

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

# Diplomová práce

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Léčebné zařízení pro lokální chlazení povrchu těla

Medical Equipment for Local Cooling of the Body Surface

Student:

Bc. Patrik Pauler

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Patrik Pauler**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Léčebné zařízení pro lokální chlazení povrchu těla**  
**Medical Equipment for Local Cooling of the Body Surface**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Pro potřebu medicíny navrhnete léčebné a rehabilitační zařízení pro lokální chlazení povrchu těla. Při zpracování návrhu zařízení vycházejte z českého patentového spisu 303 114 a 306 091.

Proveďte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a nezbytnými výpočty ve členění – upřesnění zadání, seznam požadavků, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a hrubá stavební struktura.
2. 3D model konstrukčního návrhu zařízení.
3. Výrobní výkresovou dokumentaci zařízení.

Rozsah výtahu z rešerše z Diplomového projektu v textové části práce cca 5str., rozsah výkresové části min. 2A0.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory.*

Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.*

Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka.*

Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8.

*Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*

FS\_SME\_05\_003 verze: G

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

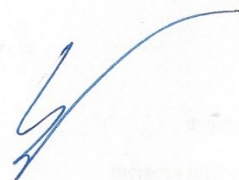
Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



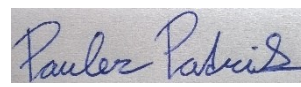
---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: ..... 15. 5. 2017



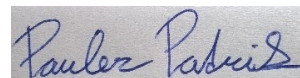
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: ..... 15. 5. 2017 .....



.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Patrik Pauler

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jelenice 7, Vítkov

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

PAULER, P. *Léčebné zařízení pro lokální chlazení povrchu těla: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2017, 94 s. Vedoucí práce: Ing. Noga Zdeněk, CSc.

Diplomová práce se zabývá návrhem léčebného zařízení pro lokální chlazení povrchu těla. V rešeršní části je uveden význam chlazení v léčebné oblasti a přehled zařízení, jež jsou užívána v léčebné a rehabilitační oblasti, na niž navazuje metodické řešení návrhu ve členění specifikace požadavků, kritéria pro výběr konceptu, funkční struktura, morfologická matice, orgánová a hrubá stavební struktura pro chladicí hlavice a řídicí box. Na čistou stavební strukturu obsahující 3D model konstrukčního návrhu zařízení a její zhotovení navazuje oblast experimentální zahrnující testování chladicího zařízení a matematické modelování chladicích hlavic. Výkresová dokumentace a potřebná technická data jsou obsažena v příloze diplomové práce.

## **ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS**

PAULER, P. *Medical Equipment for Local Cooling of the Body Surface: Diploma Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2017, 94 p. Thesis head: Ing. Noga Zdeněk, CSc.

The graduation theses deal with proposal of therapeutic arrangement for local cooling of surface bodies. In background research parts put on the stage meaning of cooling in therapeutic areas and survey of arrangement which are used in therapeutic and physiotherapy areas on connect to methodical solution of proposal in segmentation - specifications of requirement, criteria for selection of concepts, functional structure, morphology matrix, organ and rough structural structure for cooling nosepieces and check box. On clean structural structure containing 3D model of engineering design arrangement and construction connect area of experimental comprehensive laboratory testing of cooling system and mathematical simulation of cooling nosepieces. Drawing documentation and necessary technical specifications are contained under the same cover of the graduation theses.

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	10
1. Úvod.....	13
2. Výtah z rešerše.....	14
2.1 Popis léčby chladem .....	14
2.2 Efekty léčby chladem .....	14
2.3 Využití účinku navození mírné lokální hypotermie v lékařských oborech .....	15
2.4 Dosavadní způsoby chlazení - rehabilitování obličejových otoků .....	15
2.5 Tepelná pohoda a rovnováha člověka .....	18
2.6 Zhodnocení rešerše .....	20
3. Posouzení navržených hlavíc.....	21
3.1 Návrh chladicích hlavíc [1] .....	21
3.2 Výroba chladicích hlavíc .....	22
3.3 Sestavení chladicích hlavíc a samotného chladicího okruhu.....	22
3.4 Ověřování funkčnosti vyrobeného zařízení .....	23
4. Úpravy chladicích hlavíc .....	25
4.1 Úprava čelního krytu bodové chladicí hlavice .....	25
4.2 Teplotní analýza čelního krytu bodové chladicí hlavice .....	26
4.3 Úprava chladicího prvku plošné chladicí hlavice .....	28
4.4 Umístění teplotních senzorů .....	28
5. Návrh řídicího boxu .....	28
5.1 Specifikace požadavků na řídicí box .....	32
5.2 Kritéria pro výběr konceptu.....	35
5.3 Stanovení funkční struktury.....	36
5.4 Popis použití řídicího boxu.....	36
6. Technický proces .....	36
6.1 Schéma technického procesu .....	37
6.2 Funkční struktura .....	38
7. Morfologická matice.....	39



8. Orgánová struktura .....	42
9. Hrubá stavební struktura .....	44
9.1 Popis vybrané alternativy C .....	44
9.2 Řízení a kontrola .....	45
9.3 Výpočet hydraulických tlakových ztrát v chladicím okruhu .....	47
10. Čistá stavební struktura řídicího boxu .....	53
10.1 Řídicí box .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
11. Kontrolní měření navrženého zařízení .....	55
11.1 Určení minimální teploty v kontaktu v závislosti na elektrickém příkonu chladicího zařízení .....	56
11.2 Testování chladicího zařízení bez kontaktního prvku s řídicím systémem pro dosažení žádané kontaktní teploty .....	67
12. Provedené experimenty .....	72
12.1 Dosažení nejnižší teploty v místě kontaktu s živou tkání .....	72
12.2 Soulad mezi experimentem a matematickým modelem chladicích hlavic .....	74
Závěr .....	75
Poděkování .....	88
Seznam použité literatury .....	89
Seznam obrázků .....	91
Seznam tabulek .....	93
Seznam příloh .....	94

## Seznam použitých značek a symbolů

C ...	výměna citelného tepla prouděním	[W.m <sup>-2</sup> ]
C <sub>res</sub> ...	výměna citelného tepla dýcháním	[W.m <sup>-2</sup> ]
D ...	světlost	[m]
D <sub>h</sub> ...	hydraulický průměr	[m]
E ...	výměna vázaného tepla odpařování	[W.m <sup>-2</sup> ]
E <sub>res</sub> ...	výměna vázaného tepla dýcháním	[W.m <sup>-2</sup> ]
I ...	elektrický proud	[A]
K ...	výměna citelného tepla vedením	[W.m <sup>-2</sup> ]
M ...	energetický výdej	[W.m <sup>-2</sup> ]
O ...	obvod	[m]
Pel ...	příkon Peltierova článku	[W]
Pel <sub>b</sub> ...	příkon Peltierova článku bodová hlavice	[W]
Pel <sub>p</sub> ...	příkon Peltierova článku plošná hlavice	[W]
P <sub>H2O</sub> ...	max. množství odváděného tepla chladičem	[W]
P <sub>Peltier</sub> CHLADIVÝ ...	chladivý výkon Peltierova článku	[W]
Q <sub>aku</sub> ...	akumulované teplo	[J]
Q <sub>aku b</sub> ...	akumulované teplo bodové hlavice	[J]
Q <sub>aku p</sub> ...	akumulované teplo plošné hlavice	[J]
Q <sub>Al b</sub> ...	akumulované teplo chladicího prvku bodové hlavice	[J]
Q <sub>Al p</sub> ...	akumulované teplo chladicího prvku plošné hlavice	[J]
Q <sub>PA b</sub> ...	akumulované teplo čelního krytu bodové hlavice	[J]
Q <sub>PA p</sub> ...	akumulované teplo krytu plošné hlavice	[J]
Q <sub>š p</sub> ...	akumulované teplo šroubu plošné hlavice	[J]
Q <sub>v</sub> ...	objemový průtok	[J]
R ...	výměna citelného tepla sáláním	[W.m <sup>-2</sup> ]
Re ...	Reynoldsovo číslo	[-]
Re <sub>A</sub> ...	Reynoldsovo číslo úseku A	[-]
Re <sub>k</sub> ...	kritická hodnota Reynoldsova čísla	[-]
S ...	akumulace tepla v těle	[W.m <sup>-2</sup> ]
S <sub>prv</sub> ...	obsah chladicího prvku	[m <sup>2</sup> ]
U ...	napětí	[V]
W ...	účinnost práce	[W.m <sup>-2</sup> ]

$c_{Al}$ ...	měrná tepelná kapacita hliníku	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$c_{PA}$ ...	měrná tepelná kapacita PA typ 6	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$c_S$ ...	měrná tepelná kapacita nerezové oceli	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$d$ ...	světlost hadice	[m]
$d_A$ ...	světlost hadice v úseku A	[m]
$d_{prvku}$ ...	průměr chladicího prvku bodové hlavice	[m]
$g$ ...	gravitační zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$h$ ...	výtlačná výška čerpadla	[m]
$l$ ...	délka hadice	[m]
$l_A$ ...	délka hadice v úseku A	[m]
$m_{Alb}$ ...	hmotnost chladicího prvku bodové hlavice	[kg]
$m_{Alp}$ ...	hmotnost chladicího prvku plošné hlavice	[kg]
$m_{PA b}$ ...	hmotnost čelního krytu bodové hlavice	[kg]
$m_{PA p}$ ...	hmotnost krytu plošné hlavice	[kg]
$m_{šp}$ ...	hmotnost šroubu plošné hlavice	[kg]
$n_{pr}$ ...	množství prvků	[-]
$\Delta p$ ...	celková tlaková ztráta	[Pa]
$\Delta p_{mís}$ ...	místní hydraulická ztráta	[Pa]
$\Delta p_{mís 1}$ ...	místní hydraulická ztráta v prvku 1	[Pa]
$\Delta p_T$ ...	ztráta třením	[Pa]
$\Delta p_{TA}$ ...	ztráta třením v úseku A	[Pa]
$t_{1Alb}$ ...	počáteční teplota chladicího prvku bodové hlavice	[°C]
$t_{1Alp}$ ...	počáteční teplota chladicího prvku plošné hlavice	[°C]
$t_{2Alb}$ ...	pracovní teplota chladicího prvku bodové hlavice	[°C]
$t_{2Alp}$ ...	pracovní teplota chladicího prvku plošné hlavice	[°C]
$t_{1PA b}$ ...	počáteční teplota čelního krytu bodové hlavice	[°C]
$t_{1PA p}$ ...	počáteční teplota chlazením ovlivněného krytu	[°C]
$t_{2PA b}$ ...	pracovní teplota čelního krytu bodové hlavice	[°C]
$t_{2PA p}$ ...	pracovní teplota chlazením ovlivněného krytu	[°C]
$t_{1šp}$ ...	počáteční teplota šroubu plošné hlavice	[°C]
$t_{2šp}$ ...	pracovní teplota šroubu plošné hlavice	[°C]
$v_S$ ...	střední rychlost proudění vody	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_{SA}$ ...	střední rychlost proudění vody v úseku A	[m.s <sup>-1</sup> ]
$\Phi_{těla}$ ...	tepelný tok z živé tkáně	[W]

$\xi \dots$	součinitel místních ztrát	[-]
$\xi_{nr} \dots$	součinitel místních ztrát náhlým rozšířením	[-]
$\xi_{nz} \dots$	součinitel místních ztrát náhlým zúžením	[-]
$\xi_{nz 1} \dots$	součinitel místních ztrát náhlým zúžením v prvku 1	[-]
$\eta_{Pel} \dots$	účinnost Peltierova článku	[-]
$\eta_{Pel b} \dots$	účinnost Peltierova článku pro oblast dosažené kontaktní teploty bodovou chladicí hlavicí	[-]
$\eta_{Pel p} \dots$	účinnost Peltierova článku pro oblast dosažené kontaktní teploty plošnou chladicí hlavicí	[-]
$\eta_{C Pel b} \dots$	účinnost Peltierova článku pro celou oblast chlazení bodovou chladicí hlavicí	[-]
$\eta_{C Pel p} \dots$	účinnost Peltierova článku pro celou oblast chlazení plošnou chladicí hlavicí	[-]
$\lambda \dots$	součinitel třecích ztrát	[-]
$\lambda_A \dots$	součinitel třecích ztrát v úseku A	[-]
$\nu_{H_2O} \dots$	kinematická viskozita vody	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
$\rho_{H_2O} \dots$	objemová hmotnost vody	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\tau \dots$	čas	[s]
$\phi \dots$	hustota tepelného toku	[W.m <sup>-2</sup> ]
$\phi_{těla} \dots$	hustota tepelného toku z živé tkáně	[W.m <sup>-2</sup> ]

# 1. Úvod

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci [1], ve které byla řešena problematika návrhu zařízení pro uplatnění léčebné hypotermie v obličejové oblasti s využitím Peltierova modulu.

