

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2302T019 Stavby výrobních strojů a zařízení

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Návrh vytápění tvarově složité formy

Autor: Bc. Kateřina Kutilová  
Vedoucí práce: Ing. Eva Krónerová, Ph.D.

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kateřina KUTILOVÁ**  
Osobní číslo: **S12N0014K**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**  
Název tématu: **Návrh vytápění tvarově složité formy**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Přímé a nepřímé vytápění forem, návrh variant labyrintů pro vytápění formy a výpočty rozložení teplot ve formě.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Vypracování konstrukčního návrhu včetně systematické specifikace požadavků a koncepčních variant návrhů, výběr optimálního řešení.
2. Zjištění klíčových vlastností konstrukčního návrhu s potřebnými technickými výpočty.
3. Vypracování potřebné výkresové dokumentace.
4. Komplexní zhodnocení.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **50-70 stran A4**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999**

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 2. Praha: Computer Press, 2000**

**DUCHÁČEK, V. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006**

**MAREŠ, R. Kapitoly z termomechaniky. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008**

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Eva Krónerová, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant diplomové práce: **Dr. Ing. Luboš Holý**  
SWA s.r.o.  
Datum zadání diplomové práce: **23. září 2013**  
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září 2013

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoli nakládání s nimi, možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.



## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kutilová	Jméno Kateřina
STUDIJNÍ OBOR	2302T019 „Stavby výrobních strojů a zařízení“	
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Krónerová, Ph.D.	Jméno Eva
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS	
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	<del>BAKALÁŘSKÁ</del> Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh vytápění tvarově složité formy	

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
---------	---------	---------	-----	-------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	97	TEXTOVÁ ČÁST	67	GRAFICKÁ ČÁST	30
--------	----	--------------	----	---------------	----

STRUČNÝ POPIS	Tato diplomová práce se zabývá popisem tvorby lisovacích forem s použitím temperačních okruhů. Zabývá se materiálovou specifikací důležitých částí formy a termální analýzou pomocí MKP.
KLÍČOVÁ SLOVA	Forma, lisování, temperační okruh, varianty temprování, MKP výpočet

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Kutilová	Name Kateřina	
FIELD OF STUDY	2302T019 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Krónerová, Ph.D.	Name Eva	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	<del>BACHELOR</del>	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of rating for komplex shaped moulds		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
---------	------------------------	------------	----------------	--------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	97	TEXT PART	67	GRAPHICAL PART	30
---------	----	-----------	----	----------------	----

BRIEF DESCRIPTION	This thesis deals with the description of the creation of press molds using temperature control circuits. It deals with the material specification of important parts of the mold. Thermal analysis using FEM.
KEY WORDS	Moulds, pressing, temperature control circuit, temperature variants, FEM calculation

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat všem pedagogickým pracovníkům Západočeské univerzity, kteří mě během studia vedli a předávali mi své znalosti a zkušenosti. Mé poděkování patří Ing. Františku Sedláčkovi za pomoc při výpočtu pomocí MKP.

Ráda bych poděkovala firmě SWA, s.r.o za poskytnutí praxe v oboru konstrukce forem. Svým kolegům za cenné rady v získávání odborných znalostí.

Dále bych ráda touto cestou poděkovala za konzultace a odbornou pomoc při zpracování diplomové práce Dr. Ing. Luboši Holému, a vedoucí diplomové práce Ing. Evě Krónerové, Ph.D.

## Obsah

1	Úvod.....	16
1.1	Zadávací firma.....	16
1.2	Upřesnění zadání.....	17
2	Forma obecně .....	18
2.1	Složení formy.....	19
2.1.1	Složení formy s temperačními okruhy .....	19
2.1.2	Složení formy, kde je doplněna další funkce, jako je např. stříh .....	19
3	Typy lisovacích forem.....	20
3.1	Kritérium - zástavbové rozměry a hmotnost formy.....	20
3.2	Kritérium - tvar produktu.....	20
3.3	Tvarově složité formy vyrobené z bloků .....	22
3.3.1	Konstrukce nástroje z bloků.....	22
3.3.2	Konstrukce bloků .....	24
3.4	Tvarově složité formy vyrobené z odlitků.....	24
3.4.1	Konstrukce odlitků .....	25
4	Materiály používané pro tvarově složité formy .....	26
4.1	Materiály používané pro formy z bloků .....	26
4.1.1	Materiál 1.0570 = 11 523 .....	26
4.1.2	Materiál 1.2311 = 19520 .....	26
4.1.3	Materiál 1.2312 = 19520+S.....	27
4.1.4	Materiál AlMg4,5Mn .....	27
4.2	Materiály používané pro formy z odlitků .....	28
4.2.1	Materiál GG30 = EN-GJL-300 – litina s lupínkovým grafitem.....	28
4.2.2	Materiál GAL 226 – slitina hliníku .....	28

5	Principy temperování .....	29
5.1	Temperování formy temperačním okruhem .....	29
5.1.1	Návrh a typy temperačních okruhů soustavy v bloku .....	29
5.1.2	Zátky, ucpávky a přepážky.....	31
5.1.3	Návrh a typy temperačních okruhů soustavy v odlitku.....	33
5.2	Temperování formy pomocí topných (chladících) desek .....	34
5.3	Nahřívání formy v peci .....	34
5.4	Temperování formy pomocí topných patron .....	35
5.4.1	Typy patron dle materiálu: .....	35
6	Návrh orgánové struktury TS .....	36
6.1	Specifikace požadavků na TS .....	36
6.1.1	Požadavky na vlastnosti a chování TS vztažené k transformačním procesům všech etap životního cyklu TS .....	36
6.1.2	Požadavky na vlastnosti TS vztažené k operátorů transformačním procesům všech etap životního cyklu TS .....	37
6.2	Morfologická matice .....	38
6.3	Varianty řešení .....	38
6.3.1	Varianta A - výroba formy z bloků .....	38
6.3.2	Varianta B - výroba formy z odlitků .....	39
6.3.3	Výběr vhodné varianty .....	39
7	Topná média.....	40
7.1	Voda.....	40
7.2	Oleje.....	40
7.3	Oleje MOGUL .....	40
8	Snímače teploty.....	41
8.1	Bimetalové teploměry .....	41

8.2	Snímače teploty s kabelovým vývodem .....	42
8.3	Bezdotykové teploměry – pyrometry .....	43
9	Izolace forem.....	44
9.1	Druhy izolací dle výrobců a materiálu.....	44
9.1.1	Labara Sklotextit G11 - 200°C.....	44
9.1.2	ISOCOS a nejčastěji využívané izolace .....	45
10	Všeobecně používané materiály produktu.....	46
10.1	Některé materiály používané pro lisované produkty .....	46
10.1.1	Těžká fólie = EPDM (Schwerschich) .....	46
10.1.2	Polyuretanové pěny .....	46
10.1.3	Hliníková fólie.....	46
11	Základní výpočtové vztahy sdílení tepla - obecně známé .....	47
11.1	Druhy sdílení tepla.....	47
11.1.1	Sdílení tepla vedením (kondukcí) .....	47
11.1.2	Sdílení tepla prouděním (konvekce) [26] .....	50
12	Rozbor zadání .....	56
13	Výpočty a úprava 3D modelu pro analýzy v MKP .....	57
13.1	Specifikace materiálu produktu pro výpočet .....	57
13.1.1	Výpočet ekvivalentní tepelné vodivosti $\lambda_{ek}$ produktu .....	58
13.1.2	Zjednodušení 3D produktových dat pro výpočet MKP .....	59
13.2	Zjednodušení labyrintů pro výpočet .....	61
14	Výpočty a analýza MKP vytápění formy pro variantu 1 .....	63
14.1	Zasítování formy ve FEM .....	63
14.2	Nastavení okrajových podmínek vhodných pro výpočet v SIM.....	64
14.3	Výsledný MKP výpočet.....	65

15	Vyhodnocení výsledků .....	70
15.1	Hlediska pro posouzení.....	70
15.2	Vyhodnocení jednotlivých variant.....	70
15.2.1	Varianta 1 .....	71
15.2.2	varianta 2 .....	71
15.3	Výběr nejvhodnější varianty .....	71
16	Závěr.....	72
17	Bibliografie.....	73
17.1	Použitá literatura .....	73
17.2	Webové stránky a odkazy .....	73
17.3	Použitý software .....	74

## Seznam obrázků:

Obr. č. 1-1 Příklady interiérových a izolačních dílů, pro které firma SWA vyrábí nástroje ....	16
Obr. č. 2-1 Hydraulický lis s nástrojem.....	18
Obr. č. 2-2 Popis částí lisovací formy .....	19
Obr. č. 3-2 Spodní izolace tunelu .....	21
Obr. č. 3-3 Stropní panel .....	21
Obr. č. 3-1 Izolace podběhu.....	21
Obr. č. 3-4 izolace motoru .....	22
Obr. č. 3-5 Plato zavíracího prostoru.....	22
Obr. č. 3-6 Konstrukční návrh rozměrů formy - nárys.....	23
Obr. č. 3-7 Konstrukční návrh rozměrů formy - půdorys.....	23
Obr. č. 3-8 UT blok - pro izolaci tunelu .....	24
Obr. č. 3-9 Styroporový model.....	25
Obr. č. 3-10 Datový model odlitku.....	25
Obr. č. 5-1 Forma pro stropní panel – s jednoduchým temperačním okruhem.....	29
Obr. č. 5-2 Plato zavíracího prostoru – s temperačním okruhem .....	30
Obr. č. 5-3 Spodní izolace tunelu – blok a samostatný temperační okruh .....	30
Obr. č. 5-4 Nástrčná zátka SVOBODA .....	31
Obr. č. 5-6 Umístění přepážky .....	32
Obr. č. 5-5 Ucpávky SVOBODA .....	32
Obr. č. 5-7 Temperační okruh soustavy odlitku .....	33
Obr. č. 5-8 Zalité temperační trubky v odlitku .....	33
Obr. č. 5-9 Chladicí deska .....	34
Obr. č. 5-10 Topné patrony HHP .....	35
Obr. č. 7-1 Závislost viskozity vody na teplotě.....	40
Obr. č. 8-1 Bimetalový šroubovaný teploměr .....	41
Obr. č. 8-2 Snímače teploty s kabelovým vývodem.....	42
Obr. č. 8-3 Čidlo PT100 SK2 - nerezové pouzdro PR 6x60 .....	42
Obr. č. 8-4 Princip měření bezdotykovým teploměrem .....	43
Obr. č. 11-1 Čáry konstantní teploty, gradient teploty a tepelný tok q .....	47



Obr. č. 11-2 Závislost součinitele tepelné vodivosti izolátorů a vodičů na teplotě.....	48
Obr. č. 11-3 Průběh teploty v rovinné stěně.....	48
Obr. č. 11-4 Elementární průtok tepla ve směru osy x.....	49
Obr. č. 11-5 Průběh teplot při prostupu tepla rovinnou stěnou.....	51
Obr. č. 11-6 Přestup tepla: a) z tekutiny do pevné stěny, b) z pevné stěny do tekutiny.....	52
Obr. č. 11-7 Pohyb tekutiny v omezeném prostoru.....	53
Obr. č. 11-8 Konvekce tekutiny v uzavřeném prostoru při sdílení tepla: a) zespodu, b) při rovnoměrném bočním ohřevu, c) při částečném rovnoměrném bočním ohřevu, d) při ohřevu shora, e) ve vodorovné dutině zahříváné zespodu, f) ve vaně při jednostranném ohřevu shora, g) ve vaně při symetrickém ohřevu shora.....	53
Obr. č. 11-9 Rychlostní profil v trubce při: a) laminární proudění tekutiny, b) turbulentní proudění tekutiny.....	54
Obr. č. 13-1 3D data produktu.....	57
Obr. č. 13-2 3D detail produktu.....	57
Obr. č. 13-3 Materiálová specifikace produktu izolace tunelu.....	58
Obr. č. 13-4 Řez vylisovaným produktem pro izolaci tunelu.....	58
Obr. č. 13-5 Skutečná 3D spodní plocha produktu s odpadem.....	60
Obr. č. 13-6 Zjednodušená spodní plocha produktu.....	60
Obr. č. 13-7 Porovnání obou ploch obr. č. 13-5 a 13-6.....	60
Obr. č. 13-8 Spodní díl nezjednodušený, varianta 1.....	61
Obr. č. 13-9 Spodní díl zjednodušený, varianta 1.....	61
Obr. č. 13-10 Horní díl nezjednodušený, varianta 1.....	62
Obr. č. 13-11 Horní díl zjednodušený, varianta 1.....	62
Obr. č. 14-1 Detail provázanosti sítí.....	63
Obr. č. 14-2 Zasíťovaný model celé formy, varianty 1.....	63
Obr. č. 14-3 Vizualní zobrazení okrajových podmínek temperačních okruhů, varianty 1.....	64
Obr. č. 14-4 Vizualní pohled na okrajové podmínky celé formy.....	65
Obr. č. 14-5 počáteční stav nahřívání.....	66
Obr. č. 14-6 Celkový pohled na vyhřátou formu.....	66
Obr. č. 14-7 Řez formou v konečném čase vyhřátí.....	67
Obr. č. 14-8 Tepelně ovlivněné oblasti.....	67

Obr. č. 14-9 Graf 1 průběhu teplot v otvoru pro teploměr spodní části formy.....	68
Obr. č. 14-10 Graf 2 průběhu teplot v otvoru pro teploměr horní části formy.....	68

## **Seznam tabulek:**

Tab. č. 6-1 Požadavky na vlastností a chování TS vztažené k procesům všech etap životního cyklu .....	37
Tab. č. 6-2 Požadavky na vlastnosti TS vztažené k operátorů transformačním procesům všech etap životního cyklu TS.....	37
Tab. č. 6-3 Morfologická matice s navrženými orgány ke stanoveným funkcím TS.....	38
Tab. č. 7-2 Porovnání olejů .....	40
Tab. č. 9-1 Vlastnosti izolace sklotexitt G11-200°C.....	44
Tab. č. 9-2 Technické vlastnosti izolací ISOCOS .....	45
Tab. č. 15-1 Porovnání variant 1 a 2.....	70

## **Seznam příloh:**

- Příloha č. 1. - Celkový kusovník lisovací formy pro spodní izolaci tunel
- Příloha č. 2. - Příprava zjednodušení 3D dat varianty 2 pro výpočet MKP
- Příloha č. 3. - Výsledky termální analýzy

## **Seznam výkresové dokumentace:**

- DP-KKS-001 - P1\_UT\_blok\_s\_temperačním\_okruhem\_var\_1
- DP-KKS-002 - P201\_OT\_blok\_s\_temperačním\_okruhem\_var\_1

## Seznam použitých veličin a jednotek:

$q$	$[W \cdot m^{-2}]$	sdílený měrný tepelný tok
$\alpha$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel přestupu tepla
$t_k$	$[^{\circ}C]$	teplota tekutiny
$t_s$	$[^{\circ}C]$	teplota stěny
$L$	$[m]$	charakteristický rozměr tělesa (průměr, délka)
$w$	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost proudění tekutiny
$\nu$	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinetická viskozita tekutiny
$\gamma$	$[K^{-1}]$	izobarický součinitel objemové roztažnosti
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitační zrychlení
$\lambda$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti
$\lambda_{ek}$	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	ekvivalentním součinitel tepelné vodivosti
$a$	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	součinitel teplotní vodivosti tekutiny
$c_p$	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita tekutiny za stálého tlaku
$\rho$	$[kg \cdot m^{-3}]$	rychlost proudění tekutiny
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
Gr	[-]	Grashofovo číslo
Nu	[-]	Nuseeltovo číslo
Pr	[-]	Prandlovo číslo
Q	[J]	množství tepla
$q$	$[W \cdot m^{-1}]$	tepelný tok

## 1 Úvod

Problematikou, kterou se ve své práci zabývám, je temperování (vytápění či chlazení) tvarově složitých forem. V těchto formách se lisují a vypěňují především různé druhy plastů. Lisovací formy se nejčastěji vyrábí z bloků ocelových či hliníkových, nebo z odlitků. Formy se temperují způsoby jako např. hlubokým vrtáním, topnými deskami, topnými patronami či nahřátím v peci.

V diplomové práci se budu zabývat obecným rozdělením variant, principů temperování forem a rozdělením tvarově složitých forem. Dále se budu zabývat výpočty přestupů tepla pomocí MKP, a to pro několik variant hlubokého vrtání v zadané tvarově složité formě. Zhodnocení nejvýhodnější varianty z výrobních, ekonomických hledisek a požadavků zákazníka.

### 1.1 Zadávající firma



Zadávající firmou je SWA, s.r.o. se sídlem ve Stodě, Průmyslová 763, IČ 468 84 513. Je to významná firma pro automobilový průmysl, která se zabývá konstrukcí a výrobou nástrojů, strojů a zařízení pro výrobu interiérových a akustických dílů vozidel. Vyrábí nástroje lisovací, kaširovací, vypěňovací, pro stříhání, měrky a speciální stroje, které jsou určeny např. pro výrobu stropních panelů, palubních desek, dveřních a podlahových obložení, izolací motoru, krytů převodovek apod. Zvláštní důraz je kladen na vysokou kvalitu výrobků a jejich provozní spolehlivost. Pro řízení projektů, vývoj a výrobu jsou našim pracovníkům firmy k dispozici nejmodernější systémy a výrobní zařízení. Vedle specifických nástrojů a zařízení pro jednotlivé zákazníky firma vyrábí také proto-typové nebo předsériové díly různými výrobními technologiemi. Firma SWA, s.r.o. byla založena roku 1992. [2]



Obr. č. 1-1 Příklady interiérových a izolačních dílů, pro které firma SWA vyrábí nástroje

## 1.2 Upřesnění zadání

Forma: lisovací forma pro spodní izolaci tunelu

Materiál bloků: spodní díl UT - 1.2312  
horní díl OT - 1.2312

Teploty: spodní díl UT – 120°C  
horní díl OT – 160°C

Topné médium: olej, tlak oleje je 2 bary

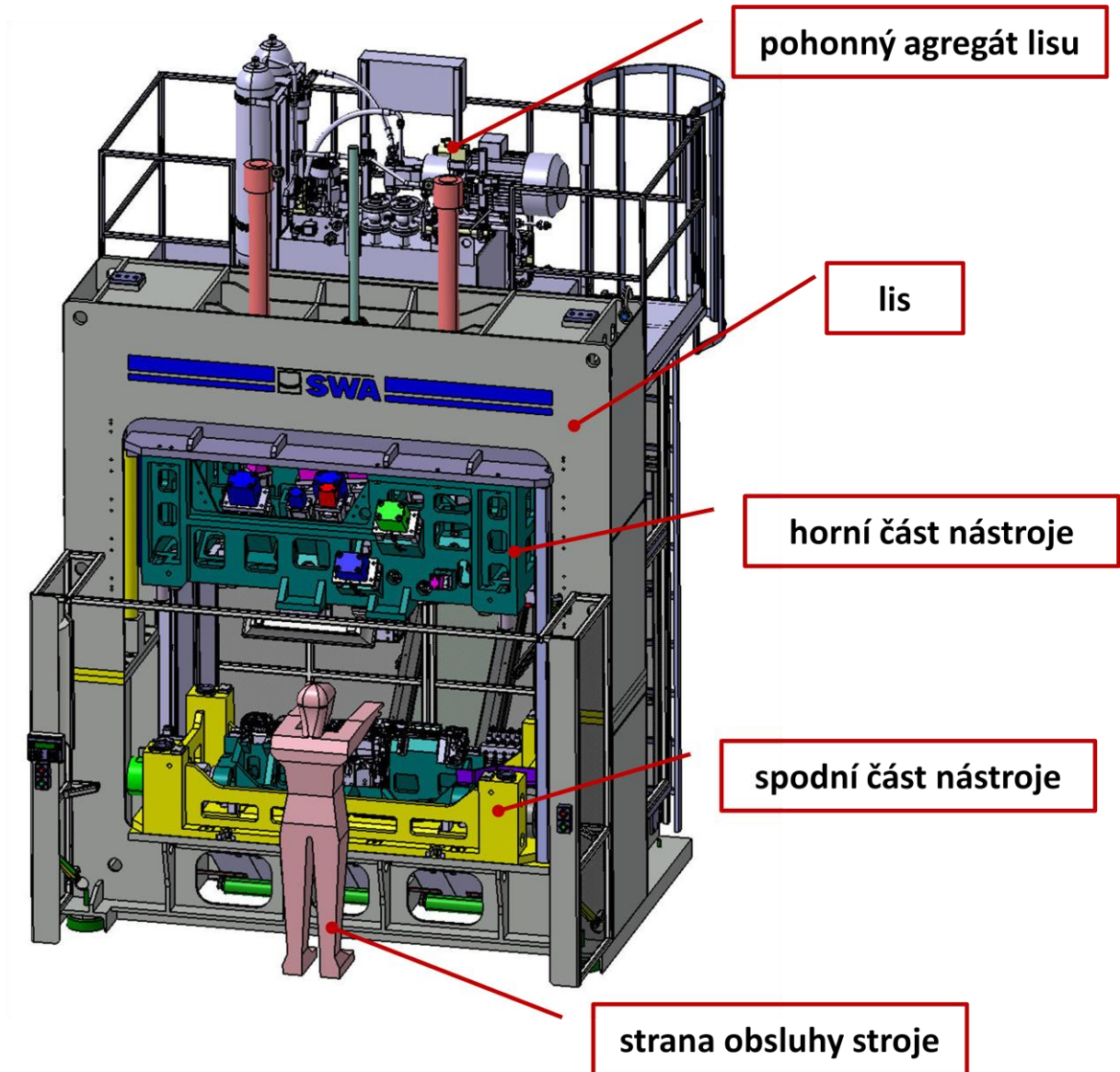
Hluboké vrtání o  $D=19\text{mm}$  a vzdálenost od ploch 30 až 40mm od ploch.

Izolace: spodní díl UT – obvodová izolace tl. 10mm, izolace spodní základny tl. 20mm  
horní díl OT – obvodová izolace tl. 10mm, izolace spodní základny tl. 30mm

Zpracovat všeobecný přehled temperování forem. Pro konkrétní formu vytvořit analýzu pomocí MKP přenosu tepla z topné soustavy na formu a následně na lisovaný produkt. Porovnat pro danou formu dvě různé konstrukční varianty temperačních okruhů pro spodní část formy a dvě různé konstrukční varianty temperačních okruhů pro horní část formy. Výsledky vyhodnotit z konstrukčního, ekonomického a ekologického hlediska.

## 2 Forma obecně

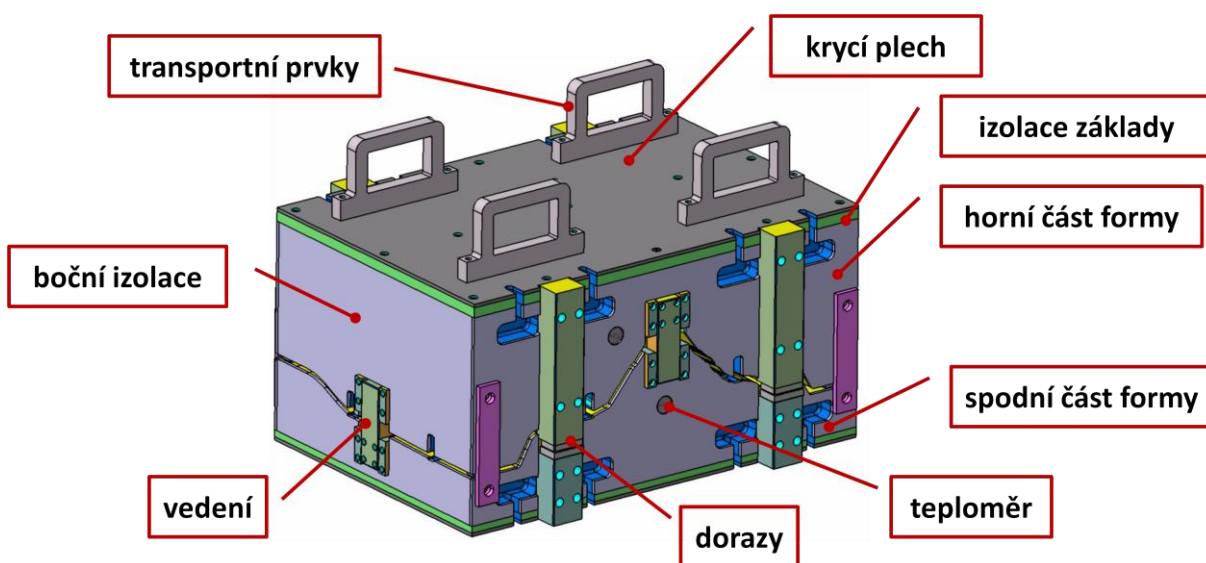
Formy slouží k vytvarování produktu do požadovaného tvaru, kterého se docílí lisováním či vstřikováním materiálu produktu, nebo mohou také sloužit k vystřížení požadovaného tvaru a otvorů v produktu. Forma se skládá ze dvou hlavních částí, a to ze spodního a horního dílu, které se upevňují do lisu, viz obr. č. 2-1.



Obr. č. 2-1 Hydraulický lis s nástrojem

## 2.1 Složení formy

Obecně se forma skládá ze dvou hlavních částí, ze spodního a horního dílu. Dále pak minimálně ze 4 dorazů (v každém rohu formy). Dorazy se počítají na pevnost, podle tohoto výpočtu se určí počet dorazů a jejich velikost. Výpočet je zaměřen na plochu dorazu tak, aby dostatečně přenesly maximální sílu lisu. Další součástí formy jsou vedení. Vedení válcové do pouzdra nebo pomocí trnu a kluzných destiček. Dále forma obsahuje základovou desku či izolace. Další důležitou částí jsou transportní prvky, ukazatele teploty a v neposlední řadě senzory - například mechanický senzor, který snímá zavření a otevření nástroje, blíže viz obr. č. 2-2.



Obr. č. 2-2 Popis částí lisovací formy

### 2.1.1 Složení formy s temperačními okruhy

Forma je doplněna oproti základnímu složení o boční izolace, izolace základů a krycí plech. Izolace se přidávají do formy s temperačními okruhy, aby se zabránilo úniku tepla do okolí. Pro lepší temperování celé formy se používají obvodové izolace. Izolováním obvodu docílíme lepší kumulace tepla uvnitř formy. Dále se ve formě nachází ukazatel teploty či tepelný senzor (více kapitola č. 8) a rychlospojky pro přívod tekutiny do temperačního okruhu.

### 2.1.2 Složení formy, kde je doplněna další funkce, jako je např. stříh

Forma může obsahovat rozstřihové nože, které jsou ovládané hydraulickými válci či střížné razníky ovládané pneumatickými válci. V těchto případech je do formy zakomponováno několik senzorů, např. senzory polohy válců. Senzory mohou být mechanické či indukční.

### 3 Typy lisovacích forem

Velikost a tvar formy záleží na mnoha kritériích.

#### 3.1 Kritérium - zástavbové rozměry a hmotnost formy

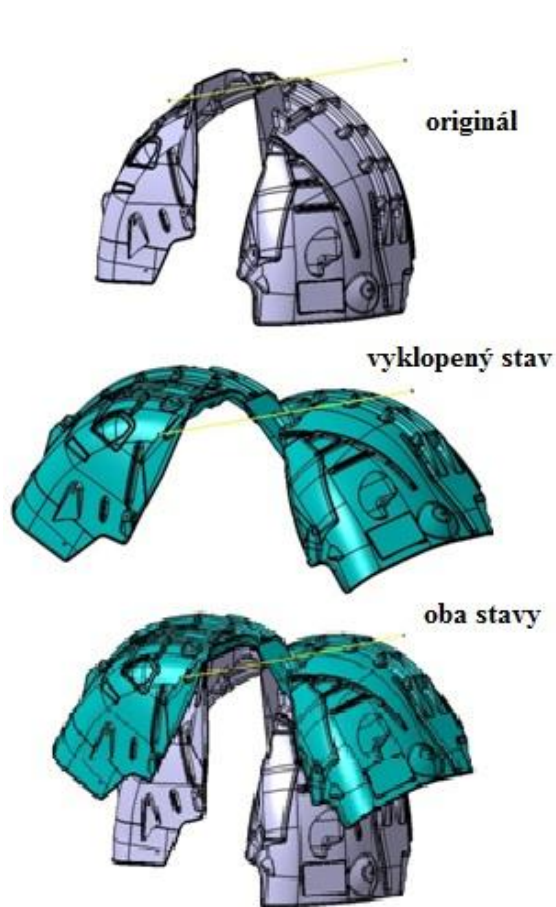
Prvním důležitým kritériem jsou zástavbové rozměry pro umístění v lisu, jako např. rozměr mezi sloupy, horní a dolní úvrať, síla lisu a maximální možná hmotnost nástroje. Především je důležité jakou maximální hmotnost může mít horní díl formy. Tyto rozměry nám určí maximální a minimální výšku nástroje. Z rozměrů nástroje se odvíjí i jeho maximální hmotnost. Při překročení maximální hmotnosti nástroje se musí nástroj odlehčit, například různými výběry. Odlehčení nástroje se většinou provádí u odlitků, kde se odlehčují žebra.

Dalšími důležitými kritérii jsou poloha dělicí roviny nástroje a síla lisu. Podle velikosti síly lisu spočítáme nosné prvky, jako jsou dorazy, které rozvrhneme v nástroji tak, aby byla co nejlépe přenesena lisovací síla. Dále potřebujeme znát, na které straně bude obsluha, kde se budou vyvádět vstupy a výstupy pro hydrauliku, pneumatiku, topné okruhy a kde bude umístěna elektroskříň.

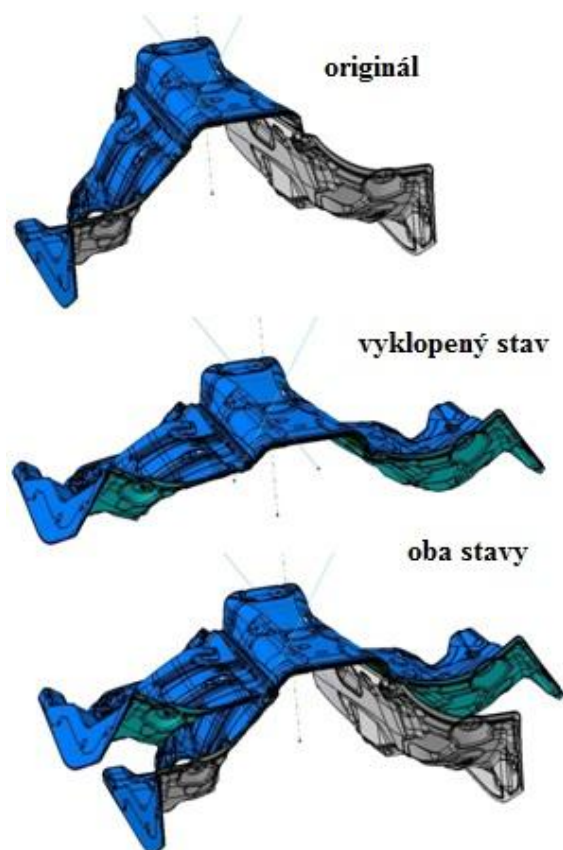
#### 3.2 Kritérium - tvar produktu

Druhým důležitým kritériem jsou data produktu. Ta určují minimální velikost nástroje a jeho dělicí rovinu. Před zahájením konstrukce formy se musí provést analýza zákaznických dat, zda nejsou někde negativa ve směru formování, pokud ano, musí se odstranit nebo zvolit jiný směr formování či formování v několika krocích. Většina produktů je v „poloze v autě“, ale většina nástrojů se konstruuje v „poloze v nástroji“, proto se některé produkty musí vyklopit tak, aby byly vyformovatelné viz obr. č. 3-1 a 3-2.



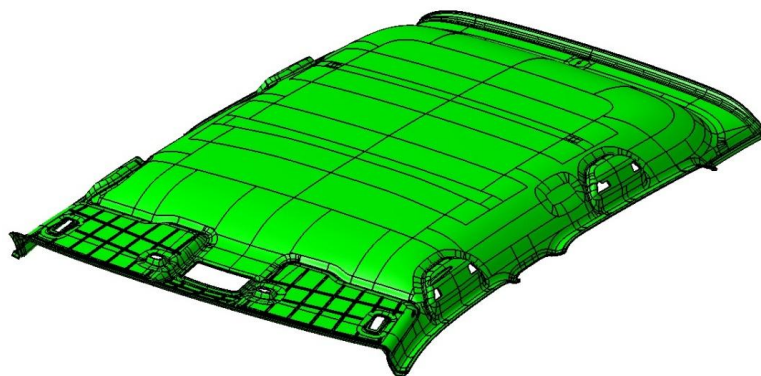


Obr. č. 3-1 Izolace podběhu

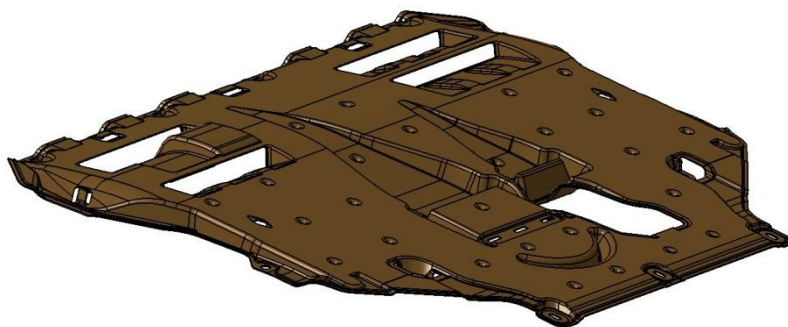


Obr. č. 3-2 Spodní izolace tunelu

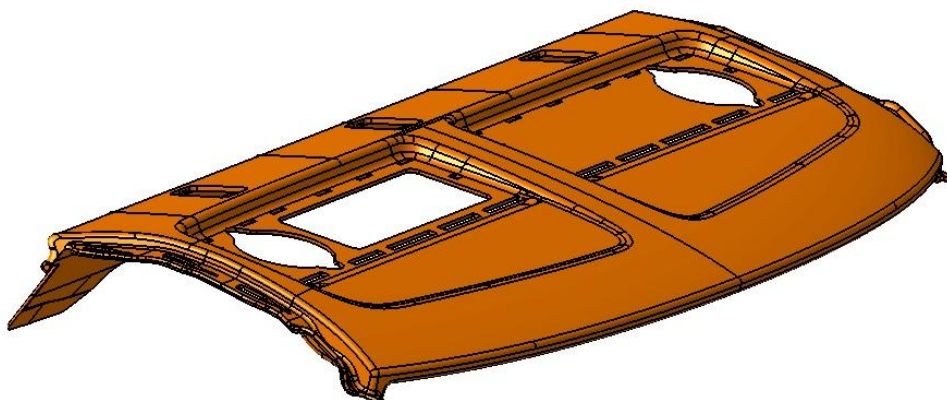
Dále na obrázcích jsou znázorněny různé typy produktů, podle kterých se určuje tvar a složitost formy. Složitost formy určí dělicí rovina. Dělicí rovinou pro konstrukci formy je samotná plocha produktu. Složitost produktu je podle rovin, do kterých se produkt ve formě promítá. Obrázek č. 3-3 je ze zobrazených produktů je ve složitosti formy s temperačními okruhy nejjednodušší, jak je popsáno v kapitole č. 5.



Obr. č. 3-3 Stropní panel



Obr. č. 3-4 Izolace motoru



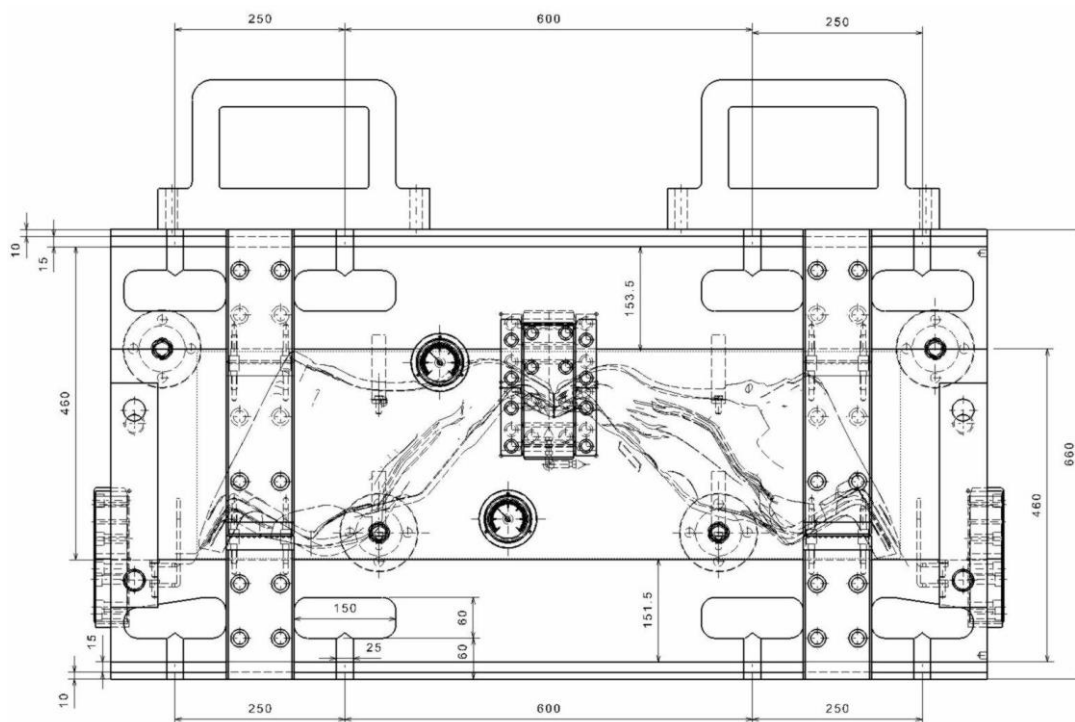
Obr. č. 3-5 Plato zavíracího prostoru

### 3.3 Tvarově složité formy vyrobené z bloků

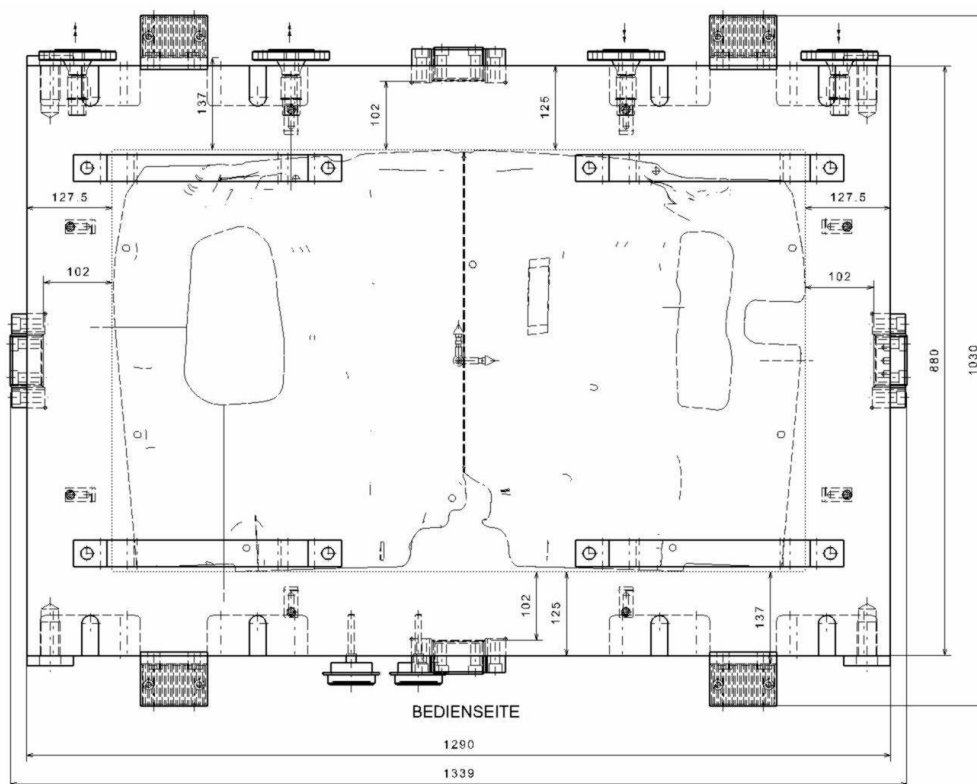
Blok je materiál ve tvaru krychle či kvádrů. Formy z bloků se vyznačují tím, že jsou vyrobené z jednoho kusu materiálu. Bloky se vyrábí a dodávají téměř z jakéhokoliv materiálu. Nejčastěji jsou dodávány pro lisovací formy z materiálů 1.2312, 1.2111, 1.0570 a AlMg4,5Mn, více viz kapitola č. 4.

