepu 1 „Grav“
 - Max. napětí v modelu ve stepu 2 „Vandal“
 - Objem elementů

```
DRESP
ID_NAME = Response_P1
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = SIG_SENS_MISES
EL_GROUP = P1;ZAVES
GROUP_OPER = MAX
LC_SET = ALL,2,ALL
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Response_P2
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = SIG_SENS_MISES
EL_GROUP = P2;RAM
GROUP_OPER = MAX
LC_SET = ALL,2,ALL
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Response_U
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = DISP_Z_ABS
ND_GROUP = POSUV
GROUP_OPER = MIN
LC_SET = ALL, 1, ALL
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Response_Vol
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = VOLUME
EL_GROUP = P3;VYPLN
GROUP_OPER = SUM
END_
```



TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

GEOMETRY CONSTRAINT

- Geometrické omezení
- Minimální šířka tělesa, které zbyde, je 20mm
- Nutno zvážit velikost elementů

```
DVCON_TOPO  
  ID_NAME      = MY_DVCON_TOPO_Min_member  
  CHECK_TYPE   = MIN_MEMBER  
  EL_GROUP     = ALL_ELEMENTS  
  THICKNESS    = 20  
  END_
```



TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

OBJEKTIVNÍ FUNKCE

- Minimalizuj objem
- Minimalizuj průhyb pod vlastní tíhou

```
OBJ_FUNC
ID_NAME = Objective
DRESP = Response_Vol, 1,
DRESP = Response_U, 1,
TARGET = MIN
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Response_U
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = DISP_Z_ABS
ND_GROUP = POSUV
GROUP_OPER = MIN
LC_SET = ALL, 1, ALL
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Response_Vol
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = VOLUME
EL_GROUP = P3;VYPLN
GROUP_OPER = SUM
END_
```



TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

OMEZENÍ NAPĚTÍ

- Dovolené napětí: 235MPa

```
CONSTRAINT
ID_NAME = Constraint_S_P1
DRESP = Response_P1
MAGNITUDE = ABS
LE_VALUE = 235.
END_
```

```
CONSTRAINT
ID_NAME = Constraint_S_P2
DRESP = Response_P2
MAGNITUDE = ABS
LE_VALUE = 235.
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Response_P1
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = SIG_SENS_MISES
EL_GROUP = P1;ZAVES
GROUP_OPER = MAX
LC_SET = ALL,2,ALL
END_
```

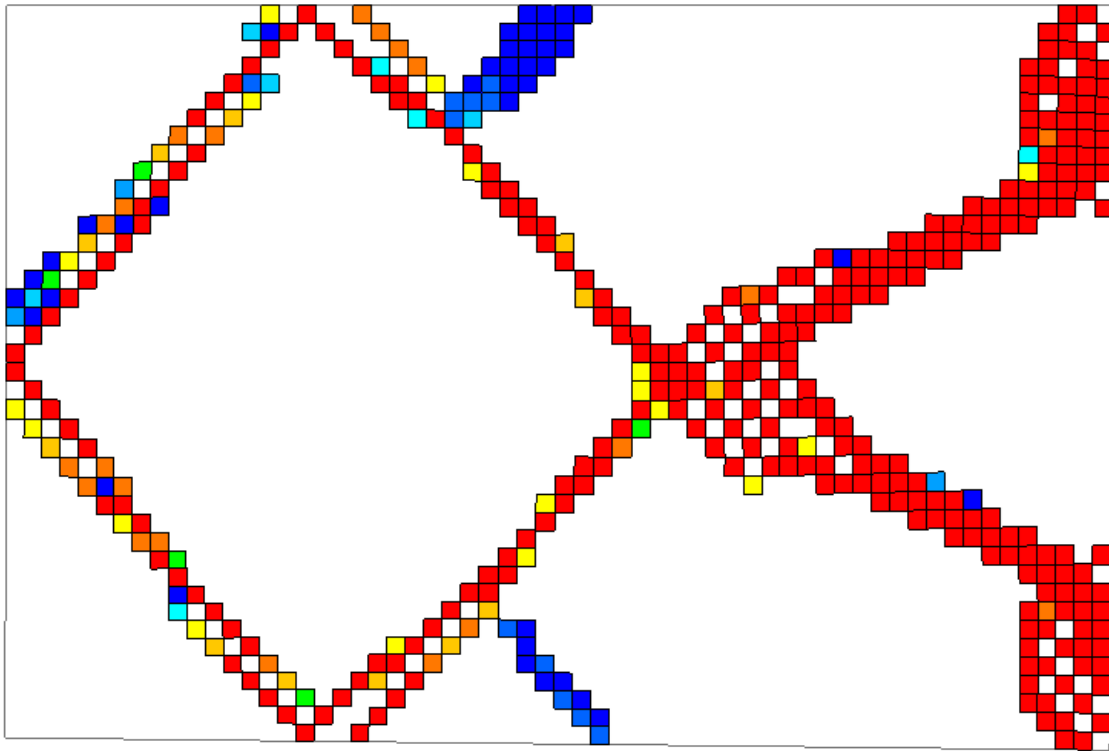
```
DRESP
ID_NAME = Response_P2
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = SIG_SENS_MISES
EL_GROUP = P2;RAM
GROUP_OPER = MAX
LC_SET = ALL,2,ALL
END_
```



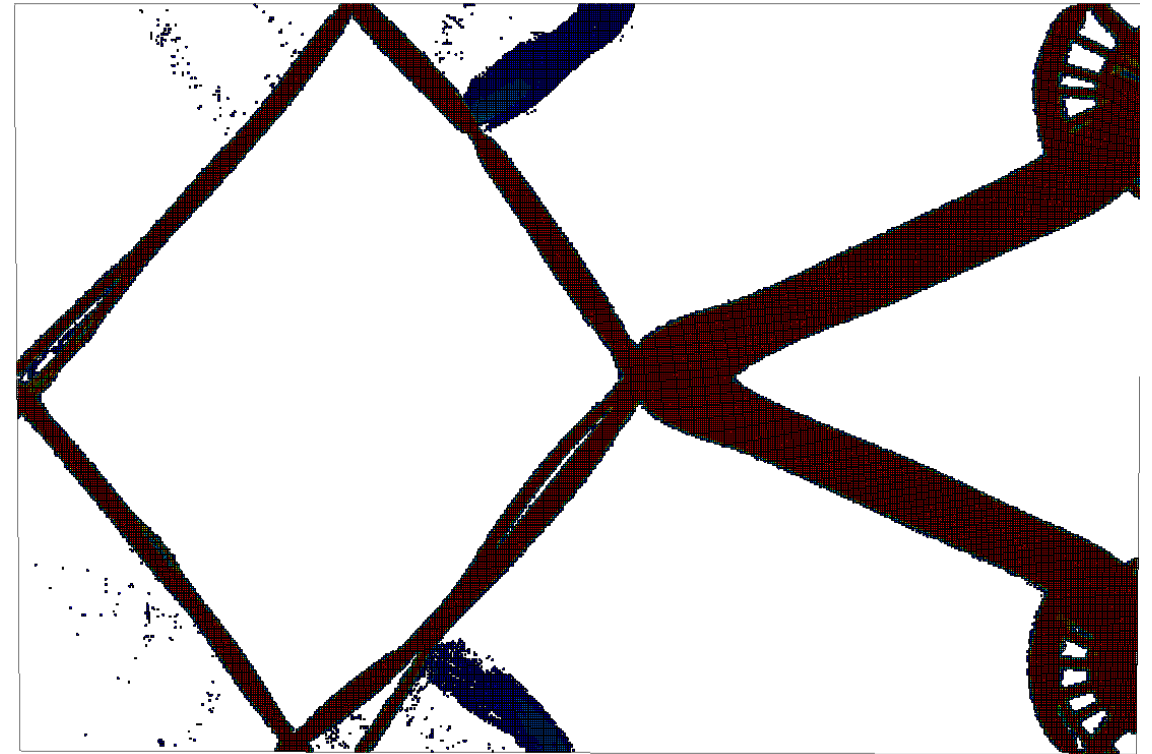
TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