Praktický výstup práce byl realizován v rámci zapojení do Studentské grantové soutěže (SGS), ve 4. a 5. ročníku a účasti v programu na podporu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací, GAMA (TA ČR) [2].

Realizace prvních prototypů [3], [4] a jejich zhodnocení umožnilo upřesnit technické rozpracování chladicího zařízení.[5] Možnost konkrétního měření a vyhodnocení prvních výsledků ukázalo jisté nedostatky, se kterými je nutno počítat v dalším vývoji.

## 2. Výtah z rešerše

### 2.1 Popis léčby chladem

Při léčbě chladem se z těla odebírá teplo. Tento způsob léčby byl využíván již v dřívějších dobách například při úrazech typu řezných a sečných ran, nebo v lidovém léčitelství - studené zábaly pro snížení horečky a podobně.

Poškození jakékoli tkáně, dává příčinu vzniku zánětu a následného otoku v této oblasti. Je to velice složitý proces, během něhož se do tkáně dostávají různé chemické látky jak z krve, tak z poškozených a rozpadlých buněk.

Cévy se rozšíří (vazodilatace) a proudí jimi velké množství "horké" krve, z krve a poškozených buněk se do prostoru dostávají tzv. chemické mediátory zánětu (cytokiny) a různé jiné metabolity. Postižené místo a jeho okolí oteče, zčervená, hřeje a bolí.

Pokud počínající zánět ihned dostatečně ochladíme, způsobíme zúžení cév (vazokonstrikci), takže omezíme přísun krve do postiženého místa, tím otok vůbec nevznikne nebo se minimalizuje.

Kromě vazokonstrikce chlad také zpomaluje metabolismus, látkovou přeměnu buněk, takže se netvoří chemické látky, které dále poškozují tkáně a způsobují bolest. Poraněné místo přestane vydávat nadměrné nežádoucí teplo.

Bude-li působit chlad na určité místo příliš dlouho, cévy se opět reflexně rozšíří a zvýší se proudění krve. Organismus se tak brání podchlazení nebo umrznutí. Může se stát, že led v přiloženém pytlíku se po čase rozpustí, voda se ohřeje a léčba chladem se změní v působení tepla. Efekt léčby je pak nulový, ne-li dokonce negativní. [6]

### 2.2 Efekty léčby chladem

- Dochází k vazokonstrikci,
- zpomalují se zánětlivé reakce,
- zpomalují se svalové kontrakce (stahy),
- zvyšuje se práh bolesti,
- kolagenní tkáně nejsou schopny se tolik prodlužovat,
- svalová vřetýnka se méně natahují,
- zvyšuje se viskozita synoviální tekutiny. [6]

### 2.3 Využití účinku navození mírné lokální hypotermie v lékařských oborech

- **Chirurgie** – snižuje možnost vzniku pooperačních otoků a zánětů, při zranění končetin zejména dolních, jako je podvrtnutí, pohmoždění, zlomeniny, natažení nebo natržení svalu.
- **Rehabilitace** – urychluje hojení po zranění pohybového aparátu až o 50%, napomáhá po operacích (šlach, vazů, kloubů apod.), snižuje svalové napětí a ulevuje od bolesti. [7]
- **Obličejová chirurgie** - otok způsobený zánětem, alergií, chirurgickým zákrokem nebo infekcí v obličejové tkáni. Otoky vzniklé zlomeninami obličejového skeletu. Infekční příčiny jako jsou bakteriální nebo virová konjunktivitida (patrný otok kolem očí), celulitida (kožní infekce), příušnice a jiné. [8]
- **Dermatologie** – zmírňuje projevy lupénky a atopického ekzému, účinně pomáhá po kosmetických a plastických operacích, dochází k výraznému prokrvení kůže. [7]
- **Sportovní lékařství** – zmírňuje bolesti kloubního, vazivového a svalového aparátu vlivem intenzivního tréninku, léčí výrony, hematomy, natažené vazy a natřžené svaly. [7]
- **Veterinárním lékařství** – především se jedná o degenerativní onemocnění kloubů, artritidu, bolest, otoky a ztuhlost kloubů např. u psích plemen.

### 2.4 Dosavadní způsoby chlazení - rehabilitování obličejových otoků

#### Ledování

Nejjednodušším a nejúčinnějším způsobem k omezení otoků je ledování. Aplikace tzv. suchého chladu. Gelové podušky, jejichž výhodou je to, že mohou být použity ke chlazení nebo naopak, jako hřejivý obklad, led v sáčku, chladicí spreje.



Obr. č. 1 Chladicí a hřejivá gelová poduška [9]

## Chlazení cirkulací vody

Jedná se o způsob chlazení, jež spočívá v cirkulaci chlazené vody, která protéká různými druhy chladících panelů. Tyto chladící panely jsou vyráběné pro dané místo chlazení. Zařízení k tomuto používané se nazývá Hilotherm.

### Charakteristika zařízení:



Obr. č. 2 HILOTHERM Clinic [10]

- Zvláště vhodný pro použití v nemocnicích a na klinikách před i po operaci, nebo s fyzioterapeuty na pomoc zotavení po zranění
- Dva chladící panely mohou být připojeny současně, což znamená, buď dvě oblasti chlazení, nebo dva pacienti léčeni současně
- Nepřetržitý provoz při konstantní teplotě
- Používá destilovanou vodu (2l měněny každých 6 měsíců)
- Teplotní rozsah + 10 °C až + 35 °C (nastavitelné v krocích 1 °C)
- Rozměry 430 x 275 x 268 mm Hmotnost prázdná: 10 kg plná: 12 kg
- Kupní cena £ 3,541.67 + DPH, nájem 561,99 liber + DPH za čtvrtletí [10]



Obr. č. 3 HILOTHERM Domáci péče [10]



- Zvláště vhodné pro mobilní použití např. doma, v kanceláři nebo ve sportovním klubu
- Ideální pro použití v domácím prostředí po operaci nebo po úrazu a pro pravidelné používání při úlevě od bolesti a zlepšení chronických onemocnění, jako je artritida
- Jeden chladicí panel může být připojen k léčbě jednoho pacienta. Provoz při konstantní teplotě po dobu až 4 hodin (v závislosti na velikosti použitého chladicího panelu, teplota prostředí atd.)
- Senzor udržuje nastavenou teplotu na konstantní úrovni
- Teplotní rozsah + 10 °C až + 22 °C (nastavitelné v krocích 1 °C)
- Rozměry 280 x 185 x 260 mm Hmotnost prázdná: 3,6kg plná: (max) 7,7 kg
- Kupní cena £ 1,541.66 + DPH, nájem 50 liber za týden + náklady včetně DPH [6]

### Chlazení cirkulací vody s pneumatickým přítlakem [11]

Lehké obvodové zábaly, kterými protéká ochlazená voda v rozsahu 1° - 50°C obklopi zraněnou oblast a použitím pneumatické komprese vytvoří dokonalejší kontakt pro lepší přilnutí a hloubější prochlazení.

#### Charakteristika zařízení:

Ukazatel teploty, tlaku a času poskytuje jasné informace o procesu, takže je snazší sledovat a zpravovat kompresi a chladicí ošetření.

Možnost nastavení teploty v rozsahu 1°-50°C

Pre-set programy dodržující předpisy průběhu léčby a snižují riziko zranění díky automatizaci léčby a času klidu.

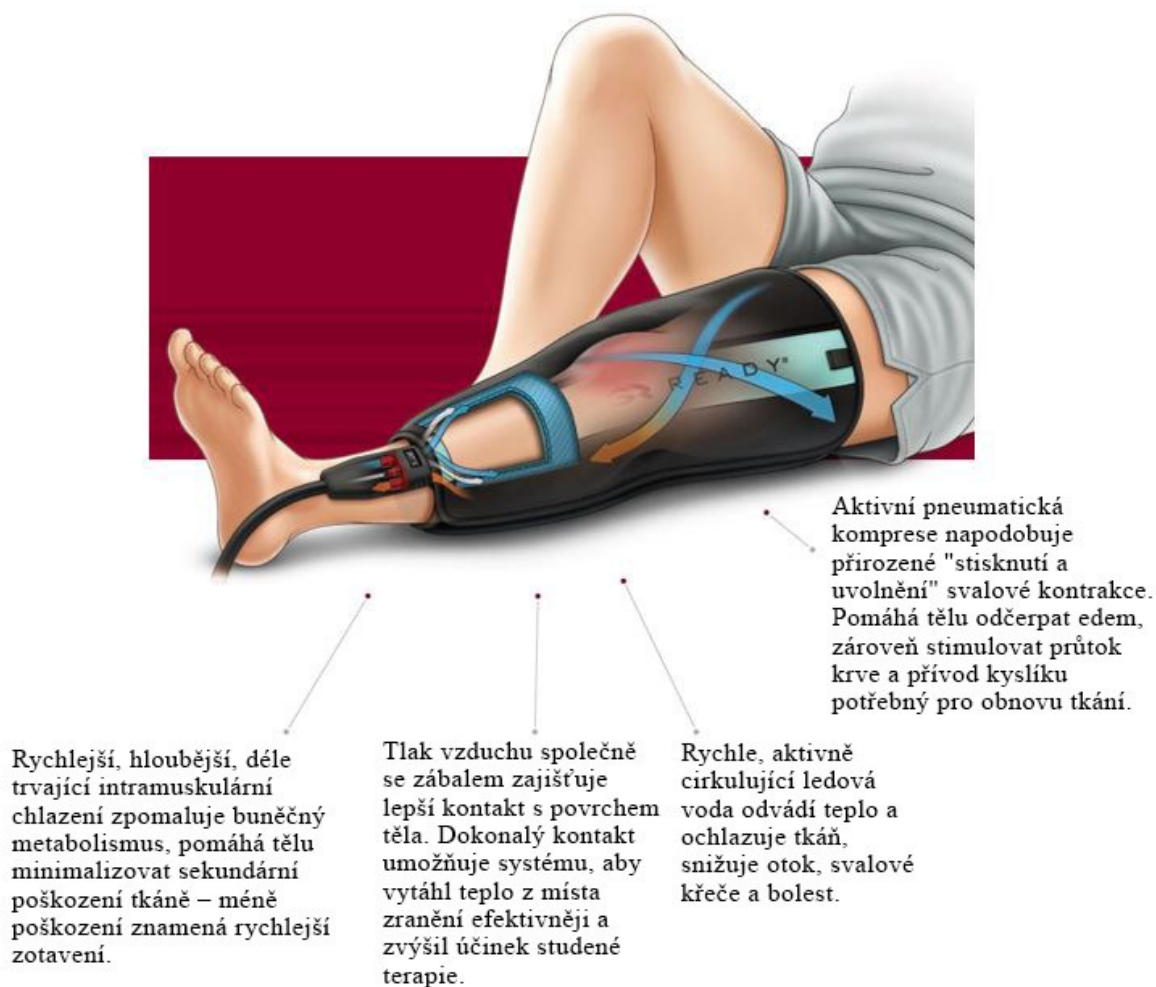


Lehké obvodové zábaly obklopují zraněnou oblast a použitím pneumatické komprese dosáhnou lepšího kontaktu a hloubějšího prochlazení.