#### 3.3.1 Konstrukce nástroje z bloků

Nejprve se u nástroje určí dělicí rovina, která vychází z polohy produktu (popřípadě jeho vyklopeného stavu) a z absolutního systému nástroje. Dělicí rovinu určuje velikost produktu a jsou to maximální rozměry produktu, na obr. č. 3-6 a 3-7 je znázorněna čárkovanými přímkami, ke kterým jsou vztaženy určující kóty, jako např. vzdálenost vedení od produktu apod. Dále se do nástroje napolohují dva bloky, jeden do spodní a druhý do horní části nástroje. Napolohují se dorazy a vedení, rozmístí se otvory pro upínání v lisu. Takto vytvořený konstrukční návrh, viz obr. č. 3-6 a 3-7, se následně pošle k zákazníkovi ke schválení konstrukce tak, aby vše vyhovovalo podmínkám upevnění do požadovaného lisu.



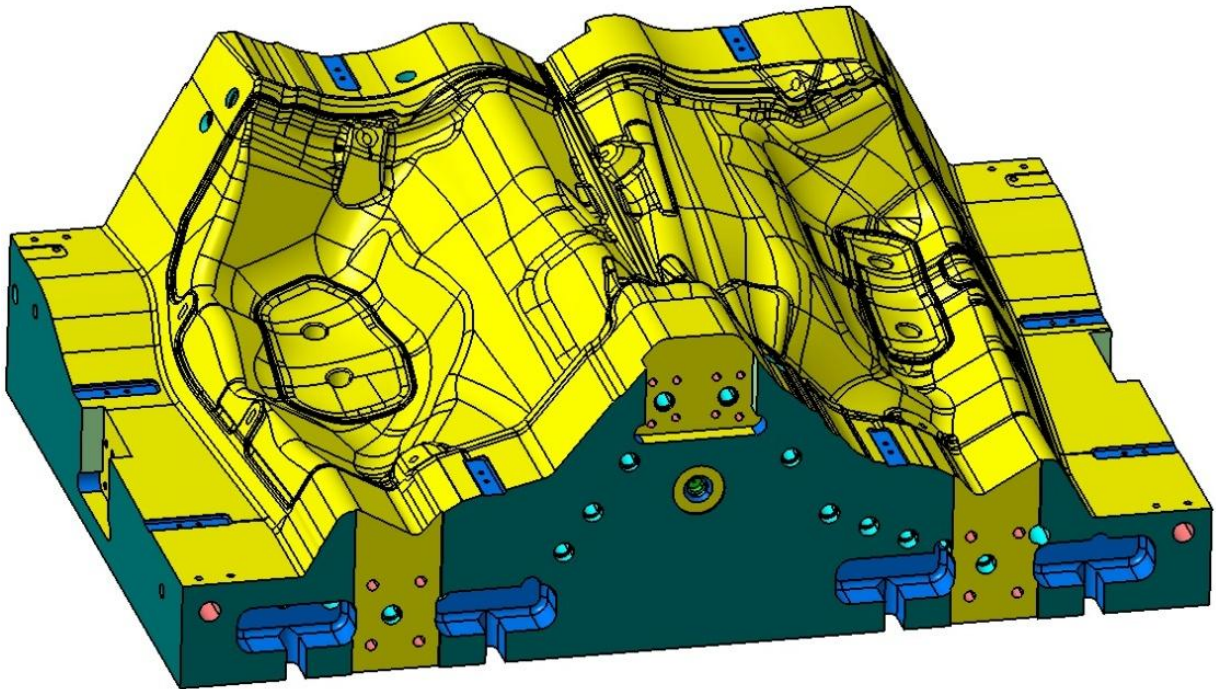
Obr. č. 3-6 Konstrukční návrh rozměrů formy - nárys



Obr. č. 3-7 Konstrukční návrh rozměrů formy - půdorys

### 3.3.2 Konstrukce bloků

Když je blok napolohovaný v nástroji, ořízne se plochami, které se skládají z ploch produktu a odpadových ploch vnitřních a obvodových. Dále se do bloku nakonstruuji výběry pro dorazy, vedení či otvory pro razníky, teploměr, transportní prvky a všechny závitové či díry pro kolíky apod. Když známe polohu všech výběrů a otvorů, můžou se začít konstruovat temperační okruhy, které jsou konstruovány tak, aby se vyhnuly všem otvorům (díram) a výběrům. Takto nakonstruovaný blok se odešle do výroby, viz obr. č. 3-8.

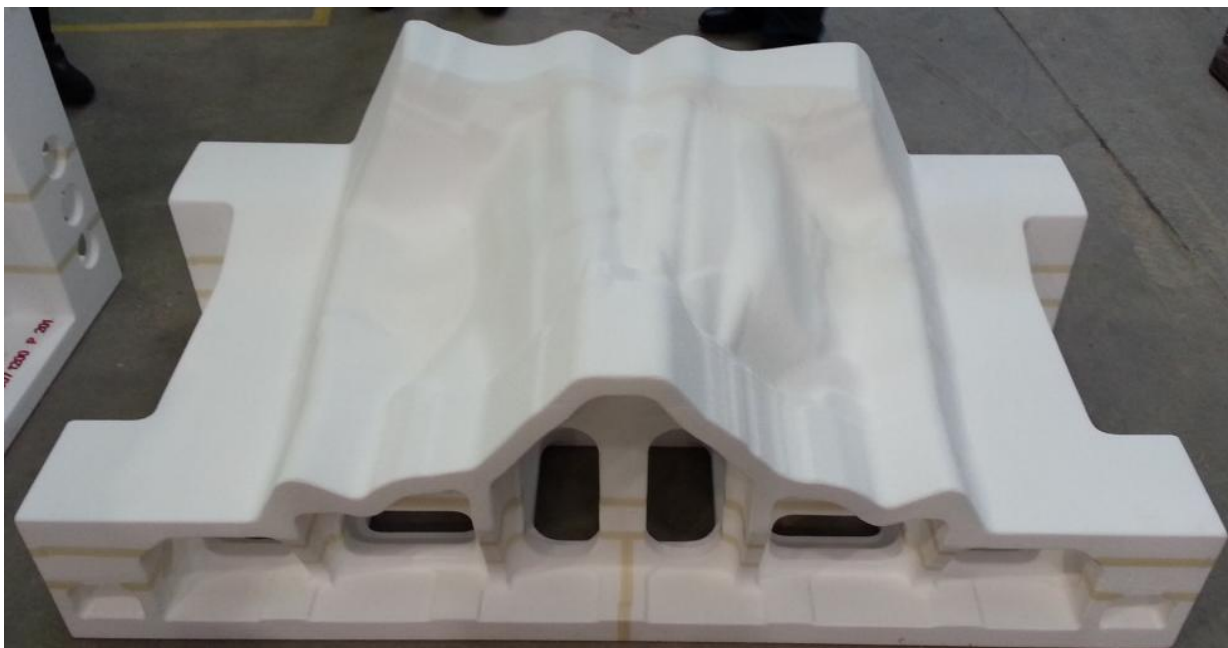


Obr. č. 3-8 UT blok - pro izolaci tunelu

### 3.4 Tvarově složité formy vyrobené z odlitků

Odlitek je vyroben odlitím materiálu vhodného pro lití, např. GG30 a GAL 226, viz kapitola č. 4. Velké odlitky se většinou odlévají do pískových forem, které se vyrábějí ze styroporových modelů. Styroporový model je 3D model z polystyrenu vyrobený podle nakonstruovaných dat odlitku, viz obr. č. 3-9, model může být vyroben také ze dřeva.

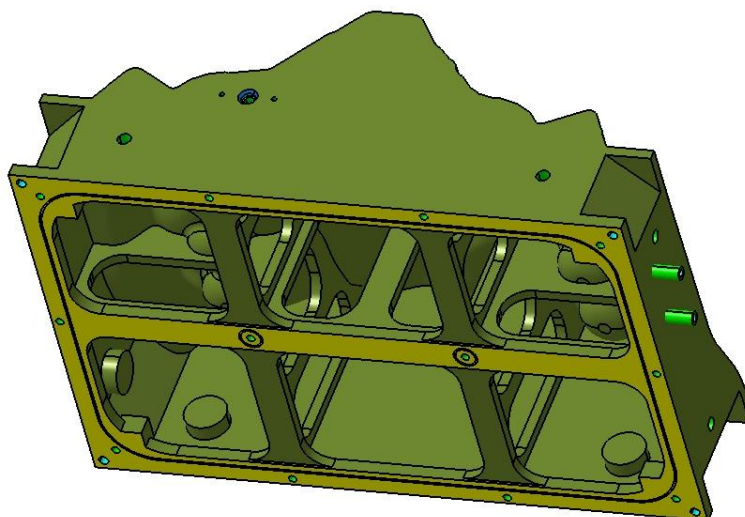




Obr. č. 3-9 Styroporový model

### 3.4.1 Konstrukce odlitků

Dělicí rovina se určí stejně jako u nástroje z bloků. Vytvoří se základová deska, žebra a tzv. sendvič, viz obr. č. 3-10. Všechny tyto části volí konstruktér dle tuhosti a pevnosti celkového odlitku. Žebra i deska se musí odlehčit otvory z důvodu nižší hmotnost celého odlitku. Do slévárny se spolu se styroporovým modelem posílá tzv. specifikace lití, kde se vyznačí vstup a výstup a tvar temperačního okruhu.



Obr. č. 3-10 Datový model odlitku

## 4 Materiály používané pro tvarově složité formy

### 4.1 Materiály používané pro formy z bloků

Materiály forem se volí dle několika aspektů. Základem je požadavek zákazníka. Dalším zásadním aspektem jsou materiálové vlastnosti, např. zda se mohou kalit, navařovat, vliv na otlačení apod. Materiál se dále volí i dle maximální hmotnosti nástroje, která je dána typem lisu.

#### 4.1.1 Materiál 1.0570 = 11 523

Vlastnosti: universální nelegovaná konstrukční jemnozrnná ocel s vysokou vrubovou houževnatostí a zaručenou svařitelností při vyšší mezi kluzu oceli. Ocel 1.0570 (S355J2G3, 11523) je vhodná pro dělení plamenem a plazmou. Pevnost 490 - 630 MPa. Mez kluzu min. 355 MPa. [3]

Chemické složení: uhlík max. C = 0,2%, mangan max. Mn = 1,6%, křemík max. Si = 0,55%, fosfor max. P = 0,04%, síra max. S = 0,045%. [4]

Využití: je určena pro svařované konstrukce a strojní součásti s vyšší mezi kluzu. Garantovaná tuhost do 0°C. Vhodné použití je pro statické, i dynamicky namáhané konstrukce. Vhodná pro základové desky lisovacích nástrojů a pro méně namáhané okrajové desky vstříkovacích forem.

#### 4.1.2 Materiál 1.2311 = 19520

Vlastnosti: zušlechtěná ocel legovaná Cr - Mn - Mo s nízkým obsahem síry, vysokým stupněm homogenity nabízí výborné mechanické vlastnosti jako houževnatost, rozměrovou stálost a zároveň dobrou obrobiteľnosť a erodovatelnost. Materiál 1.2311 (40CrMnMo7, 19520) má dobrou prokalitelnost a pevnost za tepla. Je vhodná pro cementování, nitridování, indukční kalení. Vykazuje lepší leštitelnost než 1.2312. Ocel 1.2311 se dodává v zušlechtěném stavu a není nutné ji dále tepelně zpracovávat (využívá se dodaného stavu). Další tepelné zpracování se doporučuje pouze ve výjimečných případech, kdy je požadována vyšší tvrdost. Pevnost v dodávaném stavu 900 - 1100 MPa (33 HRC). Tvrdost v dodávaném stavu max. 290 - 320 HB, tvrdost ve stavu žíhaném na měkko max. 230 HB, dosažitelná tvrdost po kalení 51 HRC. [3]

Chemické vlastnosti: uhlík C=0,35 až 0,45%, mangan Mn = 1,2 až 1,6%, křemík Si = 0,2 až 0,9%, fosfor P = 0,03 až 0,035%, síra S = 0,03 až 0,035%, chrom Cr = 1,7 až 2,2%, molybden Mo = 0,15 až 0,40% . [4]

Využití: je vhodná na formy a rámy forem pro zpracování plastů a rámy forem pro tlakové lití kovů. Nástroje pro tváření za tepla, jako mezivložky a tepelně namáhané pomocné nástroje, strojní součástky vyšší pevnosti s dostatečnou houževnatostí.

#### 4.1.3 Materiál 1.2312 = 19520+S

Vlastnosti: zušlechtěná ocel legovaná Cr - Mn - Mo s obsahem síry zaručuje výbornou obrobiteľnosť i ve zušlechtěném stavu. Díky vysoké schopnosti zušlechtění do hloubky materiálu je zaručena rovnoměrná pevnost v celém průřezu. Ocel 1.2312 (40CrMnMoS8-6, 19520+S) nabízí výborné mechanické vlastnosti jako houževnatost, rozměrovou stálost a zároveň dobrou obrobiteľnosť a erodovatelnost. Má dobrou prokalitelnost a pevnost za tepla. Je vhodná pro nitrídování, cementování a tvrdochromování. Má lepší obrobiteľnosť než 1.2311 díky přísadě síry. V porovnání s ocelí 1.2311 je obtížněji leštitelná. Ocel 1.2312 se dodává v zušlechtěném stavu a není nutné ji dále tepelně zpracovávat (využívá se dodaného stavu). Další tepelné zpracování se doporučuje pouze ve výjimečných případech, kdy je požadována vyšší tvrdost. Pevnost v dodávaném stavu 900 - 1100 MPa (33 HRC). Tvrdost v dodávaném stavu max. 280 - 325 HB. Tvrdost ve stavu žíhaném na měkko max. 230 HB, dosažitelná tvrdost po kalení je 51 HRC. [3]

Chemické vlastnosti: uhlík C = 0,35 až 0,45%, mangan Mn = 1,4 až 1,6%, křemík Si = 0,3 až 0,5%, fosfor max. P = 0,03%, síra S = 0,05 až 0,1%, chrom Cr = 1,8 až 2%, molybden Mo = 0,15 až 0,25%. [4]

Využití: ocel 1.2312 nabízí výborné mechanické vlastnosti jako houževnatost, rozměrovou stálost a zároveň dobrou obrobiteľnosť. Má dobrou prokalitelnost a pevnost za tepla. Je vhodná na formy a rámy forem pro zpracování plastů a rámy forem pro tlakové lití kovů. Nástroje pro tváření za tepla, jako mezivložky a tepelně namáhané pomocné nástroje.

#### 4.1.4 Materiál AlMg4,5Mn

Vlastnosti: materiál je středně pevný, velmi dobře chemicky odolný, nevytvrzovatelný. Velmi dobrá leštitelnost, velmi dobrá odolnost ke korozi. Materiál vystaven dlouhodobému působení teplot 60 - 70°C jeví sklon ke korozi pod napětím i k interkrystalické korozi. Svařitelnost vyhovující, svařené spoje jsou korozně odolné téměř jako základní materiál. Obrobiteľnosť řeznými nástroji je snižená u materiálu v měkkém stavu a vyhovující v tvrdším stavu. Velmi dobrá plasticita v měkkém stavu. Pevnost je 275 – 345MPa. Dosahovaná tvrdost je 75 HBS.

Chemické vlastnosti: hořčík Mg 4 až 4,9%, mangan Mn = 0,4 až 1%, křemík Si = 0,4%, železo Fe = 0,4%, měď Cu = 0,1%, chrom Cr = 0,05 až 0,25%, zinek Zn = 0,25%, titan Ti = 0,15%. [5]

Využití: v chemickém, strojírenském a automobilovém průmyslu jako např. vypěňovací formy, desky a různé korozi odolné součásti.

## 4.2 Materiály používané pro formy z odlitků

### 4.2.1 Materiál GG30 = EN-GJL-300 – litina s lupínkovým grafitem

Vlastnosti: slitina železa s uhlíkem o obsahu 2,5 až 3,5 % a s dalšími prvky - Si, Mn, P, S, se strukturou odpovídající stabilní soustavě FeC s volně vyloučeným uhlíkem v elementární formě jako lamelární grafit v kovové matici a to jako perlit. Vyznačuje se relativně vysokou pevností v tlaku. Ostatní mechanické vlastnosti, zejména tažnost, jsou nepříznivě ovlivněny lamelárním tvarem grafitu. Grafitové lamely působí jako vruby (koncentrátory napětí) v kovové matici a snižují pevnost v tahu na 300 MPa. Modul pružnosti se pohybuje v rozpětí 75 až 160 GPa. Litina dosahuje tvrdosti 200-275 HB5/750. Vyrábí se přetavením surového vysokopečního železa a ocelového šrotu v kuplovných nebo v elektrických pecích. Tavenina se potom odlévá převážně do pískových forem. Předností této litiny je její dobrá zabíhavost (zatékavost) i do složitých forem, tavicí a licí teplota je (1100–1300 °C). [6]

Využití: GG30 se využívá pro odlévání velkých odlitků s tloušťkou stěny od 7mm. Nejčastěji se používají odlitky s tloušťkou stěny od 15mm do 100mm. Využívá se pro tvarově složité formy.

### 4.2.2 Materiál GAL 226 – slitina hliníku

Vlastnosti: slitiny hliníku se využívají proto, že čistý hliník má poměrně malou hmotnost. Nejvýznamnějšími prvky, které se vyskytují ve slitinách s hliníkem, jsou měď, hořčík, mangan, křemík a zinek. Měď, která může být do 12% obsahu, zvyšuje tvrdost i pevnost, nepříznivě však ovlivňuje tvárnost a odolnost proti korozi. Hořčík, do maximálního obsahu 11%, zajišťuje vytvrditelnost a zlepšuje odolnost proti korozi a pevnost. Mangan, obvykle do 2% obsahu, zvyšuje tvárnost, pevnost, houževnatost a odolnost proti korozi. Křemík, až do 25% obsahu (u slévárenských slitin) či 1% (u tvárných), zvyšuje odolnost proti korozi a pevnost. Zinek, o jeho max. obsahu 6-8% zvyšuje pevnost za cenu nižší odolnosti proti korozi. Železo, do jeho obsahu do 1,5% zvyšuje slévatelnost a pevnost, snižuje tvárnost a odolnost proti korozi. Nikl zvyšuje teplotní odolnost, pevnost, houževnatost i odolnost proti korozi, jeho koncentrace ve slitinách je 2% obsahu.

Využití: slitiny hliníku se využívá pro odlévání velkých odlitků s tloušťkou stěny od 7mm. Nejčastěji se používají odlitky s tloušťkou stěny od 15mm do 100mm. Využívají se pro tvarově složité formy, u kterých je zapotřebí nižší hmotnost než u odlitků z šedé litiny.



## 5 Principy temperování

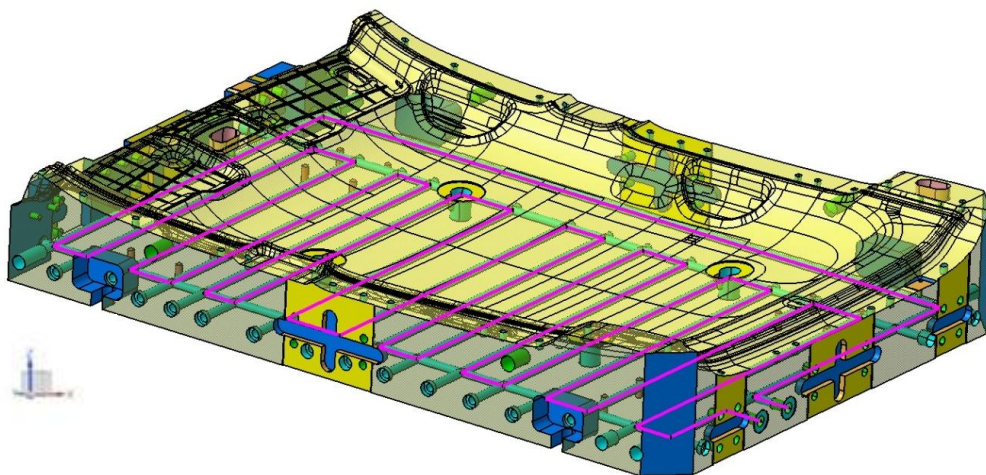
Spodní i horní díl nástroje je temperován tak, aby bylo zajištěno správné vyhřátí formy pro formování dílu.

### 5.1 Temperování formy temperačním okruhem

Temperační okruh se používá pro topení a chlazení ocelových či hliníkových bloků nebo odlitků. Tyto okruhy zajišťují velmi dobré ohřátí celé formy a velmi dobré přenosy tepla mezi formou a produktem. Temperační okruhy slouží nejen k vyhřátí formy, ale i k udržování požadované teploty po celou dobu lisovacího cyklu. Tento způsob temperování je nejčastějším ohřevem forem vyrobených z bloků. Temperační okruhy v blocích se vyrábí tzv. hlubokým vrtáním.

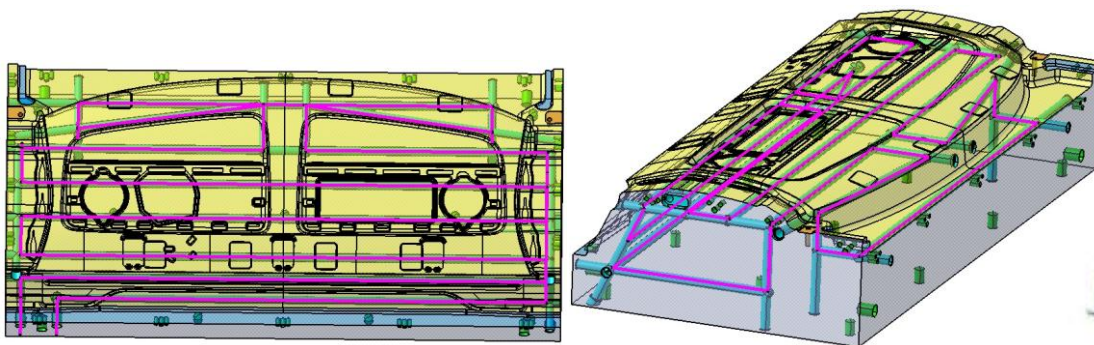
#### 5.1.1 Návrh a typy temperačních okruhů soustavy v bloku

Návrh temperačního okruhu se konstruuje s ohledem na složitý tvar formy, druh a tlak ohřívacího média. Dále se zohledňují rozestupy vývrtů. U křížení vývrtů se musí vzít v potaz jejich vzájemná vzdálenosti tak, aby se tam mohly připevnit zátky, ucpávky a přepážky. Složitost, pracnost a výrobní cena temperačního okruhu se odvíjí od počtu rovin jednotlivých vývrtů a vzájemné vzdálenosti vývrtů, viz obr. č. 5-1, 5-2 a 5-3.



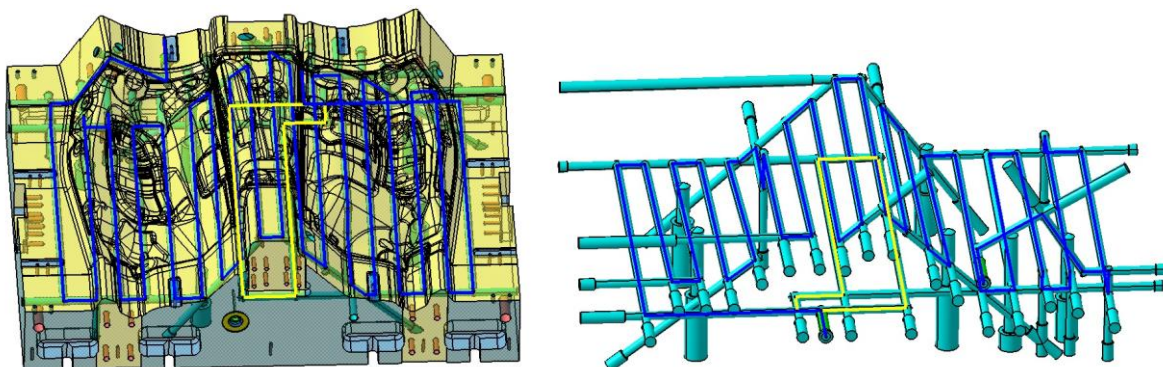
Obr. č. 5-1 Forma pro stropní panel – s jednoduchým temperačním okruhem

Na obr. č. 5-1 je zobrazen jednoduchý temperační okruh v jedné rovině  $XY$  (výška roviny je volena tak, aby byla dodržena požadovaná minimální vzdálenost od ploch produktu). Temperační okruh je konstruován ve dvou rovinách a to  $XY$  a  $XZ$ , vývrty nejsou nakloněny o žádný úhel. U tohoto typu produktu se temperační okruh v této formě může konstruovat jednoduše bez jakýchkoliv zbytečných skoků vývrtů a jejich natačení pod několik úhlů. Takto nakonstruovaná forma je dostatečně vyhřívána.



Obr. č. 5-2 Plato zavíracího prostoru – s temperačním okruhem

Na obr. č. 5-2 je zobrazen temperační okruh spodního dílu pro plato. Temperační okruh je pro tento produkt trochu složitější. Aby byla dodržena požadovaná minimální vzdálenost mezi vývrty a produktem. Vývrty jsou zde konstruovány v rovinách  $XY$ ,  $XZ$ ,  $YZ$  a jsou nakloněny pouze o jeden úhel. Takto nakonstruovaná forma je dostatečně vyhřívána.



Obr. č. 5-3 Spodní izolace tunelu – blok a samostatný temperační okruh

Na obr. č. 5-3 je zobrazen temperační okruh spodního dílu pro izolaci tunelu. Temperační okruh je pro tento produkt velmi složitý z důvodu dodržení požadované minimální vzdálenosti mezi vývrty a produktem. Vývrty jsou zde konstruovány v rovinách  $XY$ ,  $XZ$ ,  $YZ$  a jsou nakloněny pod dvěma úhly, navíc jsou zde použity stoupačí vratné otvory tak, aby každá část produktových ploch byla vyhřívána rovnoměrně a všude byl dodržen stanovený rozestup od ploch.

## 5.1.2 Zátky, ucpávky a přepážky

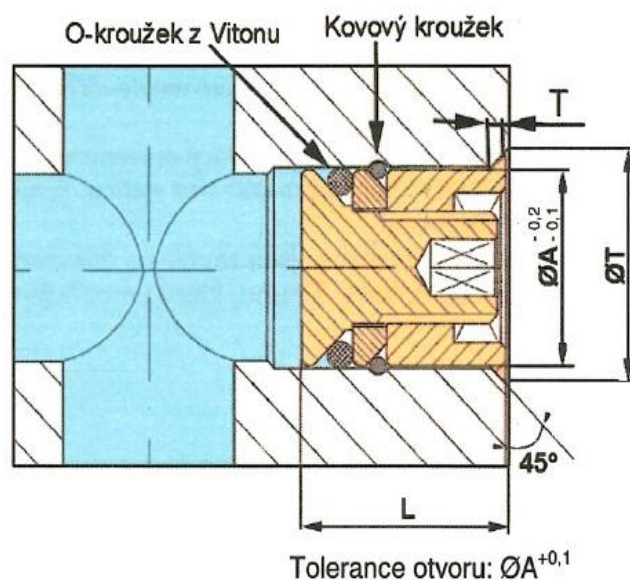
### 5.1.2.1 Zátky

Zátky se používají pro zakončení temperačních okruhů a mohou být nástrčné či šroubované.

#### 5.1.2.1.1 Nástrčné zátky

Nečastěji se používají od výrobce zátek SVOBODA. Používají se buď s O-kroužkem z VITONU či O-kroužkem z TEFLONU nebo také bajonetové zátky s O-kroužkem ze SILIKONU. Volba použitého O-kroužku závisí na požadované teplotě topné soustavy. Zátky s O-kroužkem z VITONU se používají až do teploty 160°C, zátky s O-kroužkem z TEFLONU až do teploty 200°C. [8]

Nevýhodou nástrčných zátek s O-kroužkem vůči šroubovaným zátkám je, že nástrčné zátky nejsou sestavené přímo dodavatelem, ale jejich jednotlivé části se musí sestavit před montáží do temperačního okruhu, přičemž při sestavení zátky může dojít k záměně kroužků, viz obr. č. 5-4, což způsobí při natlakování temperačního okruhu, např. na 2 bary, že zátka „vylítnou“. Proto je vhodné pro vyšší teploty používat zátka šroubované.



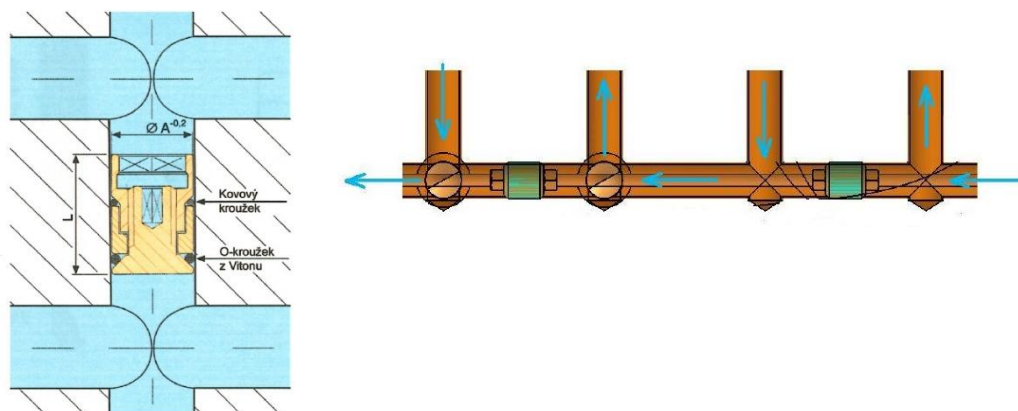
Obr. č. 5-4 Nástrčná zátka SVOBODA

#### 5.1.2.1.2 Šroubované zátky

Šroubované zátka se mohou použít při jakékoliv teplotě topného média vháněného do temperačního okruhu. Při použití šroubovaných zátek se při výrobě temperačního okruhu v bloku se musí připravit (zhotovit) potřebné závity, obvykle 1/2 G' či 3/4 G'.

### 5.1.2.2 Ucpávky

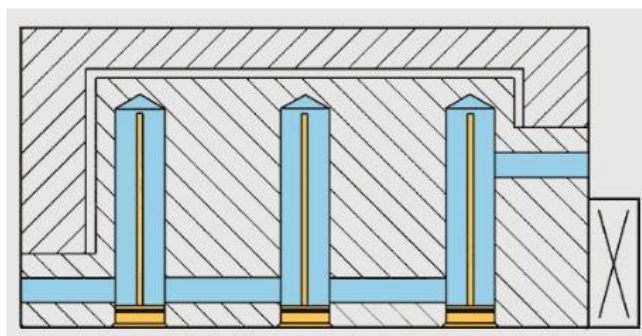
Ucpávky se nečastěji se používají od výrobce zátek SVOBODA. Používají se buď s O-kroužkem z VITONU či s O-kroužkem z TEFLONU. Volba použitého O-kroužku záleží na požadované teplotě temperačního okruhu. Ucpávky s O-kroužkem z VITONU používají až do teploty 160°C. A Ucpávky s O-kroužkem z TEFLONU až do teploty 200°C. [8] Ucpávky se do temperačního okruhu umisťují pomocí závitové tyče, na které jsou ucpávky umístěné, viz obr. č. 5-5. Ucpávky se umisťují proto, aby se usměrnil tok topného média – vznik tzv. labyrintu.



Obr. č. 5-5 Ucpávky SVOBODA

### 5.1.2.3 Přepážka

Přepážky se používají např. jako stoupací vratné otvory, které slouží pro snadnější vytopení hůře přístupných prostor – kam nemůžeme klasickým labyrintem, viz obr. č. 5-6. Přepážky mohou být rovné či spirálové. Vyrábí se od průměrů otvorů 8mm a do délek 600mm.

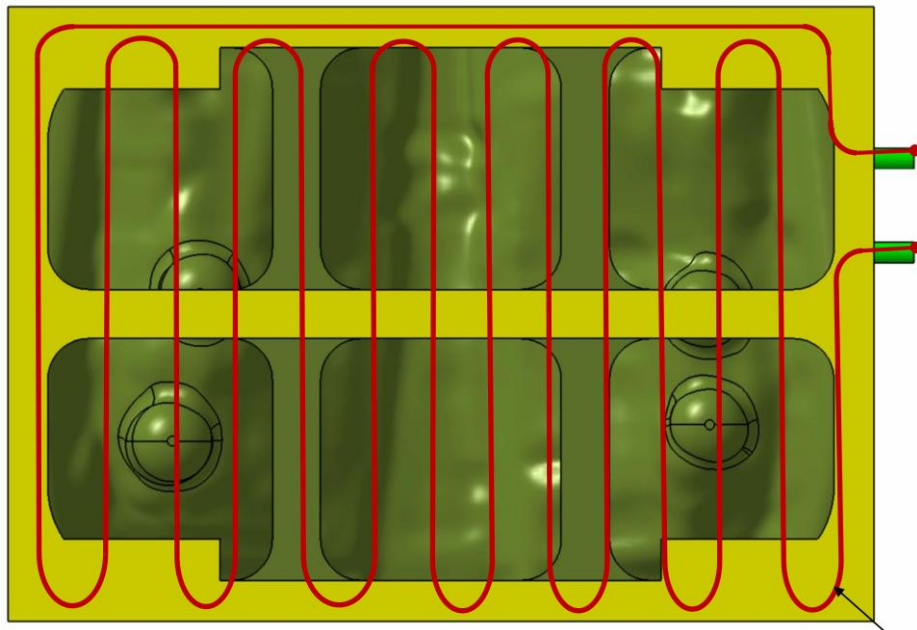


Obr. č. 5-6 Umístění přepážky

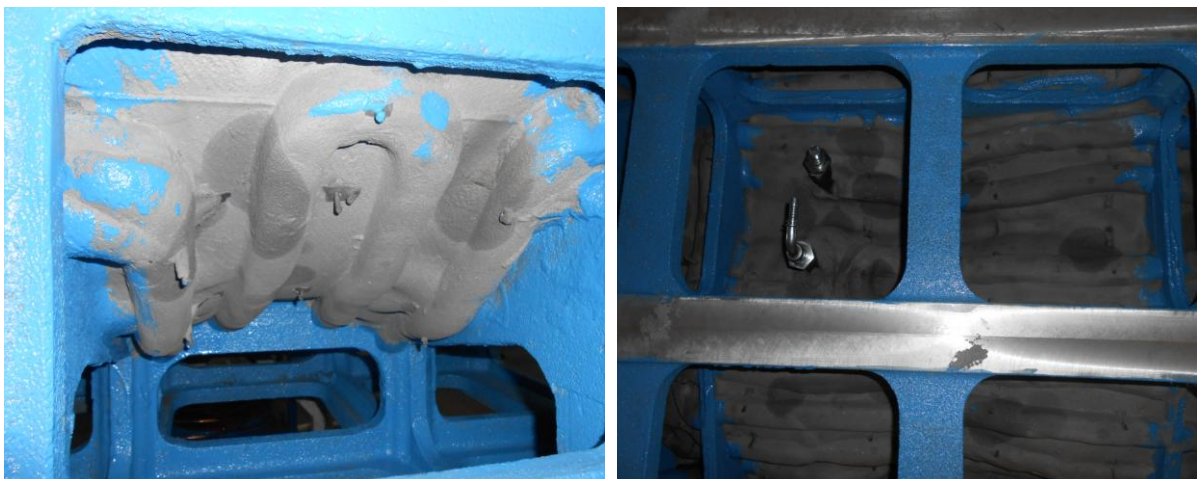


### 5.1.3 Návrh a typy temperačních okruhů soustavy v odlitku

Po nakonstruování odlitku (více viz kapitola č. 3) se pošle do slévárny spolu s modelem a specifikací pro odlití odlitku. Součástí specifikace pro lití je mimo jiné i schéma temperačního okruhu, viz např. obr. č. 5-7, podle kterého ve slévárně určí, kam a jak se mají umístit trubky temperačního okruhu pro odlití. Ve specifikaci lití se dále určí průměr trubky, potřebné závitky pro vstup a výstup.