VÝSLEDKY

- Odlehčený shell ukazuje kudy teče síla a kam dát jáckely
- Výstupy ovlivněny velikostí sítě (podchycení gradientu)



2.662 elementů, hrana 50mm, 5min / 60 iterací



262.002 elementů, hrana 5mm, 1h 15min / 60 iterací

TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

VÝSLEDKY – VLIV OBJ FUNKCE

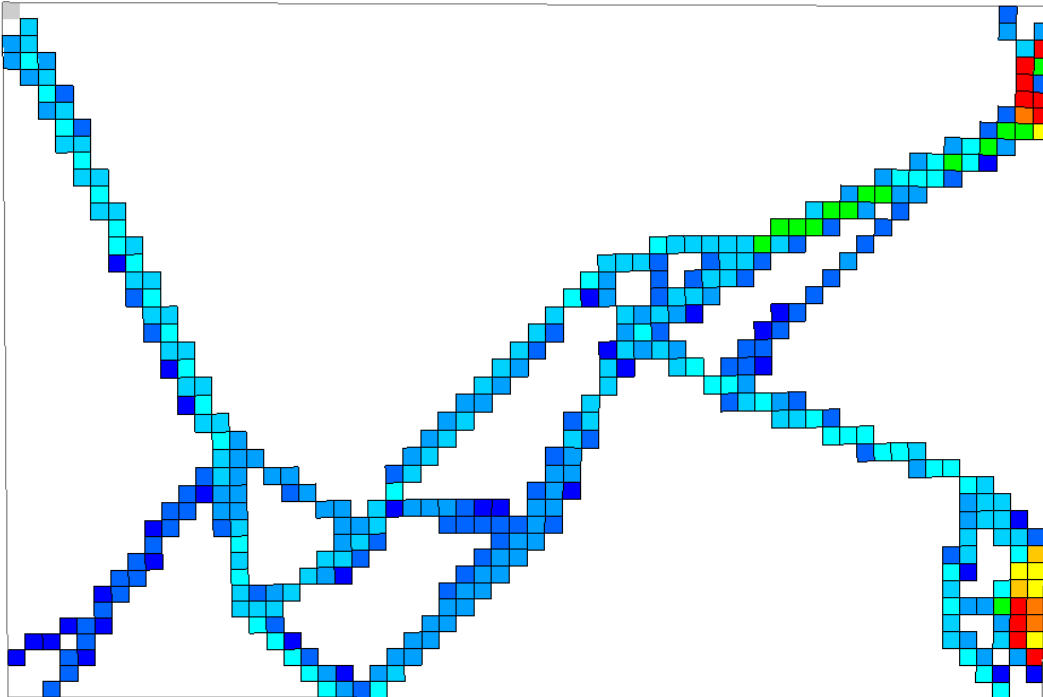
- Výraznější vliv nastavení objektivní funkce

```
OBJ_FUNC  
ID_NAME = Objective  
DRESP = Response_Vol, 1,  
-DRESP = Response_U, 1,  
TARGET = MIN  
END_
```



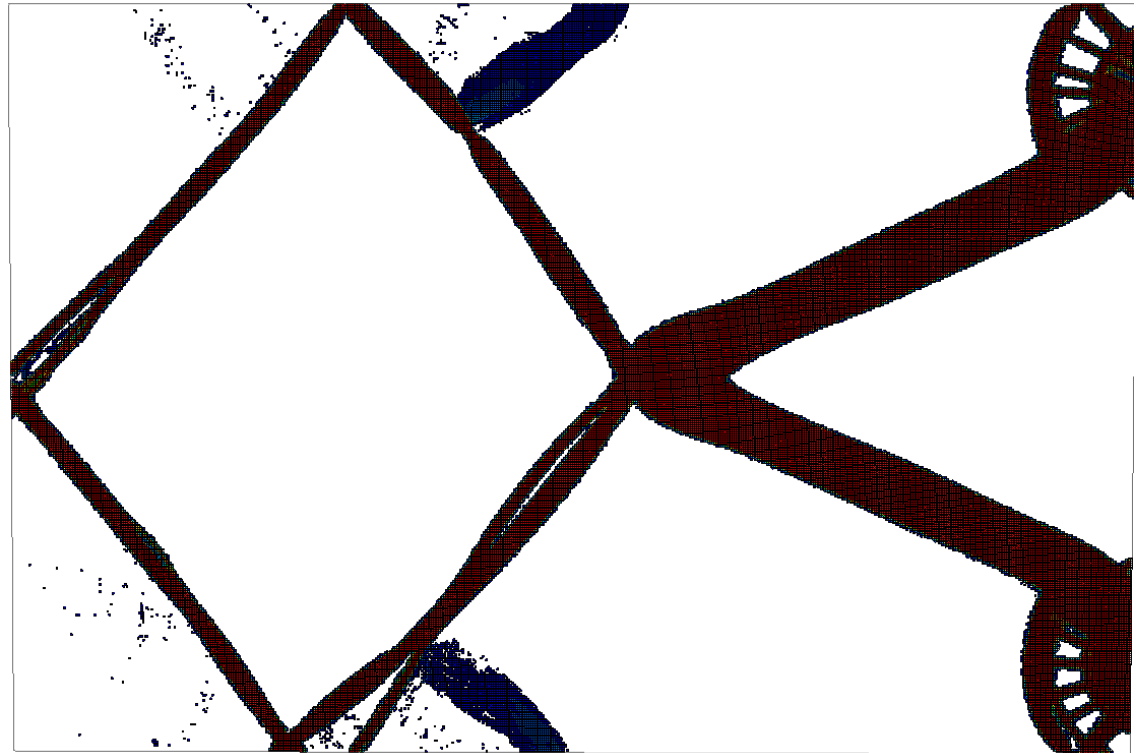
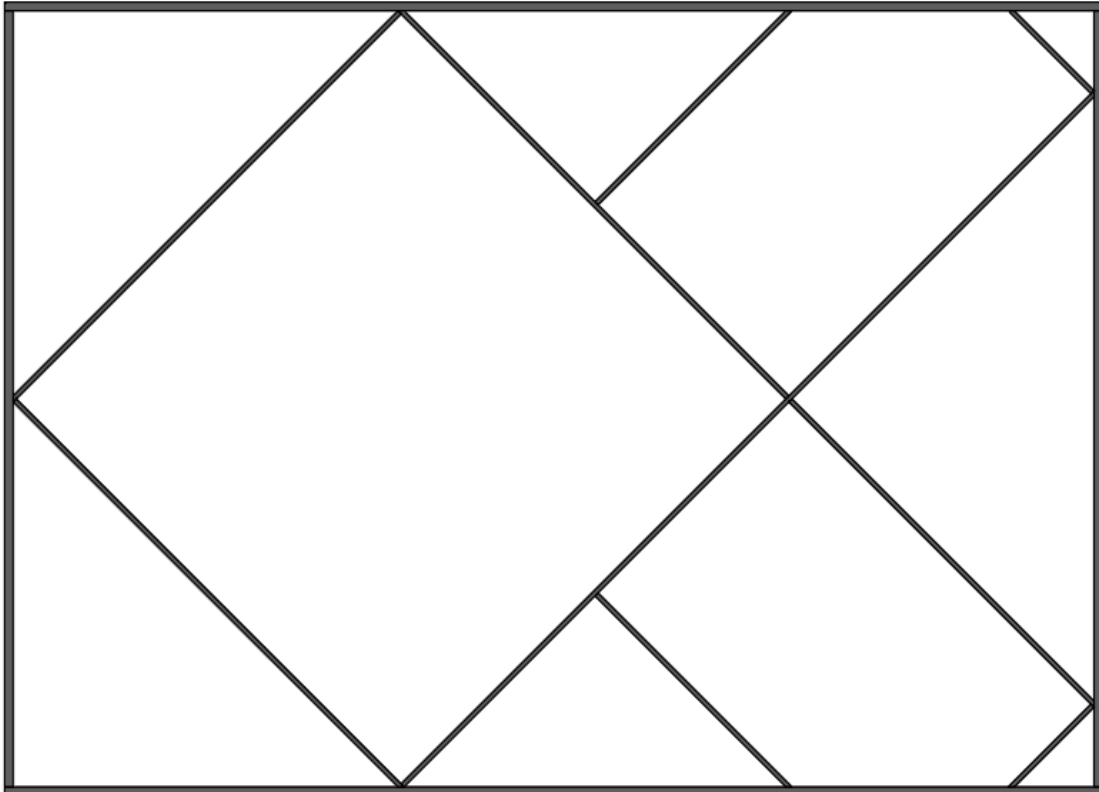
```
OBJ_FUNC  
ID_NAME = Objective  
DRESP = Response_Vol, 1,  
TARGET = MIN  
END_
```

```
DRESP  
ID_NAME = Response_Vol  
LIST = NO_LIST  
DEF_TYPE = SYSTEM  
TYPE = VOLUME  
EL_GROUP = P3;VYPLN  
GROUP_OPER = SUM  
END_
```