Zábaly jsou anatomicky navrženy pro všechny hlavní části těla a jsou k dispozici v různých velikostech.

Patentovaná vnitřní microdot konstrukce usnadňuje maximální průtok ledové vody pro účinnější chlazení - pomáhá bezpečně snížit bolest, svalové křeče a otok.

Obr. č. 4 Gameready chladicí a kompresní systém [11]

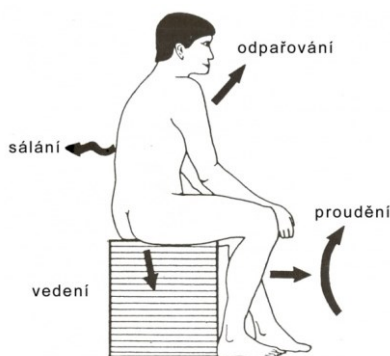


Obr. č. 5 Gameready chladičí a kompresní systém [11]

## 2.5 Tepelná pohoda a rovnováha člověka

### Tepelná rovnováha člověka

Stejně jako u jiných savců i člověk na základě svých biologických pochodů neustále produkuje teplo, které odevzdává do svého okolí. Stav, kdy prostředí odebírá tělu tolik tepla, kolik právě produkuje, označujeme jako tepelná rovnováha. [12]



Obr. č. 6 Tepelné ztráty

## Rovnice tepelné rovnováhy člověka

Rovnice tepelné rovnováhy vyjadřuje tepelné toky ve wattech a má tvar:

$$M - W = C_{\text{res}} + E_{\text{res}} + K + C + R + E + S$$

produkce = výdej + akumulace

Pokud je rovnice splněna, člověk je ve stavu tepelné rovnováhy. Na levé straně rovnice  $M$  vyjadřuje energetický výdej [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  $W$  účinnost práce [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. Jelikož má svalový výkon velmi malou účinnost, lze tuto složku zpravidla zanedbat.

Na pravé straně je tepelný výkon, který člověk předává do okolí. Kde  $K$  označuje výměnu tepla na kůži kondukcí [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  $C$  představuje tepelný tok konvekcí [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  $R$  označuje výdej tepla sáláním (radiací) [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  $E$  značí výdej tepla difuzí vodní páry pokožkou a odpařováním potu [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  $E_{\text{res}}$  vyjadřuje výdej tepla odpařováním vody v plicích [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  $C_{\text{res}}$  představuje teplo odevzdané ohříváním vdechovaného vzduchu [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ],  $S$  akumulaci tepla v těle [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]. [13]

Energetický výdej se skládá z metabolického tepla, které vzniká při základních biologických pochodech a má pro dospělého člověka hodnotu  $58 \text{ W}/\text{m}^2$ . Dospělý člověk má plochu přibližně  $1,8 \text{ m}^2$ . Fyzická aktivita je provázána zvýšením energetického výdeje. [10]

## Tepelná produkce člověka

Bazální metabolismus – teplo je produktem biologických procesů (chemická energie potravy).

Svalový metabolismus – teplo vedlejším produktem fyzické činnosti člověka.

Produkce energie = energetický výdej.

## Energetický výdej se vyjadřuje jako:

- Tepelný výkon průměrného (standardního) člověka [ $\text{W}$ ]
- Tepelný výkon na jednotku plochy (hustota tepelného toku  $\phi$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ])
- Tepelný výkon v jednotkách met (1 met odpovídá tepelné produkci sedícího člověka)

Tab. 1 Energetický výdej – klasifikace dle činnosti [14]

ČINNOST	METABOLISMUS		
	W	W/m <sup>2</sup>	met
Bazální metabolismus (hluboký spánek)	70	40	0,7
Ležení, odpočívání	80	46	0,8
Sezení, odpočívání	100	58	1,0
Stání, práce vsedě	120	70	1,2
Velmi lehká práce (učitel, nakupování, vaření)	160	93	1,6
Lehká práce (domácí práce, práce s přístroji)	200	116	2,0
Středně těžká práce (slévači, přednášející, tanec)	300	175	3,0
Těžká práce (tesaři, nakládači s lopatou, tenis)	600	350	6,0
Velmi těžká práce (dřevorubci, ruční sekáči)	700	410	7,0

## 2.6 Zhodnocení řešerše

Zařízení navržené v bakalářské práci pro lokální chlazení povrchu živé tkáně [1], doplňuje klasické a dosud používané způsoby chlazení ledem a studenou vodou, která však ochladí pouze kůži. Pokud jsou postiženy hlouběji uložené tkáně (svaly, šlachy, klouby), je jejich ochlazení nedostatečné. Zařízení s cirkulací chlazené vody jsou těžká, určena pro stabilní místo použití a obtížně umožňují dosažení žádané kontaktní teploty.

Prochlazení se dosahuje použitím pytlíků s ledem, bandáží naplněnou ledovou tříští nebo použitím různých komerčně vyráběných obkladů či bandáží s ledem. Doba pracovního použití uvedených zařízení je vázaná na dobu rozpouštění ledu.

Na základě řešeršních údajů lze předpokládat, že návrh zařízení, jež nebude využívat ledu, má předpoklad praktického využití.

### **3. Posouzení navržených hlavic**

#### **3.1 Návrh chladicích hlavic [1]**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

### **3.2 Výroba chladicích hlavic**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

### **3.3 Sestavení chladicích hlavic a samotného chladicího okruhu**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

### **3.4 Ověřování funkčnosti vyrobeného zařízení**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*



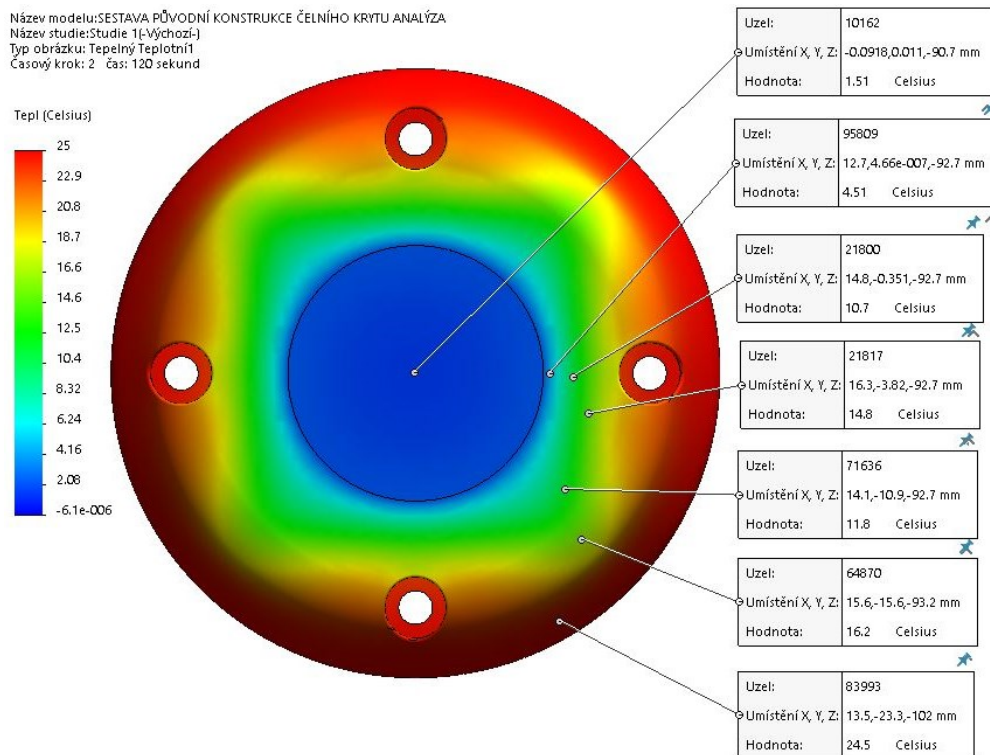
## **4. Úpravy chladicích hlavic**

### **4.1 Úprava čelního krytu bodové chladicí hlavice**

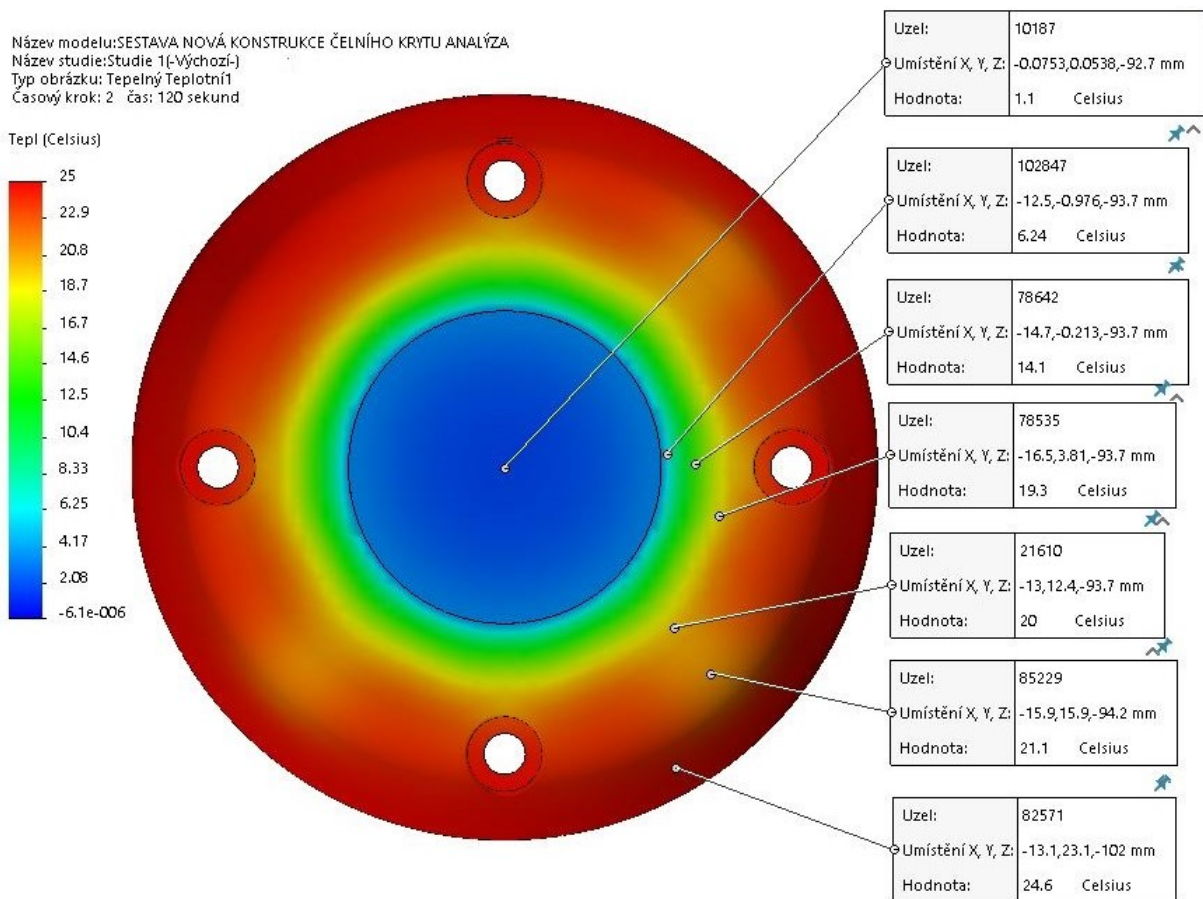
*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

## 4.2 Teplotní analýza čelního krytu bodové chladicí hlavice

Teplotní analýza čelního krytu bodové chladicí hlavice vychází ze schématu, viz Obr. č. 14,  $\tau$  provozu 120s. Pomocí teplotní analýzy v programu SolidWorks, viz příloha E, bylo provedeno porovnání povrchového teplotního pole bodové chladicí hlavice před a po její úpravě. Simulace byla provedena za stejných okrajových podmínek v oblasti nestacionárního teplotního zatížení.