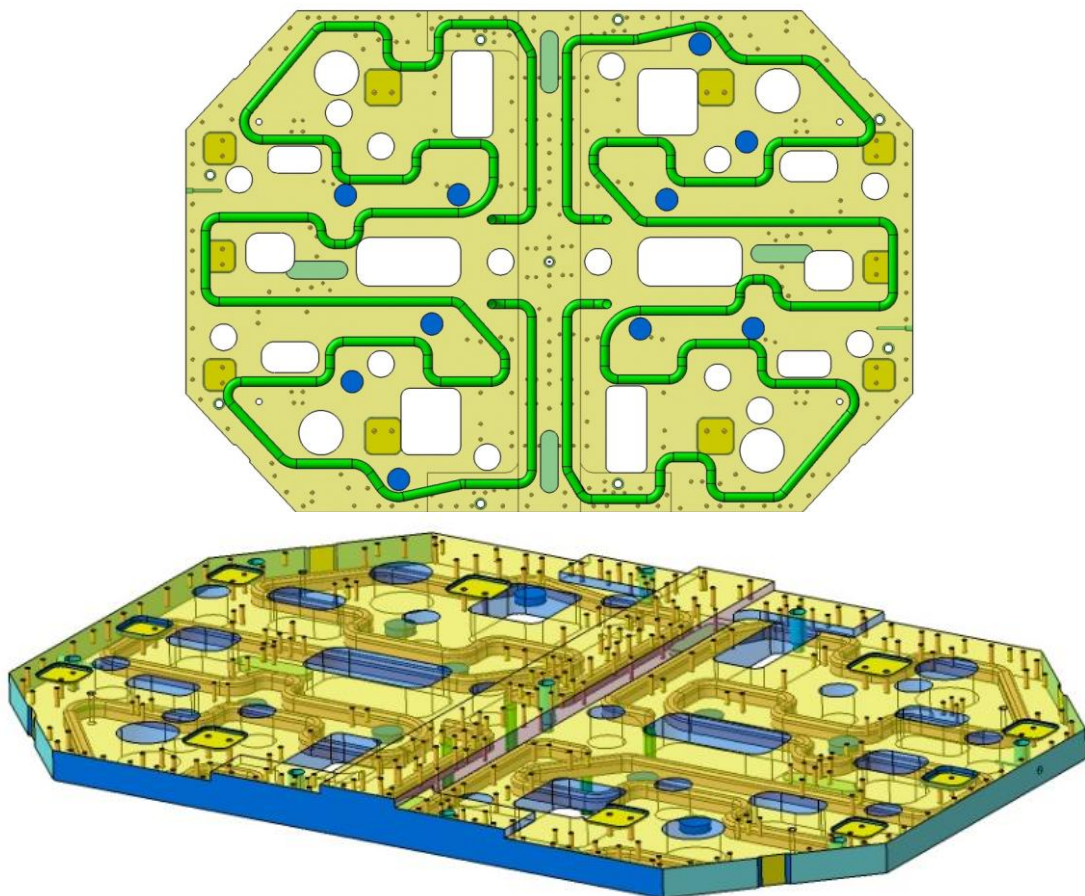
Obr. č. 5-7 Temperační okruh soustavy odlitku



Obr. č. 5-8 Zalité temperační trubky v odlitku

## 5.2 Temperování formy pomocí topných (chladících) desek

Topné desky se vyrábí z různých materiálů. Volba materiálu desky závisí na mnoha aspektech – na tepelných vlastnostech, na tepelné stálosti a roztažnosti, na pevnosti v tahu a tlaku apod. Některým materiálům můžeme pomoci povrchovou úpravou, například pozinkováním či pochromováním. Topné desky se vyrábí z jednoho kusu polotovaru, do kterého se z jedné strany vyfrézuje drážka, viz obr. č. 5-9, která má takový profil, aby se následně do ní naohýbat „hadice“, která se do desky zalije speciální pryskyřicí, aby bylo dosaženo přenosu tepla mezi deskou a temperačním okruhem. Deska je zahřívána (ochlazována) prouděním vháněné kapaliny určité teploty a pod určitým tlakem. Desky se používají např. pro chlazení razníků či matric, tam kde nelze použít jiné řešení.



Obr. č. 5-9 Chladící deska

## 5.3 Nahřívání formy v peci

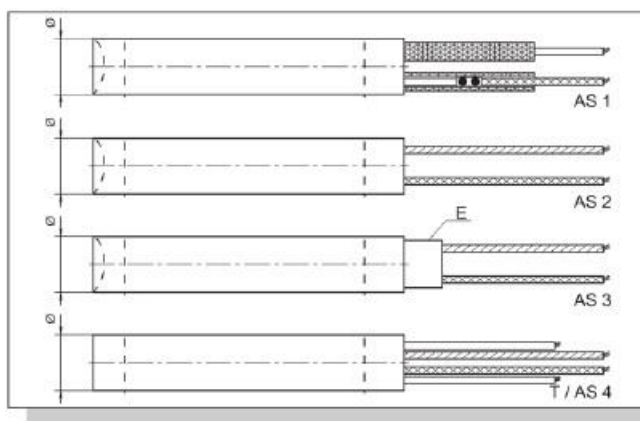
V peci se nahřívá buď nástroj, nebo materiál lisovaného produktu. Princip nahřívání celého nástroje nebo jeho částí – spodní a horní díl zvlášť - spočívá v tom, že do vyhřáté pece se vloží nástroj na tak dlouhou dobu, než se celý nástroj zahřeje na požadovanou teplotu. Tato metoda se používá např. pro urychlení natápění formy či produktu. Dále se využívá i pro nástroje se svým vlastním temperačním okruhem, v tomto případě se nástroj nahřeje v peci a temperační okruh slouží k udržování formy na požadované teplotě.

## 5.4 Temperování formy pomocí topných patron

Topné patrony jsou užívány pro kontaktní ohřev kovových nástrojů. Uloženy jsou v přesných otvorech a to H7 pro výkon do 20W/cm<sup>2</sup>, pro vyšší zatížení je vhodné TĚSNÉ suvné uložení, což umožňuje dodávat velký výkon při malých rozměrech patrony. Rozměry topných patron jsou standardizovány od průměrů 6 až 20 v různých délkách. Maximální teplota na plášti topných patron je standardně 750 °C, ve výjimečných případech až 1100°C. [9]

### 5.4.1 Typy patron dle materiálu:

- Patrona s použitím drátu Ni Cr 8020 s provozní teplotou 850 AŽ 1100°C v závislosti na jeho průměru, navinutým na keramickém jádru. Elektrická izolace topného drátu je vysoce zhutněným oxidem hořečnatým. Plášť topné patrony je z nerezové oceli a přesně broušen. Topná patrona je opatřena vývodními niklovými lankovými vodiči.
- Patrona s použitím termočlánku typu Fe CuNi s provozní teplotou až 300°C.
- Patrona s použitím odporového čidla PT100 s provozní teplotou až 400°C.



Obr. č. 5-10 Topné patrony HHP

Vyhřívání forem topnými patronami se používá nejčastěji pro vyhřívání vstřikovacích forem. V oblasti lisovacích forem se patrony nepoužívají pro vyhřátí celého nástroje, ale používají se jen jako pomocné výhřevy u hůře dostupných částí, tam, kde nelze použít klasický temperační okruh.

## 6 Návrh orgánové struktury TS

### 6.1 Specifikace požadavků na TS

#### 6.1.1 Požadavky na vlastnosti a chování TS vztažené k transformačním procesům všech etap životního cyklu TS

Požadavky na vlastnosti a chování TS vztažené k transformačním procesům všech etap životního cyklu TS	požadovaná hodnota	váha 0-5
<b>požadavky na hlavní provozní funkce:</b>		
počet topných okruhů	2	5
vzdálenost topné soustavy od ploch	30-40mm	5
vzdálenost mezi jednotlivými vývrty	60-100mm	3
tlakové ztráty v topné soustavě	5%	2,5
mezní vstupní tlak	2 bary	4
teplota oleje	190°C a 120°C	5
rozměry nástroje		4
maximální hmotnost nástroje		5
<b>požadavky na ostatní provozní funkce:</b>		
prostředí	suché, vlhké	3
četnost použití	vysoká	5
životnost	25000h	5
rozvod oleje	s čerpadlem	2
náklady na práci a provoz	vysoká	4
<b>požadavky na předvýrobní procesy a výrobu:</b>		
náročnost na výrobu	nízká	4
typ výroby	kusová	5
<b>požadavky k vlastnostem pro distribuci a montáž:</b>		
náročnost na skladovací prostor	nízká	1
montáž	jednoduchá	4
manipulace	jeřáb, vysokozdvížka	3
<b>požadavky k renovaci:</b>		
stupeň unifikace	maximální	3
použité komponenty	normalizované a standardizované	3



<b>požadavky na likvidaci:</b>		
demontovatelnost	jednoduchá	5
recyklovatelnost	vysoká	5
likvidace	ekologický	5

Tab. č. 6-1 Požadavky na vlastnosti a chování TS vztažené k procesům všech etap životního cyklu

### 6.1.2 Požadavky na vlastnosti TS vztažené k operátorů transformačním procesům všech etap životního cyklu TS

<b>Požadavky na vlastnosti TS vztažené k operátorů transformačním procesům všech etap životního cyklu TS</b>	<b>požadovaná hodnota</b>	<b>váha 0-5</b>
<b>Požadavky na věcný manažerský systém předvýrobních, výrobních a servisních procesů</b>		
konkurence schopnost k ostatním produktům na trhu	vysoká	4
možné inovace	vysoká	4
<b>Požadavky k živým bytostem:</b>		
bezpečnost při manipulaci	vysoká	5
přístupnost	vysoká	4
zajištění proti nežádoucímu pohybu	vysoká	5
<b>ekologická nezávadnost:</b>		
ekologická nezávadnost použitých materiálů (včetně topného oleje)	vysoká	4
zabránění úniku topného oleje	maximální	5
<b>požadavky k aktivnímu informačnímu okolí:</b>		
patentová a licenční práva	dodrženy	5
normy (EN, ČSN, ISO...)	dodrženy	5

Tab. č. 6-2 Požadavky na vlastnosti TS vztažené k operátorů transformačním procesům všech etap životního cyklu TS

## 6.2 Morfologická matice

požadované funkce	funkční principy		
Vytápění formy ZAJISTIT	topná soustava	topné patrony	nahřátí v peci
únik tepla ZAJISTIT	izolace obvodu i dna	izolace pouze po obvodu	Bez izolace
vhodný materiál ZAJISTIT	1.2312	GG30	1.0570
vhodná výroby formy ZAJISTIT	blok	odlitek	
topné médium ZAJISTIT	olej	voda	
únik horkého média ZAJISTIT	šroubované zátky	bez zátek	zátky s teflonovým těsněním
kontrola teploty ZAJISTIT	PT 100	bajonetový teploměr	Pyrometry
rychlé připojení média UMOŽNIT	rychlá spojka	šroubení napevno	

Tab. č. 6-3 Morfologická matice s navrženými orgány ke stanoveným funkcím TS

## 6.3 Varianty řešení

### 6.3.1 Varianta A - výroba formy z bloků

Varianta A je zvolena jako neoptimálnější variantou pro zadané řešení tvarově složité formy. Tato varianta odpovídá na 100% všem zadaným požadavkům včetně schválení konstrukce zákazníkem. Nástroj je složen ze dvou frézovaných kusů bloků, do kterých je vyvrtaná topná soustava dle zadaných požadavků. Izolací po obvodu a zde je izolované i dno formy.

V této variantě jsou splněny všechny požadavky zákazníka a vlastnosti TS, legislativní, ekologické, návrh nástroje či montáž a demontáž.

Varianta A byla dále vybrána pro výpočty MKP a konstrukční návrh formy s temperačními okruhy pro typ produktu, vyplývající ze zadání diplomové práce. V konstrukčním návrhu formy budou navrhovány 2 různé temperační okruhy, jejichž porovnání nalezneme v příloze kapitoly č. 14 a 15.

### 6.3.2 Varianta B - výroba formy z odlitků

Je zvolena tak, aby byla ukázána jiná možnost konstrukce zadané testované formy. Postup konstrukce formy - místo jednoho kusu bloku se použije odlitek, ve kterém je zalitý temperační okruh z trubek dle specifikace lití. Jelikož je temperační okruh tvořen systémem zalitých trubek, odpadá zde potřeba zátek. Temperační okruh přesně kopíruje složitý tvar formy, čímž se dosáhne téměř 100% rovnoměrné prohřátí ploch potřebného pro formování. Vzhledem k dané konstrukci odlitku, viz kapitola č. 4, se zde nepoužívá izolace základny, ale pouze jen základová deska.

### 6.3.3 Výběr vhodné varianty

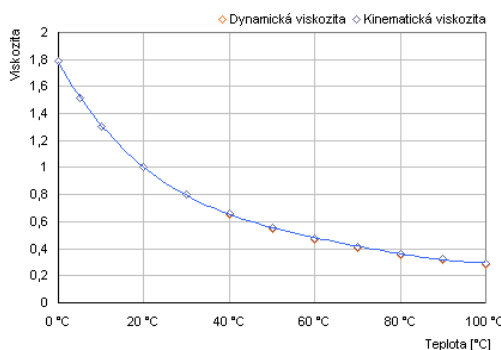
Varianta B splňuje všechny požadavky TS, jak ty technické, tak ekologické apod., ale celkové požadavky z hlediska výroby a požadavků zákazníka splňuje lépe varianta A.

Volbu mezi odlitkem a blokem ovlivňuje několik aspektů. Jedním z nich je čas - za jak dlouho má být nástroj vyroben, neboť výroba bloku trvá 3 týdny a výroba odlitu 5 týdnů. Dalším aspektem je hmotnost - bloky ve stejných rozměrech jako odlitky jsou těžší.

## 7 Topná média

### 7.1 Voda

Voda je nejčastěji používaným topným médiem jak pro vyhřátí forem, tak pro jejich chlazení. Ohřátá voda je čerpadlem vháněná do formy pod určitým tlakem, většinou okolo 2 barů tak, dlouho, dokud forma není vyhřátá na požadovanou teplotu. [10] Voda se používá do teploty 100°C.



Obr. č. 7-1 Závislost viskozity vody na teplotě

### 7.2 Oleje

Oleje se nejčastěji používají pro vyhřátí forem nad 100°C. Různé typy olejů se používají při určitých teplotních podmínkách. Záleží jak na jejich viskozitě, hustotě, ale také např. na tzv. bodu vzplanutí, který se liší podle složení jednotlivých olejů. Olej je vháněn do formy pod určitým tlakem, většinou okolo 2 barů. [11]

### 7.3 Oleje MOGUL

Oleje Mogul jsou hluboce rafinované ropné oleje, zušlechtěné přísadami proti oxidaci, opotřebení, korozi a pění. Obsahují účinný zvyšovač viskozitního indexu a jsou určeny pro vysoce namáhané hydrostatické mechanismy, zejména mobilní – např. mechanismy těžkých zemních strojů, které pracují celoročně v širokém rozsahu teplot a vyžadují malou závislost viskozity oleje na teplotě. [11]

název	Viskozita při 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	Viskozitní index	Bod vzplanutí (°C)	Bod tekutosti (°C)
Mogul HV 68	68	170	225	-33
Mogul HM 68 S	68	115	235	-27
Mogul H-LPD 46 ZF	46	105	220	-32
Mogul HM 100	100	100	250	-21

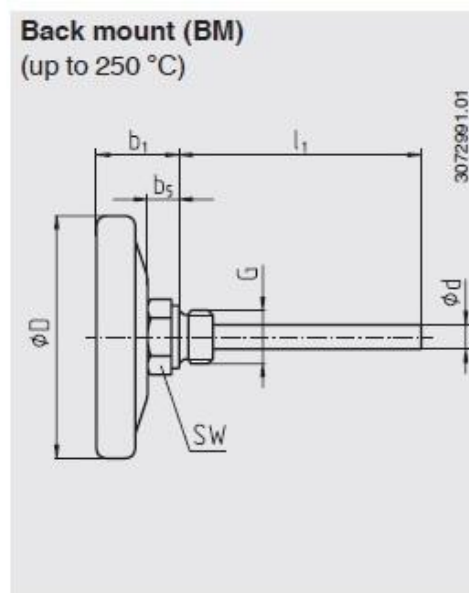
Tab. č. 7-2 Porovnání olejů

## 8 Snímače teploty

Každá vyhřívaná či chlazená forma musí mít snímač teploty, aby se nedošlo k přehřátí či nedohřátí formy. Pro správné vylišování dílů musí mít nástroj vždy požadovanou teplotu a je nutné, aby se díly lisovaly za stejné teploty a nedocházelo ke špatnému vyformování dílu.

### 8.1 Bimetalové teploměry

Bimetalový teploměr k měření teploty využívá bimetalový pásek složený ze dvou kovů s různými činiteli tepelné roztažnosti. [12] Tyto teploměry s dvojkovovým měřicím systémem jsou univerzálně použitelné přístroje k měření místních teplot v téměř všech průmyslových odvětvích. Lze je možno použít k měření teplot v jakékoliv poloze. Dovolena tolerance pro všechny rozsahy je  $\pm 2\%$  z celého rozsahu. Měřená hodnota nesmí překročit max. rozsah stupnice. Teploměr se skládá z hlavice a stonku. V hlavici je upevněn ukazatel s číselníkem a stonek, v němž je upevněn měřicí systém. Tento systém je zhotoven z dvojkovu ve tvaru válcové spirály, která se působením tepla otáčí kolem své osy. Pohyb je přenášen na ukazatel, který ukazuje odpovídající teplotu na stupnici. [13]



Obr. č. 8-1 Bimetalový šroubovaný teploměr

Bimetalové teploměry jsou vyráběny s různými délkami stonků, např. 45, 63, 100, 160, 200 a 250 mm, s průměry stonku 4, 6 nebo 8 mm a s různými průměry hlavic, jako např. 25, 33, 40, 50, 63, 80, 100 a 160 mm.

Dělí se na šroubované a nástrčné. Šroubované teploměry se rozlišují podle závitu M8x1,25, G1/8B, G1/4B, G1/2B. Nástrčné teploměry se volí dle nástrčného průměru 8, 12 a 18 mm. Teploměry se dále volí podle rozsahu stupnice, jako např. -30 až 50°C, -20 až 60°C, 0 až 100°C, 0 až 120°C, 0 až 160°C, 0 až 200°C, 0 až 250°C, největší rozsah je 0 až 500°C. [14]

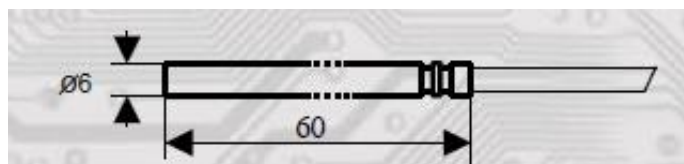
## 8.2 Snímače teploty s kabelovým vývodem

Snímače teploty s kabelem jsou určeny pro měření teploty v různých odvětvích průmyslu, i v tzv. Home Building. Nacházejí uplatnění v prostředí, kde není možno z prostorových či jiných důvodů umístit klasické typy snímačů s hlavicí. Lze je použít pro kontaktní měření teploty kapalných, pevných nebo plynných látek, např. v potravinářství, chladiřnictví, v chemickém a plastikářském průmyslu. Jejich hlavní součástí je vlastní teplotní čidlo, které je umístěno v kovovém pouzdru. Jeho vývody jsou spojeny s přívodním kabelem. Nejjednodušším typem pouzdra je pouzdro válcového typu o průměru 4 až 8 mm. Složitější typy pouzder jsou opatřeny závitem. Jako teplotní čidla lze použít všechny běžně používané typy čidel, např. Ni1000, Ni10000, Ni891, Pt100, Pt500, Pt1000, NTC 10k., NTC 20k., typy KTY, SMT160, čidla DALLAS apod. Při výběru kabelového snímače je třeba brát úvahu teplotní rozsah použitého teplotního čidla i teplotní rozsah použitého kabelu. Pokud je kabel vybaven stíněním, pak toto stínění není spojeno s pouzdem ani s žádným vodičem snímače (neplatí pro kabely typu 00063368 a 00063369). [14]



Obr. č. 8-2 Snímače teploty s kabelovým vývodem

Pro snímání teploty ve formách se velmi často používají čidla PT100, která pracují v teplotním rozsahu -20 až 200°C.

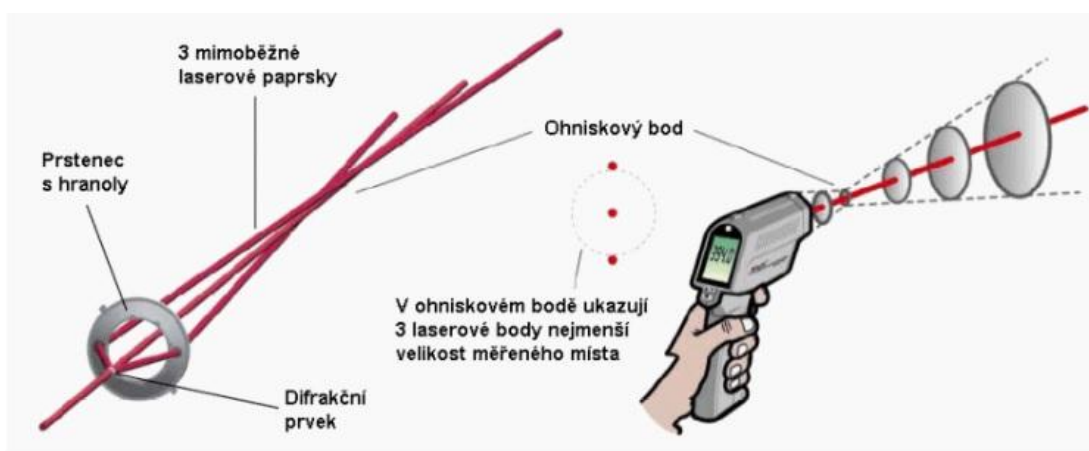


Obr. č. 8-3 Čidlo PT100 SK2 - nerezové pouzdro PR 6x60

### 8.3 Bezdotykové teploměry – pyrometry

Pyrometry jsou bezdotykové teploměry, které určují teplotu měřeného tělesa z teplotního záření. Měří se jimi převážně teploty v rozsahu  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+3500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pyrometr byl vynalezen Pietrem van Muschenbroeckem (1692-1761). [17]

Využíváme-li pro určení teploty tělesa širokého rozsahu vlnových délek, přístroj se nazývá *radiační pyrometr*. Využívá-li pyrometr úzkého rozsahu vlnových délek, říkáme mu *spektrální pyrometr* (dříve parciálně radiační pyrometr). Pokud teplotu spektrálního pyrometru určujeme ze záře zářícího tělesa, nazývá se (ne zcela správně) *jasový pyrometr*. Veličina teplotního záření je „zář“ a odpovídá veličině světelného záření „jas“. *Optický pyrometr* je druh jasového (i spektrálního) pyrometru, kde čidlem pro zjišťování rozdílu záře je lidské oko. Pyrometry se používají nejčastěji pro měření vysokých teplot nad  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [18]



Obr. č. 8-4 Princip měření bezdotykovým teploměrem

Pyrometry se používají pro měření teploty forem v případě, kdy se formy nahřívají v peci. Teploměry a čidla PT 100 by se v peci buď zničily, a nebo by ukazovaly nepravdivé hodnoty.

## 9 Izolace forem

Izolace forem jsou desky z izolačních materiálů, které se dávají po obvodu formy i na její základny pro zajištění co nejmenšího odvodu tepla do okolí. Udržují stabilitu temperování formy.

### 9.1 Druhy izolací dle výrobců a materiálu

#### 9.1.1 Labara Sklotextit G11 - 200°C

Labara Sklotextit G11 je vrstvený materiál, který je vyrobený z upravené skelné tkaniny, epoxidové živice a s přídavkem plniva. Vyznačuje se vynikajícími mechanickými a elektroizolačními vlastnostmi, svoje mechanické vlastnosti si zachovává i při zvýšených teplotách. Dále se vyznačuje odolností proti plazivým proudům. Barva desek je světle žlutá až světle zelená. Používá se na výrobu součástek s dobrými mechanickými a elektrotechnickými vlastnostmi, pro elektrická zařízení při vyšších teplotách nebo ve vlhkém prostředí, při namáhaných elektroizolačních součástkách, jako jsou kostry, tělesa přístrojů, skříňových částí rozveden, transformátorů, rozvaděčů, elektrických strojů. Výrobní rozměry desek jsou 1000x1000 mm, 1000x2000mm a síla desek je 0,5 mm až 50 mm, jiné rozměry po dohodě s výrobcem. [20] Tento typ izolace se dá použít pro izolování boků i základen formy.

Obchodní jméno: Sklotextit G11 - 200°C – tvrzená skelná tkanina		
Typ dle DIN – EN: 60893 ČSN – EN: 60893	EPGC 203	
Typ dle NEMA	G-11	
Výztuha - materiál	skelná tkanina	
Pryskyřice	epoxidová	
Aplikace	elektroizolační, konstrukční	
Mechanické vlastnosti		
Pevnost v ohybu při porušení kolmo na vrstvy	MPa	340
Modul pružnosti v ohybu	MPa	24x10 <sup>3</sup>
Pevnost v tahu (při 20°C)	MPa	300
Pevnost v tlaku kolmo na vrstvy	MPa	350
Rázová houževnatost (Charpy) rovnoběžně s vrstvami	KJ/m <sup>2</sup>	33
Pevnost ve smyku rovnoběžně s vrstvami	MPa	30
Pevnost v tlaku rovnoběžně s vrstvami dle PN-83/C-89031	MPa	180
Fyzikální vlastnosti		
Měrná hmotnost	g/cm <sup>3</sup>	1,9
Teplotní index (TI)		200
Nasákavost (pro tloušťku 3mm)	mg	22

Tab. č. 9-1 Vlastnosti izolace sklotexitt G11-200°C



### 9.1.2 ISOCOS a nejčastěji využívané izolace [29]

Firma ISOCOS vyrábí desky izolačních materiálů pro izolace lisů, dopravních pásů a pro izolaci forem. Jejich hlavní výhodou jsou výborné izolační účinky, nízké tepelné ztráty, krátké doby pro zahřátí a co nejmenší tepelné ztráty během celého výrobního cyklu.

**COSTHERM ® 4000** - je speciální materiál, který je vyráběn na bázi skelných vláken, v kombinaci s vysoko izolační pryskyřicí do matrice. Kombinací těchto surovin vznikne materiál s vynikajícím izolačním účinkem a s velmi dobrou pevností v tlaku.

**COSTHERM ® 4000A** - je izolační materiál na bázi skelných vláken vyztužený pryskyřicí. Takto vyrobený materiál s žebrovou strukturou na povrch izolace dává izolaci COSTHERM 4000A velmi vynikající izolační účinky.

**COSTHERM ® E.210** - je laminát vyrobený z vysoce kvalitních skelných vláken a termosetovou pryskyřicí. Tato izolace se vyznačuje dobrou rozměrovou stabilitou, vysokou tepelnou odolností a dobrými izolačními účinky.

název produktu	teplotní odolnost (°C)		pevnost v tlaku (N/mm <sup>2</sup> )		koef. tep. vodivosti při 23°C (W/mK)	koef. roztažnosti (1/K)	pevnost v ohybu při 23°C (N/mm <sup>2</sup> )	dodávaný formát v mm	
	krátkodobě	dlouhodobě	při 23°C	při 200°C				rozměr	Tl.
<b>COSTHERM M 4000</b>	250	200	320	110	0,12	28x10 <sup>-6</sup>	200	2450x1200	5 - 30
<b>COSTHERM M 4000A</b>	250	200	100	80	0,09	28x10 <sup>-6</sup>		2400x1200	6 - 10
<b>COSTHERM M E.210</b>	250	230	650	350	0,3	11x10 <sup>-6</sup>	420	3000x1250	6 - 30

Tab. č. 9-2 Technické vlastnosti izolací ISOCOS

## 10 Všeobecně používané materiály produktu

Většina produktů se vyrábí z plastů (těžké fólie, samonosné pěny), textilií (bavlna, konopí, kenaf, juka,...), dřeva, hliníkové fólie, kůže, skelných vláken apod., to vše v různých kombinacích s použitím řady vytvrzovadel. Kombinace a skladba materiálu je dána od požadovaných vlastností vyplývajících z místa použití v automobilu, zda se jedná o izolace, palubní desky, či čalouněnou část interiéru, jako např. stropy střechy auta apod.

### 10.1 Některé materiály používané pro lisované produkty

#### 10.1.1 Těžká fólie = EPDM (Schwerschich)

Těžká fólie, jinak ethylen-propylen, je druh syntetického kaučuku, který se vyznačuje širokým spektrem aplikací. Tento materiál je charakteristický mimořádnou odolností proti stárnutí, ozónu, ultrafialovým paprskům a teplu. Je vysoce odolný vůči trvalé deformaci, má široký teplotní rozsah:  $-30^{\circ}\text{C}$  až  $140^{\circ}\text{C}$ . Vyznačuje se nízkou absorpcí vody, dobrou parotěsností, vysokou odolností vůči polárním kapalinám, jako jsou ketony, alkoholy, kyselina octová, a silným a slabým kyselinám. [22]

EPDM materiály se vyrábí v několika variantách, které se rozdělují podle procentuálního obsahu peroxidu, který se používá jako vytvrzovadlo těchto polymerů. Peroxid poskytuje vyšší hustotu příčných vazeb. Pro vytvrzování se používají i síry. Díky těmto vytvrzovadlům je velmi dobře zpracovatelný. [23]

Nejčastější použití je v oblasti těsnění. V automobilovém průmyslu se tento materiál používá pro interiérové izolace vozu, dobře izoluje hluk a teplotu, např. mezi kabinou a motorem.

#### 10.1.2 Polyuretanové pěny

Polyuretan je polymer, který se vyrábí polyadici diizokyanátů a dvoj nebo vícesytných alkoholů za vzniku karbamátové (uretanové) vazby. Izokyanáty velmi snadno reagují se všemi sloučeninami, které obsahují aktivní vodík (např. voda, alkoholy, fenoly, thioly, aminy, karboxylové kyseliny aj.). Hlavní růstová reakce je proto doprovázena řadou vedlejších reakcí, z nichž některé se cíleně využívají při výrobě určitých typů polyuretanů, např. při výrobě pěnového polyuretanu je důležité uvolňování  $\text{CO}_2$  (díky reakci izokyanatové skupiny s vodou), protože působí jako nadouvadlo. [24]

Pro automobilový průmysl se používají měkké pěny, polotuhé pěny, tepelně tvarovatelné pěny. Obvykle se tyto pěny používají v sendvičovém stavu a těžkou fólií či hliníkovou fólií apod.

#### 10.1.3 Hliníková fólie

Hliníková fólie je materiál s max. tloušťkou 6,35mm až 200 mikronů. Má charakteristické vlastnosti hliníku, kterými jsou nízká hmotnost, hygienická nezávadnost, chemická stálost na vzduchu a výborné bariérové vlastnosti. Vyrábí se z těchto slitin Al99,5 (ENAW1050), AlFeSi (ENAW 8011). Využívá se jako protiradonová izolace, tepelné izolace, asfaltové hydroizolační pásy, elektrotechnický průmysl, laboratoře a pro další účely. [25]

## 11 Základní výpočtové vztahy sdílení tepla - obecně známé

Sdílení tepla – je fyzikální jev, při kterém dochází k přenosu tepelné energie mezi termodynamickými systémy způsobenému rozdílem teplot, může probíhat několika fyzikálními způsoby.

### 11.1 Druhy sdílení tepla

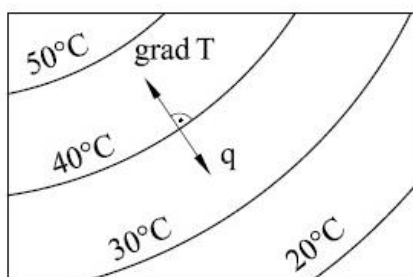
Prvním způsobem je sdílení tepla *vedením (kondukcí)*. Vyznačuje se tím, že je vázáno na látku, takže se vedení tepla může dít jen mezi zcela bezprostředně sousedícími částicemi hmoty. [21]

Druhým způsobem sdílení tepla je *prouděním (konvekci)*. Uskutečňuje se tím, že částičky hmoty mění místo v prostoru a přenášejí přitom svoji tepelnou energii. Tento děj se odehrává v proudících tekutinách a je doprovázen současně vedením tepla od jedné částičky k druhé, poněvadž v proudící látce neexistuje teplotní rovnováha. [21]

Třetím způsobem je sdílení tepla *sáláním*. Sálání (tepelné záření) je v podstatě elektromagnetické vlnění v určitém rozsahu vlnových délek. Sálání mezi dvěma tělesy je velmi složitý proces, který se stává z vyzařování, pohlcování a propouštění zářivé energie. Část tepelné energie tělesa se mění v zářivou energii, která prochází prostorem a při dopadu na druhé těleso se zcela nebo částečně opět mění v teplo. Sálání se uskutečňuje i tehdy, když prostor mezi oběma tělesy není vyplněn žádnou látkou (vzduchoprázdno). [21]

#### 11.1.1 Sdílení tepla vedením (kondukcí)

**Teplotní pole:** každému bodu v teplotním poli je přiřazena teplota (skalární veličina). Gradient v teplotním poli je vektor největšího spádu ve směru nárůstu teploty. Teplo se ve smyslu druhého zákona termodynamiky nemůže samovolně šířit z chladnějšího místa do teplejšího. Šíří se tedy opačným směrem než je gradient teplotního pole. Teplotní pole je znázorněno na obr. č. 11-1 spolu s gradientem teploty se směrem tepelného toku. [26]

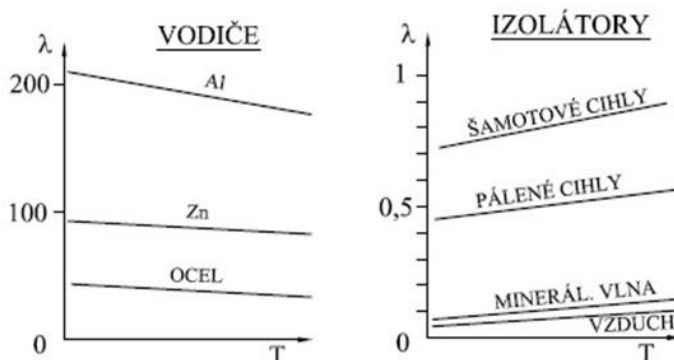


Obr. č. 11-1 Čáry konstantní teploty, gradient teploty a tepelný tok  $q$

**Tepelný tok:** je množství tepla, které projde za jednotku času jednotkovou plochou kolmou na směr šíření tepla. Tepelný tok závisí na gradientu teploty. Podle Biot-Fourierova zákona závisí přímo úměrně. Záporné znaménko je zde proto, že gradient teploty má opačný směr než tepelný tok. [26]

$$q = -\lambda \text{grad}(T)$$

Rozměr tepelného toku je  $q[W/m^2]$ . Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda [W/mK]$ , závisí na druhu látky a tepelném stavu látky.



Obr. č. 11-2 Závislost součinitele tepelné vodivosti izolátorů a vodičů na teplotě

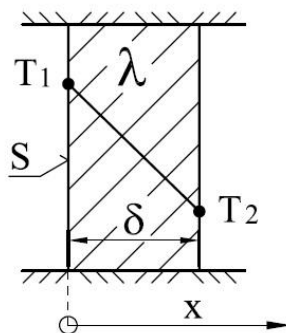
Když je stěna složena z několika materiálu o různých tloušťkách, můžeme použít pro zjednodušení výpočtů vzorec pro stanovení tzv. ekvivalentní vodivosti  $\lambda_{ek}$  o celkové tloušťce  $t=t_1+t_2+t_3$  na vztah platící pro jednoduchou stěnu. [21]

$$\lambda_{ek} = \frac{t}{\frac{t_1}{\lambda_1} + \frac{t_2}{\lambda_2} + \frac{t_3}{\lambda_3}} [W/mK] \quad \text{ekvivalentně} \quad \lambda_{ek} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{\lambda_i}} [W/mK]$$

### 11.1.1.1 Stacionární vedení tepla - zákon Boit-Fourierův [26]

Vyšetřuje se časově nezávislé, tj. stacionární vedení tepla pouze v jednom směru a to v kolmém na stěnu. Dále se předpokládá, že  $\lambda = konst.$

Rovnici  $q = -\lambda \text{grad}(T)$  násobíme velikostí plochy S, do které vstupuje teplo. Tím dostaneme na levé straně rovnice průtok tepla do celé plochy  $\dot{Q}$ .



Obr. č. 11-3 Průběh teploty v rovinné stěně

$$\dot{Q} = \lambda S \frac{dT}{dx} \quad \text{odtud} \quad T = -\frac{\dot{Q}}{\lambda S} x + C$$

kde C je integrační konstanta. Průběh teploty je lineární, pro okrajové podmínky:  $x=0$ ;  $T=T_1$  a  $x=\delta$ ;  $T=T_2$  dostaneme:

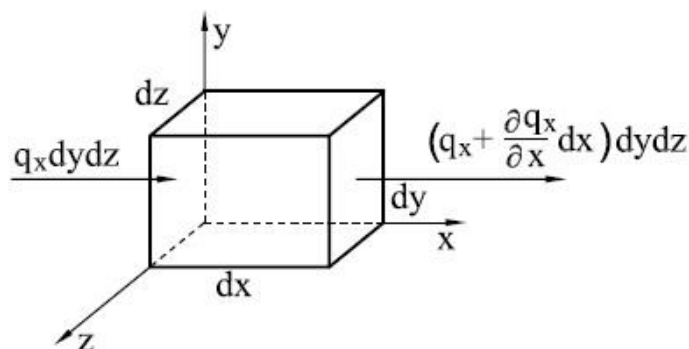
$$\dot{Q} = S \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2)$$

### 11.1.1.2 Nestacionární vedení tepla [26]

V technické praxi se vyskytují často problémy, při nichž se teplota v určitém místě uvažovaného tělesa mění s časem. Tyto děje se nazývají nestacionární a lze je popsat diferenciální rovnicí nestacionárního vedení tepla s příslušnými okrajovými podmínkami. [21]

V tuhém tělese, ve kterém se teplo vede pouze ve směru osy  $x$  (teplota je funkcí času a pouze jediné souřadnice  $x$  - jednorozměrné teplotové pole), považujeme fyzikální parametry  $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $c$  za konstanty. [21]

**Rovnice Fourierova - Kirchhoffova** - provedeme tepelnou bilanci na elementárním objemu v pravoúhlých souřadnicích.



Obr. č. 11-4 Elementární průtok tepla ve směru osy  $x$

Teplo přivedené do elementárního hranolu za čas  $d\tau$  ve směru osy  $x$  je rovno:

$$dQ_x = [q_x dydz - (q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx) dydz] d\tau \quad \text{po úpravě} \quad dQ_x = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dx dy dz d\tau = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dV d\tau$$

a pro všechny směry:

$$dQ_{xyz} = -(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z}) dV d\tau$$

Uvažujme dále vnitřní zdroj tepla. Množství tepla vyvinutého v jednotkovém objemu za jednotkový čas se nazývá *vydatnost vnitřního zdroje* a označuje se  $q_v$ . Rozměr je pak  $q_v \left[ \frac{W}{m^3} \right]$ . Za elementární čas  $d\tau$  se v elementárním objemu  $dV$  vyvine teplo  $dQ_v$ .

$$dQ_v = q_v dV d\tau$$

Přivedeným teplem se zvýší teplota elementárního objemu o  $dT$ . Je-li měrná tepelná kapacita soustavy  $c_p$ , pak kalorimetrická rovnice pro elementární hmotnost  $dm$  objemového elementu  $dV$  je:

$$dQ_c = dmc_p dT \quad \text{vyjádřeno hustotou a měrným objemem} \quad dQ_c = \rho dV c_p dT$$

### 11.1.2 Sdílení tepla prouděním (konvekcí) [26]

Konvektivním sdílením tepla se rozumí přenos tepla pohybující se tekutinou (kapalinou či plynem). V tekutině může docházet k vedení tepla jako v tuhém tělese v případě, že je zabráněno proudění tekutiny (tekutina v malém prostoru bez vnějších účinků). Obecně však přenos tepla v tekutině je spojen se současným prouděním tekutiny.