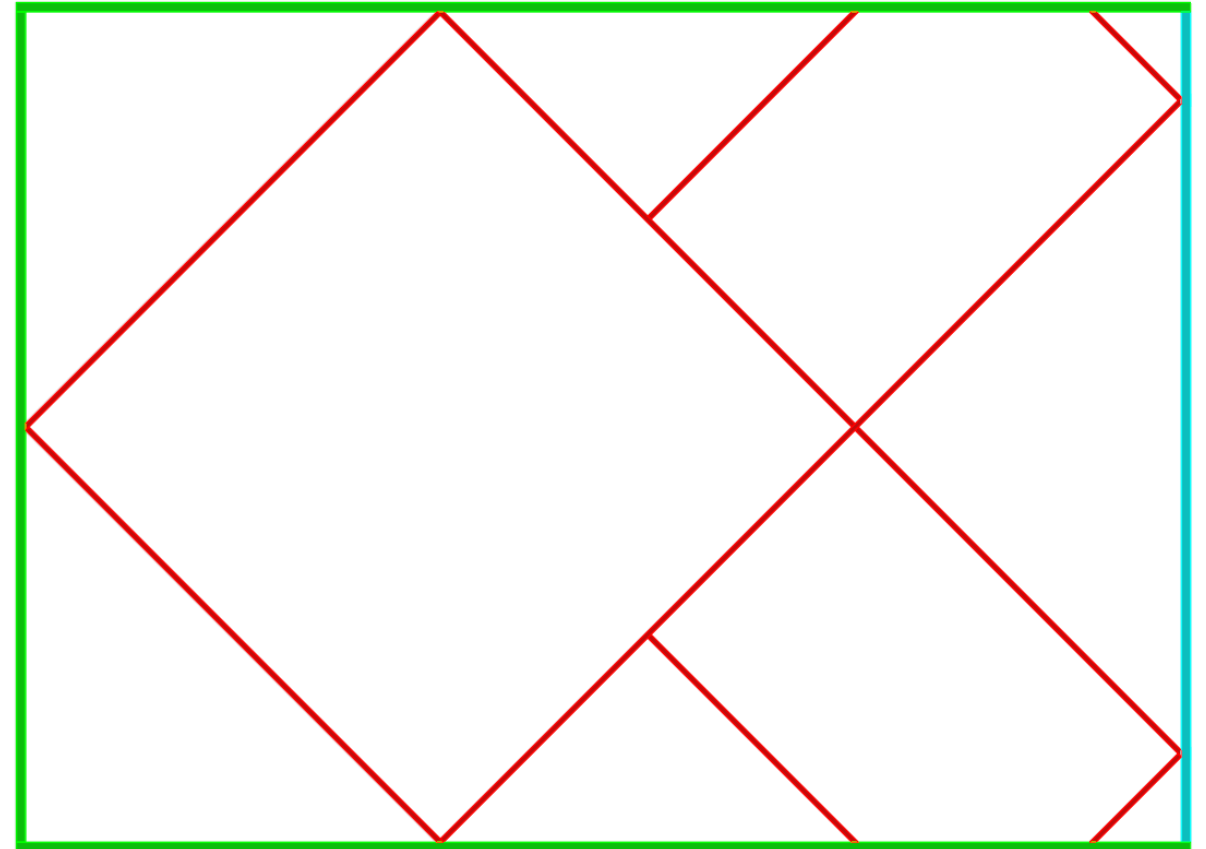
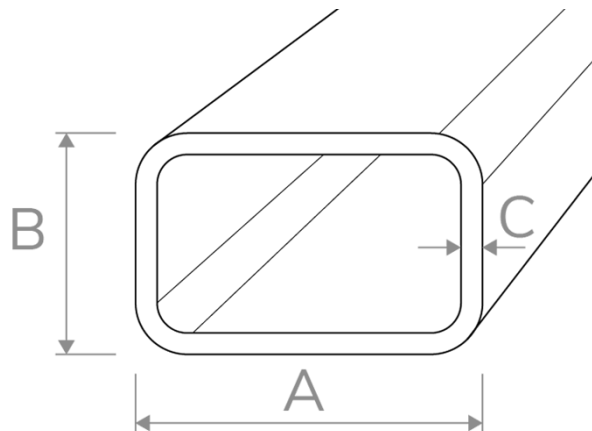
PODLE TOPOLOGICKÉ OPTIMALIZACE

- Na základě topologické optimalizace jsou identifikovány efektivní směry vyztužení
- CAD model reflektuje tuto cestu a reflektuje vyrobitelnost
- Jak ale správně zvolit mohutnost jáckelu?