Obr. č. 7 Teplotní analýza výchozí konstrukce čelního krytu bodové chladicí hlavice



Obr. č. 8 Teplotní analýza upravené konstrukce čelního krytu

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

### **4.3 Úprava chladicího prvku plošné chladicí hlavice**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

### **4.4 Umístění teplotních senzorů**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*







## 5. Návrh řídicího boxu

### 5.1 Specifikace požadavků na řídicí box

Návrh řídicího boxu vychází z provizorního provedení propojení a provozu chladicího zařízení, který upřesnil řadu specifických požadavků a konstrukčních otázek, jež je nutno zahrnout do seznamu požadavků.

Tab. 2 Požadavkový list

#### 1. FUNKCE, ÚČINKY

- Schopnost odvodu tepla z primárního chladicího okruhu - chladicích hlavic,
- výkon sekundárního chladicího okruhu musí být schopen uchladit primární chladicí okruh i při dlouhodobém provozu zařízení,
- umístění všech potřebných komponentů - sekundárního chladicího okruhu:
  - nádrž
  - přídatné chlazení
  - čerpadlo,
- umístění zásuvky hybridního konektoru pro snadné připojení zástrčky hybridního konektoru,
- možnost uskladnění komponentu - primárního chladicího okruhu,
- umístění řídicího - vizuálního panelu:
  - čtyř řádkový display
  - dotykový display,
- umístění zdroje el. energie a elektro součásti mimo sekundární chladicí okruh,
- přívod elektrického proudu prodlužovacím kabelem do konektoru,
- jednoduchá výroba jednotlivých dílů,
- snadná kompletace,
- bude se jednat o mobilní přenosné zařízení.



## 2. FUNKČNÍ PARAMETRY

- Rychlé zapojení a spuštění,
- zajistit ochlazení chladicí kapaliny při dlouhodobém provozu - primárního chladicího okruhu,
- vizuální kontrola stavu hladiny chladicí kapaliny v nádrži,
- možnost výměny a doplnění chladicí kapaliny do nádrže,
- možnost měření teploty chladicí kapaliny,
- snadná obsluha a přístup k ovladačímu panelu,
- přístup k výměně jednotlivých částí,
- požadavek na minimální hmotnost a rozměry z důvodu mobility zařízení.

## 3. PROVOZNÍ VLASTNOSTI

- Z důvodu provozu zařízení v nemocnici a na ambulanci, zajistit trvalou bezpečnost,
- robustnost - odolnost vůči hrubému zacházení,
- minimální nároky na místo a energii,
- nízké nároky na údržbu,
- vysoká životnost.

## 4. ERGONOMIE

- Snadná manipulace,
- monitorování stavu chlazení,
- odolnost proti vniknutí cizích těles,
- odolnost proti čistícím prostředkům,
- regulace, programovatelnost řídicího panelu.

## 5. VZHLEDOVÉ VLASTNOSTI

- Příjemné tvary - uspokojivý design,
- povrchová úprava,
- kombinace kovu a plastu.

## 6. DISTRIBUČNÍ VLASTNOSTI

- Při balení zařízení je nutno dbát, aby zařízení nebylo poškozeno,
- součástí každého balení je uživatelská příručka,
- při přepravě nutno klasifikovat zařízení za křehké a při přepravě nutno s ním takto zacházet.

## 7. PŘEDPISY A NORMY

- Normy z dané oblasti (normy upravující oblast lékařských přístrojů),
- hygienické normy (zdraví nezávadné materiály).

## 8. EKONOMICKÉ VLASTNOSTI

- Ekonomičnost výroby,
- minimální náklady na provoz.

Tab. 2 Požadavkový list - pokračování

## 9. VHODNOST PRO VÝROBU

- **Docílit ceny reálné pro výrobu a prodej.**

## 10. VHODNOST PRO LIKVIDACI

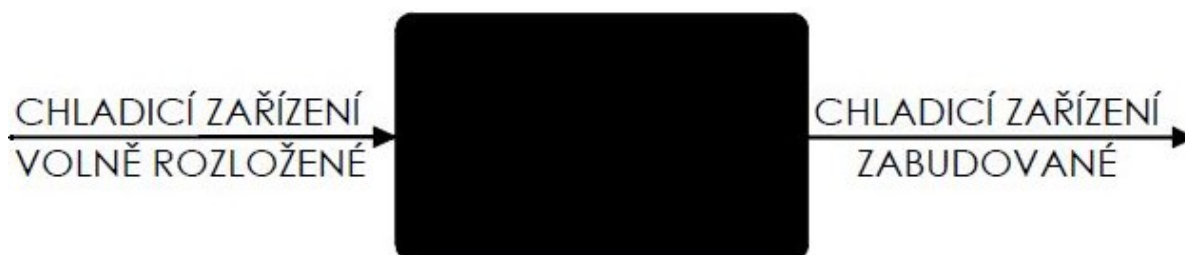
- **Demontovatelnost,**
- **Recyklovatelnost použitých materiálů**

### 5.2 Kritéria pro výběr konceptu

- Dostatečný odvod tepla z primárního chladicího okruhu ... 90%
- odvod tepla z chladicí kapaliny ... 85%
- Minimální cena ...30%
- Funkčnost ... 80%
- Snadnost obsluhy ... 80%
- Udržovatelnost ... 50%

### 5.3 Stanovení funkční struktury

Ve funkční struktuře jsou uvedeny dílčí úkoly, které musí řídicí box splnit. Tyto úkoly vyplývají z technického procesu znázorněného jako černou skříňkou na Obr. č. 26.



Obr. č. 9 Černá skříňka chladicího zařízení

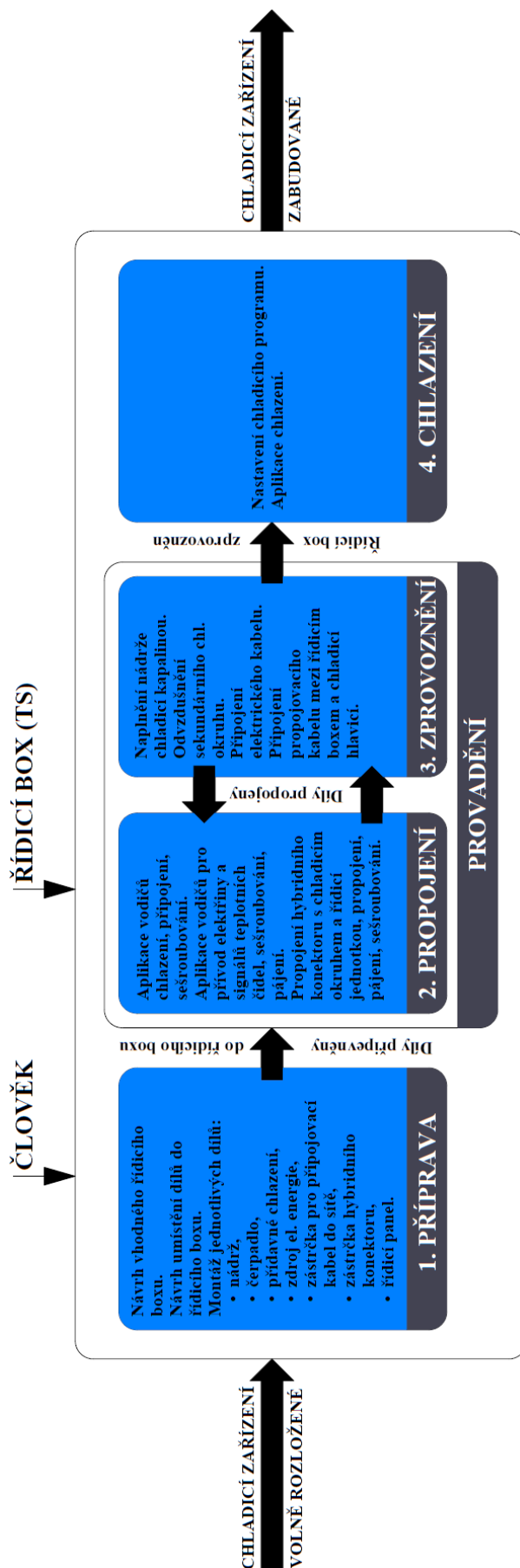
### 5.4 Popis použití řídicího boxu

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

## 6. Technický proces

Technický proces je popsán viz Obr. č. 27.