- jestliže je proudění tekutiny vyvoláno změnou hustoty vlivem ohřevu tekutiny a gravitací, mluvíme o přirozeném proudění, či-li o přirozené konvekcii

- jestliže je pohyb tekutiny vyvolán vnějšími účinky (ventilátorem, čerpadlem, atd.), mluvíme o nuceném proudění, či-li o nucené konvekcii

Řešení tepla konvekcí je tedy nutně spjato se současným řešením Fourierovy-Kirchhoffovy rovnice, kterou je nutno doplnit o tepelnou energii vzniklou disipací mechanické energie, dále o pohybové rovnice proudící tekutiny a rovnici spjitosti.

Pro řešení těchto rovnic je nutno znát podmínky pro stanovení integračních konstant, hodnoty fyzikálních veličin, atd., podmínky jednoznačnosti.

Podmínky jednoznačnosti - přehled:

1. Geometrické (tvar a velikost tělesa).
2. Fyzikální (hodnoty fyzikálních veličin vyskytujících se v rovnicích).
3. Časové (časový průběh teploty).
4. Okrajové - ty jsou trojího druhu:
  1. druhu: je dána teplota stěny.
  2. druhu: je dán tepelný tok na stěně
  3. druhu: je dána teplota tekutiny a součinitel přestupu tepla

**Přestup tepla:** předávaný průtok tepla ze stěny do okolní tekutiny závisí na teplotním rozdílu mezi teplotou stěny a teplotou okolí, na látkových vlastnostech tekutiny a na charakteru proudění tekutiny. Dvě naposled zmíněné podmínky jsou zohledněny

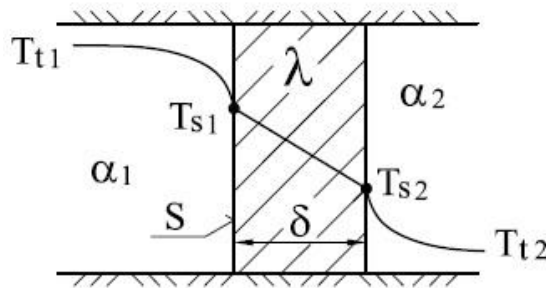
součinitelem přestupu tepla  $\alpha \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  v následující rovnici, která je rovnicí empirického Newtonova zákona.

$$\dot{Q} = S\alpha(T_1 - T_2)$$

Dělíme-li tuto rovnici plochou, kterou přestupuje teplo do okolí, dostaneme rovnici pro tepelný tok:

$$q = \alpha(T_1 - T_2)$$

**Prostup tepla:** se skládá z přestupu tepla z jedné tekutiny do stěny, z vedení tepla ve stěně z přestupu tepla ze stěny do druhé tekutiny. Průběh teplot je znázorněn na obr. č. 11-5.



Obr. č. 11-5 Průběh teplot při prostupu tepla rovinnou stěnou

**Úlohu řeší tři rovnice:**

rovnice pro přestup tepla z tekutiny o teplotě  $T_{t1}$  do stěny  $T_{s1}$   $\dot{Q} = S\alpha_1(T_{t1} - T_{s1})$

rovnice pro vedení tepla stěnou  $\dot{Q} = S \frac{\lambda}{\delta} (T_{s1} - T_{s2})$

rovnice pro přestup tepla ze stěny o povrchové teplotě  $T_{s2}$  do tekutiny o teplotě  $T_{t2}$

$$\dot{Q} = S\alpha_2(T_{s2} - T_{t2})$$

Jedná se o soustavu lineárních rovnic o třech neznámých  $T_{s1}$ ,  $T_{s2}$  a  $\dot{Q}$ . Obecně se může jednat i o případ, kdy stěna je složena z několika vrstev a pak pro každou vrstvu soustava rovnic obsahuje rovnici pro vedení tepla. Řešení je snadné. Když si vyjádříme teplotní rozdíly na levé straně rovnic a rovnice sečteme, potom na levé straně zůstane jen rozdíl teplot tekutin, které jsou ve většině případů zadány. Na konec vyjádříme rovnici pro průtok tepla:

$$\dot{Q} = S \frac{T_{t1} - T_{t2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Tuto rovnici můžeme formálně zjednodušit zavedením součinitele prostupu tepla. Ten položíme rovný reciproké hodnotě jmenovatele výše uvedených rovnic.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Z předchozího vztahu je zřejmé, že rozměr součinitele prostupu tepla  $\alpha \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  je stejný jako součinitel přestupu tepla  $k \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$ .

Rovnici průtoku tepla můžeme formálně zjednodušit o součinitel  $k$ :

$$\dot{Q} = Sk(T_{t_1} - T_{t_2})$$

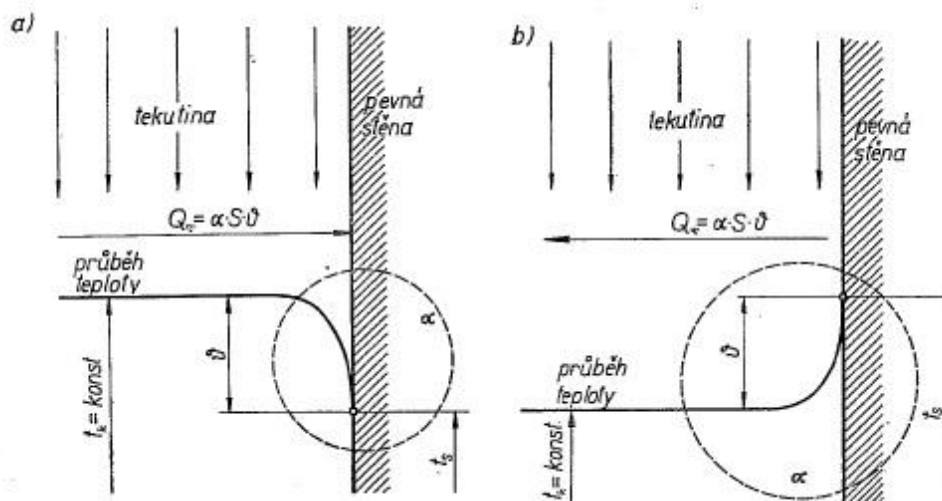
**Poznámky:**

V případě, že je součinitel tepelné vodivosti závislý na teplotě, jsou úlohy jednodimenzionálního vedení tepla řešitelné separací proměnných. Pak rovnice průtoku tepla bude mít tvar:

$$\dot{Q} = -\lambda(T)S \frac{dT}{dx}$$

V případě, že je součinitel tepelné vodivosti závislý na poloze (souřadnic  $x$ ), jsou úlohy jednodimenzionálního vedení tepla řešitelné separací proměnných. Pak rovnice průtoku tepla bude mít tvar:

$$\dot{Q} = -\lambda(x)S \frac{dT}{dx}$$



Obr. č. 11-6 Přestup tepla: a) z tekutiny do pevné stěny, b) z pevné stěny do tekutiny

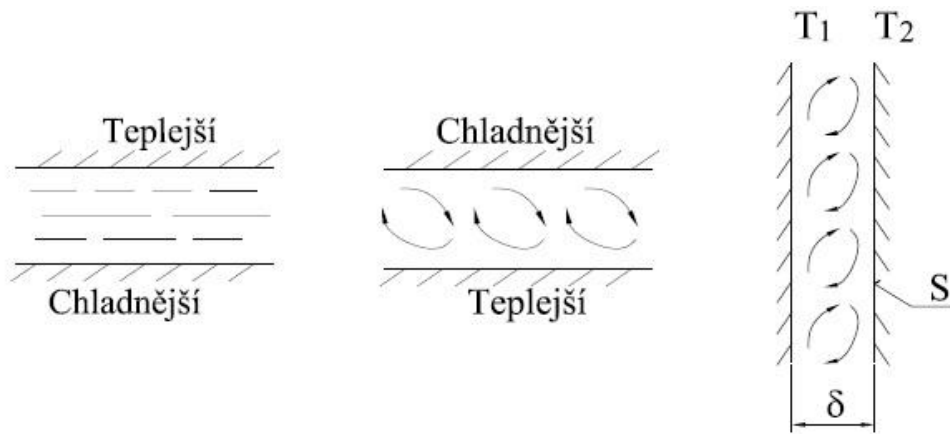


### 11.1.2.1 Přestup tepla v omezeném prostoru

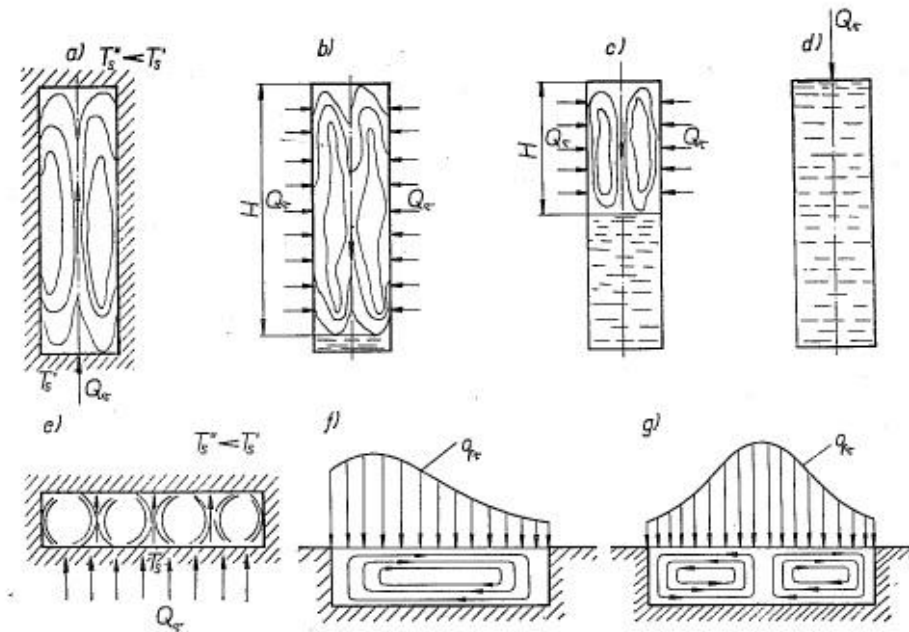
Přenos tepla je dán:  $\dot{Q} = S \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2)$

Při větších vrstvách se v rovnici nahradí součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  tzv. ekvivalentním součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda_{ek}$

$$\dot{Q} = S \frac{\lambda_{ek}}{\delta} (T_1 - T_2)$$



Obr. č. 11-7 Pohyb tekutiny v omezeném prostoru



Obr. č. 11-8 Konvekce tekutiny v uzavřeném prostoru při sdílení tepla: a) zespodu, b) při rovnoměrném bočním ohřevu, c) při částečném rovnoměrném bočním ohřevu, d) při ohřevu shora, e) ve vodorovné dutině zahříváně zespodu, f) ve vaně při jednostranném ohřevu shora, g) ve vaně při symetrickém ohřevu shora

### 11.1.2.2 Teorie podobnosti [27]

**Newtonův zákon:**  $q = \alpha(T_k - T_s) > 0$  - ochlazování tekutiny

$q = \alpha(T_s - T_k) > 0$  - ohřev tekutiny

V technické praxi se pro určení hodnoty součinitele přestupu tepla  $\alpha$  používají matematicko-experimentální metody. Součinitel přestupu tepla se stanoví pro jednoduchý případ a pomocí teorie podobnosti se výsledky formulované v kritériální rovnici přenáší na geometricky, hydrodynamicky a termokineticky podobné děje.

Pro volné proudění tekutiny vyvolané rozdílem měrných hmotností má kritériální rovnice nejčastější tvar:  $Nu = K(Gr \cdot Pr)^n$

Pro nucené proudění tekutiny dané tlakovým spádem, vyvolaným např. čerpadlem, ventilátorem, kompresorem, má kritériální rovnice nejčastěji tvar:  $Nu = K(Re \cdot Pr)^n$

Konstanty kritériálních rovnic  $K, n$  závisí na součinu  $(Gr \cdot Pr)$  a  $(Re \cdot Pr)$ , na druhu proudění, tvaru tělesa apod.

Základními bezrozměrnými čísly jsou pro:

a) hydrodynamickou podobnost

$Re = \frac{w \cdot L}{\nu}$  Reynoldsovo číslo

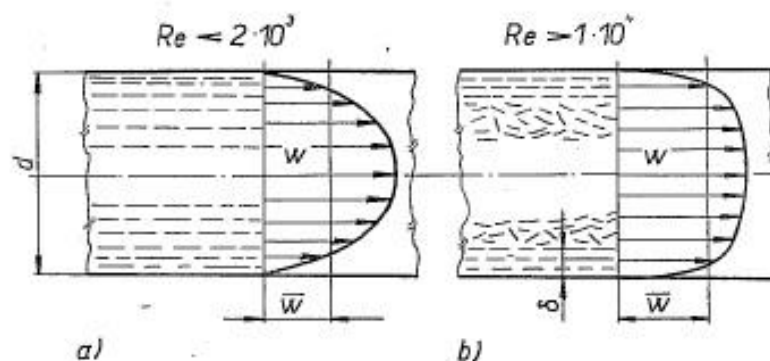
$Gr = \gamma |t_s - t_k| \cdot \frac{g \cdot L^3}{\nu^2}$  Grashofovo číslo

b) termokinetickou podobnost

$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda}$  Nuseltovo číslo

$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{c_p \cdot \rho \cdot \nu}{\lambda}$  Prandlovo číslo

### 11.1.2.3 přestup tepla proudění tekutiny - typy proudění



Obr. č. 11-9 Rychlostní profil v trubce při: a) laminární proudění tekutiny, b) turbulentní proudění tekutiny

**Laminární proudění** - je takové proudění vazké kapaliny, při kterém jsou proudnice rovnoběžné a nemísí se. Částice kapaliny se pohybují vedle sebe jakoby ve vrstvách, které se vzájemně nepromíchávají. Mezi jednotlivými vrstvami se předpokládá existence vnitřního tření a platnost vztahu Newtonova zákona viskozity. Laminární proudění zůstává zachováno až do tzv. kritické rychlosti, kdy se mění na proudění turbulentní. Pravděpodobnost přechodu laminárního proudění na turbulentní je ovlivněno, kromě rychlosti proudění, ještě průměrem trubice, viskozity a hustoty kapaliny. Tato pravděpodobnost se vyjadřuje pomocí Reynoldsova čísla.

**Turbulentní proudění** - je takové proudění vazké tekutiny, při kterém se proudnice navzájem promíchávají. Částice tekutiny vykonávají při proudění kromě posouvání i složitý vlastní pohyb, který vede ke vzniku vírů (bouřit = lat. turbo - odtud také název proudění). Rychlosti jednotlivých částic tekutiny se nepravidelně mění, tzv. částice již nemají ve všech místech neměnnou rychlost, proudění tedy není stacionární.

Je-li Reynoldsovo číslo menší než jeho kritická hodnota  $Re < Re_K$  pak je proudění laminární.

Je-li Reynoldsovo číslo větší než jeho kritická hodnota  $Re > Re_K$  pak je proudění turbulentní.

## 12 Rozbor zadání

Začátkem roku 2013 jsem konstruovala lisovací nástroj pro izolaci tunelu. Při konstrukci tohoto nástroje byly navrženy dvě varianty temperačních okruhů, z nichž varianta 2 byla poté realizována v nástroji. Konstrukce těchto dvou temperačních okruhů byla volena podle několika hledisek.

### Hlediska tepreačních okruhů varianta 1:

- temperační okruh má být nakonstruován v rovině  $XY$ , bez zbytečných úhlů a natočení tzn. co nejjednodušší
- temperační okruh má být nejbliže k plochám 30mm
- rozestupy mezi jednotlivými dráhami labyrintu 60 až 90mm

### Hlediska tepreačních okruhů varianta 2:

- temperační okruh musí být na konstruován tak, aby od jakékoliv plochy v produktu byl v rozmezí 30 až 40mm
- rozestupy mezi jednotlivými dráhami labyrintu 60 až 90mm

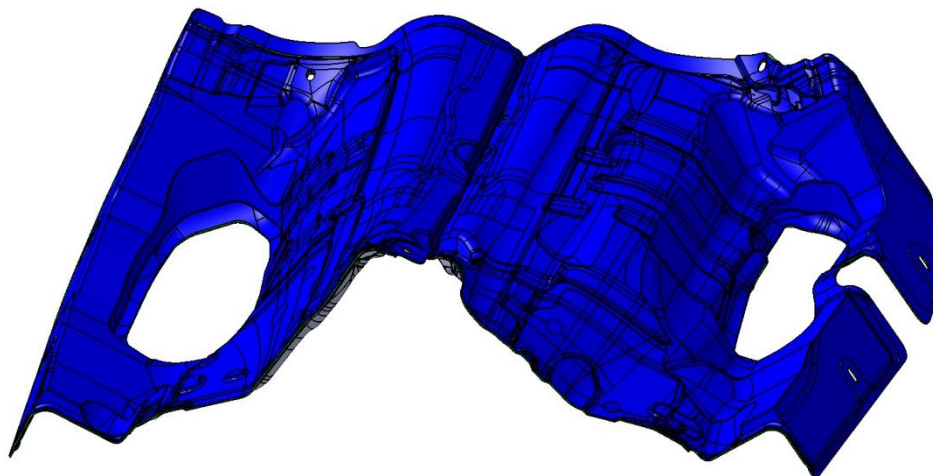
### Cílem práce je tyto dva typy temperačních okruhů porovnat, a to z několika hledisek:

- konstrukční
- funkční
- výrobitelnost
- cena (výroba, montáž, konstrukce, ...)
- časová náročnost (výroba, konstrukce, ...)
- energie (doba vytopení)
- ekologie (odpady, ...)

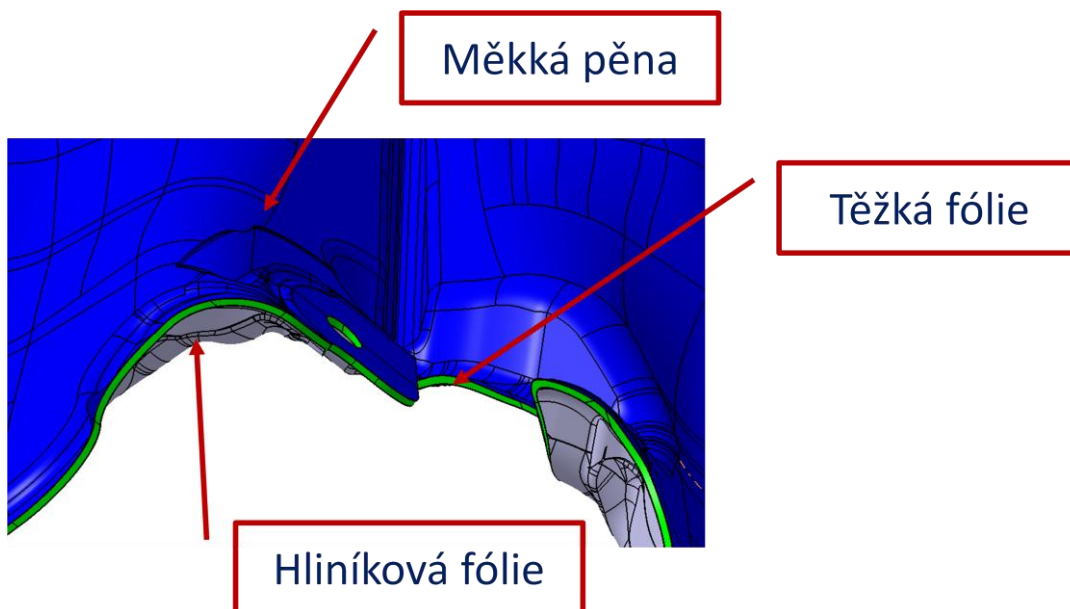
## 13 Výpočty a úprava 3D modelu pro analýzy v MKP

### 13.1 Specifikace materiálu produktu pro výpočet

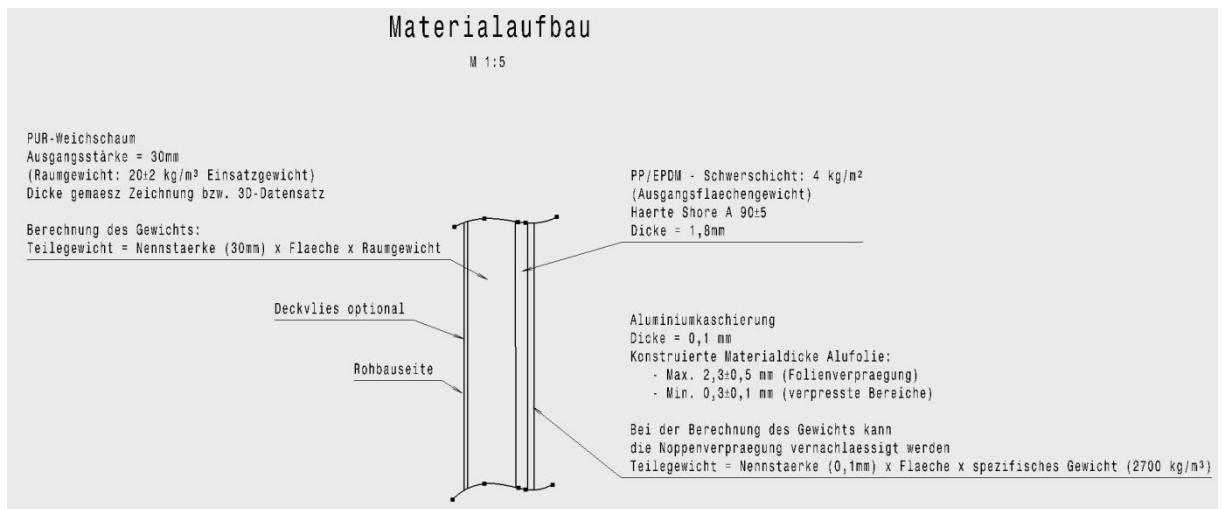
Produkt se skládá ze tří materiálů, z hliníkové fólie, těžké fólie a měkké pěny. Každý z těchto materiálů má své specifické materiálové vlastnosti a je jiné tloušťky viz obr. č. 13.1 a 13.2.



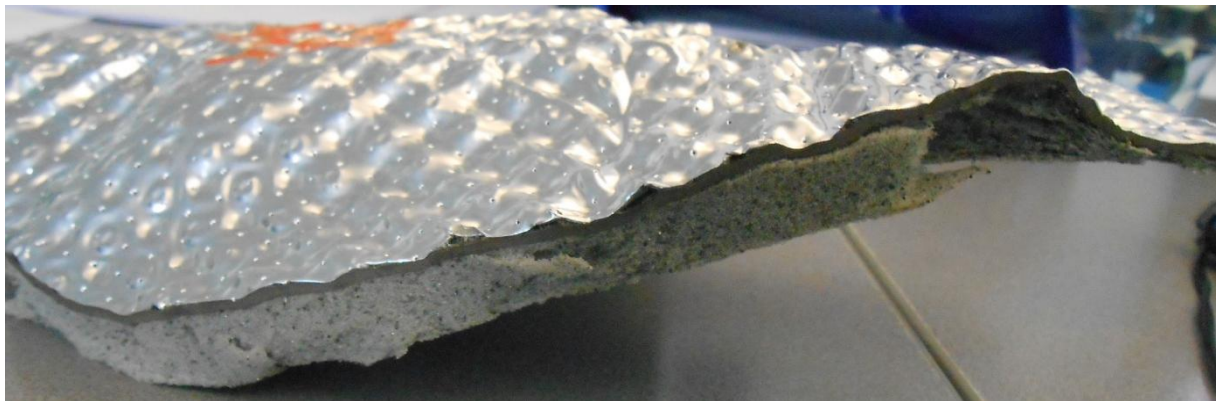
Obr. č. 13-1 3D data produktu



Obr. č. 13-2 3D detail produktu



Obr. č. 13-3 Materiálová specifikace produktu izolace tunelu



Obr. č. 13-4 Řez vylisovaným produktem pro izolaci tunelu

### 13.1.1 Výpočet ekvivalentní tepelné vodivosti $\lambda_{ek}$ produktu

Pro zjednodušení výpočtu a snadnější stanovení teplotních podmínek MKP, uvažujeme produkt s jednotnou tloušťkou a jednotnou tepelnou vodivostí, tzv. ekvivalentní tepelnou vodivostí  $\lambda_{ek}$  produktu, která se stanoví z následujícího vzorce, blíže viz kapitoly 11:

$$\lambda_{ek} = \frac{t}{\frac{t_1}{\lambda_1} + \frac{t_2}{\lambda_2} + \frac{t_3}{\lambda_3}} [W/mK]$$

hliníková fólie Al:	tloušťka materiálu $t_{Al} = 0,1\text{mm}$ tepelná vodivost $\lambda_{Al} = 150 \text{ [W/mK]}$
těžká fólie EPDM:	tloušťka materiálu $t_{EPDM} = 1,8\text{mm}$ tepelná vodivost $\lambda_{EPDM} = 0,2 \text{ [W/mK]}$
měkká pěna PUR:	tloušťka materiálu $t_{PUR} = 15\text{mm}$ (stlačený stav) tepelná vodivost $\lambda_{PUR} = 0,037 \text{ [W/mK]}$
početně:	

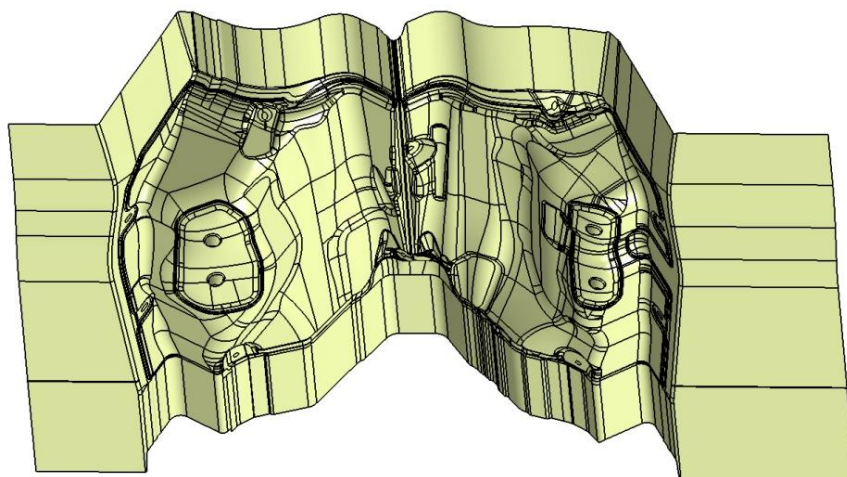
$$\lambda_{ek} = \frac{0,0001 + 0,0018 + 0,015}{\frac{0,0001}{150} + \frac{0,0018}{0,2} + \frac{0,03}{0,037}} = \mathbf{0,048 \text{ [W/mK]}}$$

### 13.1.2 Zjednodušení 3D produktových dat pro výpočet MKP

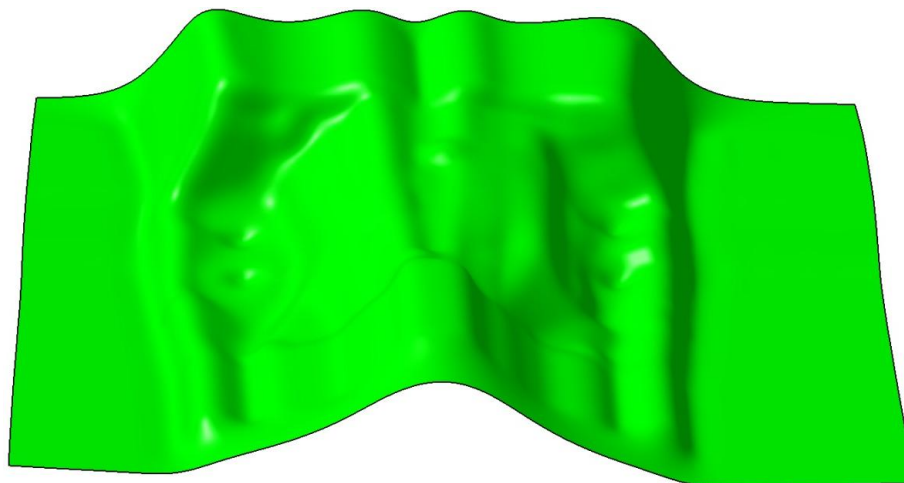
3D data se zjednodušují z důvodu jejich velikosti. Například, čím více má ořezová plocha malých plošek, různých velikostí rádiusů, zaoblení, sweepů apod., tím jsou data velká. Tyto částičky v plochách určují tvar produktu. Tvar produktu je modelován v designerských softwre, ze kterých je tvořen výsledný 3D model produktu např. viz obr. č. 13-1. Pro představu v jakých datových objemech se pohybujeme: plocha viz obr. č. 13-5 načítala 5000000 objemových datových částiček a zjednodušená plocha viz obr. č. 13-6 načítá jen 25000. To samé se týká i temperačních okurhů, u kterých se dráha též zjednodušila.

Produktová 3D data zjednodušíme tak, že horní a spodní díly formy ořízneme pouze jednou plochou, a to spodní plochou produktu. Skutečnou tloušťku produktu nahradíme podmínkou výpočtu pro přestup tepla mezi horní a spodní částí formy a produktem, což vychází z teorie kapitoly č. 11.

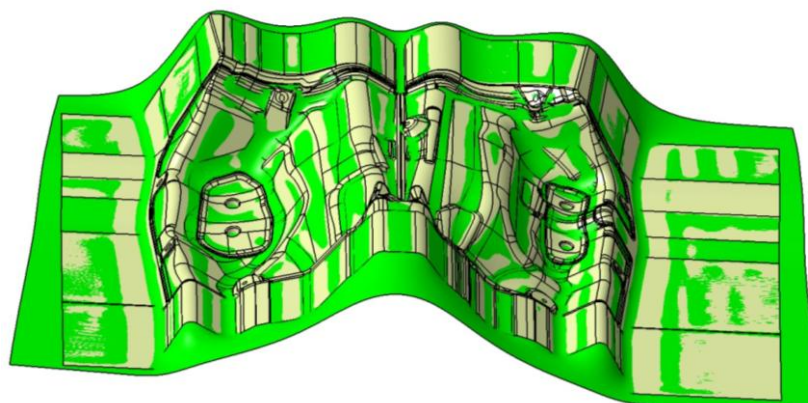
Spodní plochu produktu se zjednoduší tak, že se odstraní zbytečné „rozsekání“ ploch, které byly namodelovány zákaznickými designéry. Dále se odstraní minimální rádiusy. Na toto zjednodušení se použije funkce v software Catia V5, tzv. „raft offset“, který je v toleranci +/- 5mm, který odstraní nežádoucí minimální rádiusy a spojí plochu do jednodušitého celku, viz obr. č. 13-6. Na obr. č. 13-7 je zobrazeno prolnutí mezi nezjednodušenou a zjednodušenou ořezovou plochou, zde je vidět jak moc se plocha změnila.



Obr. č. 13-5 Skutečná 3D spodní plocha produktu s odpadem



Obr. č. 13-6 Zjednodušená spodní plocha produktu

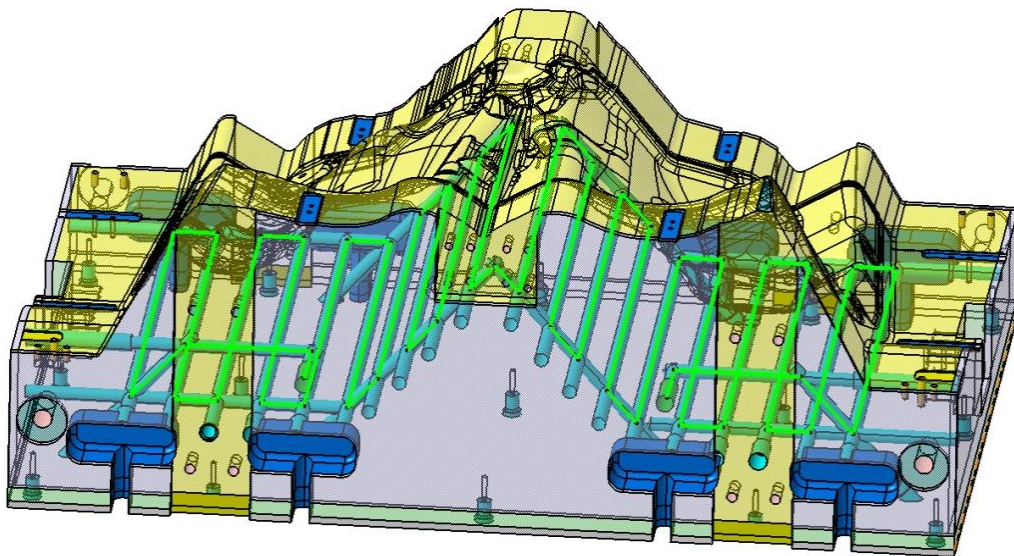


Obr. č. 13-7 Porovnání obou ploch obr. č. 13-5 a 13-6

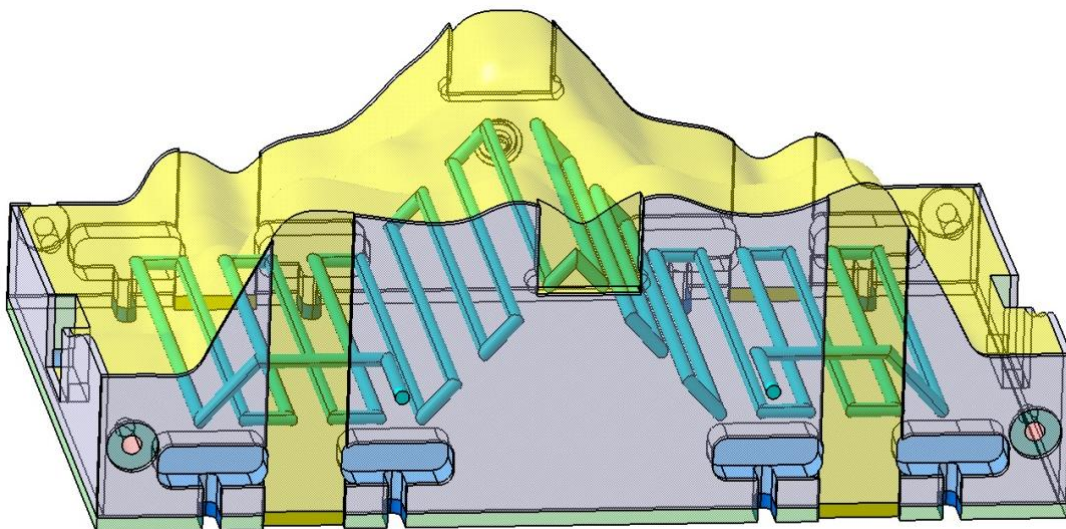


### 13.2 Zjednodušení labyrintů pro výpočet

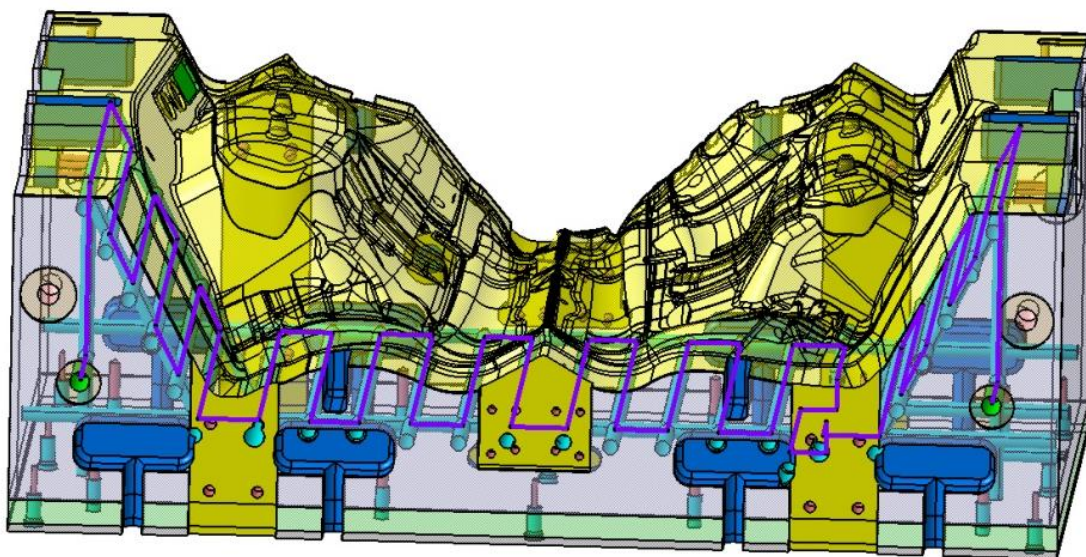
Pro výpočet MKP je potřeba znát přesnou dráhu oleje. Dráha oleje je určena ucpávkami v temperačním okruhu, který je vyroben hlubokým vrtáním. Skutečný výrobní temperační okruh nahradíme pouze objemem oleje, viz následující obr. č. 13-9 a 13-11. Temperační okruhy se zjednoduší tak, že díky tzv. dráze labyrintu viz zelená barva na obr. č. 13-8 či fialová barva na obr. č. 13-10, vznikne dráha oleje. Dráha labyrintu se převede na objem pomocí funkce *sweep*, kterou se získá ideální tvar temperačního okruhu bez křížení jednotlivých vývrtů, bez nepřesného napojení úhlových vývrtů, které je způsobeno při skutečném vrtání temperačního okruhu, apod. Takto zjednodušené temperační okruhy jsou vhodné pro použití ve výpočtu pomocí MKP.