1. Úvod: Co uvidíte v prezentaci
2. Strukturální topologická optimalizace
3. Strukturální tloušťková optimalizace
4. Neparametrická optimalizace v CST Studio Suite
5. Závěr

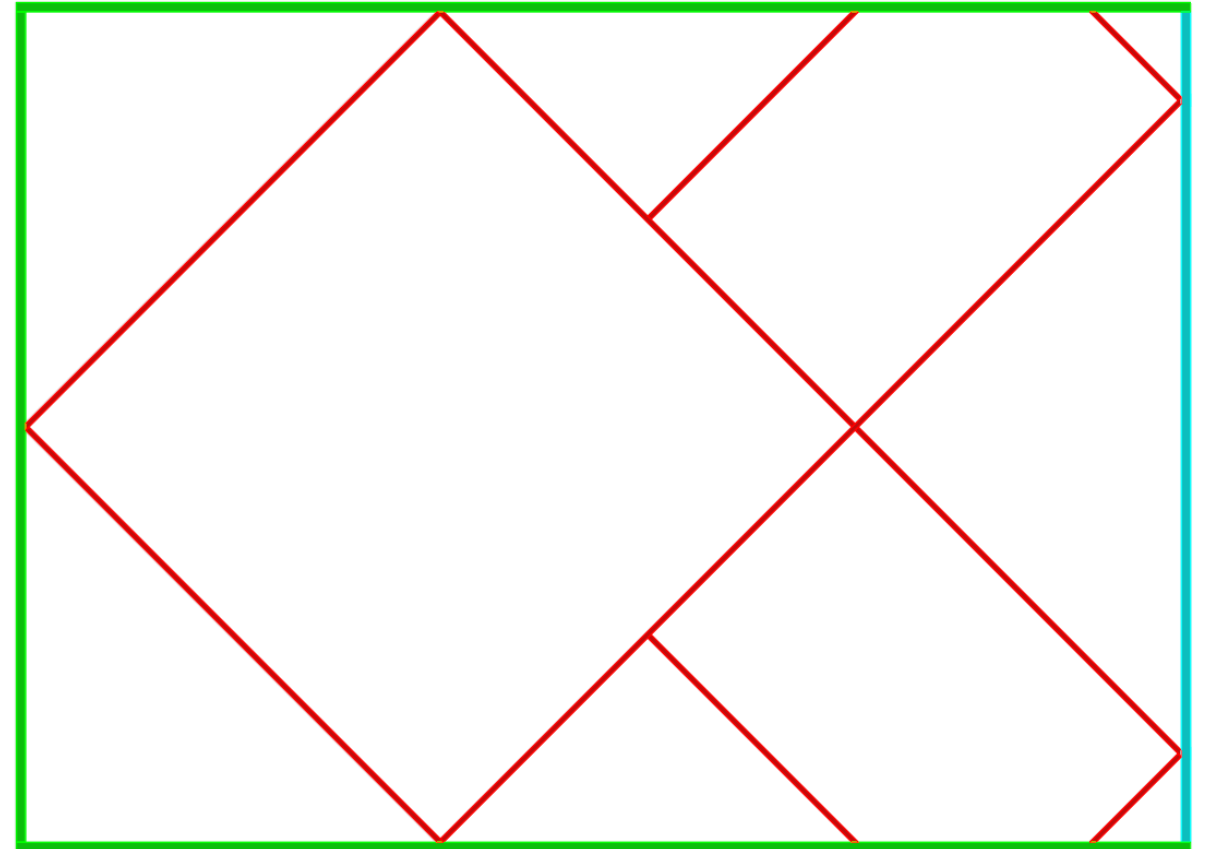
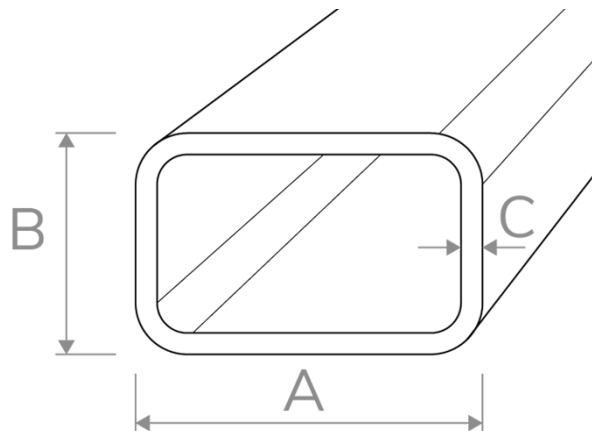
- Jak ale správně zvolit mohutnost jáckelu?
- Inženýrský odhad:
 - $A=B=20\text{mm}$ pro rám pro základní profil
 - $A=20\text{mm}$, $B=10\text{mm}$ pro výztuhy
- Dostupné tloušťky profilu: 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; ...



ÚPRAVA MODELU

OPTIMALIZACE TLOUŠŤKY

- Model v shellu na střednici
- Možnosti optimalizace tloušťky
 - Parametrická optimalizace (Isight)
 - Sizing optimalizace (Tosca)
 - Per Element
 - Per ElSet (Cluster Groups)

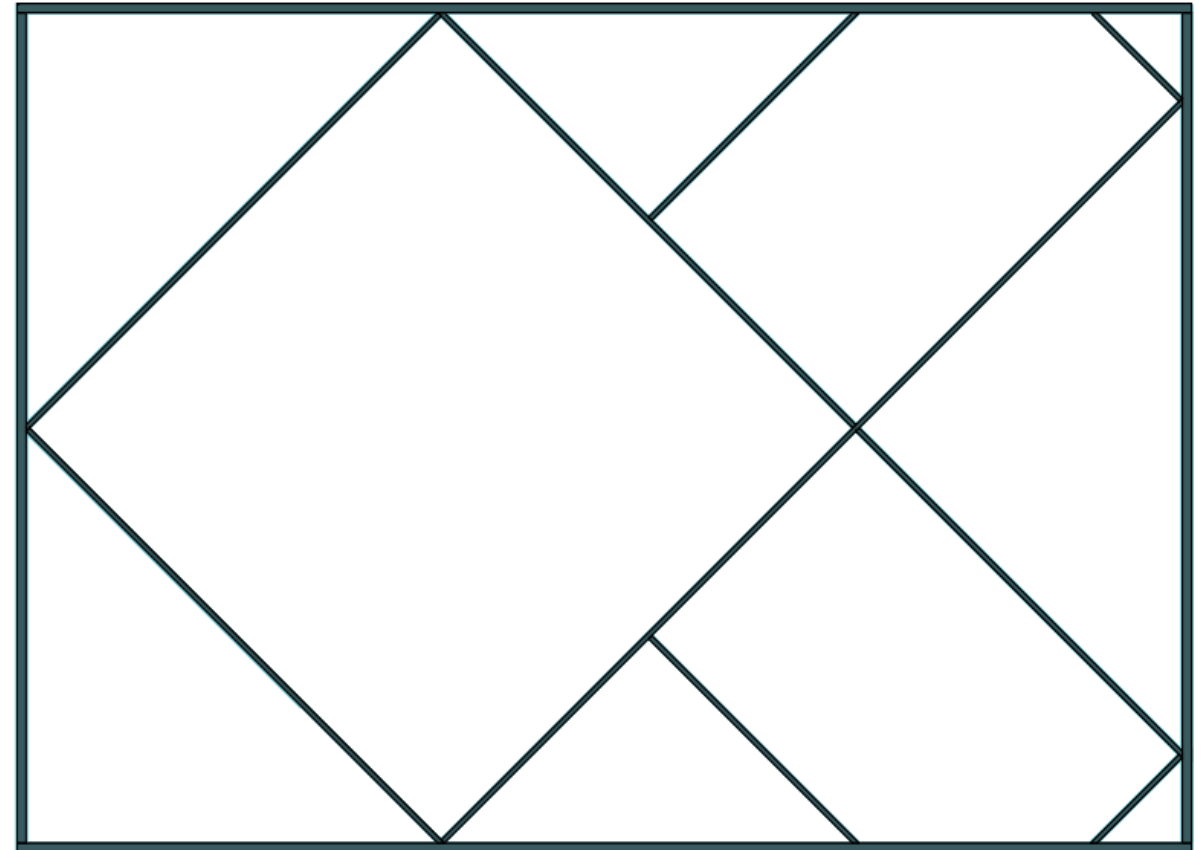


TLOUŠŤKOVÁ OPTIMALIZACE

DESIGN SPACE

- Design space
- Elementový set všech elementů, které budou optimalizovány

```
DV_SIZING  
  ID_NAME = DESIGN_AREA  
  EL_GROUP = ALL_ELEMENTS  
END_
```