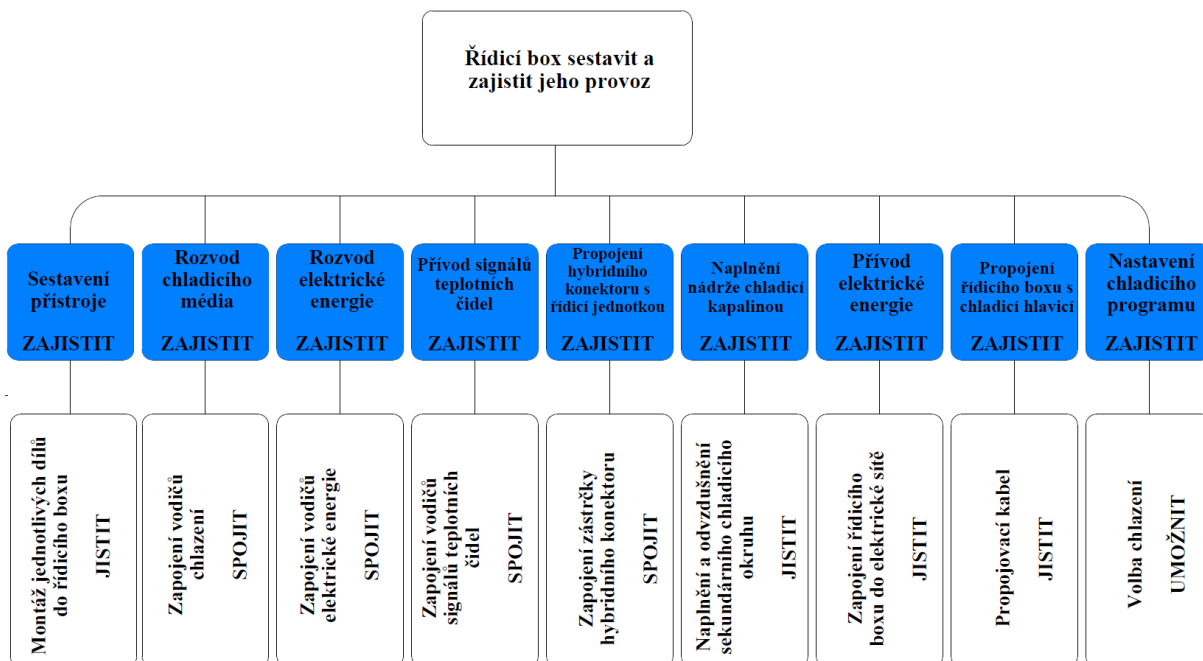
## 6.1 Schéma technického procesu



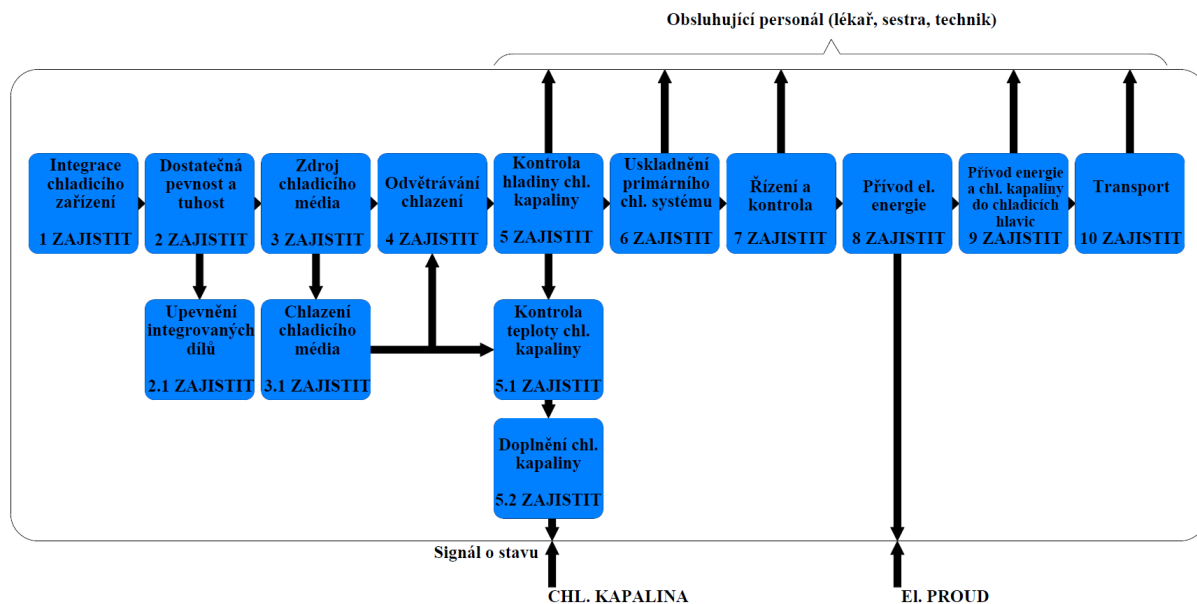
Obr. č. 10 Schéma technického procesu

## 6.2 Funkční struktura

Ve funkční struktuře jsou uvedeny dílčí úkoly (funkce), které musí daný technický systém splnit. Tyto úkoly vyplývají z technického procesu. [17]



Obr. č. 11 Chladicí zařízení - Hierarchický funkční strom



Obr. č. 12 Chladicí zařízení – funkční struktura (blokové schéma)

## **7. Morfologická matice**

Morfologická matice je systematická tvorba co nejúplnějšího souboru variant řešení. Velká část problémů v projektování výrobních procesů a systémů vyžaduje systematické hledání všech možných variant a jejich vzájemných kombinací, a to i v oblastech, v nichž se dosud řešení nehledalo. Jde o strukturované problémy, které je možné rozdělit na několik podproblémů. Četnost úkolů tohoto typu souvisí mimo jiné i se značně rozšířenou aplikací modulového principu, hlavně ve stavbě technických prvků a zařízení. Jednou z možností je aplikace vybraných druhů morfologických modelů, které umožňují tento proces částečně uspořádat a poměrně přehledně zobrazit. Morfologické modely umožňují identifikovat i nekompatibilní řešení a nevynechat žádné kombinace. [18]

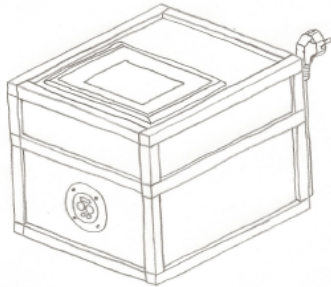
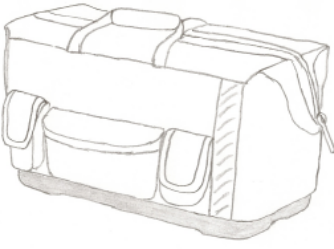





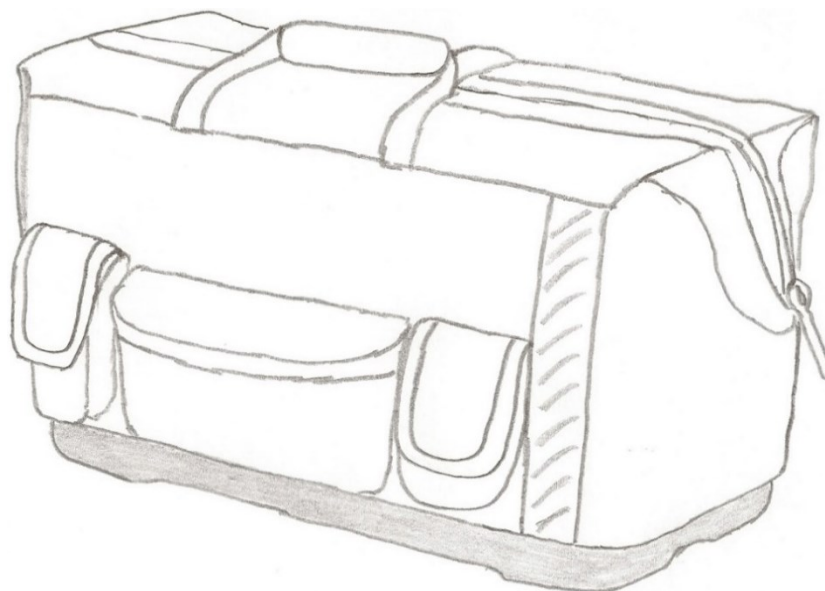


## 8. Orgánová struktura

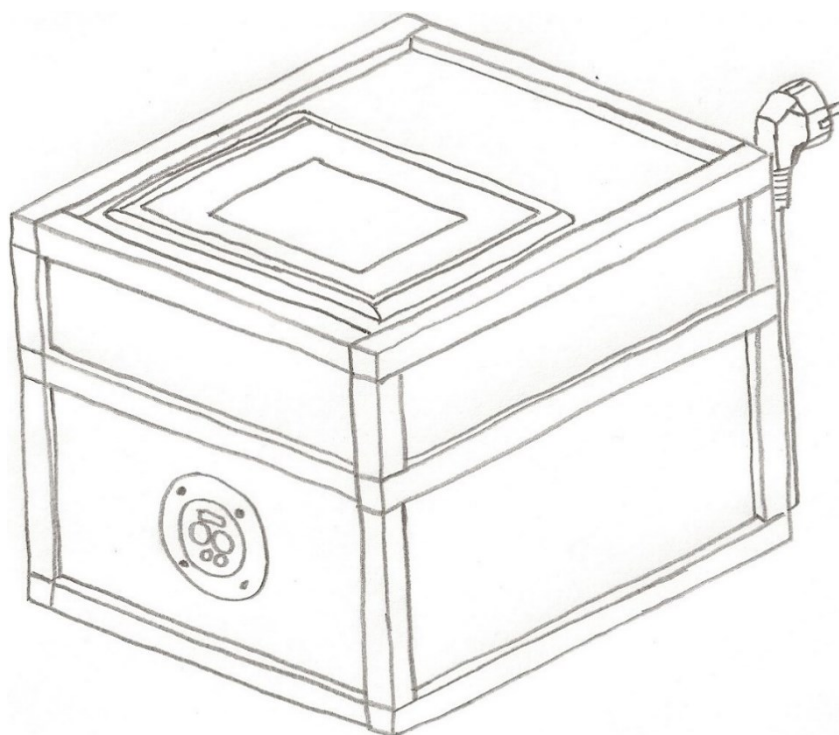
Záměrem orgánové struktury je dosáhnout optimálního řešení, které spočívá v optimální kombinaci jednotlivých funkcí z hlediska stupně konkrétnosti. Ohodnocením jednotlivých konceptů známkami jedna nejlepší, tři nejhorší získáme nejvýhodnější koncept. [17]

ORGÁNOVÉ STRUKTURY		A	B	C
KOMBINACE HLAVNÍCH FUNKCÍ				
KOMBINACE ORGÁNU - NOSITELU FUNKCI	FUNKCE 2	1	2	1
	FUNKCE 3.1	2	3	1
	FUNKCE 5	1	2	2
	FUNKCE 6	3	1	1
	FUNKCE 7	2	2	1
	FUNKCE 10	1	2	1
HRUBÉ HODNOCENÍ	TECHNICKÉ (NEDOSTÁTKY)	2	3	2
	SNADNÁ OBSLUHA	1	3	1
	TRANSPORT	1	1	1
CELKOVÉ POŘADÍ		MÉNĚ VÝHODNÝ KONCEPT = 2	NEJMÉNĚ VÝHODNÝ KONCEPT = 3	VÝHODNÝ KONCEPT = 1

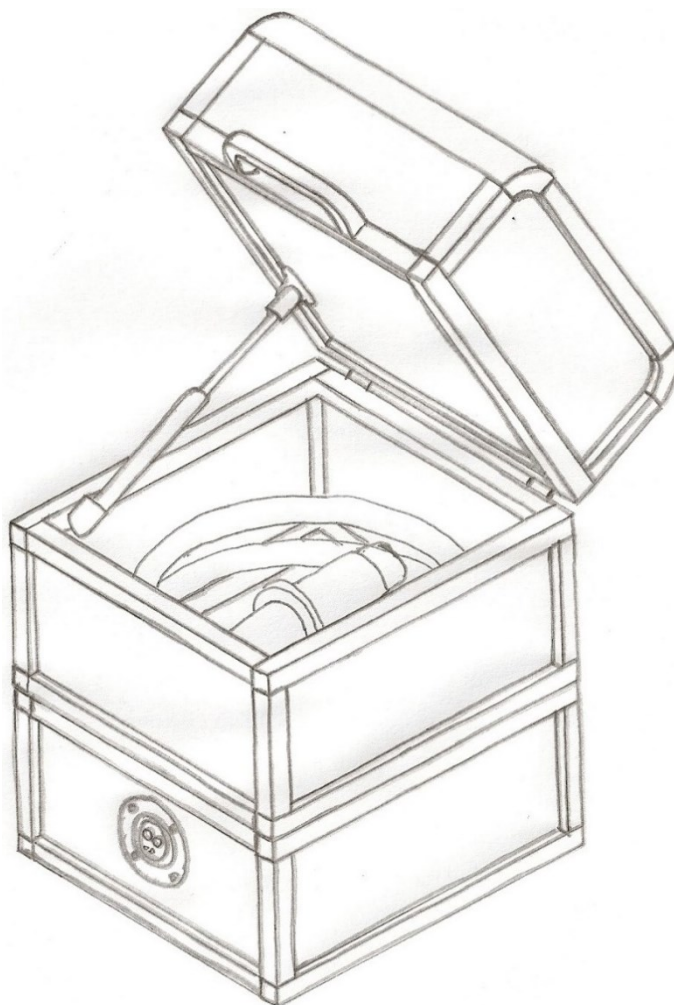
Obr. č. 13 Orgánová struktura – výběr konceptu



Obr. č. 14 Konceptní schéma – typ A



Obr. č. 15 Konceptní schéma – typ B



Obr. č. 16 Konceptní schéma – typ C

## 9. Hrubá stavební struktura

### 9.1 Popis vybrané alternativy C

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

## 9.2 Řízení a kontrola

K řízení, nastavení a vyhodnocování snímaných teplot slouží dotykový panel Siemens. Pomocí panelu je možné přístroj naprogramovat pro konkrétní použití.