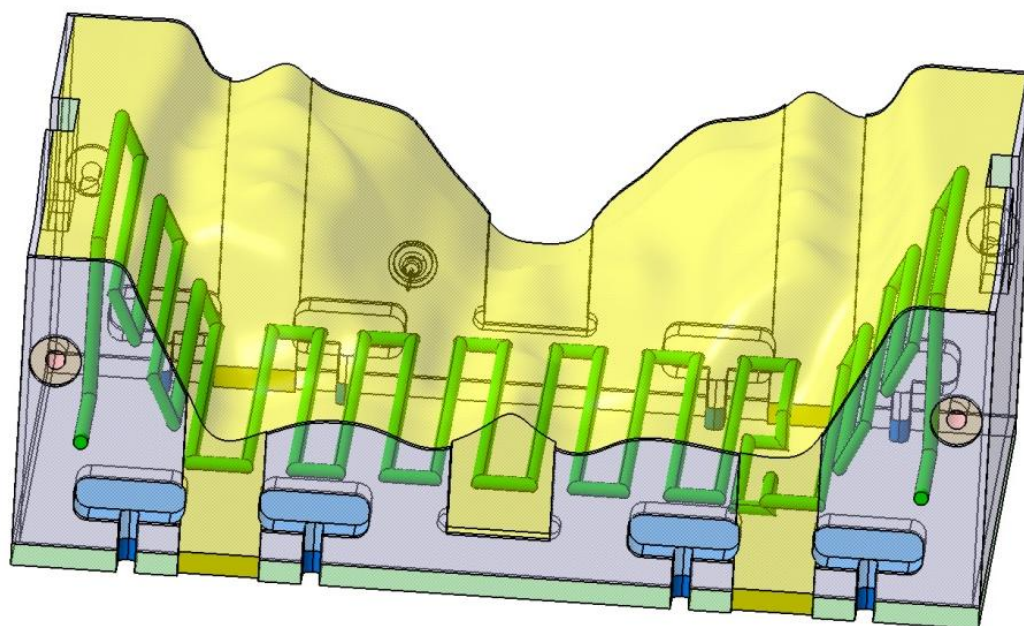
Obr. č. 13-8 Spodní díl nezjednodušený, varianta 1



Obr. č. 13-9 Spodní díl zjednodušený, varianta 1



Obr. č. 13-10 Horní díl nezjednodušený, varianta 1



Obr. č. 13-11 Horní díl zjednodušený, varianta 1

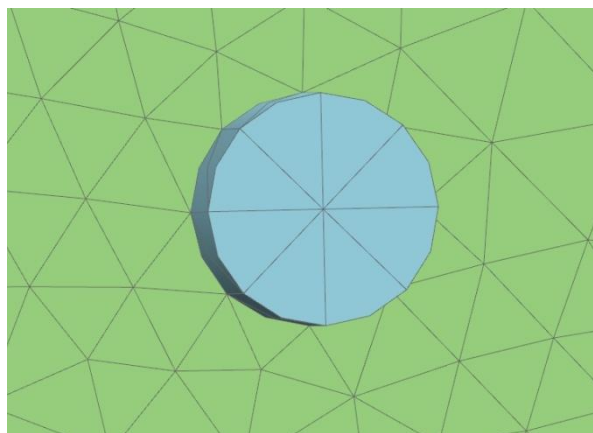


## 14 Výpočty a analýza MKP vytápění formy pro variantu 1

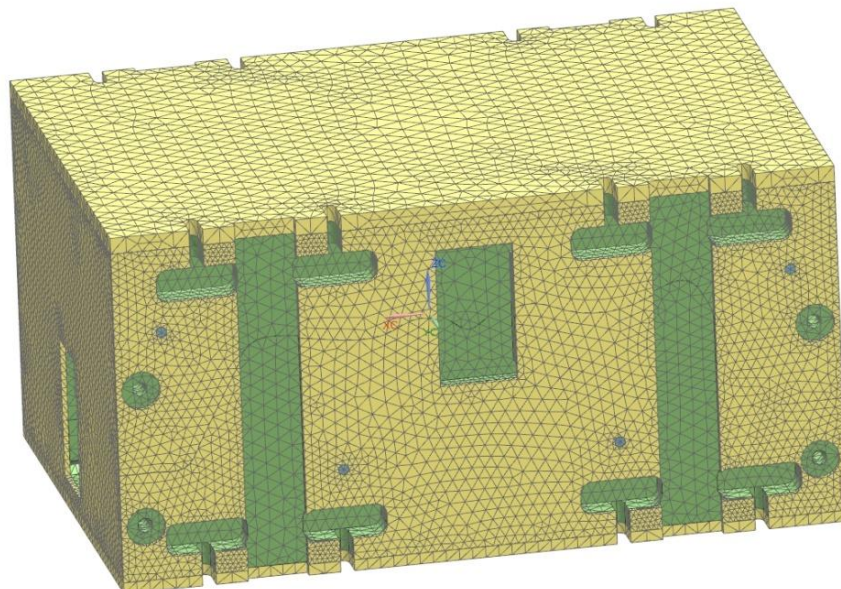
Pro MKP výpočet byl použit software Nx8.5. Tento software je nejvhodnější pro termální analýzu, která je pro teplotní výpočet dané formy nezbytná.

### 14.1 Zasít'ování formy ve FEM

Zasít'ování takovéto formy je časově velmi náročné. Nejen, že se musí zasít'ovat každý díl zvlášť vhodně zvolenou sítí, ale hlavně se musí sít' jednotlivých dílů nastavit tak, aby hranice sítí (tzv. uzly) jednotlivých dílů navzájem na sebe navazovaly, viz obr. č. 14-1. Takto nastavené sítě umožní tepelný přestup tepla z jednoho dílu na druhý. Na obr. č. 14-2 je znázorněn pohled na celkové zasít'ování celé formy.



Obr. č. 14-1 Detail provázanosti sítí



Obr. č. 14-2 Zasít'ovaný model celé formy, varianty 1

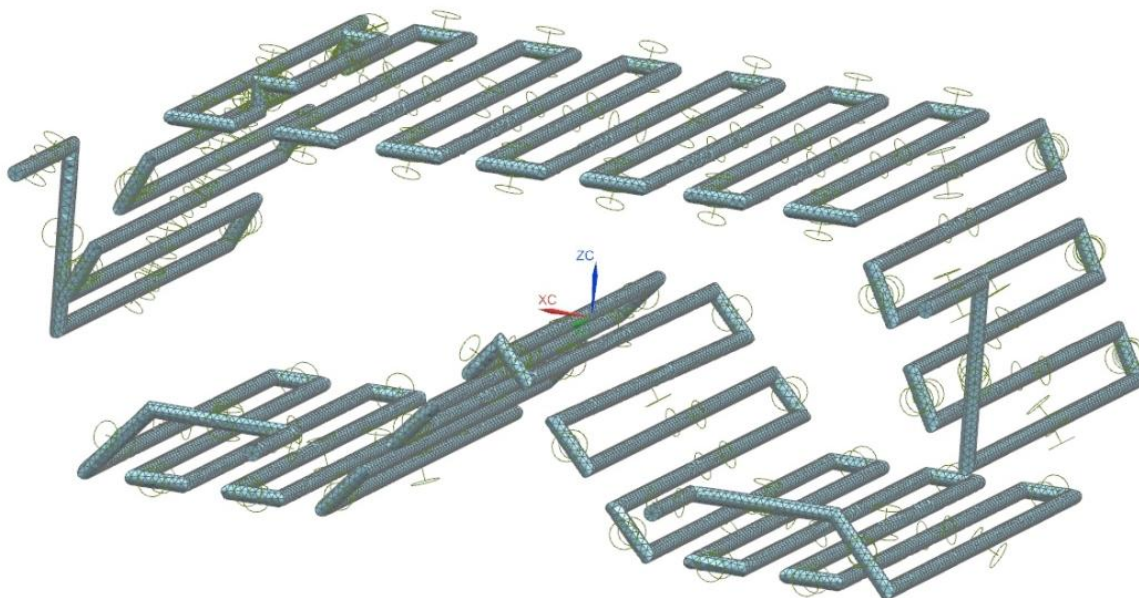
## 14.2 Nastavení okrajových podmínek vhodných pro výpočet v SIM

Ve výpočtu se uvažuje, že ve formě dochází ke sdílení tepla *vedením (kondukcí)* a přenosu tepla *prouděním (konvekci)*, viz kapitola č. 11.

U termální analýzy se okrajové podmínky stanovují pomocí teplot a teplotních vlastností a materiálových konstant jednotlivých materiálů ( $c_p$ ,  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $\rho$ , ...), které jsou důležité pro sdílení tepla vedením. Výpočet formy je velmi zjednodušen, neboť se počítá s téměř ideálními podmínkami. Při výpočtu se předpokládá ideální kontakt mezi izolacemi a formou. Neberou se do úvahy ztráty vzniklé prouděním oleje v temperačním okruhu. Dále se v temperačním okruhu předpokládá konstantní tlak 2 bary, který se specifikuje pro přestup tepla prouděním. Jak už bylo v předchozí kapitole č. 12. Naznačeno, ve zjednoduší - horní a spodní díly jsou v úplném kontaktu a vliv produktu je nastaven materiálovou vlastností produktu, a to tepelnou vodivostí  $\lambda_{ek}$  produktu.

Temperační okruhy horní a spodní části jsou nastaveny jako čisté objemy kapalin, viz obr. č. 14-3. Na levé straně temperačního okruhu byl nastaven vstup proudění oleje pod tlakem 2 bary a na pravé straně formy výstup oleje. Teplota oleje je stanovena podle hodnot vyplývajících ze zadání a to na:

- u horního labyrintu na 160°C
- u spodní části na 120°C



Obr. č. 14-3 Vizuální zobrazení okrajových podmínek temperačních okruhů, varianty 1

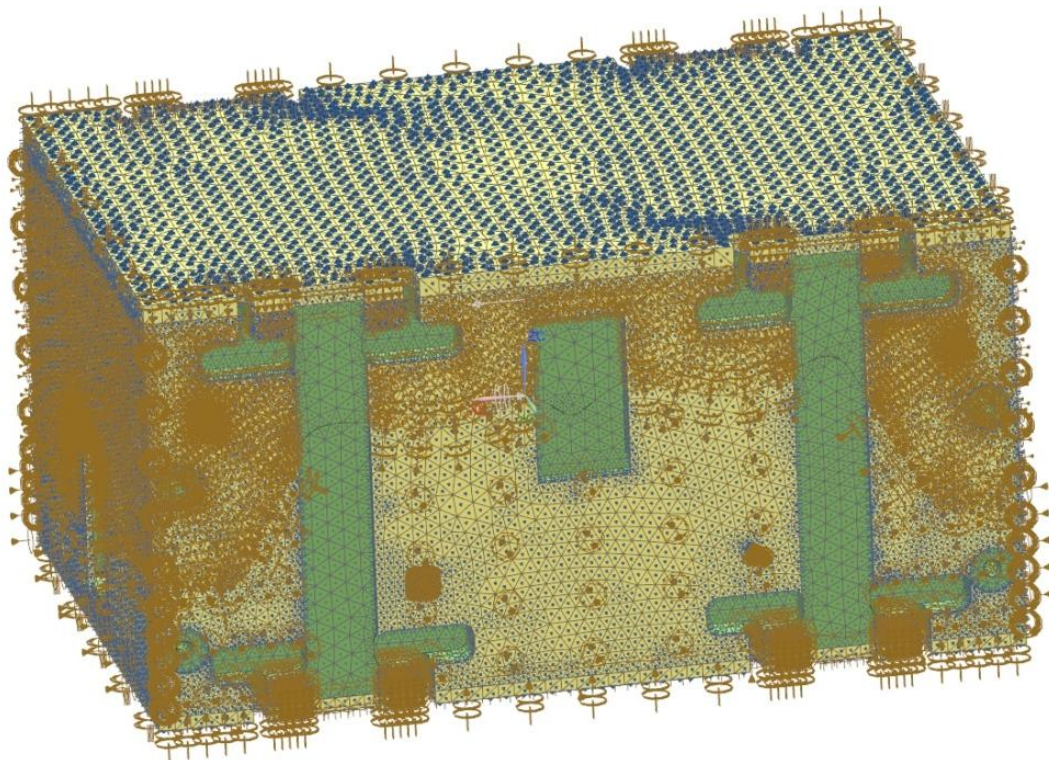
Dále byla nastavena okrajová podmínka přestupu tepla mezi objemem kapaliny temperačních okruhů a příslušnými bloky formy.



Pro horní a spodní izolace základů formy se nastaví podmínka kontaktu mezi izolací a lisem. U lisu je uvažovaná konstantní teplota 20°C. Jako druhou podmínkou, byl nastaven teplotní kontakt mezi vnitřní stranou izolace a vnější stranou formy. Dále se musely nastavit materiálové vlastnosti izolace, které vychází z typu izolace, viz kapitola č. 9, a výrobního kusovníku, viz příloha č. 1.

Pro obvodové izolace byla nastavena podmínka okolí, tzn. teplota vzduchu ve výrobní hale 20°C. Jako druhou podmínkou, byl nastaven teplotní kontakt mezi vnitřní stranou izolace a vnější stranou formy. Dále se musely nastavit materiálové vlastnosti izolace, které vychází z typu izolace, viz kapitola č. 9, a výrobního kusovníku, viz příloha č. 1.

Stanovení okrajových podmínek pro bloky vyplývá z nastavení izolací a temperačních okruhů. A dále byly nastaveny materiálové vlastnosti oceli a tepelná vodivost  $\lambda_{ek}$  produktu.



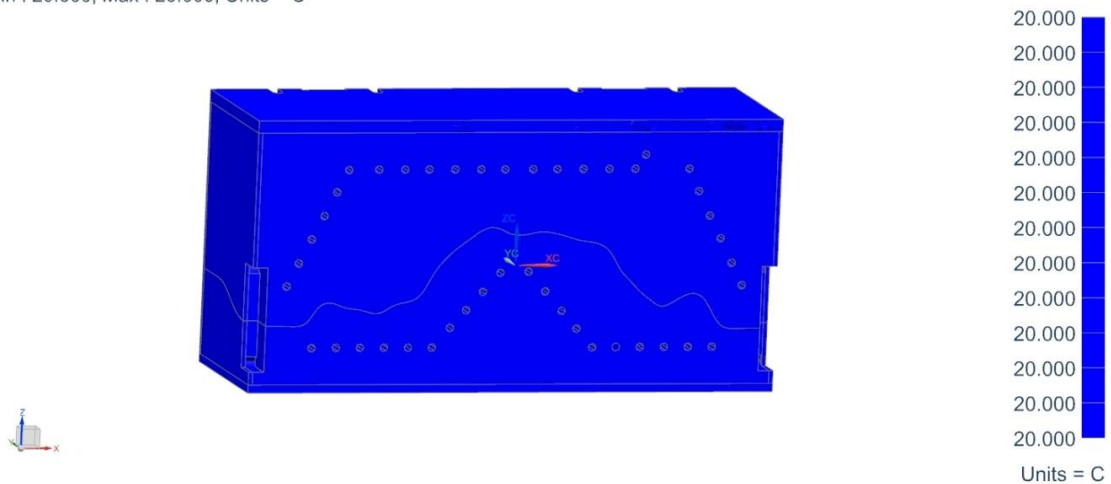
Obr. č. 14-4 Vizuální pohled na okrajové podmínky celé formy

Na obr. č. 14-4 je zobrazen pohled na celkový pohled zasítované formy a se všemi vizuálními okrajovými podmínkami.

### 14.3 Výsledný MKP výpočet

Na následujících obrázcích je vidět tepelné rozhraní v průběhu nahřívání formy. Barevné spektrum odpovídá konkrétním teplotám, viz teplotní stupnice na obr. č. 14-6 vpravo. Postupné vyhřátí formy - ukázky nahřívání po jednotlivých časových krocích, je vyobrazeno v příloze č. 3.

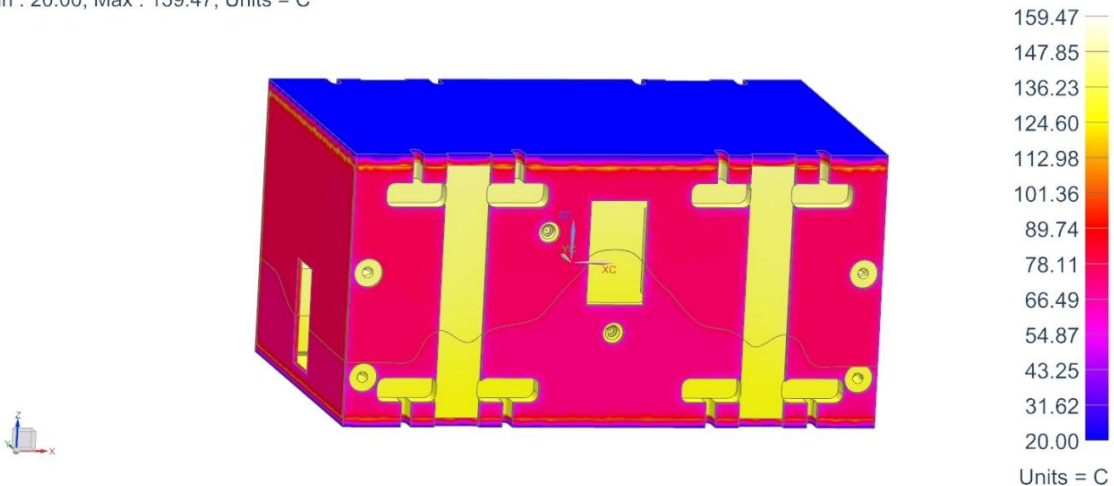
5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 1, Time = 0.000e+000 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.000, Max : 20.000, Units = C



Obr. č. 14-5 počáteční stav nahřívání

Na obr. č. 14-5 je zobrazen řez formou v počátečním stavu, a to v čase 0. Jak je patrné z obrázku i ve skutečnosti má forma na počátku teplotu okolí, která je stanovena na 20°C.

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 36, Time = 1.800e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 159.47, Units = C

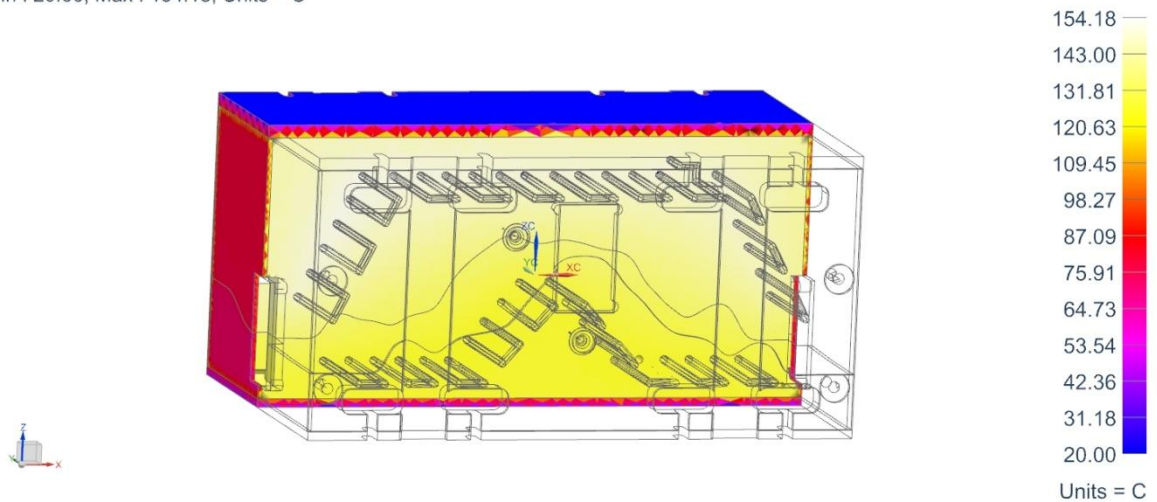


Obr. č. 14-6 Celkový pohled na vyhřátou formu

Na obr. č. 14-6 je zobrazen celkový pohled na vyhřátou formu v konečném čase MKP analýzy, konečný čas je 5hod. Podle barevného rozhraní je patrné, že nejhladnější jsou izolace základů, kde byla stanovena okrajová podmínka - kontakt mezi formou a lisem, který je stanoven na 20°C, zobrazeno modrou barvou. Tyto izolace jsou stále během procesu nahřívání formy ochlazovány konstantní teplotou lisu. Růžová barva na obvodových

izolacích znázorňuje jaký je únik tepla do okolí. Obvodové izolace se vyhřejí na teplotu okolo 60°C.

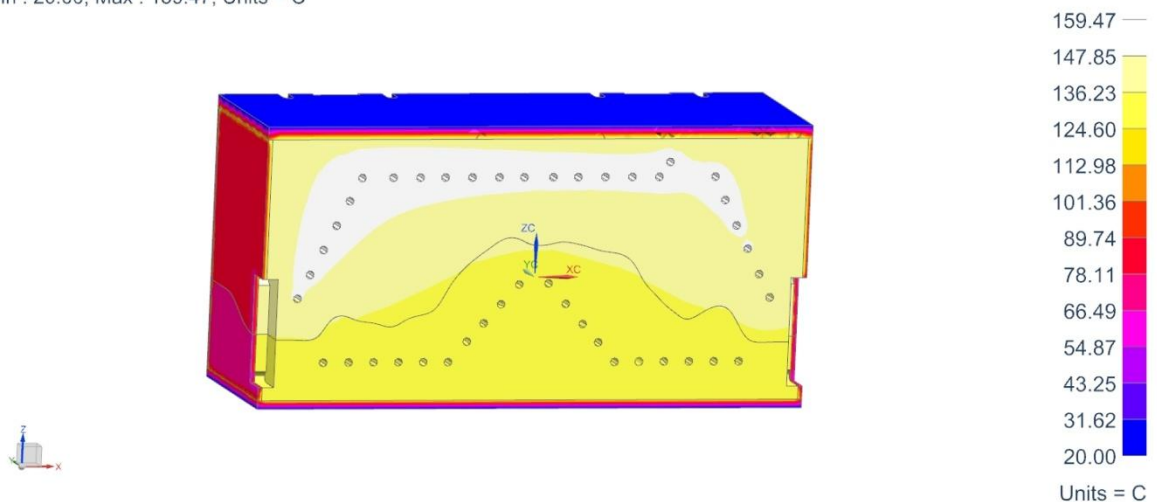
5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 36, Time = 1.800e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.18, Units = C



Obr. č. 14-7 Řez formou v konečném čase vyhřátí

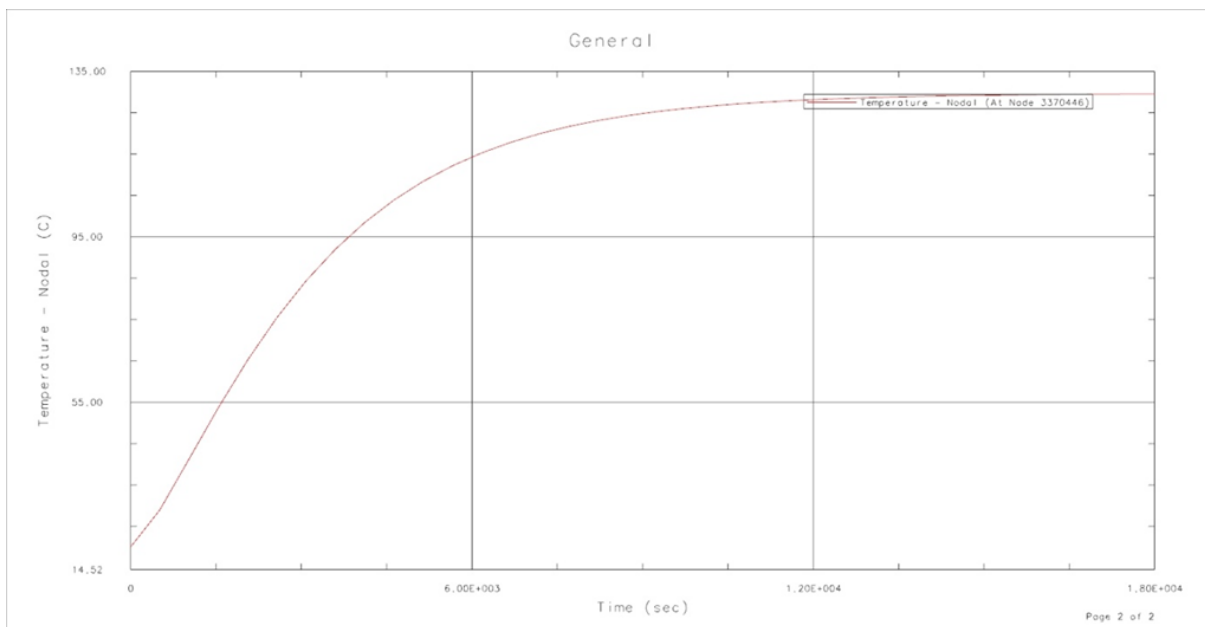
Na obr. č. 14-7 je zobrazen řez formou v koncovém čase nahřátí. Polovina formy v řezu podle roviny ZX je zobrazena plně a druhá polovina je vykreslena drátovým zobrazením, pro snadnější představu, jak uvnitř formy vypadají temperační okruhy.

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 36, Time = 1.800e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 159.47, Units = C



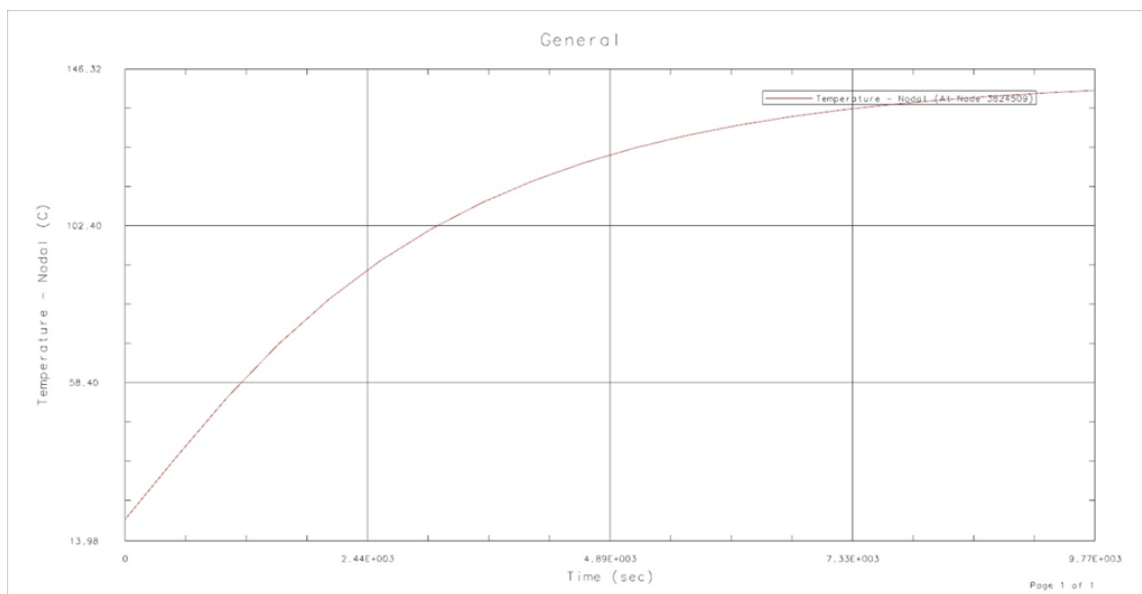
Obr. č. 14-8 Tepelně ovlivněné oblasti

Na obr. č. 14-8 je zobrazen řez formou v koncovém čase nahřátí. Polovina formy je zobrazena v řezu rovinou ZX. Na tomto obrázku jsou patrné tepelně ovlivněné oblasti, vykreslení těchto oblastí bylo nastaveno tak, aby byly jednotlivé oblasti odlišitelné, ale jak je znázorněno v příloze č. 3, forma se nahřívá rovnoměrně.



Obr. č. 14-9 Graf 1 průběhu teplot v otvoru pro teploměr spodní části formy

V grafu 1 obr. č. 14-9 je znázorněn průběh teploty v bodě pro bimetalový teploměr ve spodní části formy. Tento bod byl zvolen tak, jak by v reálných podmínkách ukazoval skutečný teploměr, která je součástí formy.



Obr. č. 14-10 Graf 2 průběhu teplot v otvoru pro teploměr horní části formy



V grafu 2 obr. č. 14-10 je znázorněn průběh teploty v bodě pro bimetalový teploměr ve spodní části formy. Tento bod byl zvolen tak, jak by v reálných podmínkách ukazoval skutečný teploměr, která je součástí formy.

Oba dva grafy mají jiný průběh nahřátí, to ovlivňuje např. odlišnost teplot jednotlivých temperačních okruhů. A jak je z těchto obrázků a grafů č. 14-5 až 14-9 (plus viz příloha č. 3) patrné, forma se vyhřívá převážně rovnoměrně, nikoliv skokově, křivka nahřátí není lineární, ale konkávní - křivka se pozvolna zvyšuje. Doba nahřívání formy ve výpočtu MKP byla stanovena na 5hod. Z grafu č. 2 je patrné, že se horní část formy vyhřeje na 100%, za delší čas. Jak je z obr. č. 14-8 patrné lépe se vyhřeje na požadovanou teplotu spodní část formy.

## 15 Vyhodnocení výsledků

### 15.1 Hlediska pro posouzení

- konstrukční (vyrobitelnost)
- funkční (výhřevnost formy)
- cena (výroba labyrintů, počet zátek a přepážek, náklady na konstrukci, ...)
- časová náročnost (výroba, konstrukce, ...)
- energie (doba vytopení)
- ekologie (odpady, ...)

### 15.2 Vyhodnocení jednotlivých variant

Název		podmínky a hlediska									
		je temp. okruh vyrobitelný	doba trvání konstrukce	cena konstrukce	výroba temp. okruhu v bloku	forma se vyhřeje na požadovano u teplotu	zátky	přepážky	doba trvání montáže	cena montáže	celková cena na výrobu
		[-]	čas [hod]	cena [Kč]	cena [Kč]	[-]	množství [ks]	množství [ks]	čas [hod]	cena [Kč]	cena [Kč]
var. 1 - řešená pomocí MKP	UT 1	ANO	16	8 000	42 300	ANO	30	20	6	3 000	118 305
	OT 1		16	8 000	53 400		30	25	7	3 500	
var. 2 - skutečně vyrobená	UT 2	ANO	24	12 000	51 840	ANO	44	20	9	4 500	147 326
	OT 2		24	12 000	61 350		51	21	11	5 500	

Tab. č. 15-1 Porovnání variant 1 a 2

#### Složitost konstrukce temperačních okruhů ovlivňuje:

- dobu konstrukce
- cenu, za jakou se vyrobí blok s temperačním okruhem
- počet zátek spotřebovaných pro zaslepení okuhu a jejich dobu montáže

Všechny tyto aspekty ovlivní celkovou cenu nástroje. Jak je patrné z tab. č. 15-1, se složitostí temperačního okruhu úměrně navyšuje celková cena výroby formy. V tomto případě je rozdíl cca 30 000,- Kč což je cca 24%.

### 15.2.1 Varianta 1

**Výhody:** jednodušší konstrukce jednotlivých temperačních okruhů, protože jsou konstruovány v rovině XY bez úhlů (viz kapitola č. 5). Pomocí MKP analýzy se prokázalo, že i při této variantě se lisovací forma dostatečně vytopí. A pro výrobce forem, takto vytápěných, je z hlediska nákladů výhodnější v porovnání s variantou 2, a to o 24% celkové ceny nástroje. Další výhodou této varianty je právě diskutovaná vzdálenost temperačního okruhu od plochy produktu. Vzhledem k větším vzdálenostem je forma výhodnější pro případné změny tvaru produktu, které se dějí velmi často. V tomto případě lze změny týkající se odfrézováním provádět bez obav, že fréza zajede do temperačního okruhu a naruší tok topného média.

**Nevýhody:** kvůli větším vzdálenostem temperačního okruhu od ploch produktu dojde v době při otevření nástroje, kdy je vylisovaný produkt vyjímán a vkládán nový produkt pro lisování, k ochlazení ploch nástroje, které se musí opětovně zahřát na požadovanou teplotu, což prodlouží cyklus formování jednotlivých dílů produktu.

### 15.2.2 varianta 2

**Výhody:** forma funguje a díly jsou takto vyráběné už jeden rok. I přesto, že tato varianta nebyla analyzována, se ví, že má forma menší ztráty úniku tepla při výměně vylisovaného produktu a vkládání nového.

**Nevýhody:** složitější konstrukce jednotlivých temperačních okruhů, protože jsou temperační okruhy konstruovány ve všech rovinách XY, XZ, YZ a pod několika úhly (viz kapitola č. 5). Tato varianta je cca o 24% dražší oproti variantu 1. V tomto případě se složitěji zohledňují případné změny produktu. U změny v produktu může na jedné straně (např. spodního dílu formy) hrozit značné přiblížení k temperačnímu okruhu a na straně druhé (na horním díle formy) se naopak od okruhu oddálí a v tu chvíli není splněna podmínka vzdálenosti temperačního okruhu od ploch v rozmezí 30 až 40mm.

## 15.3 Výběr nejvhodnější varianty

Z celkového hlediska je výhodnější varianta 1, neboť ve variantě 1 převažují výhody oproti nevýhodám a to i při porovnání cena/výkon.

## 16 Závěr

V úvodu této diplomové práce se nachází krátké představení zadavatelské firmy SWA, s.r.o spolu s upřesněním zadání požadavků na konstrukční řešení temperačních okruhů.

Následující část je teoretická, je věnována prezentaci forem jako celek a následně jsou rozebrány různé typy temperování forem. Jedná se především o lisovací formy. Dále jsou vyspecifikovány příslušné díly nezbytně nutné k provozu forem s temperačním okruhem, jako jsou např. izolace, specifikace topného média apod. V této části zúročuji své dosavadní zkušenosti a znalosti z konstrukce forem. Konstrukcí lisovacích forem se zabývám 2,5 roku.

Jako ukázkou všeobecných znalostí v oblasti strojírenství, ukazuji v této diplomové práci vytvoření orgánové struktury TS, etapu životního cyklu a vytvoření morfologické matice pro vhodný výběr konstrukční variant.

V další části diplomové práce jsou uvedeny všeobecné výpočty z teorie termomechaniky k přiblížení představy, z jaké teorie vychází termální analýza v softwaru Nx8,5. Tyto výpočty napomáhají ke správnému určení okrajových podmínek a objektivnímu vyhodnocení výsledků z analýzy MKP.

Poslední část diplomové práce se zabývá konstrukcí jednotlivých variant temperačních okruhů a jejich následnou analýzou pomocí MKP. Nejprve se musí forma před výpočtem nakonstruovat a následně se pro výpočet co nejvíce zjednodušit, aby bylo možné provést výpočet pomocí MKP, kdyby se forma nezjednodušila, nebylo by možné tento výpočet provést, protože by byl výpočet moc datově veliký a nešel spočítat na dostupných hardware. Pro výpočet temperačních okruhů byly využity veškeré možné prostředky (hardware a software), které škola nabízí i včetně vlastních znalostí, zkušeností a dostupných prostředků. I přesto bylo možné zanalyzovat pouze jednu variantu vytápění zadané lisovací formy, neboť forma dle zadání v této diplomové práci je datově velmi obsáhlá a náročná na výpočet a vyžaduje mnohem více času, než bylo při zadávání diplomové práci předpokládáno, a tak Analyzování obou variant temperování formy nebylo možné uskutečnit z důvodu časové tísně. A v závěru práce jsem vyhodnocovala obě varianty, jednu jako MKP výpočet a druhou z pohledu výroby, funkčnosti a informací činností formy u zákazníka. Pokud by zadávající firma požadovala MKP výsledky i pro variantu 2, lze tuto práci použít jako vzor. Pro variantu 1 i 2 jsou data a některé vstupní a okrajové podmínky stejné.

V rámci dostupnosti hardwaru a softwaru jsem pro dodržení zadání udělala vše. Dle mého názoru, je pro zadavatelskou firmu SWA, s.r.o. výsledek této diplomové práce přínosem, neboť byla analyzována varianta, kterou zákazník odmítl. Ukázalo se, že řešení temperování formy pro izolaci tunelu variantou 1 je výhodnější a především levnější a to o 24% oproti variantě 2, která byla vyrobena, prodána a je už rok v provozu.