TLOUŠŤKOVÁ OPTIMALIZACE

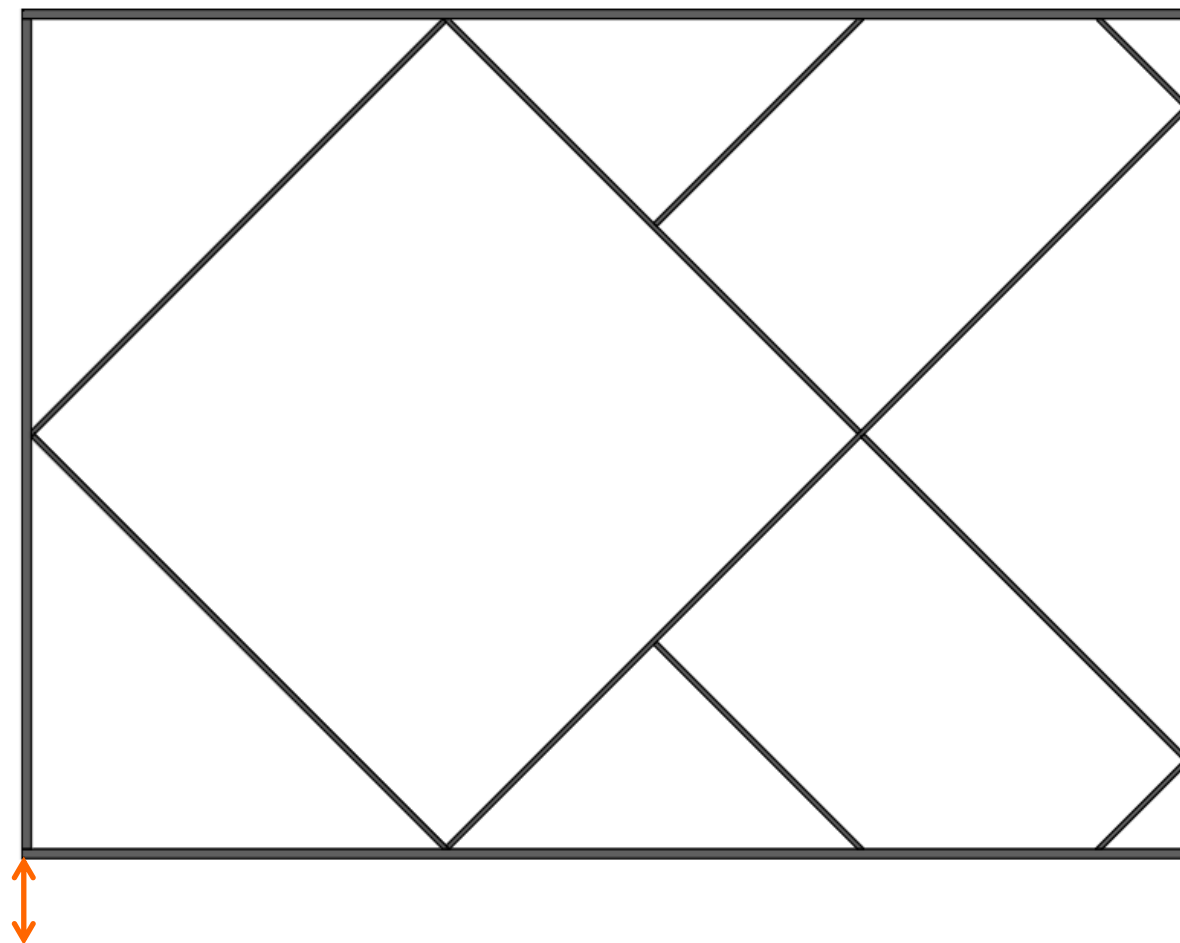
DESIGN RESPONSE

- Sledované odezvy modelu:
 - Průhyb ve stepu 1 „Grav“
 - Max. napětí v modelu ve stepu 2 „Vandal“
 - Objem elementů

```
DRESP
ID_NAME = Resp_Displ
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = DISP_Z_ABS
ND_GROUP = POSUV
GROUP_OPER = MAX
LC_SET = ALL,1,ALL
CS_REF = CS_0
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Resp_Stress
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = SIG_SENS_MISES
EL_GROUP = ALL_ELEMENTS
GROUP_OPER = MAX
LC_SET = ALL, 2, ALL
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Resp_Volume
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = VOLUME
EL_GROUP = ALL_ELEMENTS
GROUP_OPER = SUM
END_
```



TLOUŠŤKOVÁ OPTIMALIZACE

CONSTRAINT

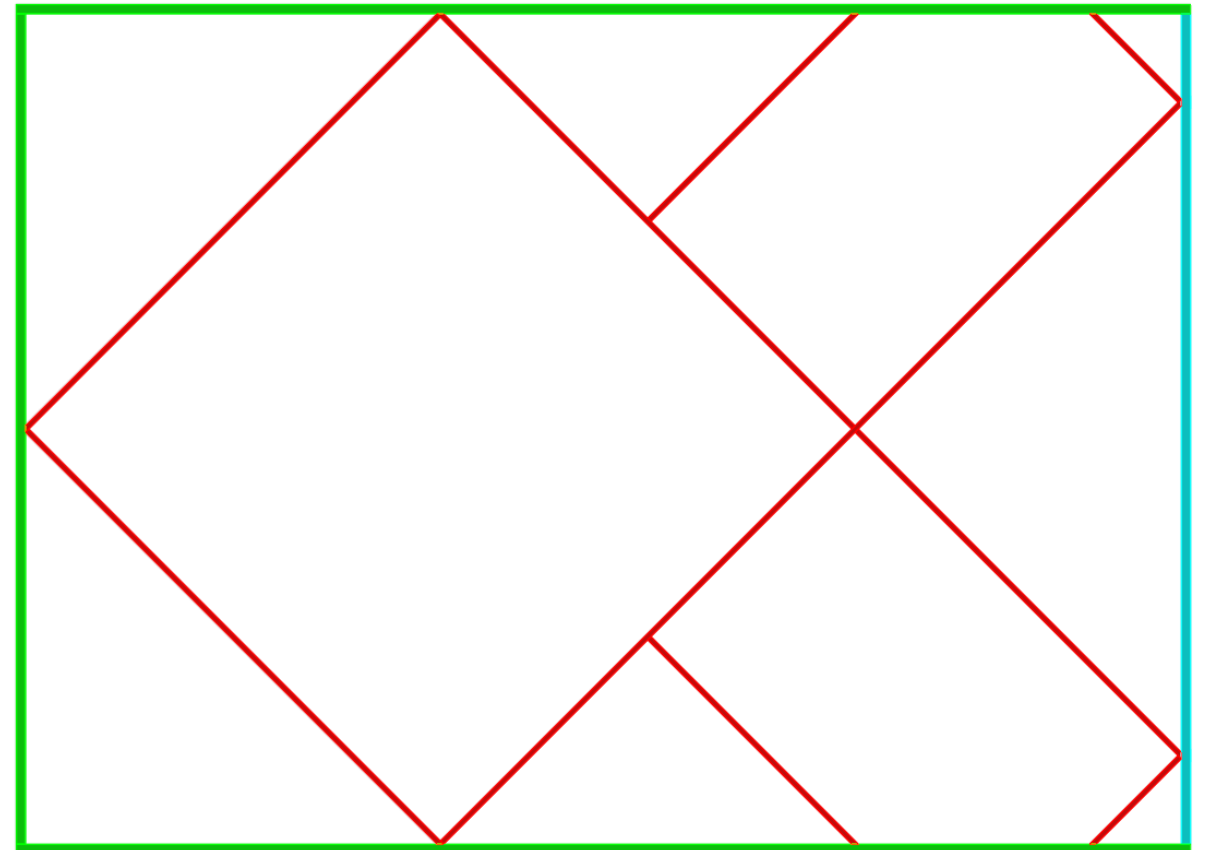
- Strategie optimalizace

- Per ElSet (Cluster Groups)

```
DVCON_SIZING
ID_NAME = Restriction
CHECK_TYPE = CLUSTER_GROUPS
EL_GROUP  = P1;FRAME
EL_GROUP  = P2;SVISLA
EL_GROUP  = P3;VYPLET
END_
```