Při tvorbě grafiky v programu WinCC pro dotykový panel Siemens, byla zpracována podpůrná grafika pro další aplikace chlazení obdobnými chladicími systémy:

### A. Humánní lékařství:

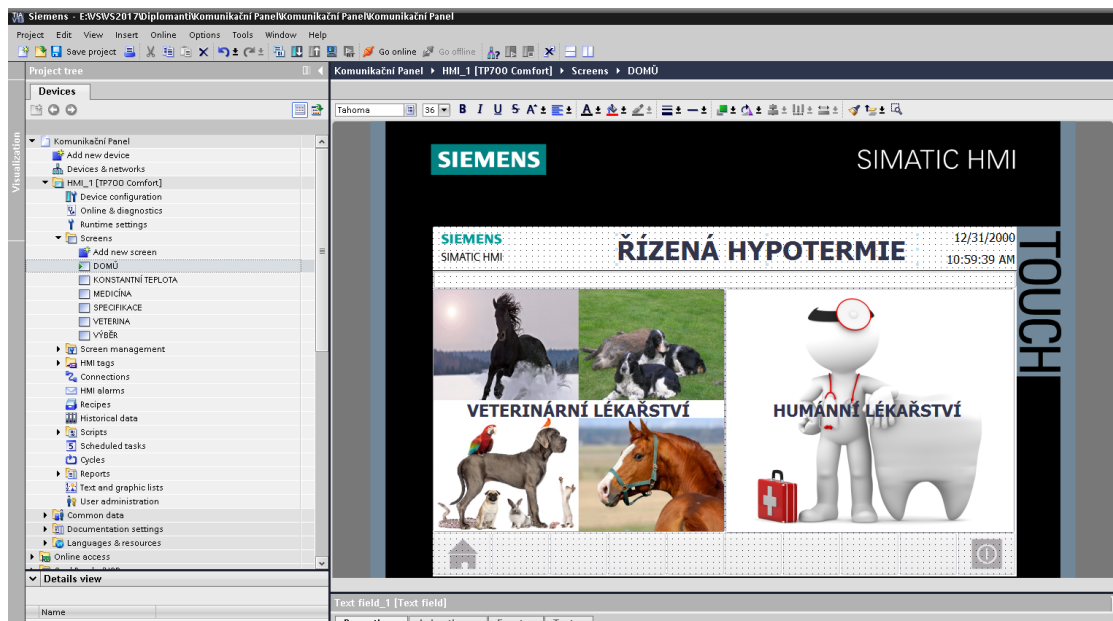
- Lokální chlazení
  - bodové
  - plošné
- Lokální chlazení obličejové oblasti
  - čelistní problémy
  - oční problémy
  - dermatologie
- Jiné aplikace
  
- Chlazení kolenního kloubu
  - repase
  - rehabilitace
- Kyčelní kloub
  - repase
  - rehabilitace

### B. Veterinární lékařství:

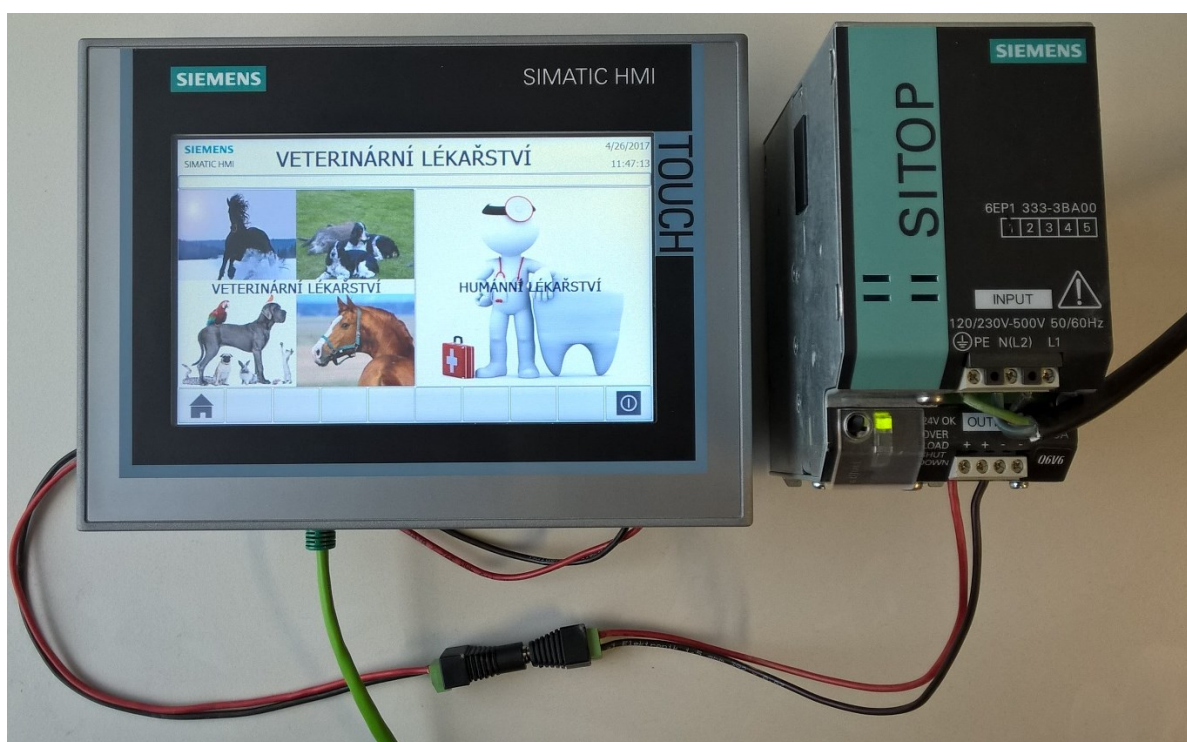
- Kůň
  - léčba
  - rehabilitace
- Pes
  - léčba
  - rehabilitace

### Možné funkce nastavení průběhu léčby:

- Volba konstantní teploty (30 až -5°C)
- Volba léčebného programu
  - 1) pulzační
  - 2) výdrž
  - 3) cykly



Obr. č. 17 WinCC programování grafiky



Obr. č. 18 Siemens Simatic dotykový panel v provozu

### **9.3 Výpočet hydraulických tlakových ztrát v chladicím okruhu**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*













## **10. Čistá stavební struktura řídicího boxu**

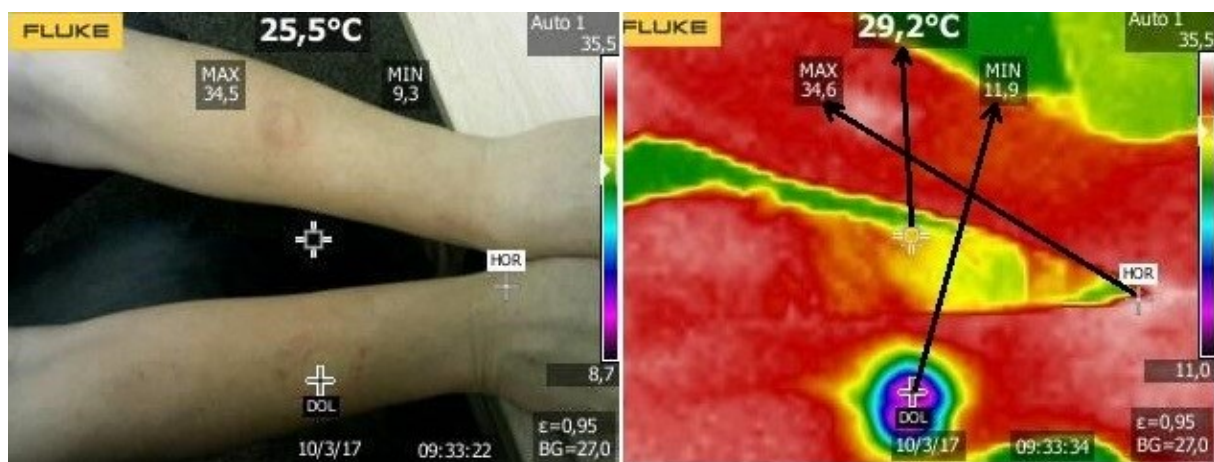
*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*



## **11. Kontrolní měření navrženého zařízení**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

Na termogramech snímaných v průběhu testování byla pozornost soustředěna na dosaženou minimální teplotu povrchového teplotního pole na chlazené tkáni a chladičí hlavici, viz Obr. č. 43.



Obr. č. 19 Zobrazení sledované oblasti a její povrchové teplotní pole

### 11.1 Určení minimální teploty v kontaktu v závislosti na elektrickém příkonu chladičího zařízení

Dosažení minimální teploty v kontaktu při napětí 14, 10, 7V v průběhu chlazení.

#### a) Bodová hlavice s kontaktním prvkem

Graf, viz Obr. č. 45, zobrazuje průběhy teplot v čase a lokální prochlazení místa kontaktu s bodovou hlavicí. Počátek záznamu teplotního průběhu v místě kontaktu je ovlivněn ohřevem kontaktního prvku lidským tělem.

Po připojení chladičí hlavice ke zdroji s maximálním příkonem při napětí 14V bylo dosaženo kontaktní teploty 1°C za čas 9 minut.

Při napájení 10V bylo dosaženo kontaktní teploty 1°C za čas 15 min.

Při napájení 7V nebylo dosaženo kontaktní teploty 1°C.