## 17 Bibliografie

### 17.1 Použitá literatura

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Průručka strojního inženýra – strojní části 2*. Praha: Computer Press, 2000
- [21] KALČÍK J., SÝKORA K., *Technická termo-mechanika*. Praha 1973
- [26] MAREŠ, R., *Kapitoly z termomechaniky*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008
- [27] ADAMOVSKEÝ, D., POLÁK, M., ADAMOVSKEÝ, R., *Sbírka příkladů z termomechaniky*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009
- [29] Jana SKÁLOVÁ, *Fyzikální metalurgický slovník*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005

### 17.2 Webové stránky a odkazy

- [2] <http://www.swa.cz> (14.11.2013)
- [3] <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.0570> (14.11.2013)
- [4] <http://jkz.jb-webshare.com> (14.11.2013)
- [5] <http://www.schmolz-bickenbach.de/fileadmin/files/schmolz-bickenbach.de/documents/Datenblaetter/5083.pdf> (14.11.2013)
- [6] [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0ed%C3%A1\\_litina](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0ed%C3%A1_litina) (14.11.2013)
- [7] <http://www.hotset.cz/topne-elementy/topne-patrony/> (12.12.2013)
- [8] <http://www.jansvoboda.cz/o-firme> (15.12.2013)
- [9] <http://www.topne-patrony.cz/topne-patrony> (1.1.2014)
- [10] <http://www.converter.cz/tabulky/viskozita-vody.htm> (1.1.2014)
- [11] <http://www.vkloziska.cz/plasticka-maziva-a-oleje/prumyslove-oleje-mogul/oleje-hydraulicke-pro-hydrostaticke-mechanismy.html> (1.1.2014)
- [12] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Bimetalov%C3%BD\\_teplo%C4%9B](http://cs.wikipedia.org/wiki/Bimetalov%C3%BD_teplo%C4%9B) (3.1.2014)
- [13] <http://obchod.eximus.cz/bimetalove> (3.1.2014)
- [14] <http://ww.wika.com> (3.1.2014)
- [15] <http://www.regmet.cz/download/kataloglisty/sondy.pdf> (3.1.2014)

- [16] <http://home.zcu.cz/~formanek/VYUKA/Data1/MT/mt-prednasky/K04teplota.pdf>  
(3.1.2014)
- [17] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pyrometr> (3.1.2014)
- [18] <http://www.technotrend.cz/stranky/teorie/teorie3.htm> (3.1.2014)
- [19] <http://www.qtest.cz/bezdotykove-teplomery/bezdotykove-mereni-teploty.htm> (3.1.2014)
- [20] <http://www.labara.cz/cs/vrstvene-izolanty/izolacni-desky/176-sklotextit-g11-200dc>  
(4.1.2014)
- [22] <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-tesnicich-materialu-epdm-silikon-ptfe-viton-nbr.pdf>  
(1.3.2014)
- [23] [http://en.wikipedia.org/wiki/EPDM\\_rubber](http://en.wikipedia.org/wiki/EPDM_rubber) (1.3.2014)
- [24] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Polyuretan> (1.3.2014)
- [25] <http://www.keramet.cz/?i=294/hlinikove-folie> (9.3.2014)
- [28] <http://www.stevens-shop.de/shop/Auto-Daemmstoffe/Anti-Droehn-Matte-Schwerschicht-2-4-kg-m::2902.html> (25.3.2014)
- [29] [http://isocos.com/en/costherm/costherm-index\\_en.php](http://isocos.com/en/costherm/costherm-index_en.php) (25.3.2014)

### **17.3 Použitý software**

NX 8.5

Catia P3 V5R19

Microsoft Word 2007

Microsoft Excel 2007

PDFTools1.3

## **PŘÍLOHA č. 1**

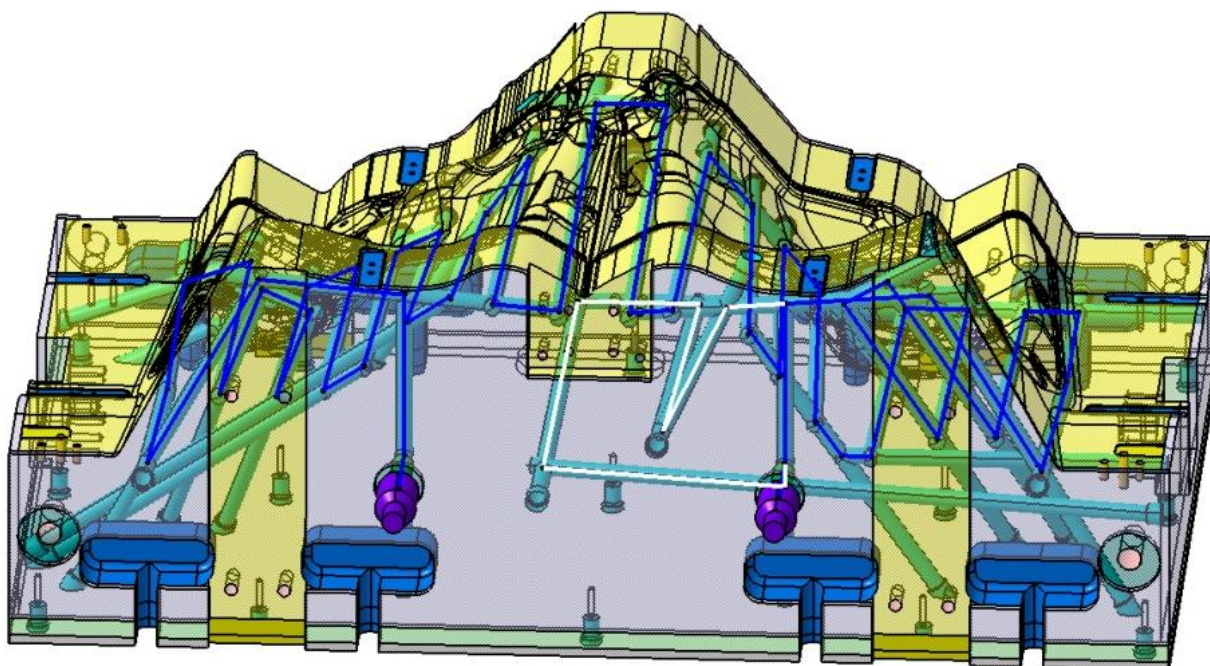
**Celkový kusovník lisovací formy pro spodní izolaci tunel**

Číslo pozice	Základní údaje				Objednání				Technologie						
	Název	počet kusů	stav uvolnění		Zařazení do skupiny	Normálie	Výrobce (dodavatel)	Materiál	Rozměry polotovaru	Kalení	Nitridace	Radius (dlí)	Radius (odpad)	Offset ploch	Technologie - popis
1	UT_Blok	1	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR UW			1.2312	460x880x1290	NE	NE	3	8	NE	
2	UT_izolace_zakladna	1	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR UW		ISOCOS	COSTHERM 4000	20x900x1310						- řezat dle dxř
3	UT_kryci_plech	1	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR UW			1.0570	10x900x1310						- vyrobit dle výkresu
4	UT_izolace	1	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR UW		ISOCOS	COSTHERM 4000A	tl. 10mm						- řezat dle dxř
13	dist_plech_1x63x100	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	1x63x100						- řezat dle dxř
14	dist_plech_0,5x63x100	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	0,5x63x100						- řezat dle dxř
15	dist_plech_0,2x63x100	8	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	0,2x63x100						- řezat dle dxř
16	dist_plech_0,1x63x100	12	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	0,1x63x100						- řezat dle dxř
26	lista_vodicí_prava	8	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK	LIŠTA VODICÍ	SWA	1.2311	30,2x50x100						dle výkresu
27	podlozka_trnu	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	2x78x100						- dle výkresu
28	Trn_vodicí_50x80,2x240	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.7131	50x80,2x240	ANO					dle výkresu - kalit na 60-62HRC - cementovat do hloubky 0,8-1,2mm
29	deska dorazová ozubená	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.2842	20x63x100	ANO					- vyrobit dle výkresu - kalit na 58-62 HRC
30	transportni_trmen_15x70_pr_32	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	26x70x350						- svařit a obrobit dle výkresu
31	trmen	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK	TRMEN	SWA	1.0570	40x220x400						- dle výkresu
32	transportni_podlozka_63x100	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK	PODLOŽKA TRANSPORTNÍ	SWA	1.0570	20x63x100						
33	doraz_blok_ut	2	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	80x100x194						- dle výkresu
34	Doraz_blok_ut	2	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	80x100x449						- dle výkresu
35	Teplomer kovovy	6	8	Uvolněno objednání - normálie	PR WK	A52.050/S 0/250 C, 4 x 100 mm, závit G1/2B	WIKA								
36	transportni_podlozka_plochy	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	30x35x80						dle výkresu
66	podlozka	15	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	kr 16-24						- dle výkresu
67	podlozka_M8x22	65	8	Uvolněno objednání - normálie	PR WK	SN-1407-22-M8	STRACK								
68	prima_spojka	20	8	Uvolněno objednání - normálie	PR WK	přímá spojka 34.67.16.12	CHARVÁT								
69	sroub_M8_60	100	8	Uvolněno objednání - normálie	PR WK	sroub M8x60 DIN 7991	Kebek								
70	rychlspojka_samec	4	8	Uvolněno objednání - normálie	PR WK	11-019-2-WR533-AAAA	WALTHER-PRÄZISION								
71	sroub_M8	10	8	Uvolněno objednání - normálie	PR UW	sroub M8x20 DIN 933	Kebek								
72	Centrování polotovaru	8	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR UW			1.0570	5x20x112,4						- řezat dle dxř - ohnout dle výkresu
73	podlozka	15	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	kr16-34						- dle výkresu
100	podlozka	20	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	D 24,6x2						dle výkresu
201	OT_Blok	1	7	Uvolněno výroba - bez polotovaru	PR KO			1.2312	470x880x1290	NE	NE	3	8	NE	
202	OT_izolace_zakladna	1	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR OW		ISOCOS	COSTHERM 4000	30x900x1310						- řezat dle dxř
203	OT_kryci_plech	1	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR OW			1.0570	10x900x1310						- dle výkresu
204	OT_izolace	1	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR OW		ISOCOS	COSTHERM 4000A	tl. 10mm						- řezat dle dxř
229	deska dorazová 63x100	4	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK	DESKA DORAZOVÁ 63X100	SWA	1.2842	20,2x63x100						
233	doraz_blok_ot	2	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	80x100x445						- dle výkresu
234	Doraz_blok_ot	2	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK			1.0570	80x100x190						- dle výkresu
526	lista_vodicí_leva	8	6	Uvolněno výroba - kompletní	PR WK	LIŠTA VODICÍ	SWA	1.2311	30,2x50x100						výkres je u P26

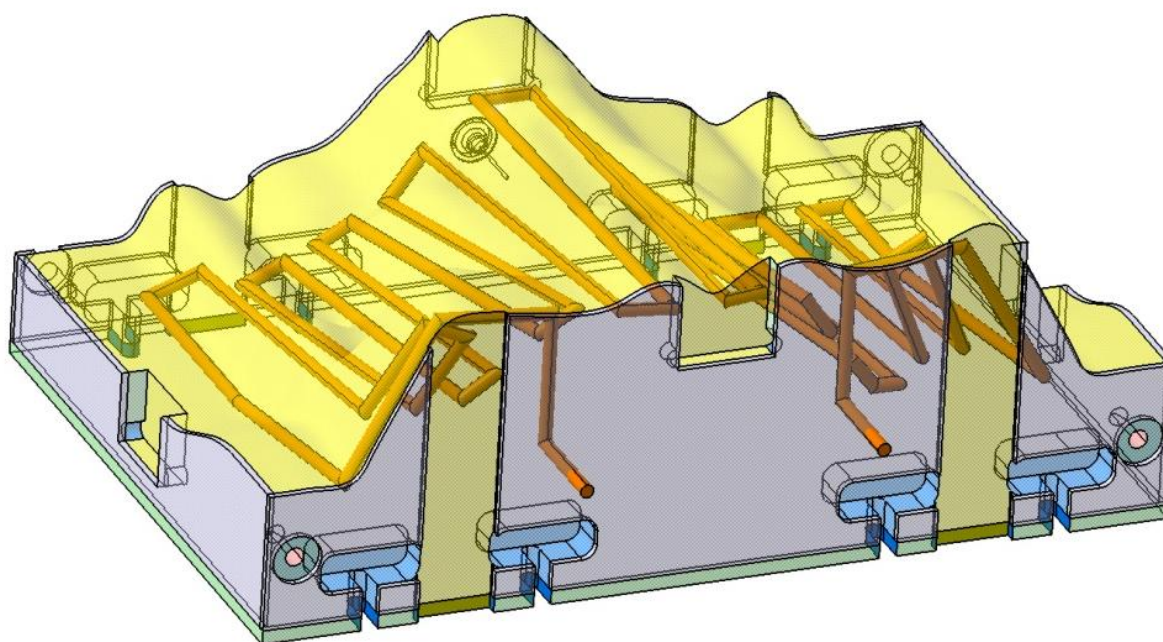


## **PŘÍLOHA č. 2**

**Příprava zjednodušení 3D dat varianty 2 pro výpočet MKP**

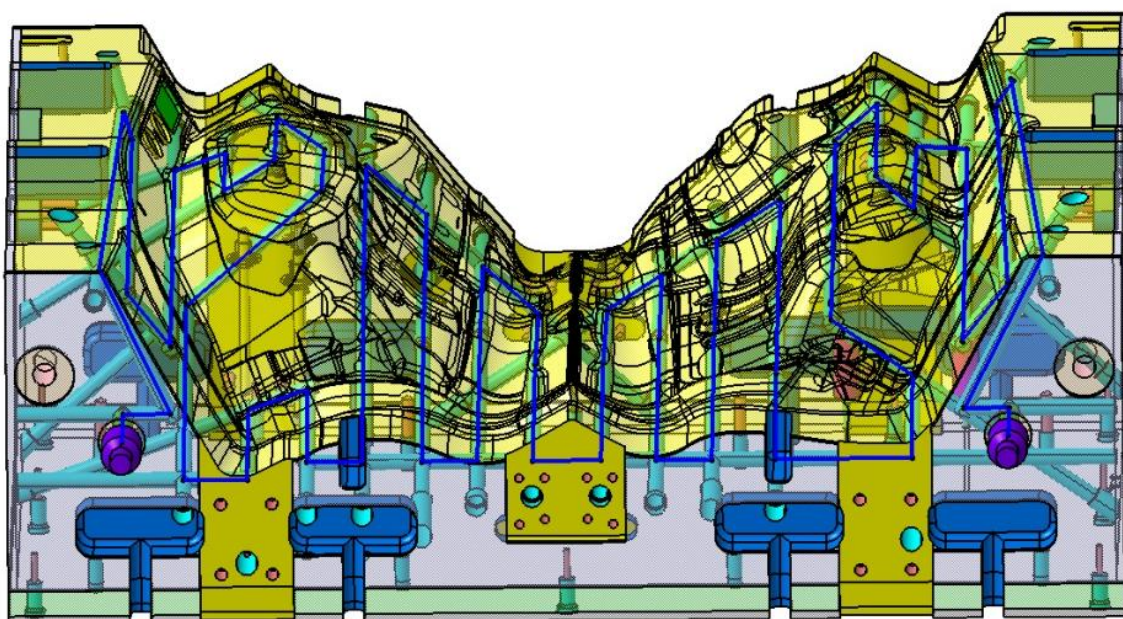


Obrázek 2-0-1 Spodní díl nezjednodušený, varianta 2

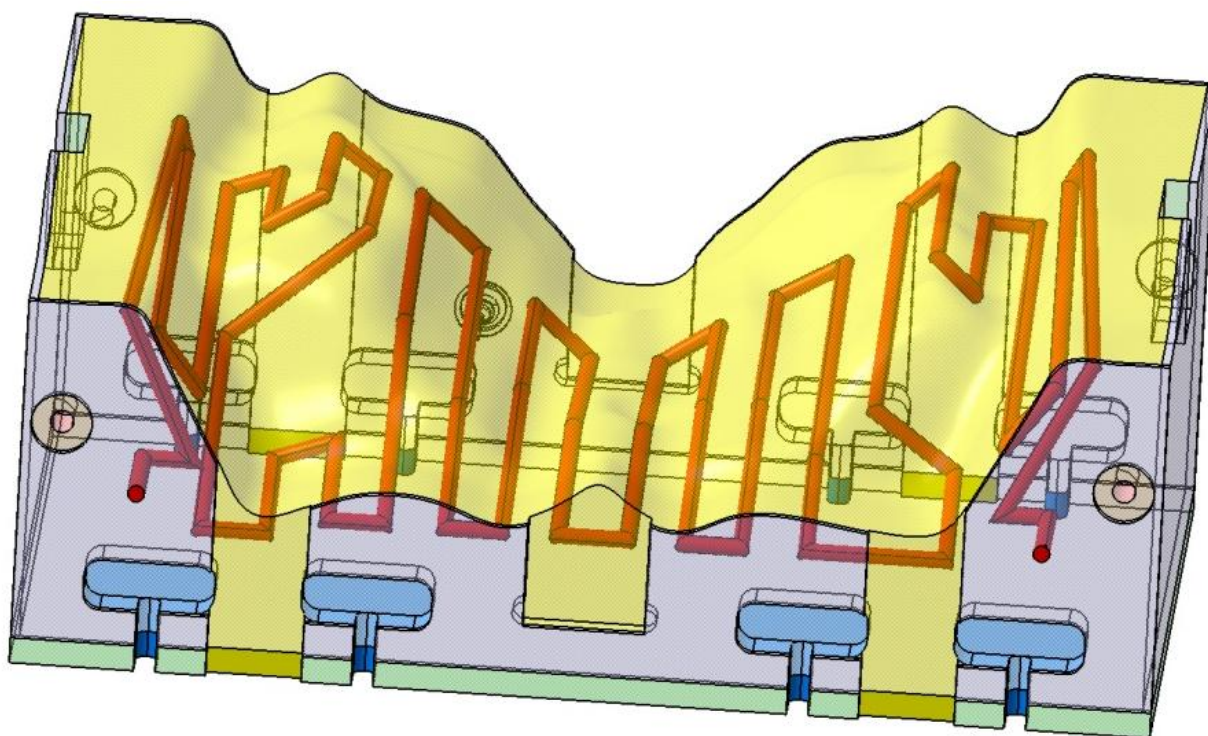


Obrázek 2-0-2 Spodní díl zjednodušený, varianta 2





Obrázek 2-0-3 Horní díl nezjednodušený, varianta 2



Obrázek 2-0-4 Horní díl zjednodušený, varianta 2

## **PŘÍLOHA č. 3**

### **Výsledky MKP analýzy - průběh jednotlivých časových kroků**

Na obrázcích v této příloze jsou zobrazeny obrázky spektrálního zobrazení v průběhu času natápění formy od počátku za teploty  $0^{\circ}\text{C}$  obrázek č. 3-0-1 po konečný stav v čase 5hod a teplotě téměř  $160^{\circ}\text{C}$  obrázek č. 3-0-37. Forma je na obrázcích zobrazena v řezu rovinou ZX.

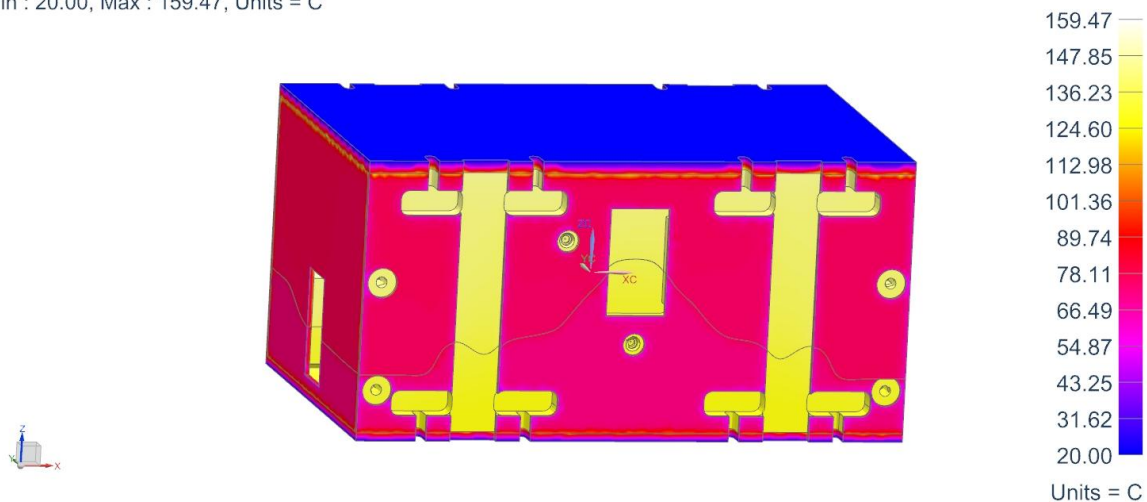
Průběh nahřívání formy byl rozdělen do 36 časových kroků, což je 5hod rozdělených po 8 minutách. Jednotlivé obrázky jsou vztažené k danému časovému kroku.

Z těchto obrázků je patrné, že největší nárůst teploty je v krocích 1 až 15. V časech od kroku 15 respektivě v čase 2hod až do konce časového úseku kroku 36 (5 hod), teplota formy stoupá po  $0,2^{\circ}\text{C}$ , tedy se natápí velmi pomalu.

Dále je z obrázků MKP analýzy patrné, že se spodní část formy vyhřeje na požadovanou teplotu  $120^{\circ}\text{C}$  dříve než horní část formy, která se vyhřívá na teplotu  $160^{\circ}\text{C}$ . Spodní část formy je vyhřátá na požadovanou teplotu  $120^{\circ}\text{C}$  a to v časovém kroku č. 12 což je za 1 hod a 35 min.

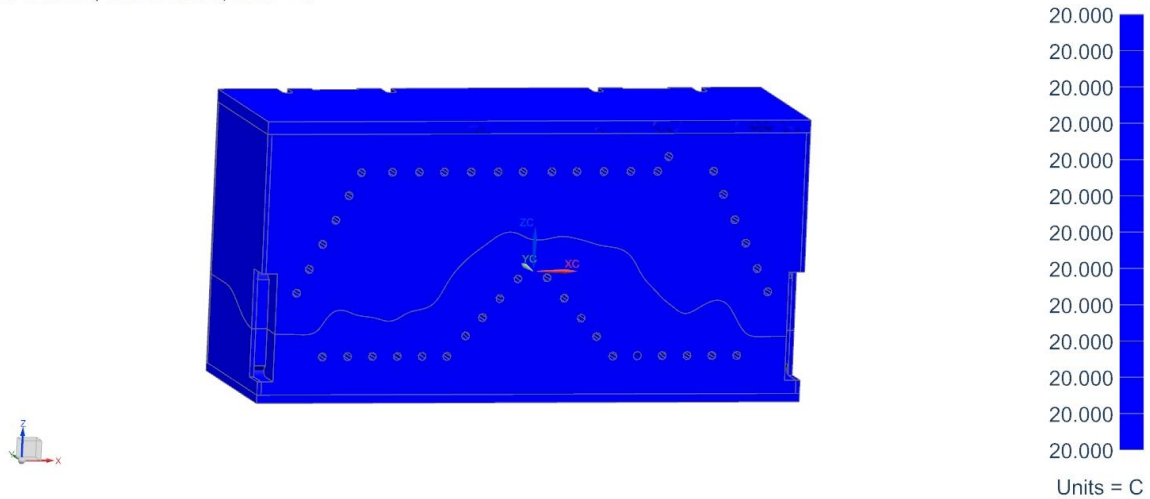
Pro rychlejší nahřívání celé formy, zvláště horní části formy, která se nahřívá poměrně dlouho v porovnání se spodní částí formy. Bych doporučila větší natápěcí teplotu topného média v tomto případě oleje, např. pro horní část formy  $200^{\circ}\text{C}$  a pro spodní část formy bych nechala zvolenou teplotu, která je dostačující. Příslušné teploty oleje  $120^{\circ}\text{C}$  a  $160^{\circ}\text{C}$  by bylo dobré nechat jen na udržení teploty nástroje. Takto nakonstruované temperační okruhy jsou dostačující nejen pro vyhřátí formy, ale i pro udržování formy na požadovaných teplotách.

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 36, Time = 1.800e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 159.47, Units = C



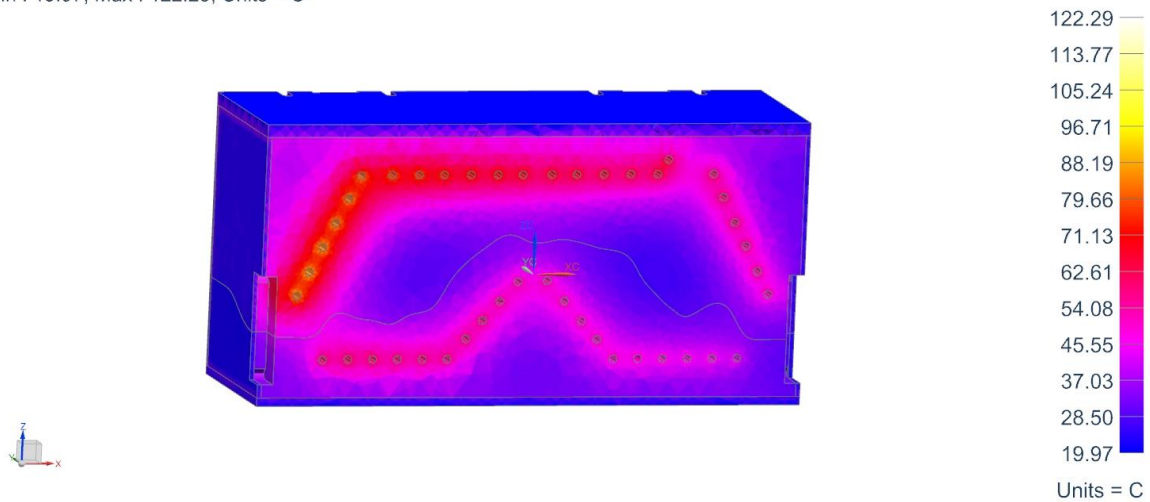
**Obrázek 3-0-1 spektrální zobrazení celé formy v čase 5 hod**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 1, Time = 0.000e+000 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.000, Max : 20.000, Units = C



**Obrázek 3-0-2 spektrální zobrazení formy v čase 0, počáteční stav**

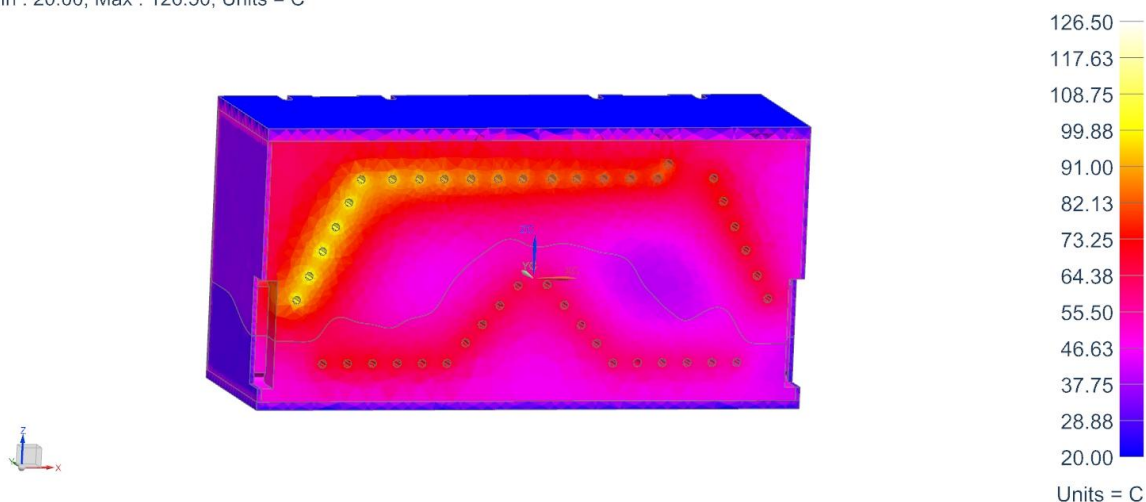
5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 2, Time = 5.143e+002 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 19.97, Max : 122.29, Units = C



**Obrázek 3-0-3 spektrální zobrazení formy za 9 min nahřívání**

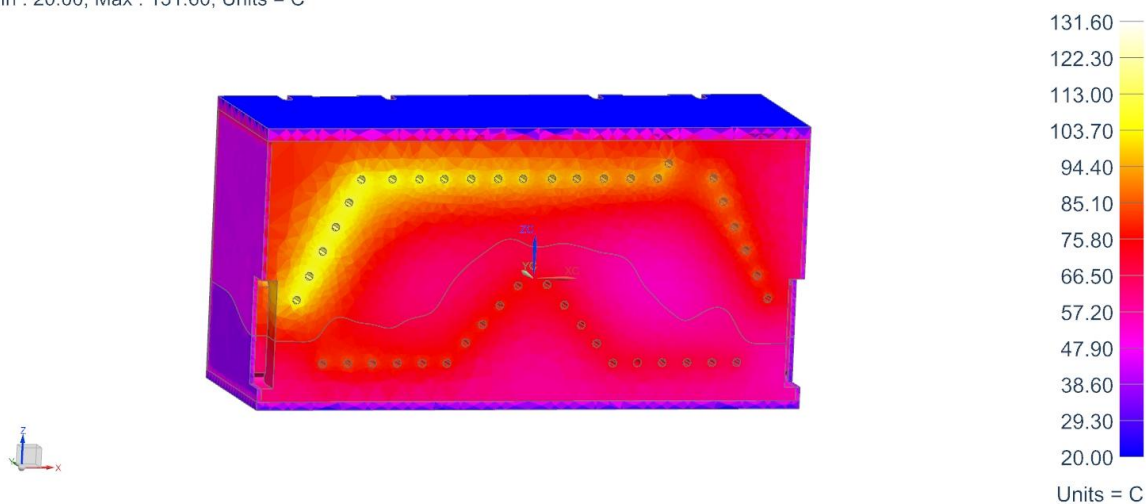


5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 3, Time = 1.029e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 126.50, Units = C



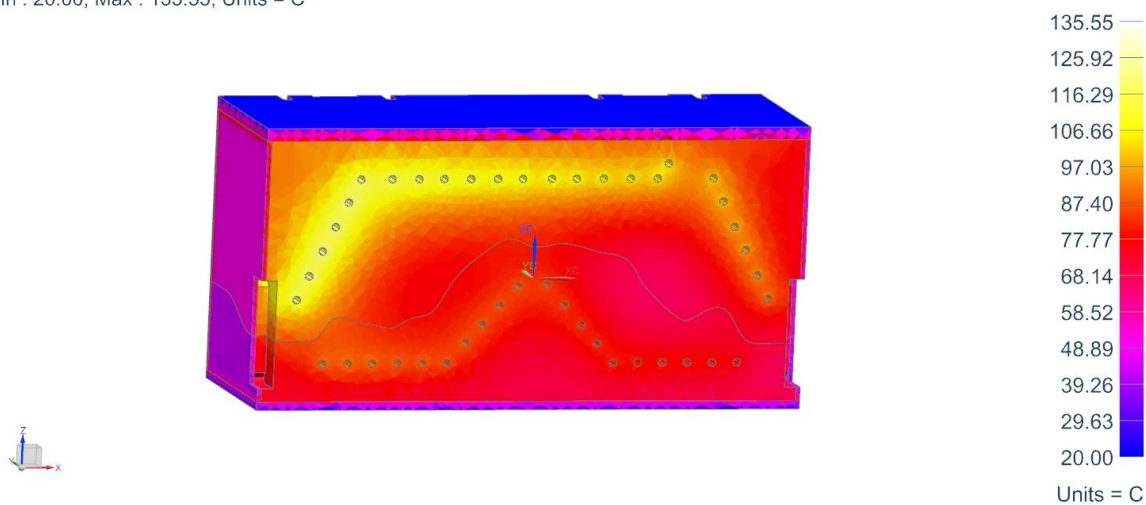
**Obrázek 3-0-4 spektrální zobrazení formy za 16 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 4, Time = 1.543e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 131.60, Units = C



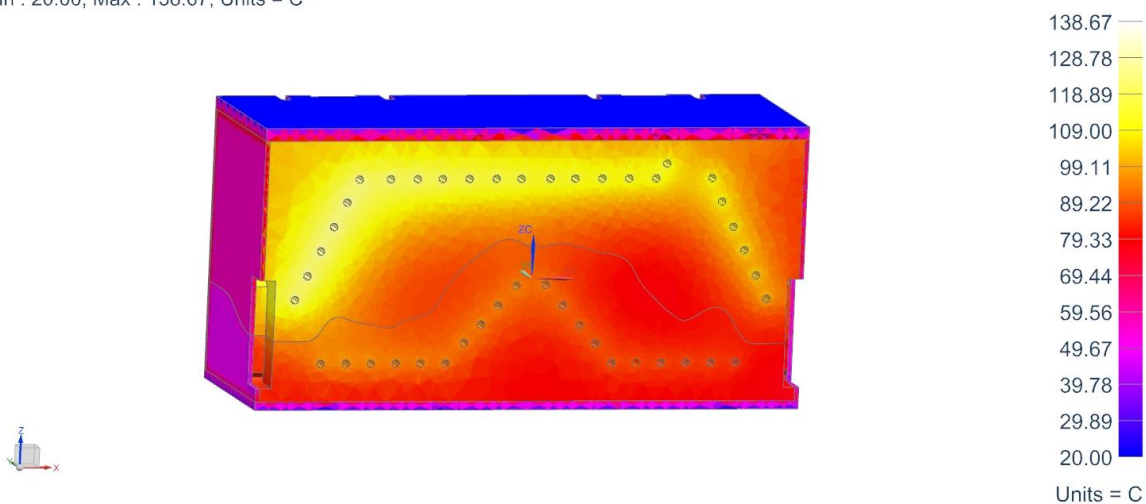
**Obrázek 3-0-5 spektrální zobrazení formy za 26 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 5, Time = 2.057e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 135.55, Units = C



**Obrázek 3-0-6 spektrální zobrazení formy za 35 min nahřívání**

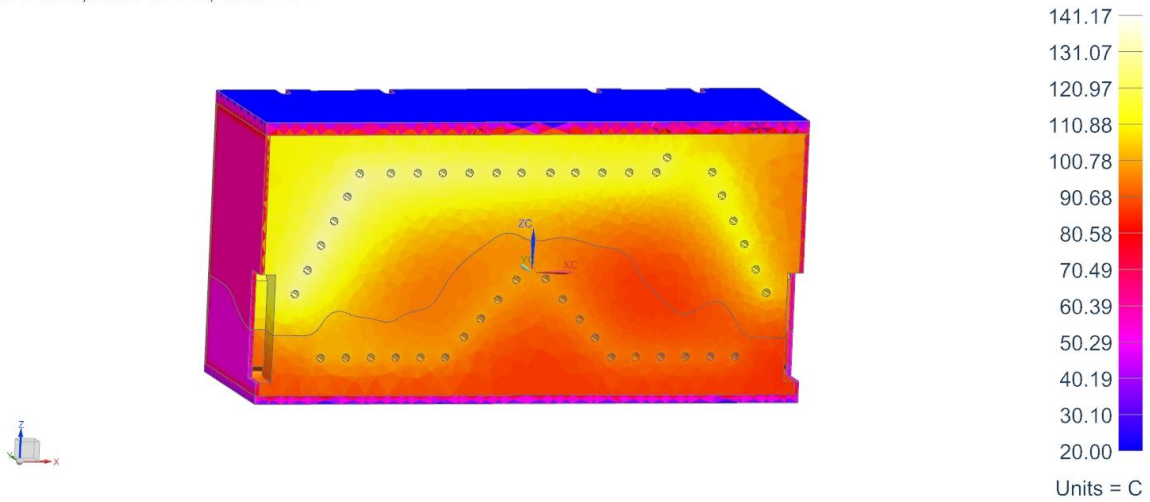
5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 6, Time = 2.571e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 138.67, Units = C



**Obrázek 3-0-7 spektrální zobrazení formy za 43 min nahřívání**

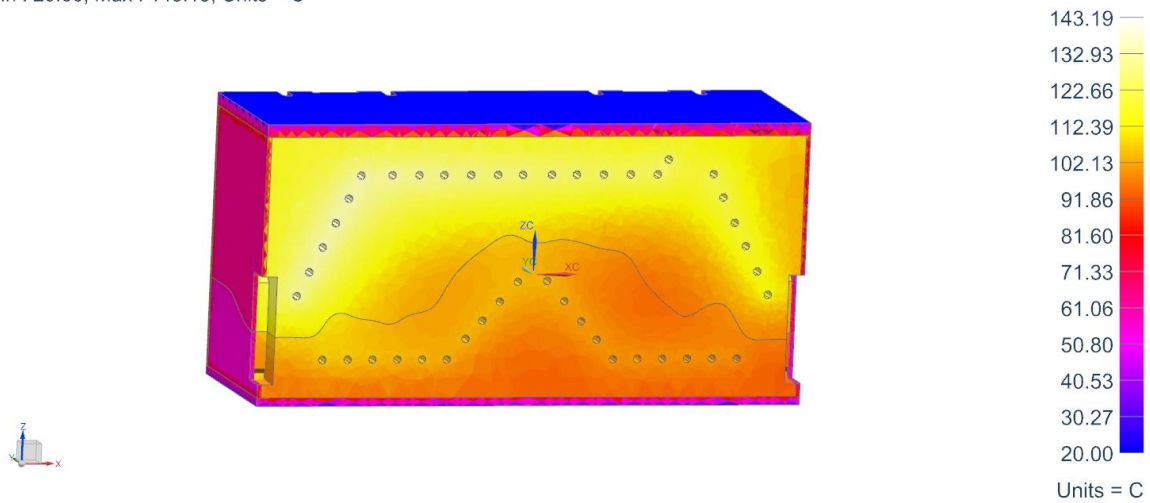


5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 7, Time = 3.086e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 141.17, Units = C



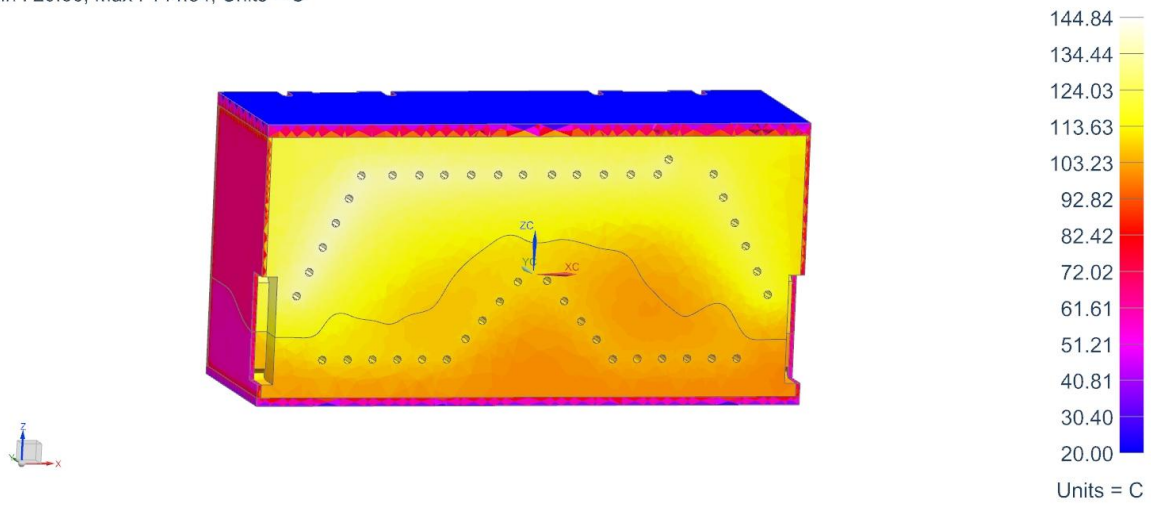
**Obrázek 3-0-8 spektrální zobrazení formy za 52 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 8, Time = 3.600e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 143.19, Units = C



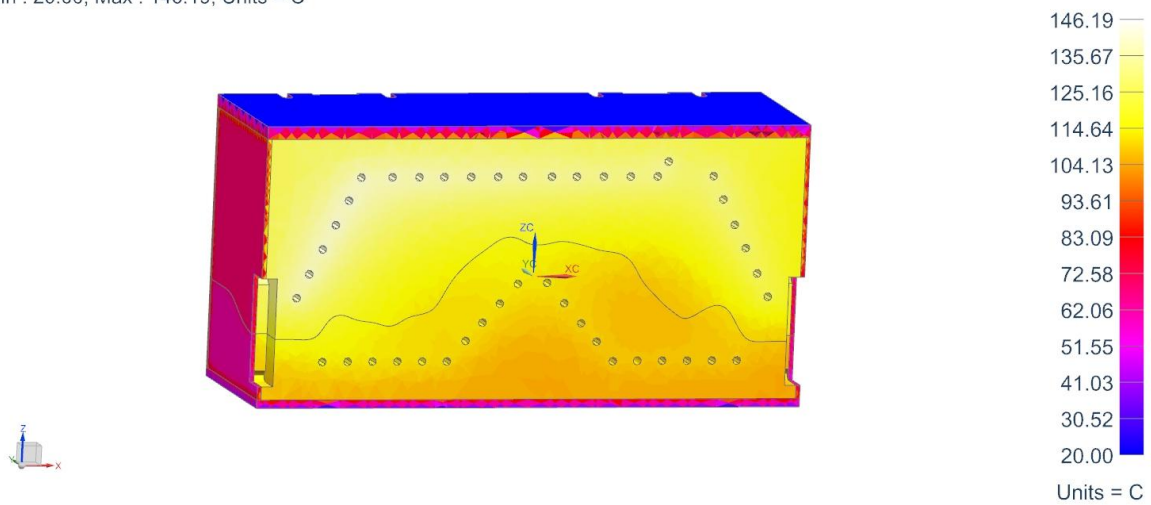
**Obrázek 3-0-9 spektrální zobrazení formy za 1 hod nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 9, Time = 4.114e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 144.84, Units = C