- Per Element

```
DVCON_SIZING
ID_NAME = Restriction
EL_GROUP = ALL_ELEMENTS
CHECK_TYPE = THICKNESS_BOUNDS
MAGNITUDE = ABS
LOWER_BOUND = 0.5
UPPER_BOUND = 4.0
END_
```



TLOUŠŤKOVÁ OPTIMALIZACE

OBJEKTIVNÍ FUNKCE & OMEZENÍ NAPĚTÍ

- Minimalizuj objem
- Minimalizuj průhyb pod vlastní tíhou

```
OBJ_FUNC
ID_NAME = Objective
DRESP = Resp_Displ, ,
DRESP = Resp_Volume, ,
TARGET = MIN
END_
```

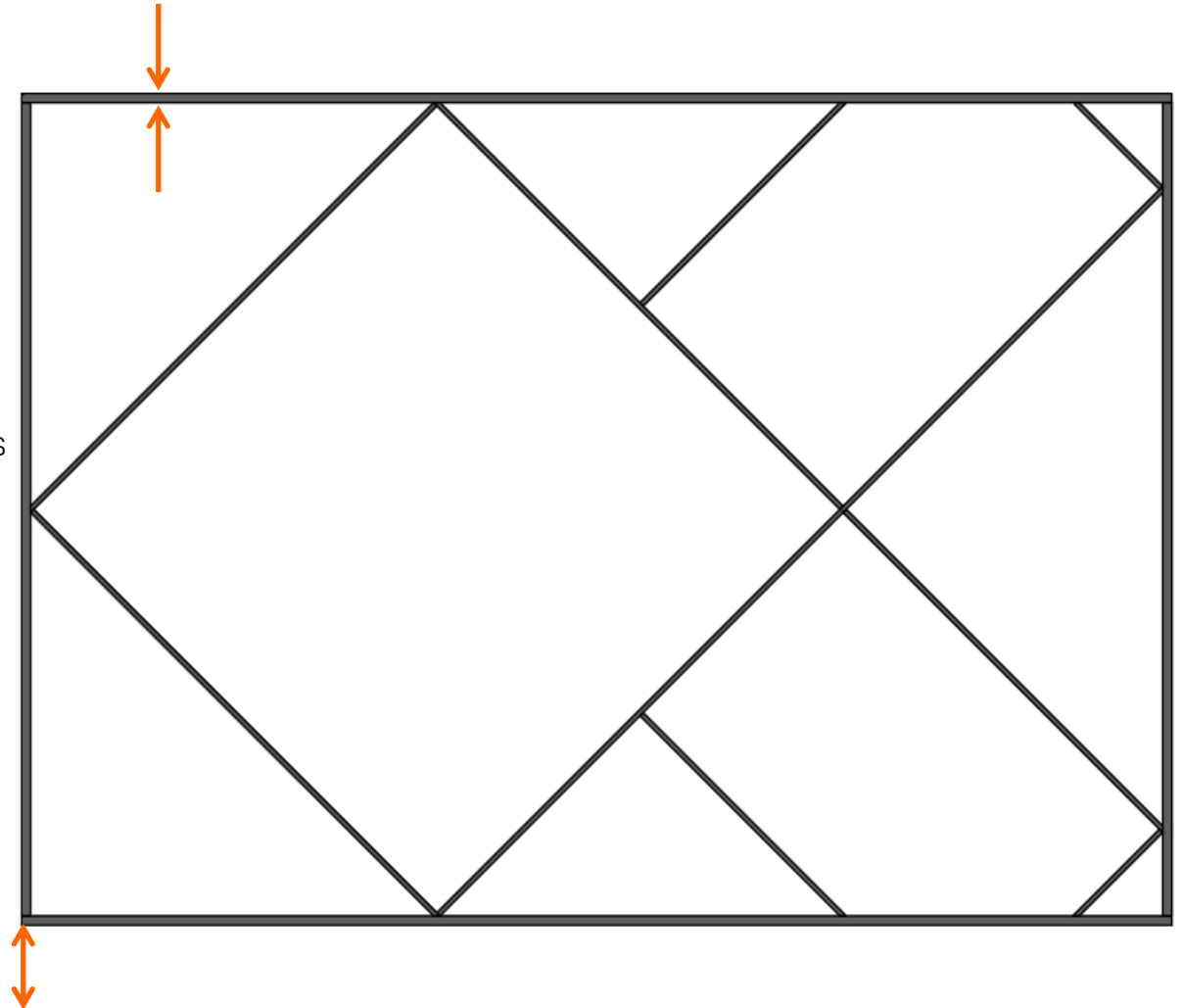
```
DRESP
ID_NAME = Resp_Displ
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = DISP_Z_ABS
ND_GROUP = POSUV
GROUP_OPER = MAX
LC_SET = ALL,1,ALL
CS_REF = CS_0
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Resp_Volume
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = VOLUME
EL_GROUP = ALL_ELEMENTS
GROUP_OPER = SUM
END_
```

- Dovolené napětí: 200MPa

```
CONSTRAINT
ID_NAME = Opt-Constraint
DRESP = Resp_Stress
MAGNITUDE = ABS
LE_VALUE = 200.
END_
```

```
DRESP
ID_NAME = Resp_Stress
LIST = NO_LIST
DEF_TYPE = SYSTEM
TYPE = SIG_SENS_MISES
EL_GROUP = ALL_ELEMENTS
GROUP_OPER = MAX
LC_SET = ALL, 2, ALL
END_
```