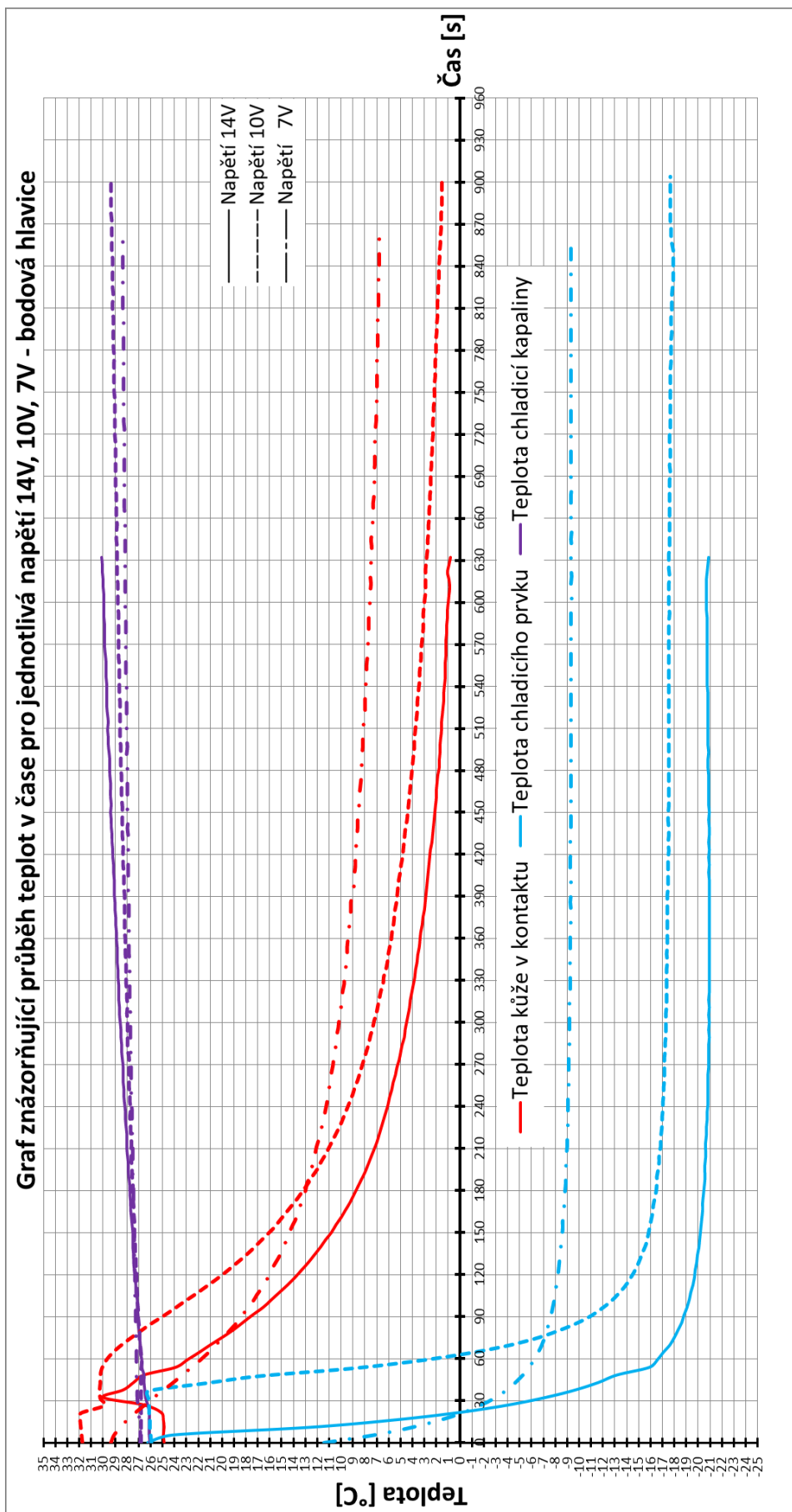
Naměřené hodnoty se staly podkladem pro vývoj řídicího systému zařízení.



Teplotní čidlo pro měření teploty kůže v kontaktu

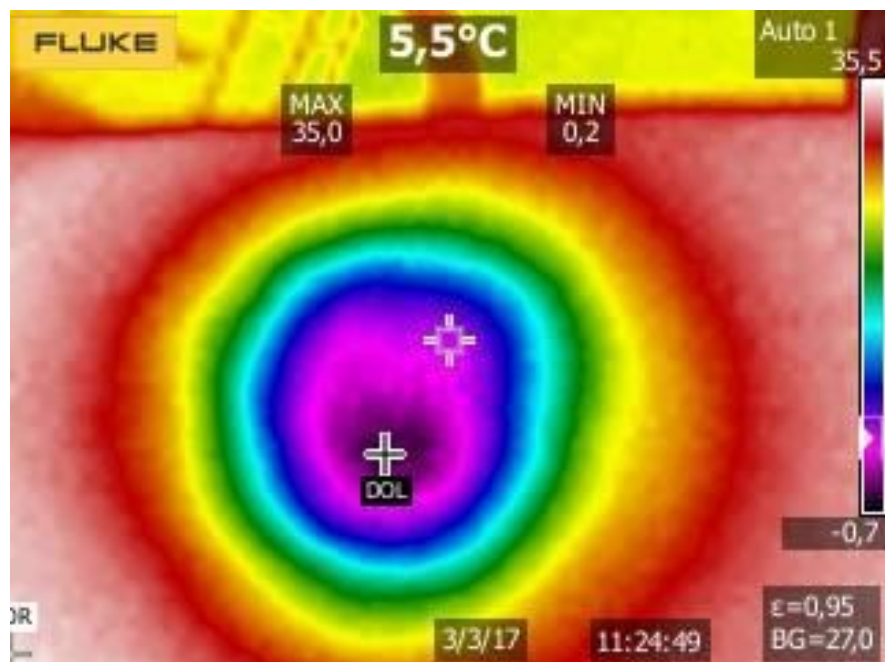
Obr. č. 20 Umístění teplotního čidla na těle před přiložením bodové chladičí hlavice



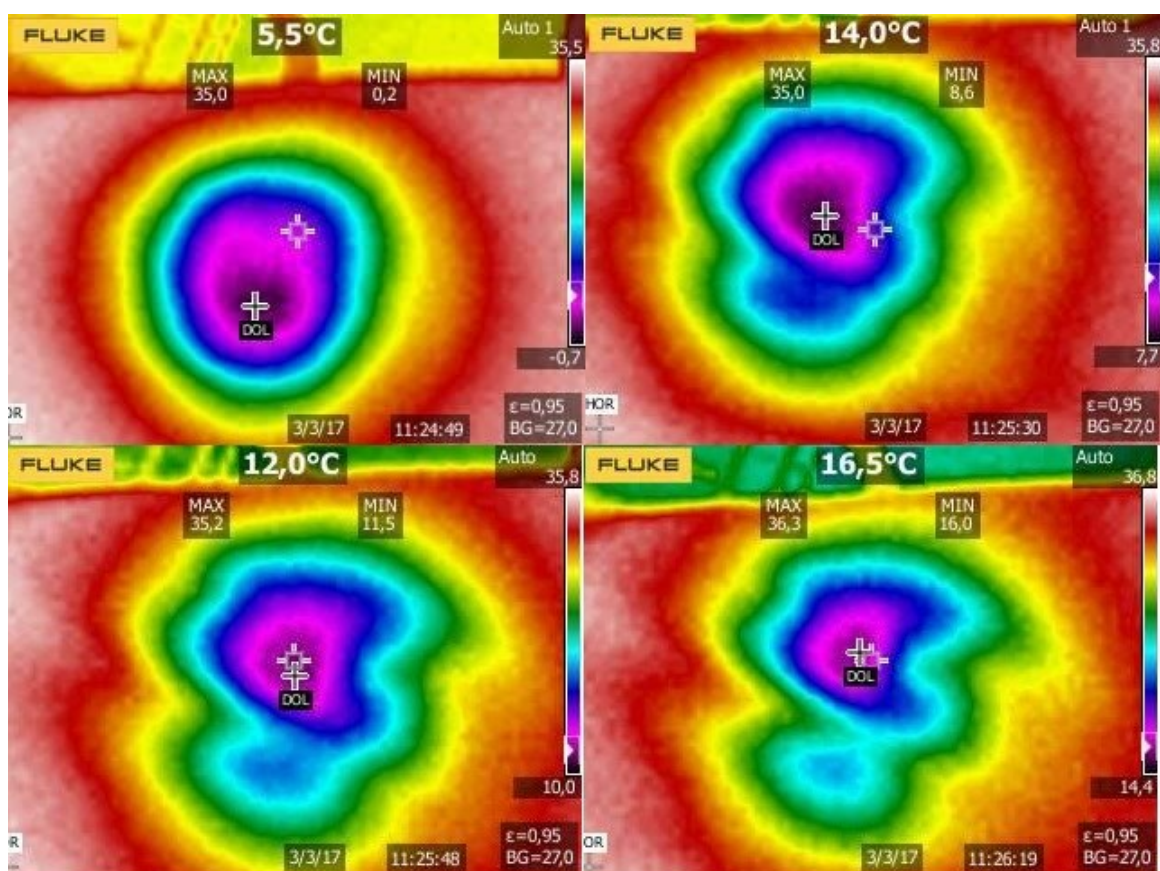


Obr. č. 21 Průběh kontaktní teploty, teploty chladičho prvku a chladicí kapaliny pro různá napětí při aplikaci bodové hlavice

Obr. č. 46 zobrazuje rozložení teplotního pole lokálně vychlazené tkáně bodovou chladicí hlavicí při maximálním chladicím výkonu po 10 minutách chlazení.



Obr. č. 22 Termogram rozložení teplotního pole na živé tkáni po sejmutí bodové chladicí hlavice (max. výkon - 10 min. chlazení)

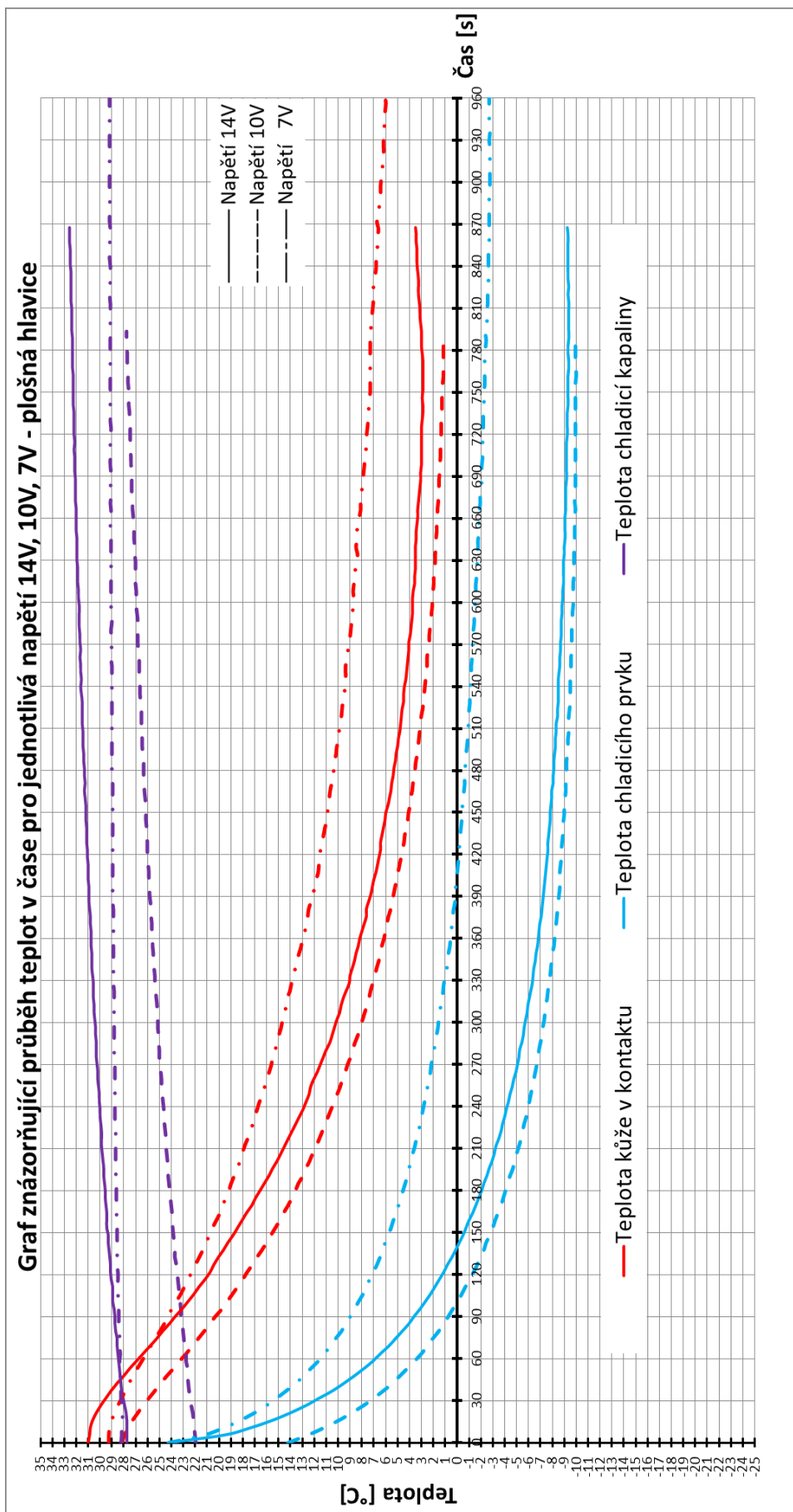


Obr. č. 23 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí bodové chladicí hlavice a dalších 41s, 59s,