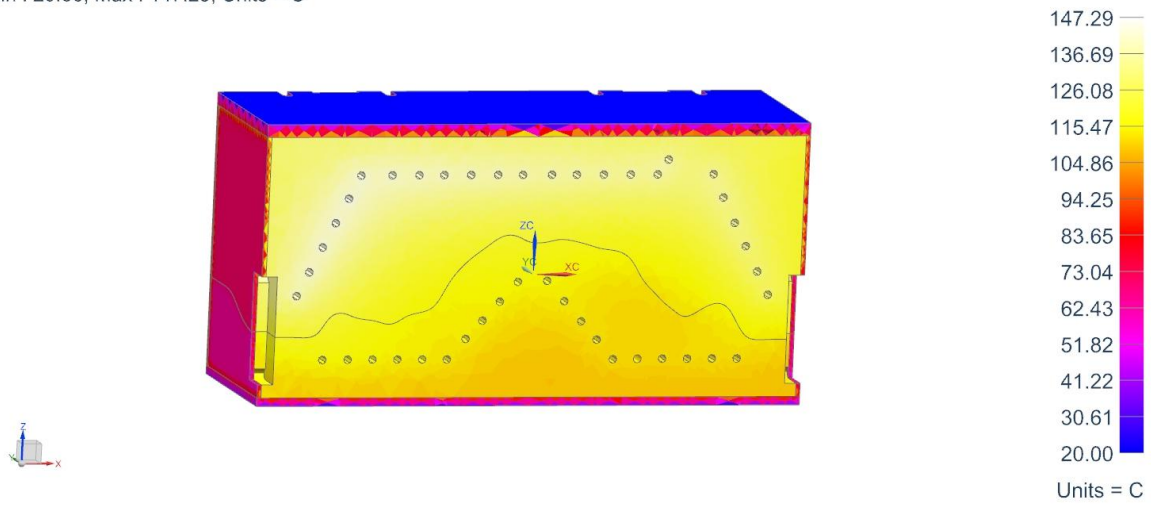
**Obrázek 3-0-10 spektrální zobrazení formy za 1 hod a 9 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 10, Time = 4.629e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 146.19, Units = C



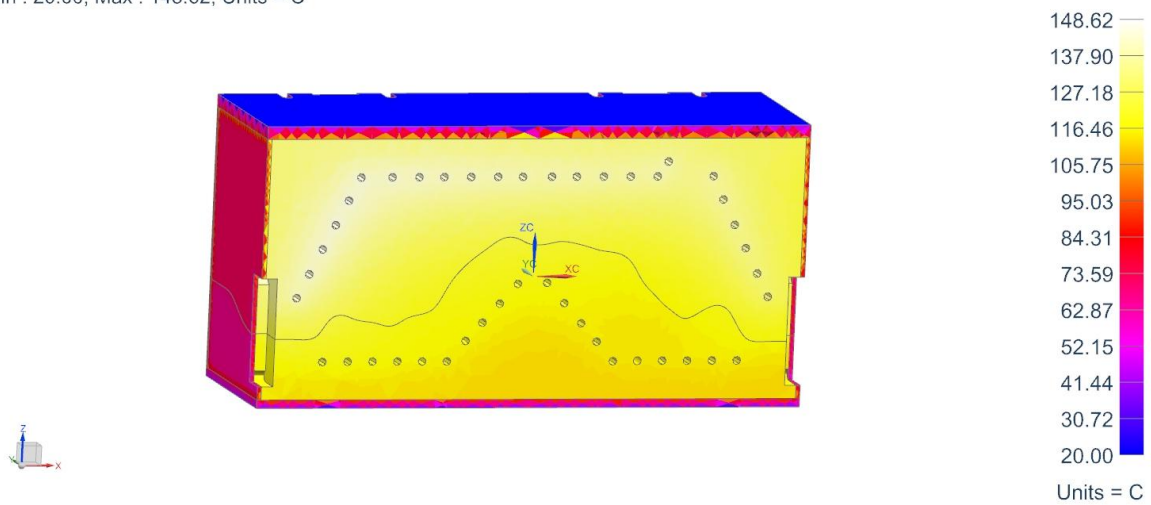
**Obrázek 3-0-11 spektrální zobrazení formy za 1 hod a 18 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 11, Time = 5.143e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 147.29, Units = C



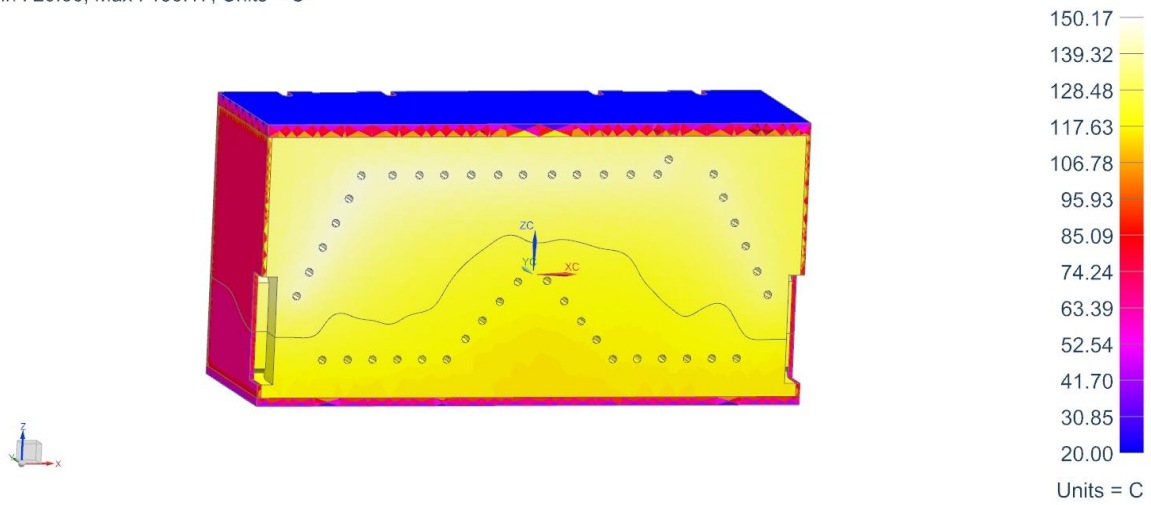
**Obrázek 3-0-12 spektrální zobrazení formy za 1 hod a 26 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 12, Time = 5.657e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 148.62, Units = C



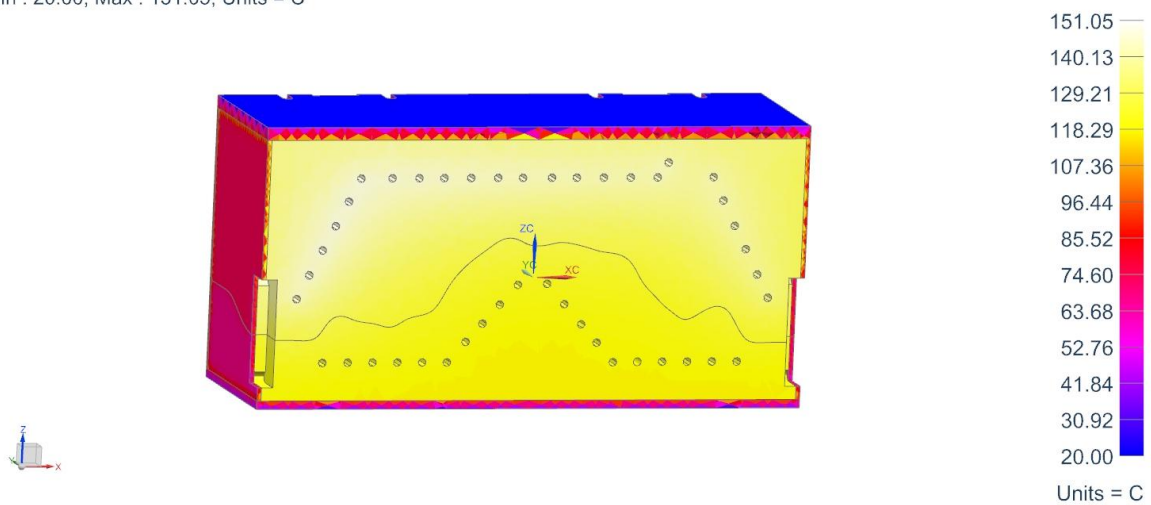
**Obrázek 3-0-13 spektrální zobrazení formy za 1 hod a 35 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 13, Time = 6.171e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 150.17, Units = C



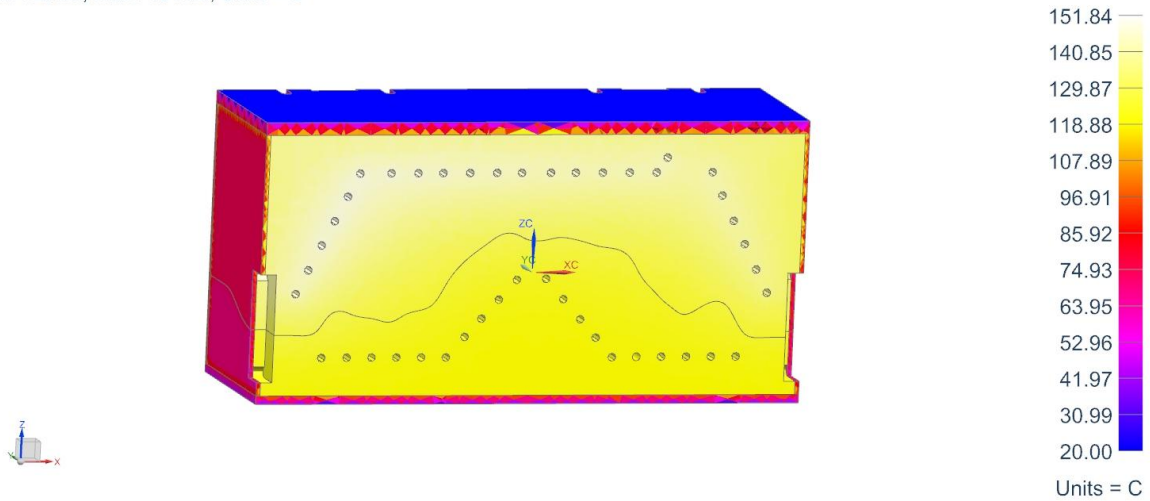
**Obrázek 3-0-14 spektrální zobrazení formy za 1 hod a 43 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 14, Time = 6.686e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 151.05, Units = C



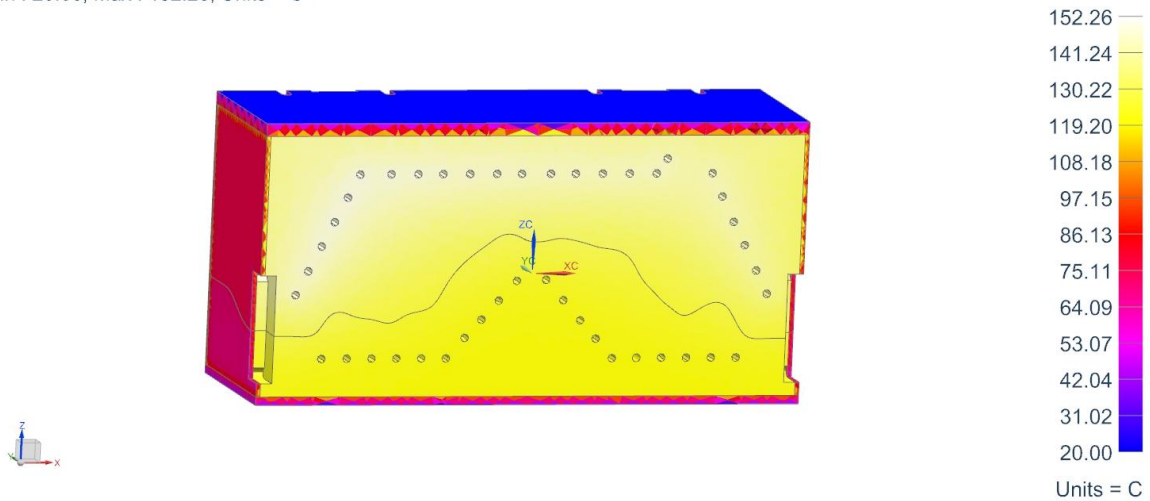
**Obrázek 3-0-15 spektrální zobrazení formy za 1 hod a 52 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 15, Time = 7.200e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 151.84, Units = C



**Obrázek 3-0-16 spektrální zobrazení formy za 2 hod nahřívání**

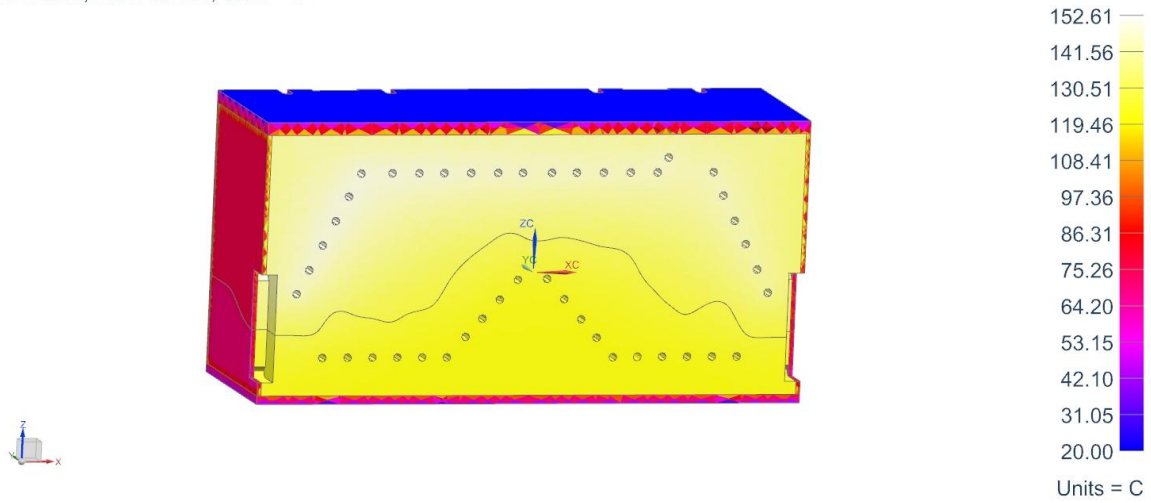
5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 16, Time = 7.714e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 152.26, Units = C



**Obrázek 3-0-17 spektrální zobrazení formy za 2 hod a 9 min nahřívání**

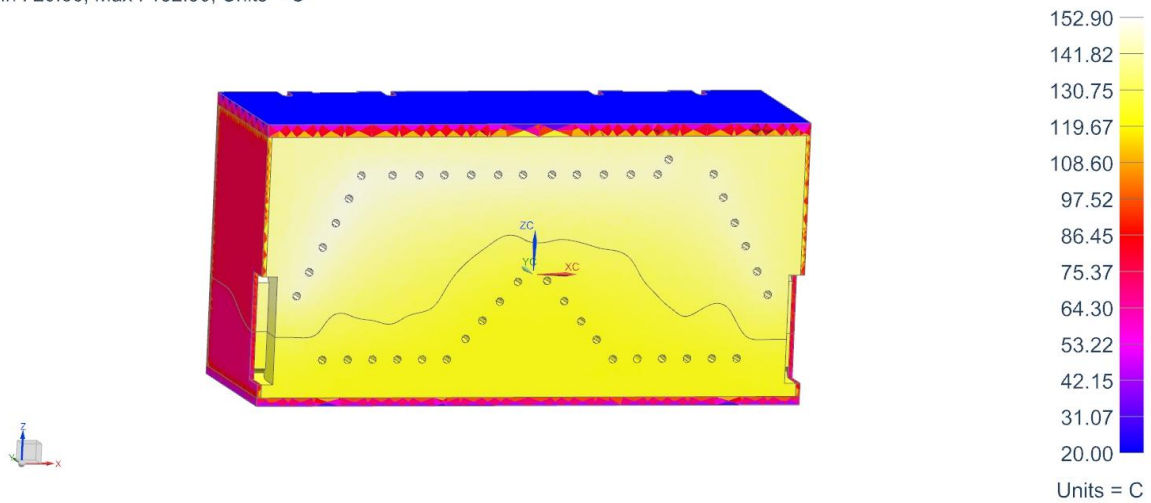


5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 17, Time = 8.229e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 152.61, Units = C



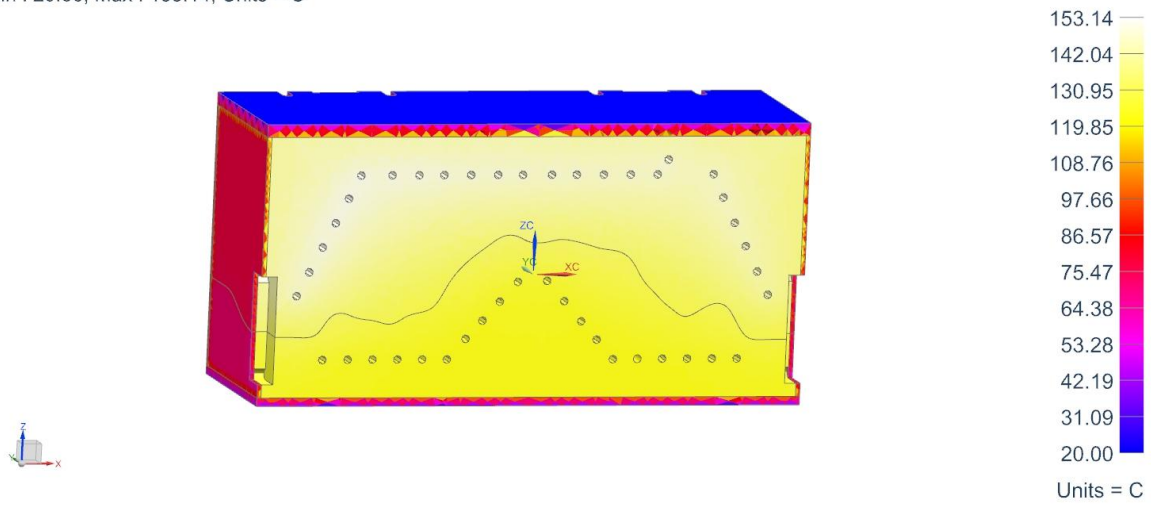
**Obrázek 3-0-18 spektrální zobrazení formy za 2 hod a 18 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 18, Time = 8.743e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 152.90, Units = C



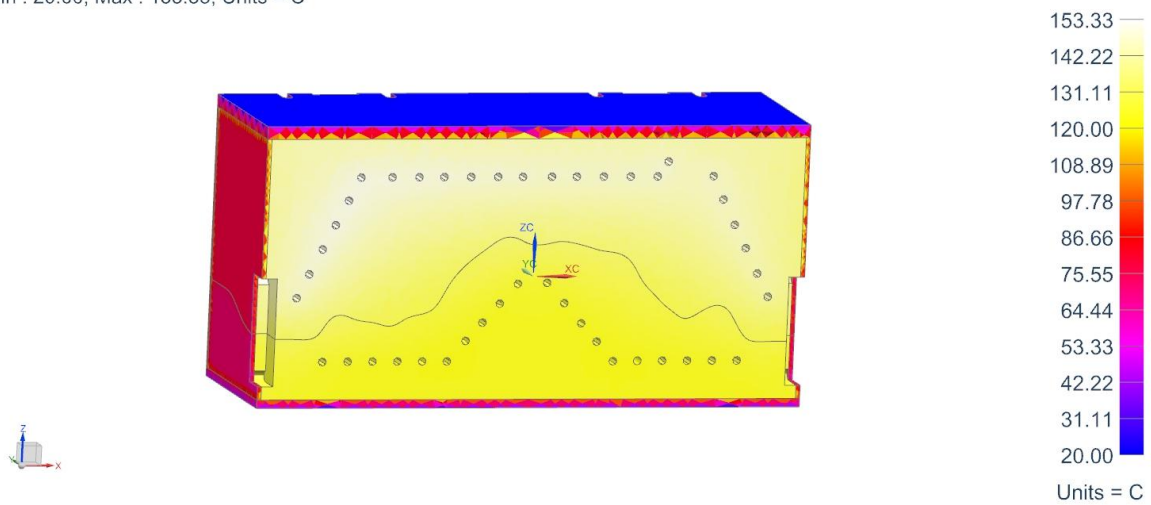
**Obrázek 3-0-19 spektrální zobrazení formy za 2 hod a 26 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 19, Time = 9.257e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.14, Units = C



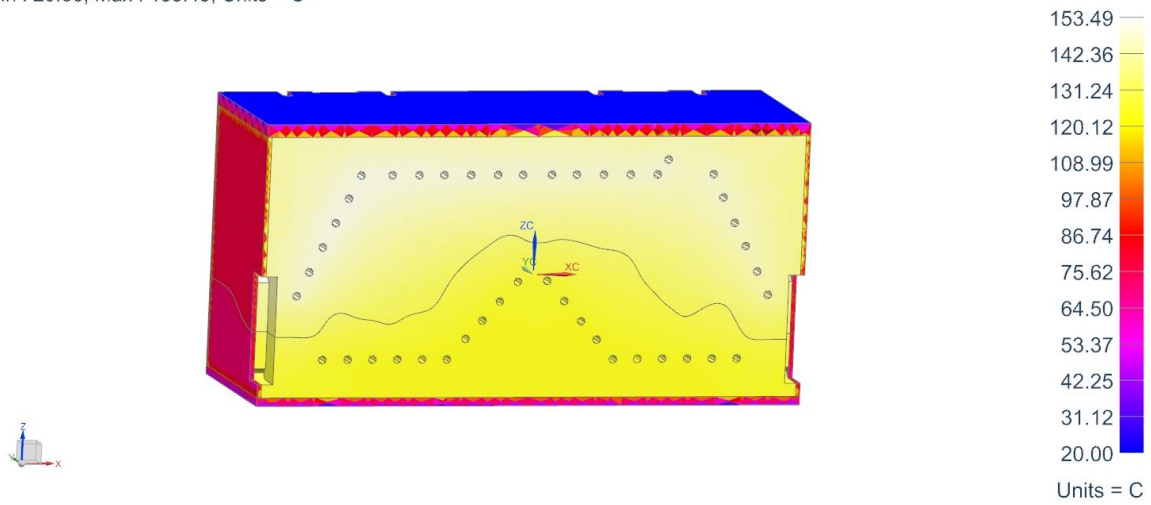
**Obrázek 3-0-20 spektrální zobrazení formy za 2 hod a 35 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 20, Time = 9.771e+003 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.33, Units = C



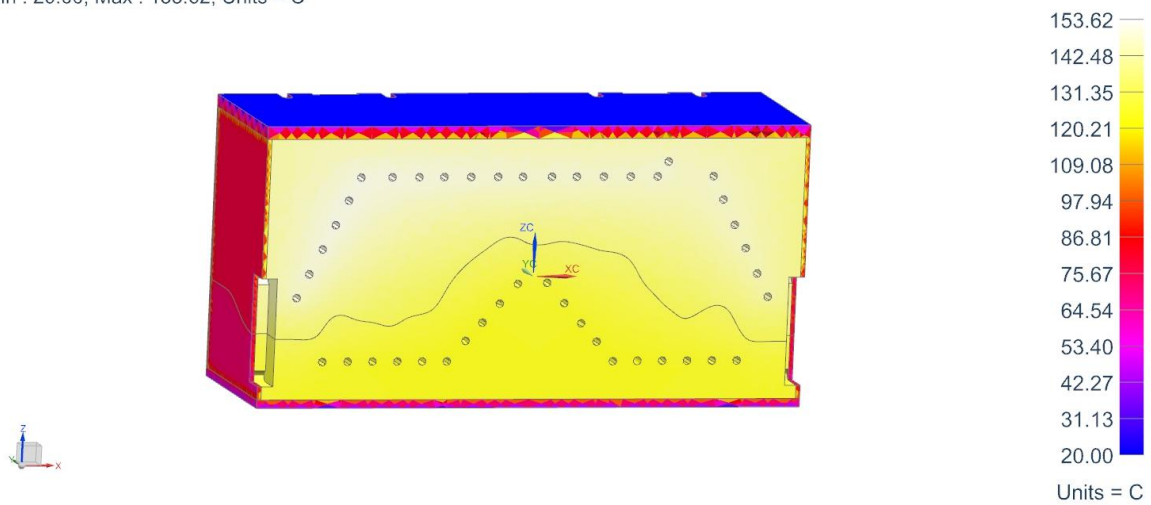
**Obrázek 0-21 spektrální zobrazení formy za 2 hod a 43 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 21, Time = 1.029e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.49, Units = C



**Obrázek 3-0-22 spektrální zobrazení formy za 2 hod a 52 min nahřívání**

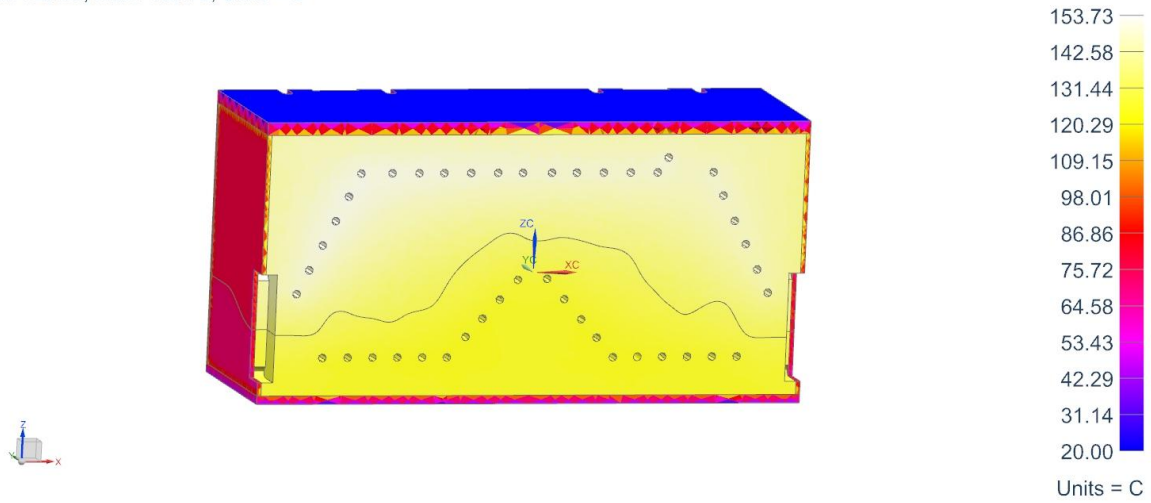
5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 22, Time = 1.080e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.62, Units = C



**Obrázek 3-0-23 spektrální zobrazení formy za 3 hod nahřívání**

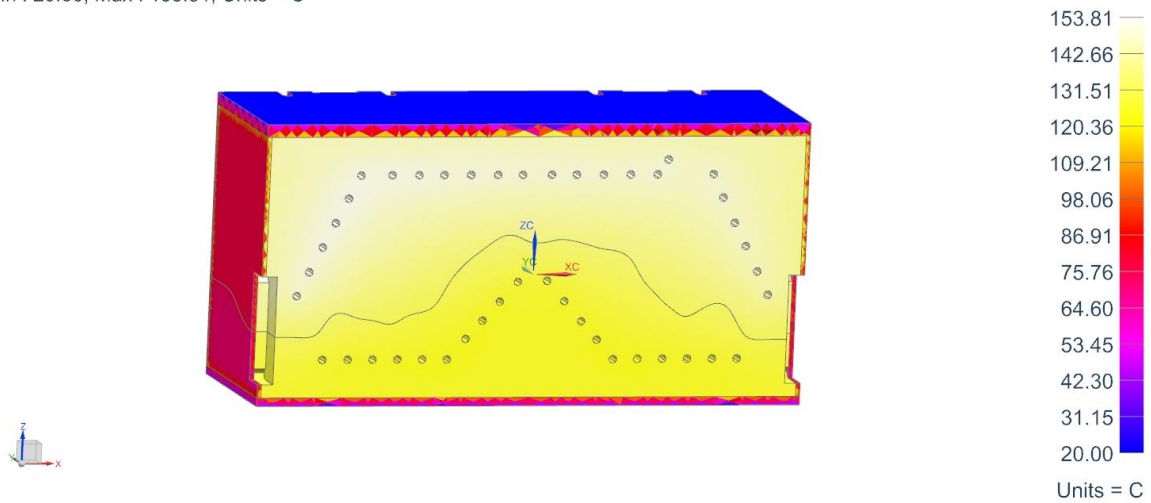


5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 23, Time = 1.131e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.73, Units = C



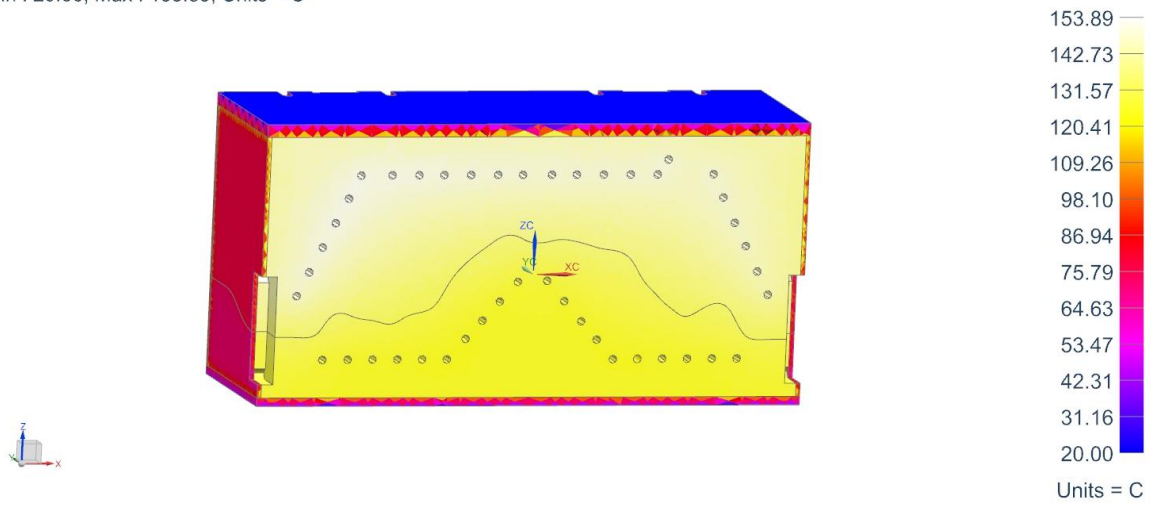
**Obrázek 3-0-24 spektrální zobrazení formy za 3 hod a 9 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 24, Time = 1.183e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.81, Units = C



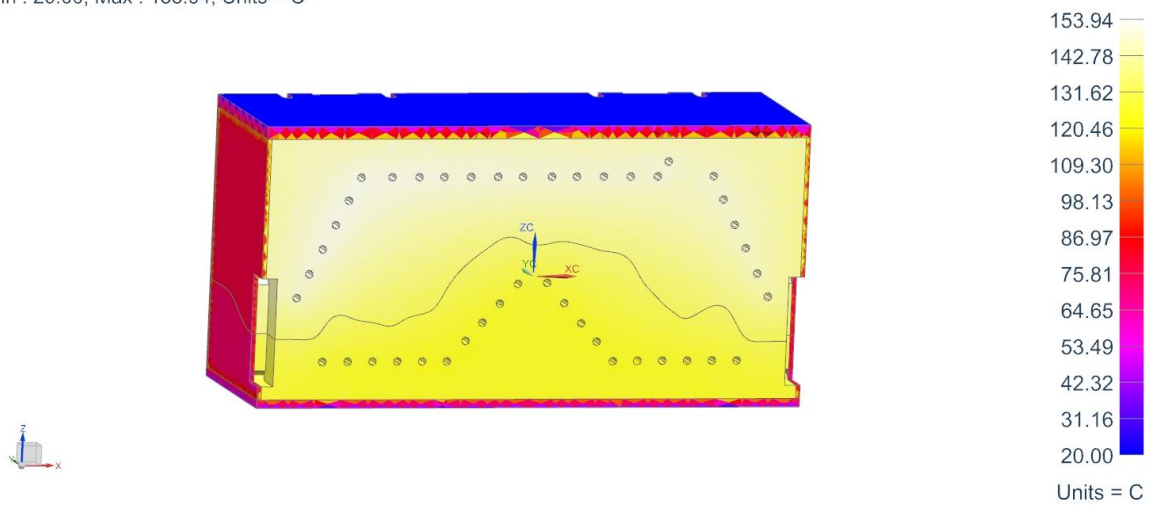
**Obrázek 3-0-25 spektrální zobrazení formy za 3 hod a 18 min nahřívání**

5607\_sestava\_AIICATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 25, Time = 1.234e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.89, Units = C



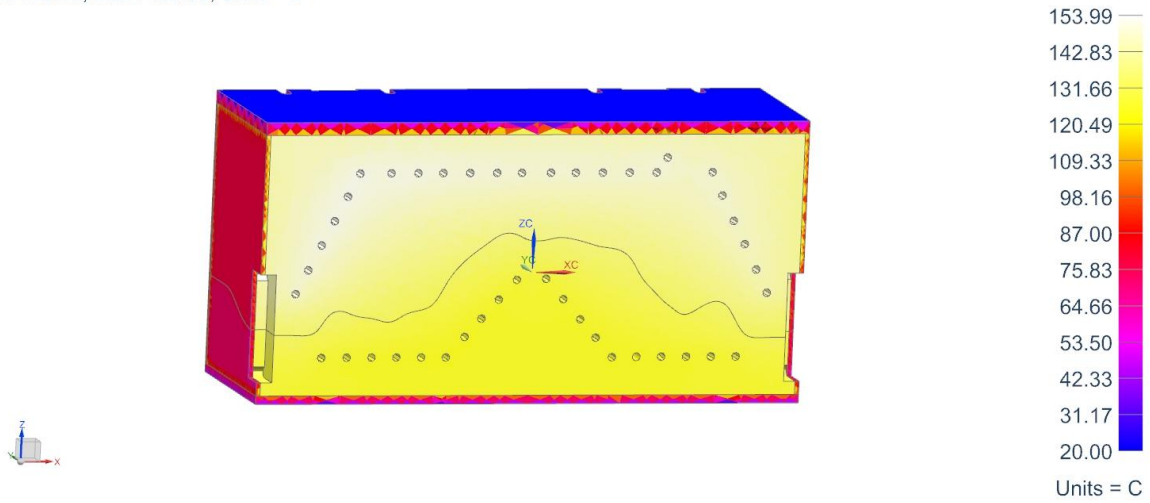
**Obrázek 3-0-26 spektrální zobrazení formy za 3 hod a 26 min nahřívání**

5607\_sestava\_AIICATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 26, Time = 1.286e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.94, Units = C



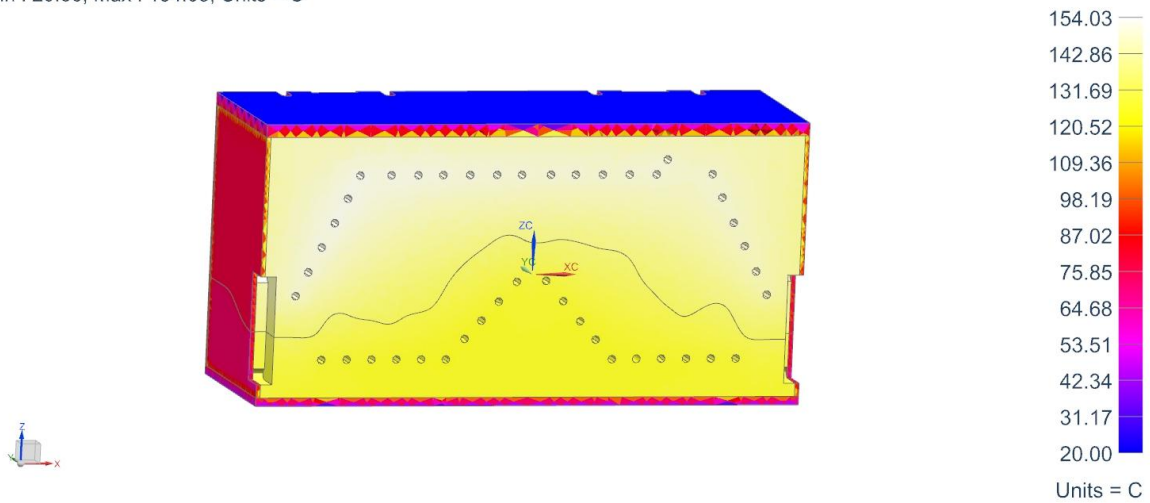
**Obrázek 3-0-27 spektrální zobrazení formy za 3 hod a 35 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 27, Time = 1.337e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 153.99, Units = C



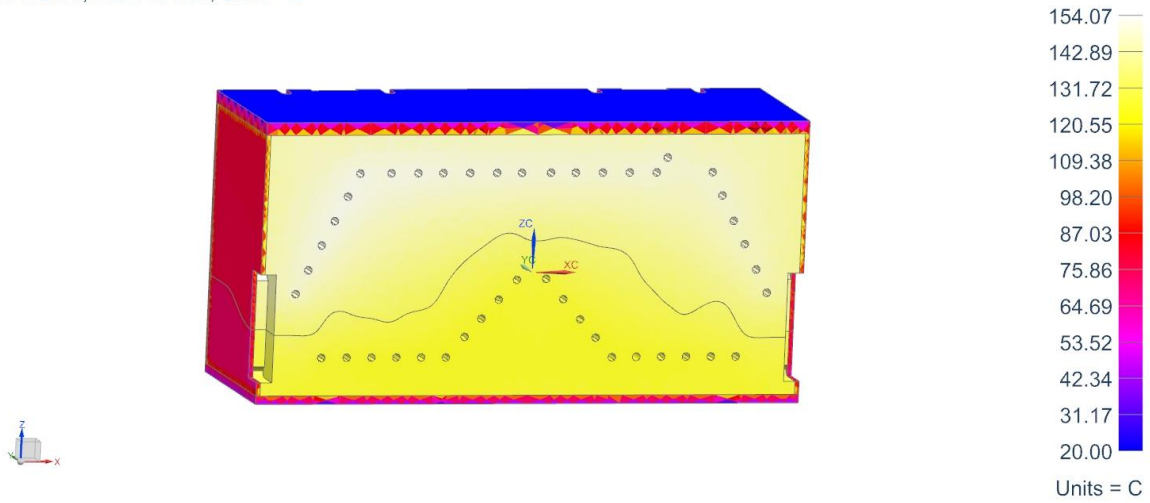
**Obrázek 3-0-28 spektrální zobrazení formy za 3 hod a 43 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 28, Time = 1.389e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.03, Units = C