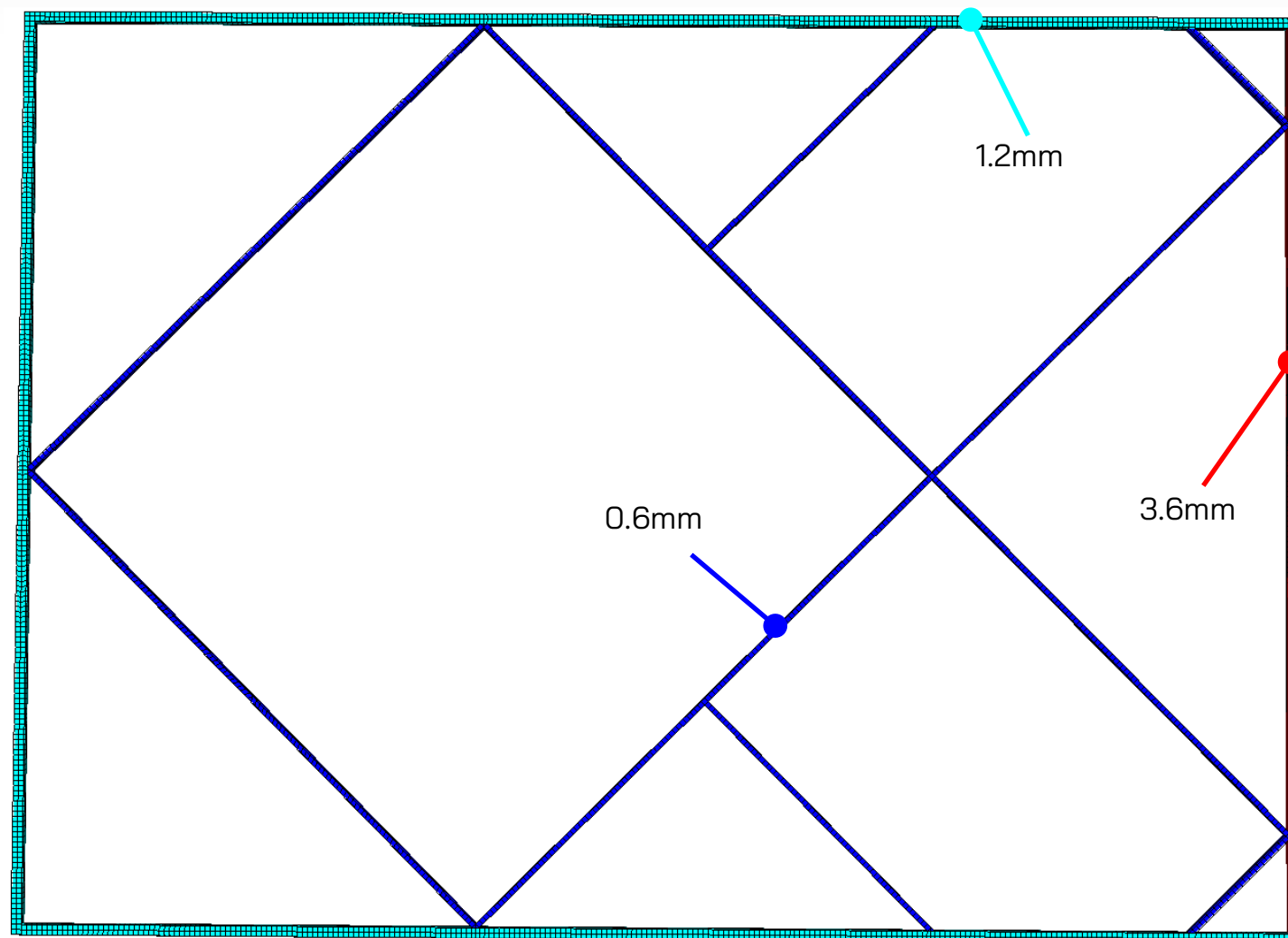
TLOUŠŤKOVÁ OPTIMALIZACE

VÝSLEDKY

- 12172 elementů
- 14 iterací
- 13 minut
- 11,64kg

- Per ElSet (Cluster Groups)

```
DVCON_SIZING
ID_NAME = Restriction
CHECK_TYPE = CLUSTER_GROUPS
EL_GROUP   = P1;FRAME
EL_GROUP   = P2;SVISLA
EL_GROUP   = P3;VYPLET
END_
```



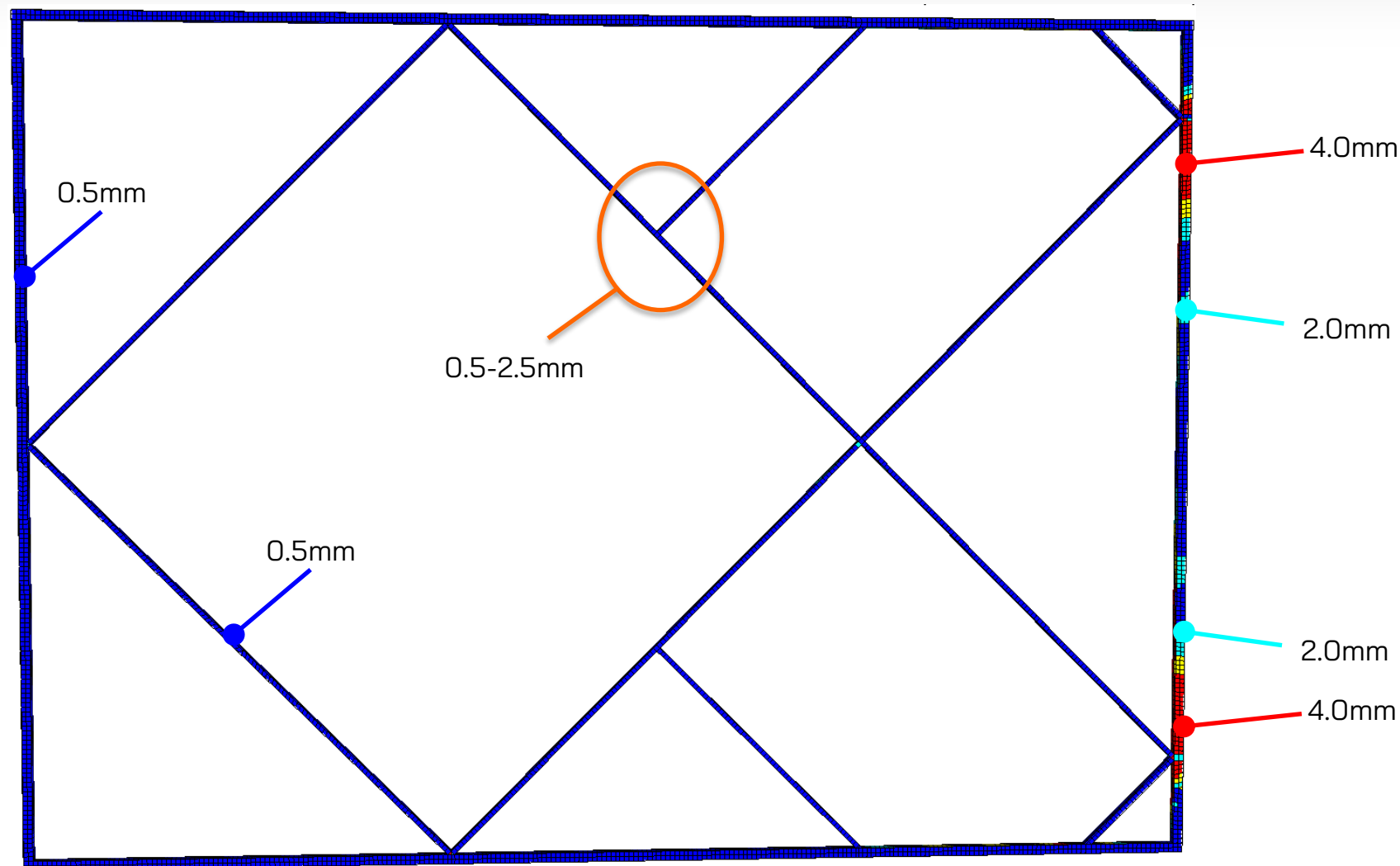
TLOUŠŤKOVÁ OPTIMALIZACE

VÝSLEDKY

- 12172 elementů
- 7 iterací
- 7 minut
- 8,32kg

○ Per Element

```
DVCON_SIZING
ID_NAME = Restriction
EL_GROUP = ALL_ELEMENTS
CHECK_TYPE = THICKNESS_BOUNDS
MAGNITUDE = ABS
LOWER_BOUND = 0.5
UPPER_BOUND = 4.0
END_
```



1. Úvod: Co uvidíte v prezentaci
2. Strukturální topologická optimalizace
3. Strukturální tloušťková optimalizace
4. Neparametrická optimalizace v CST Studio Suite
5. Závěr



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

IMPLEMENTOVANÉ PŘÍSTUPY



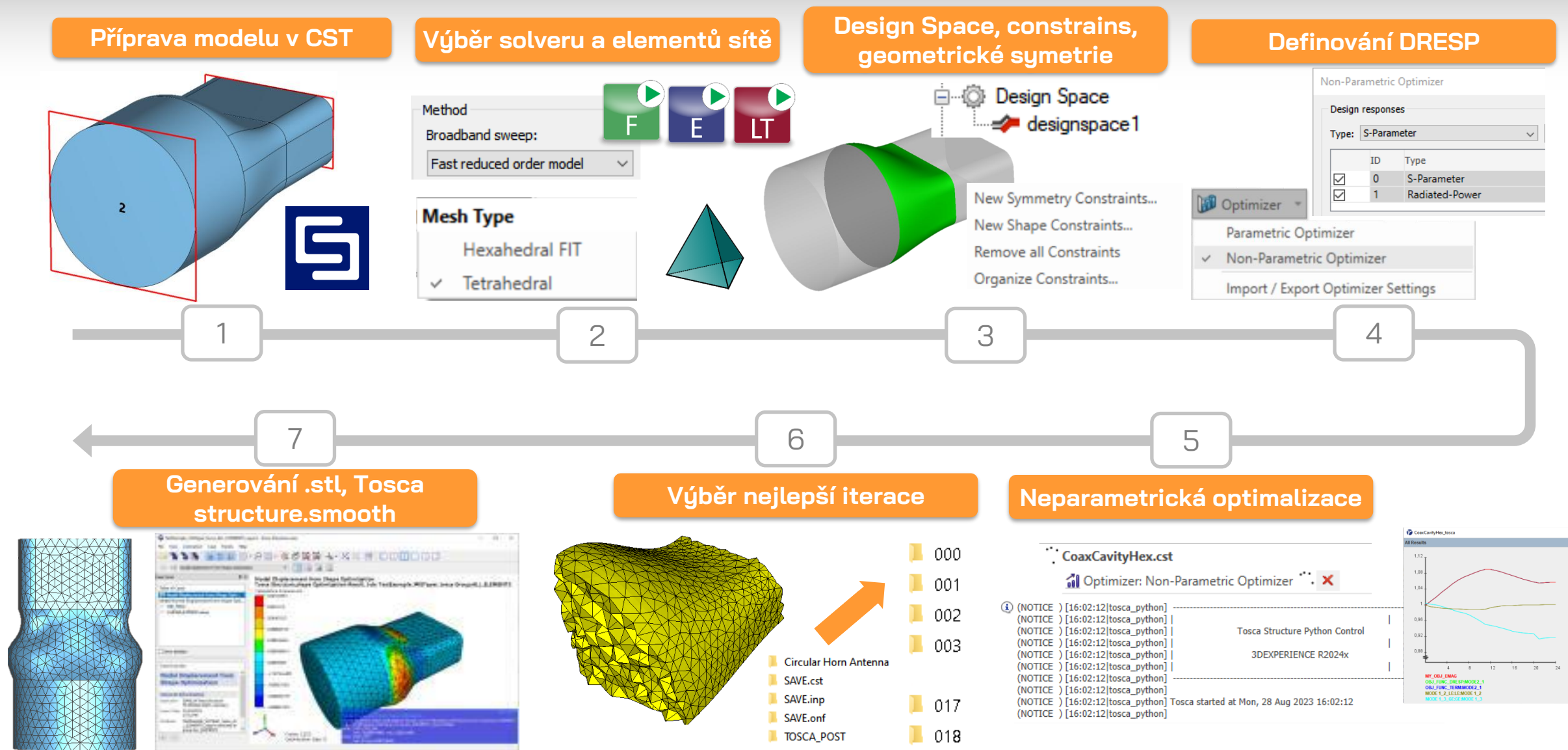
CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

WORKFLOW





NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

GEOMETRICKÉ OMEZENÍ



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

DESIGN RESPONSE (DRESP)



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

FARFIELD – OSOVÝ POMĚR



CONFIDENTIAL



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

FARFIELD – CO-/CROSS-POLARIZACE



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

FARFIELD – ŠÍŘKA SVAZKU (-10 dB)



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

RELATIVNÍ OPERÁTOR



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

GUI: TLAČÍTKO SETTINGS



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

CITLIVOSTNÍ MONITOR



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

EXPORT MODELU



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.



NEPARAMETRICKÁ OPTIMALIZACE V CST

PŘÍKLADY



CONFIDENTIAL

V případě zájmu nás kontaktujte.

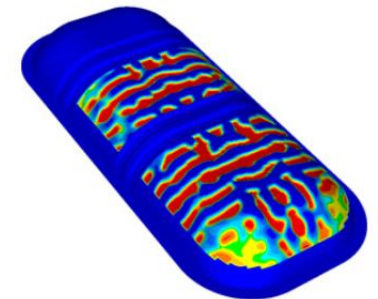
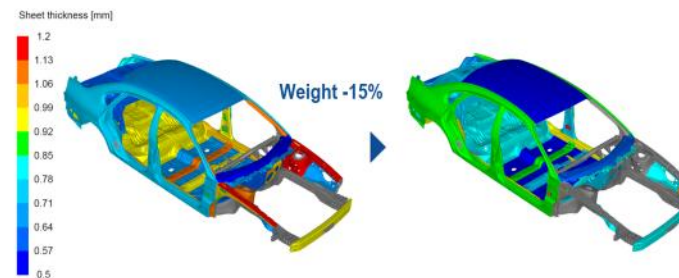
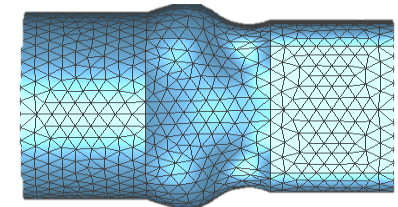
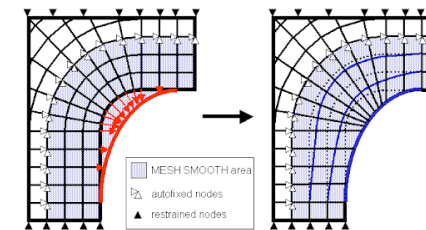
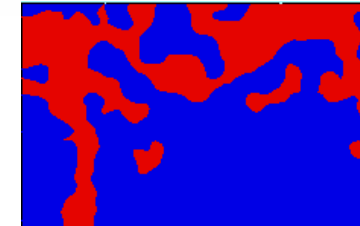
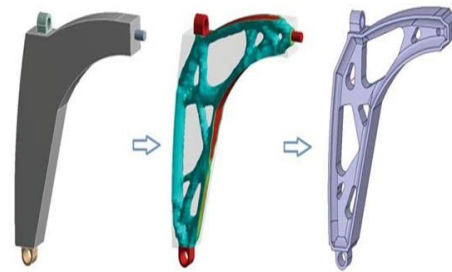
OBSAH

1. Úvod: Co uvidíte v prezentaci
2. Strukturální topologická optimalizace
3. Strukturální tloušťková optimalizace
4. Neparametrická optimalizace v CST Studio Suite
5. Závěr

ZÁVĚR

NEPARAMETRICKÉ OPTIMALIZACE

- Neparаметrické optimalizace pro:
 - Strukturu
 - Elektriku
 - Proudění
- Není to tak složité
- Benefit pro Vaše projekty
- Konkurenční výhoda



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