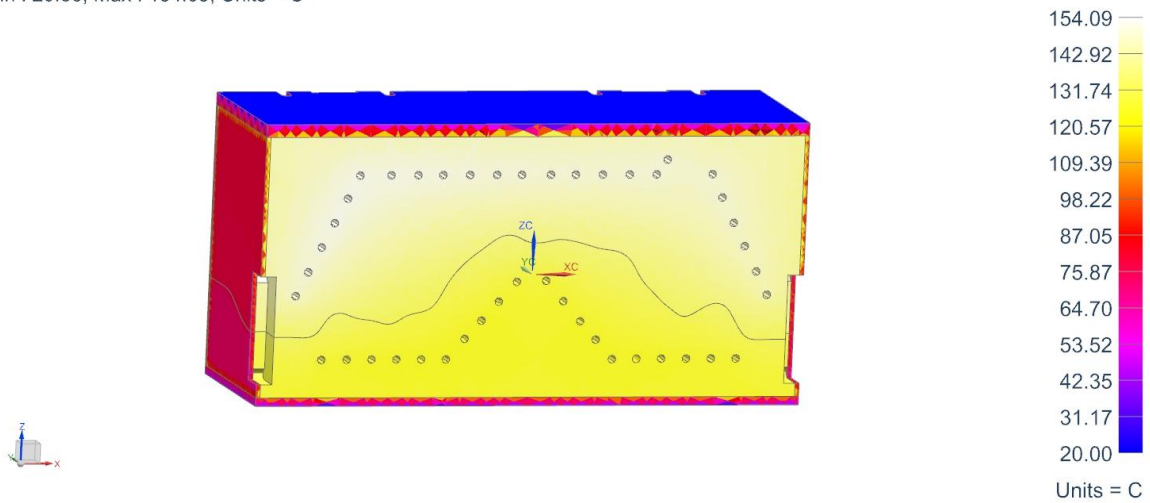
**Obrázek 3-0-29 spektrální zobrazení formy za 3 hod a 52 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 29, Time = 1.440e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.07, Units = C



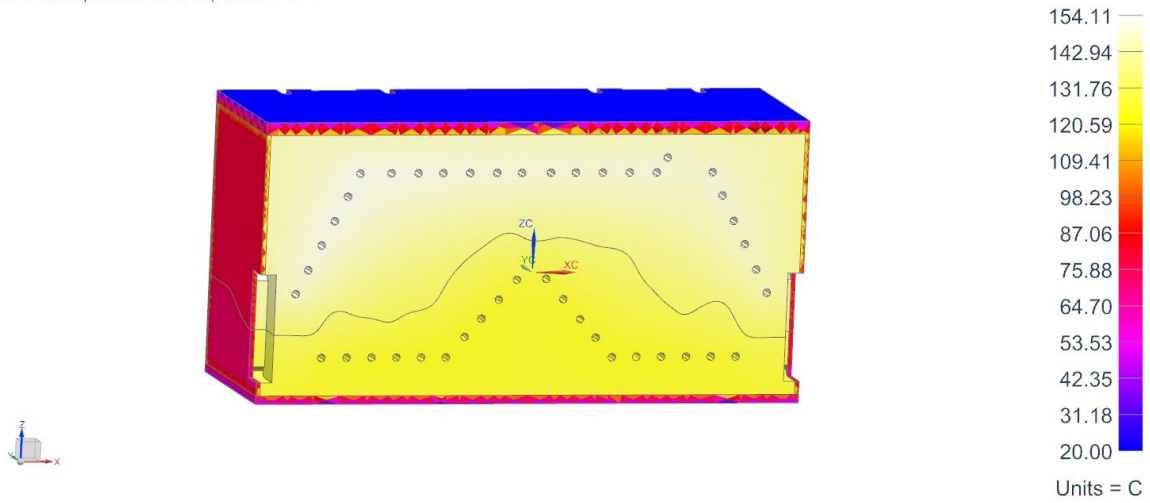
**Obrázek 3-0-30** spektrální zobrazení formy za 4 hod nahřívání

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 30, Time = 1.491e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.09, Units = C



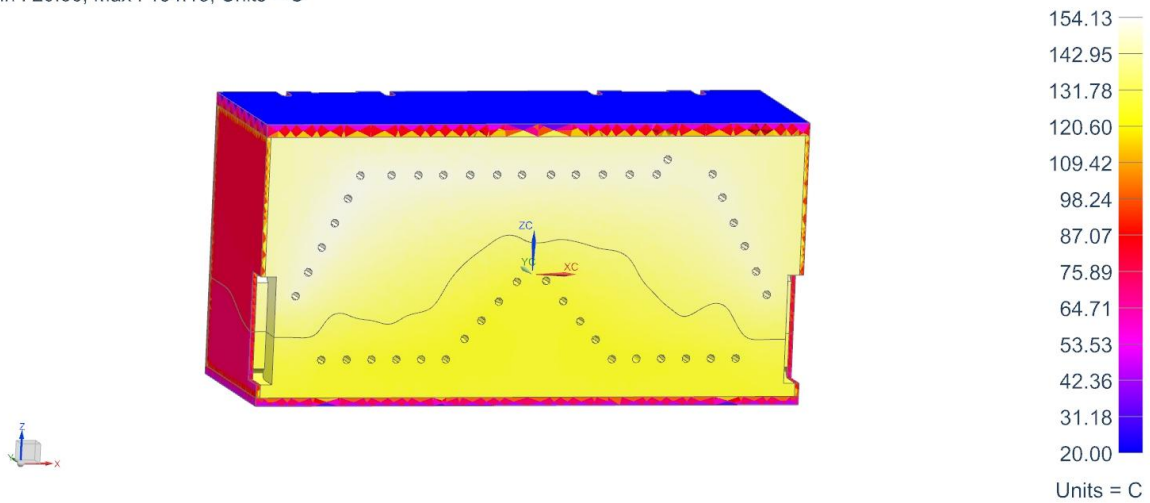
**Obrázek 3-0-31** spektrální zobrazení formy za 4 hod a 9 min nahřívání

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 31, Time = 1.543e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.11, Units = C



**Obrázek 3-0-32 spektrální zobrazení formy za 4 hod a 18 min nahřívání**

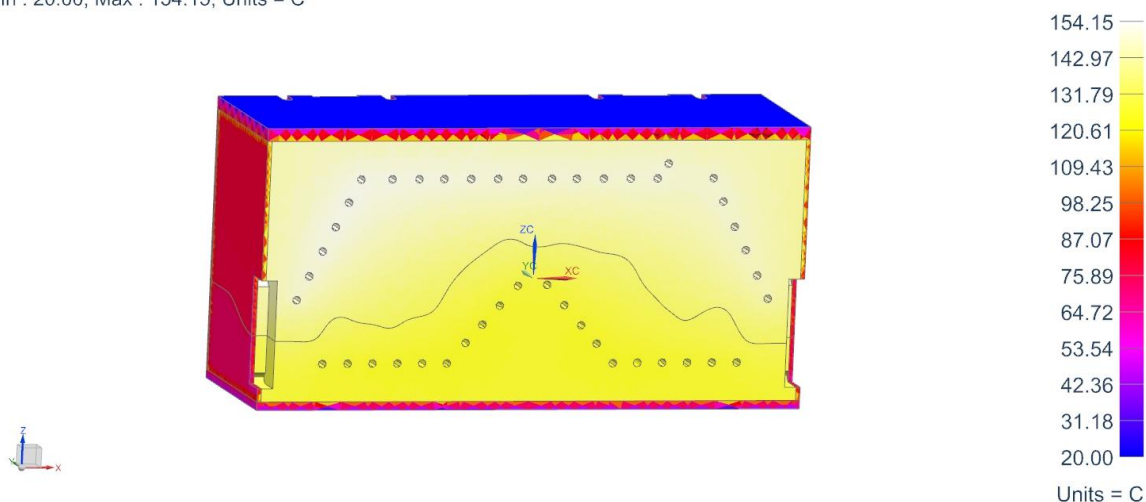
5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 32, Time = 1.594e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.13, Units = C



**Obrázek 3-0-33 spektrální zobrazení formy za 4 hod a 26 min nahřívání**

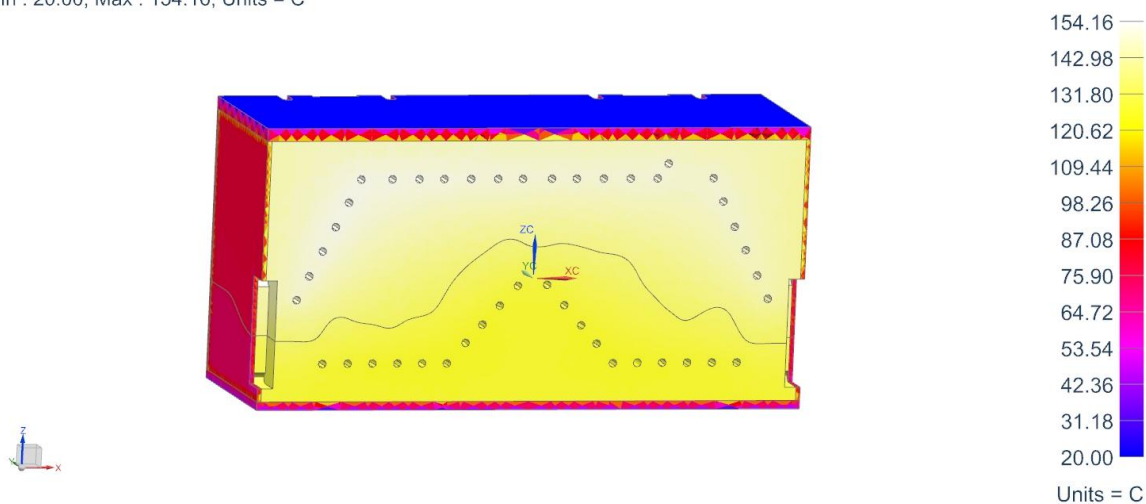


5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 33, Time = 1.646e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.15, Units = C



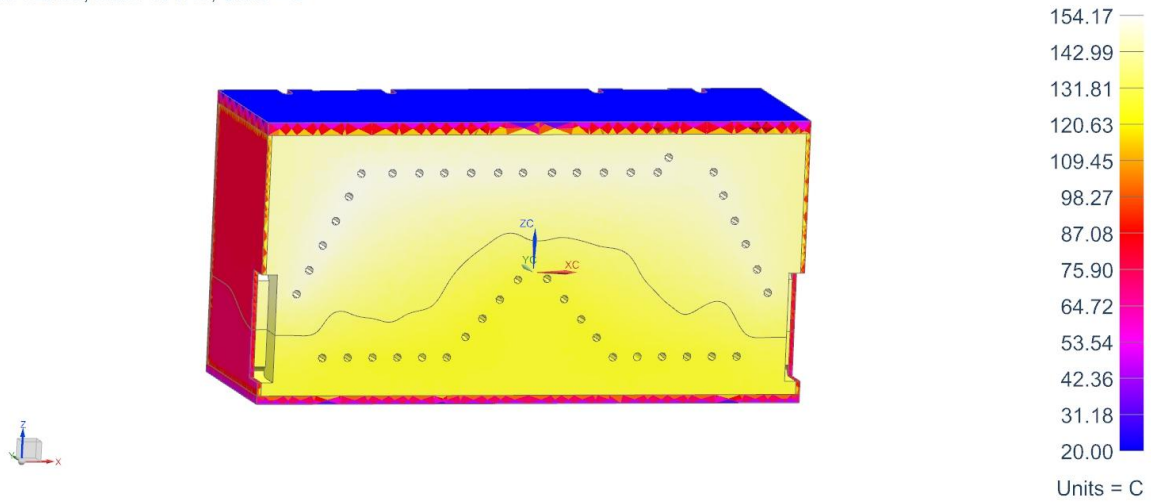
**Obrázek 3-0-34 spektrální zobrazení formy za 4 hod a 35 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 34, Time = 1.697e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.16, Units = C



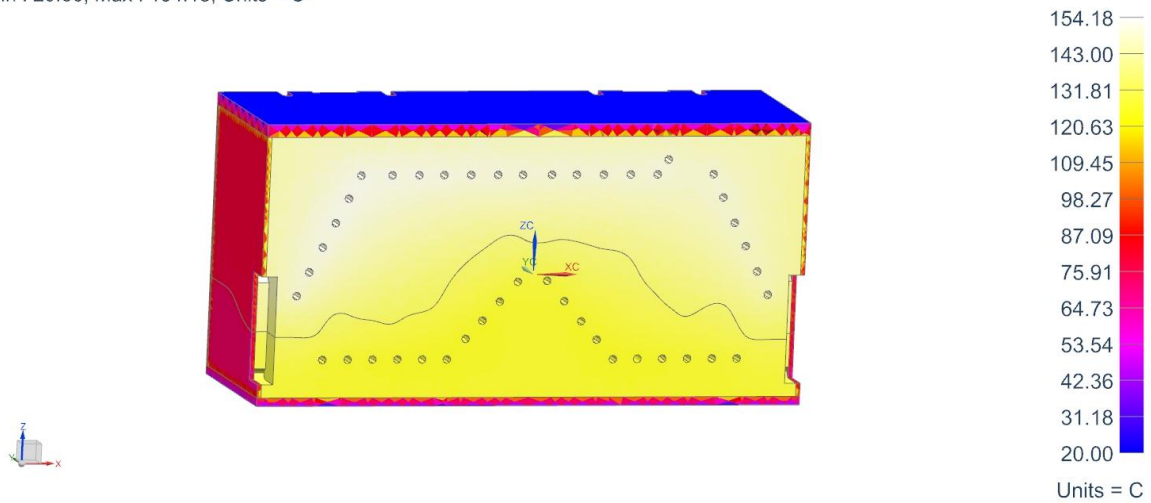
**Obrázek 3-0-35 spektrální zobrazení formy za 4 hod a 43 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 35, Time = 1.749e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.17, Units = C



**Obrázek 3-0-36 spektrální zobrazení formy za 4 hod a 52 min nahřívání**

5607\_sestava\_AllCATPart\_27\_02\_2014\_stp\_sim1 : Transientni Result  
Load Case 1, Increment 36, Time = 1.800e+004 s  
Temperature - Nodal, Scalar  
Min : 20.00, Max : 154.18, Units = C



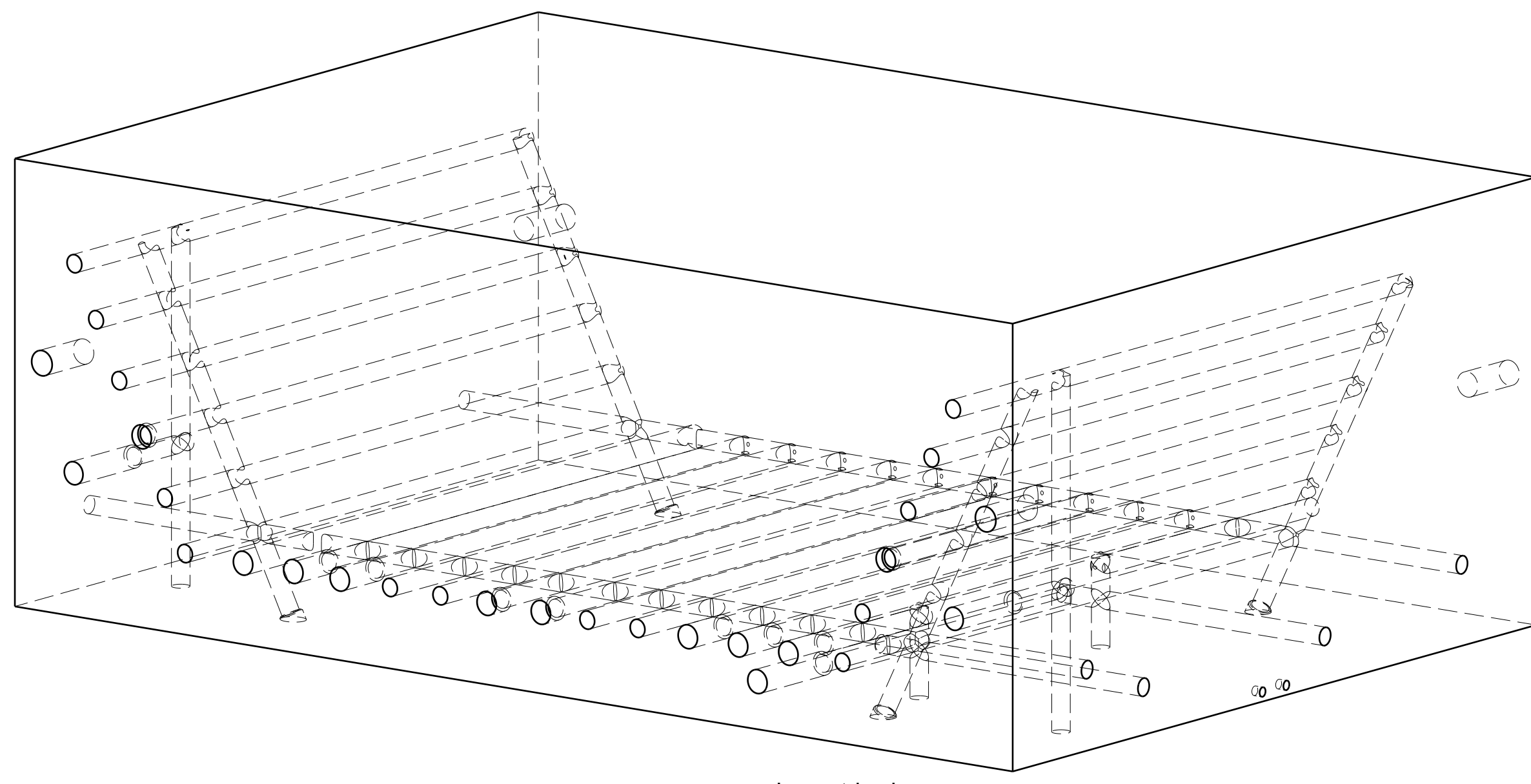
**Obrázek 3-0-37 spektrální zobrazení formy za 5 hod nahřívání, konečný stav**



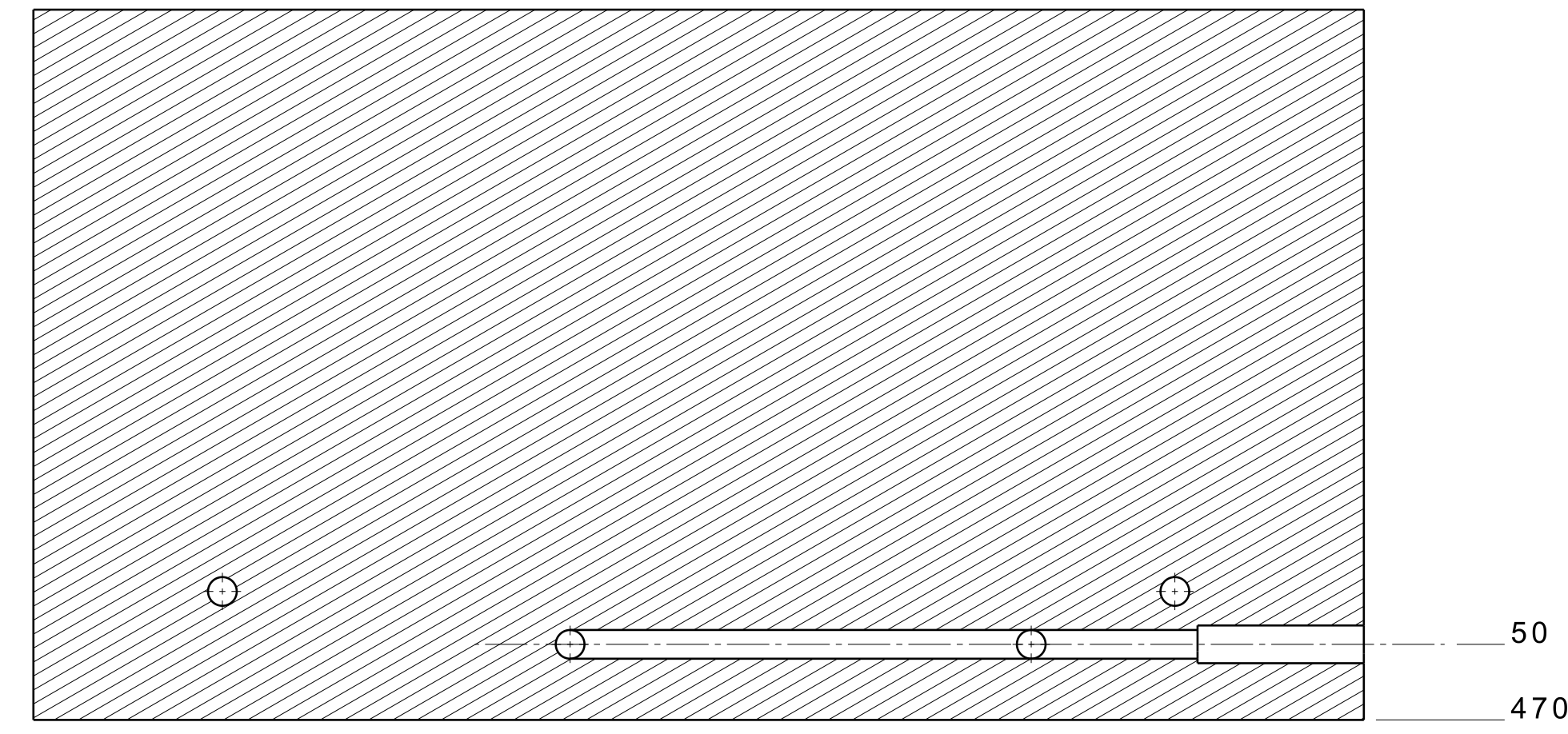




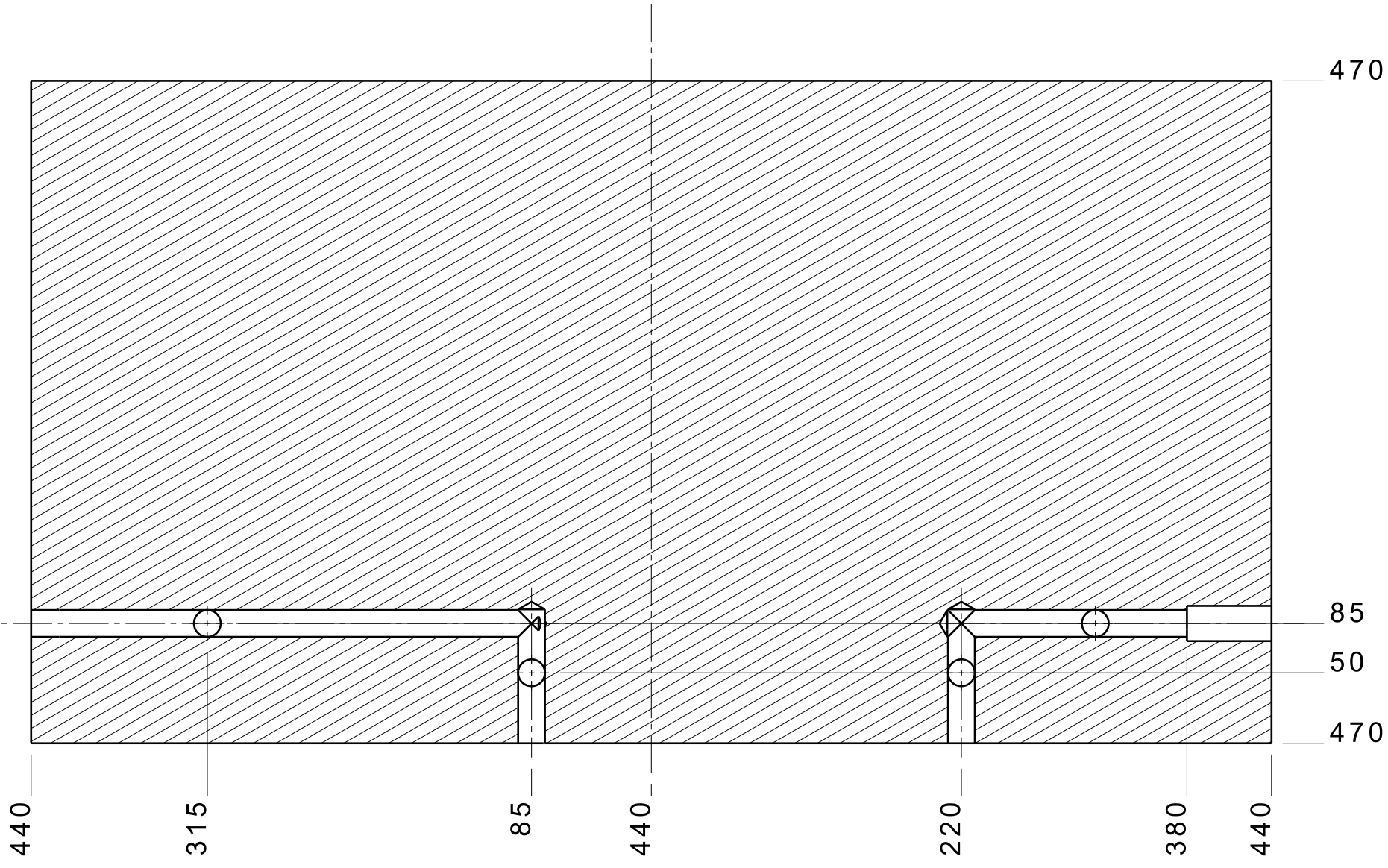
12,5 (V)



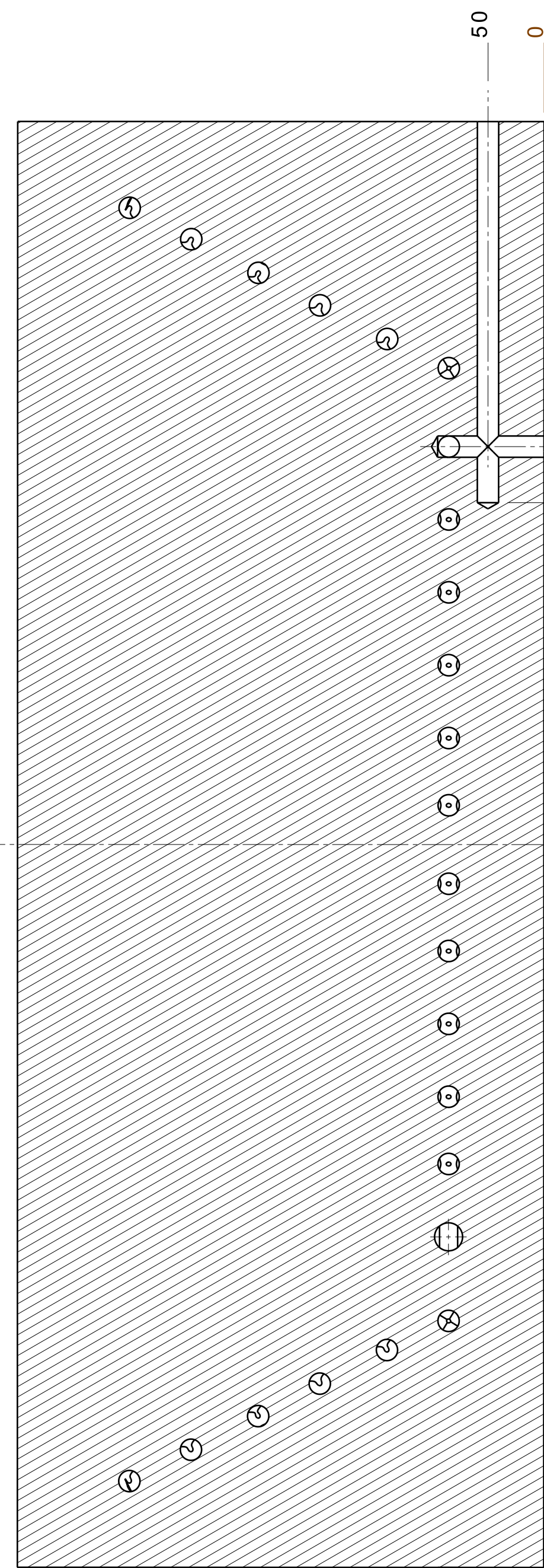
Isometric view  
Scale: 1:5



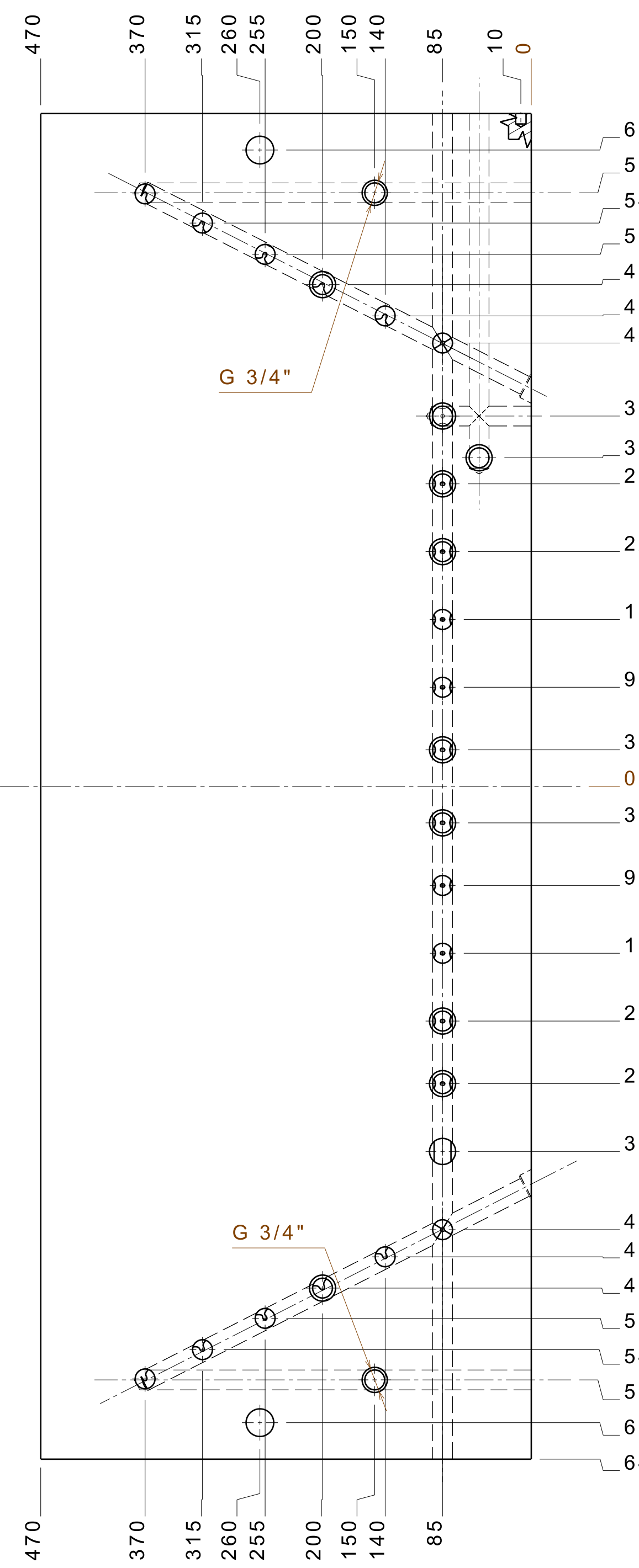
Section view D-D  
Scale: 1:4



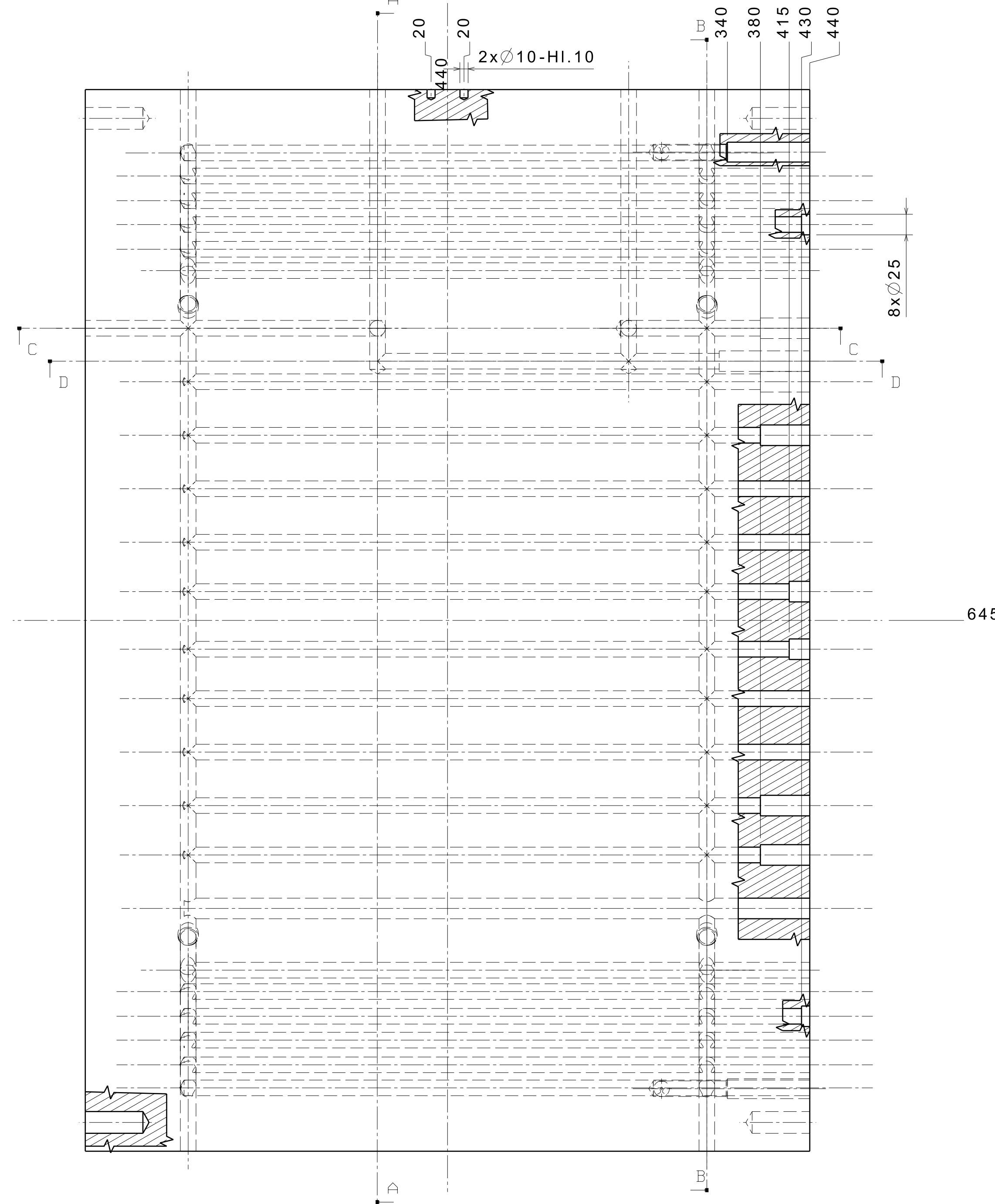
Section view C-C  
Scale: 1:4



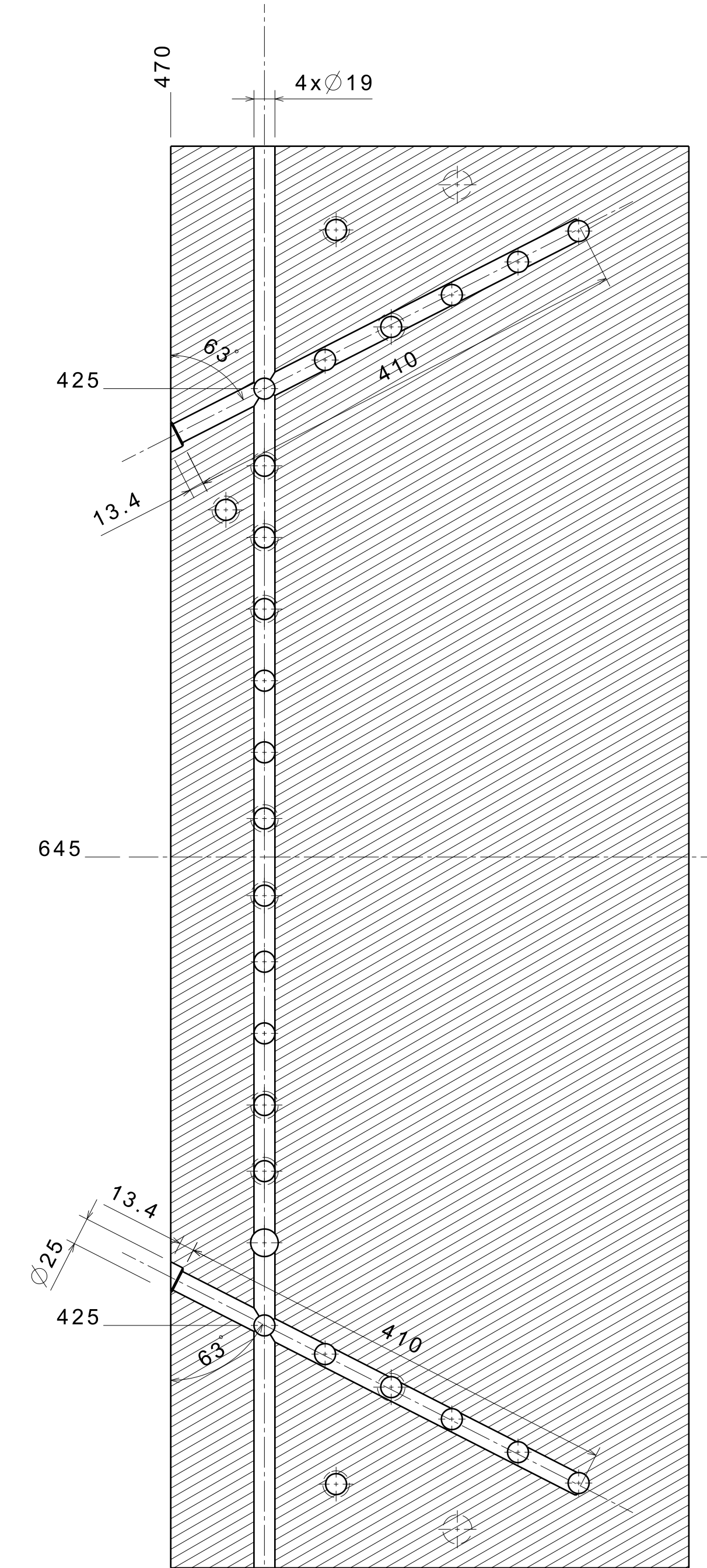
Section view A-A  
Scale: 1:4



Right view  
Scale: 1:4



Front view  
Scale: 1:4



Section view B-B  
Scale: 1:4

Rev		Specifikace		Datum		Jméno		Název	
Materiál		Počet kusů		Př.		P201		Označení	
1.2311		1						DP-KKS-002	
ZČU V PLZNI		Vypracoval		Datum		16.05.2014		Číslo výkresu	
		Jméno		Kučlová Kateřina				2 / 1	

Název  
P201\_OT\_blok\_s  
temperačním\_oku  
hem\_var\_1