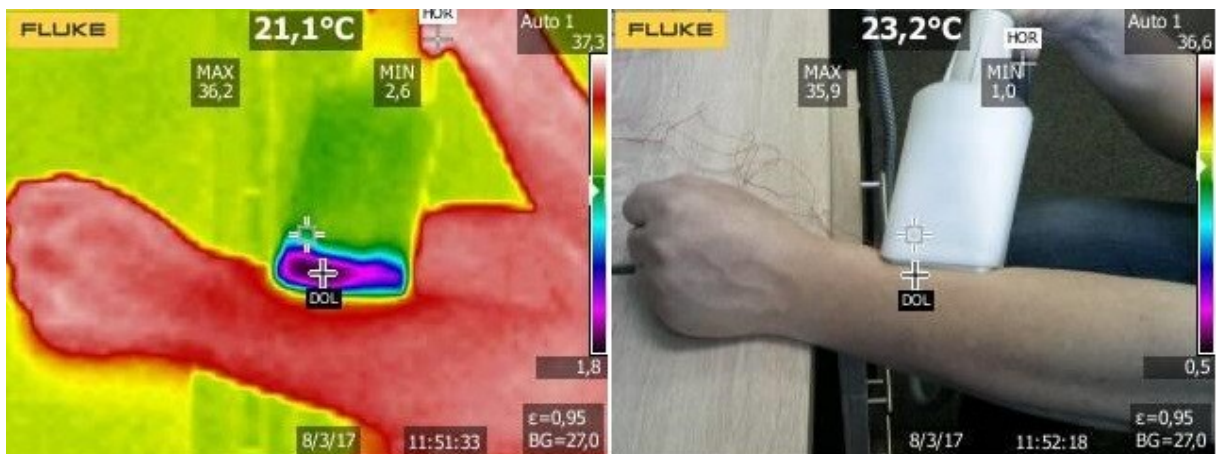
90s

**b) Plošná hlavice s kontaktním prvkem**

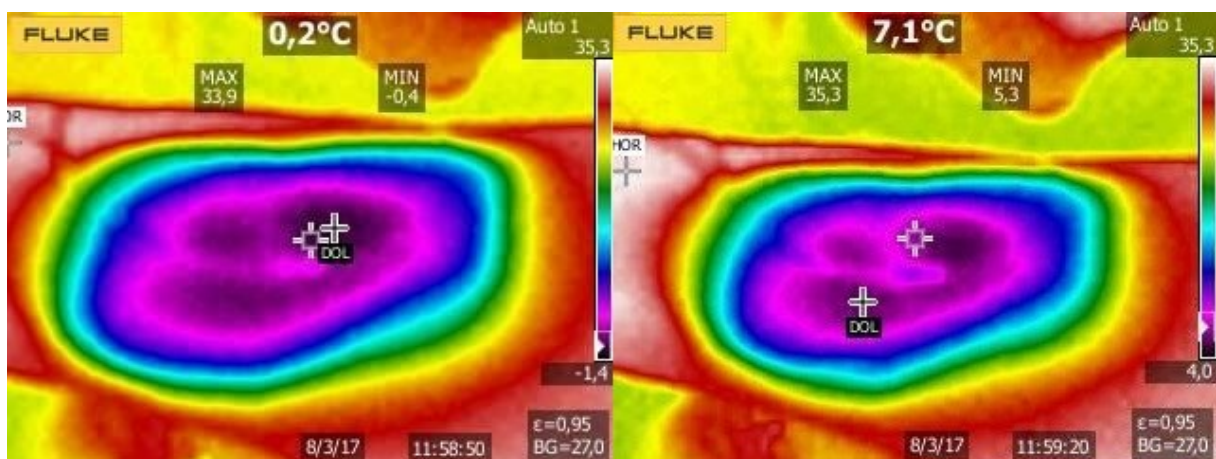
*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*



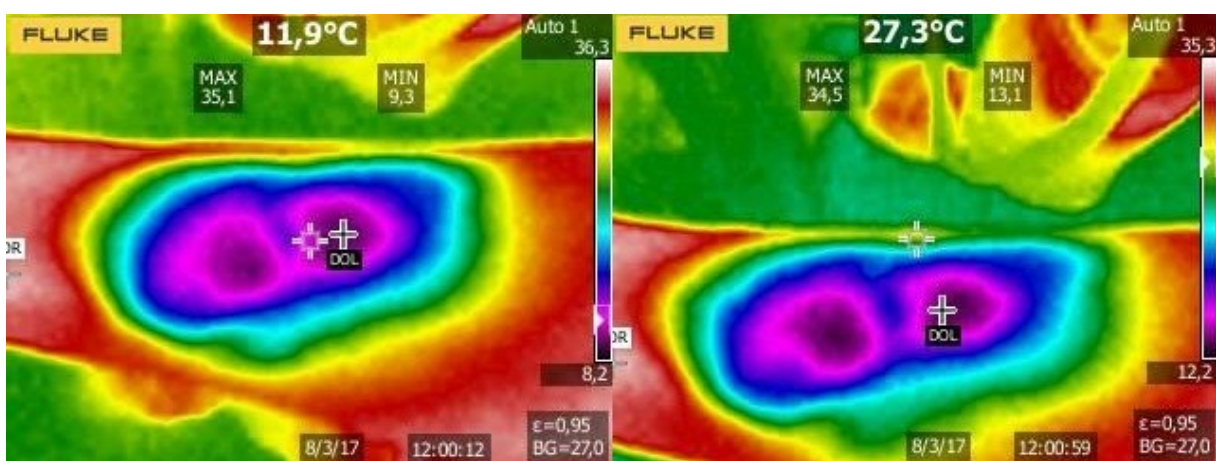
Obr. č. 24 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny pro různá napětí při aplikaci plošné hlavice



Obr. č. 25 Termogram a snímek místa chlazení plošnou chladicí hlavici




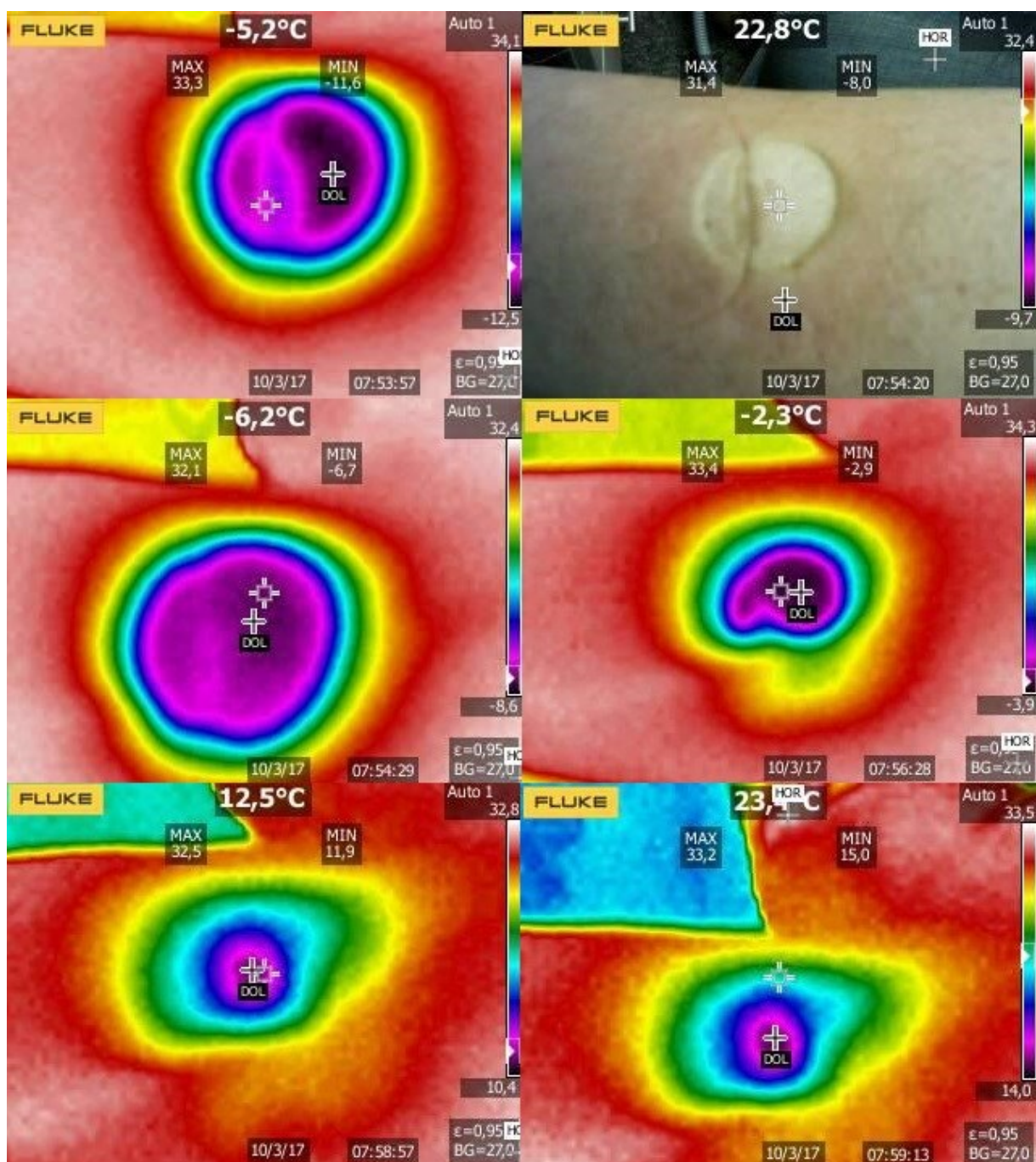
Obr. č. 26 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí plošné chladicí hlavice a dalších 30s - část 1



Obr. č. 27 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí plošné chladicí hlavice po 52s a 99s - část 2

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

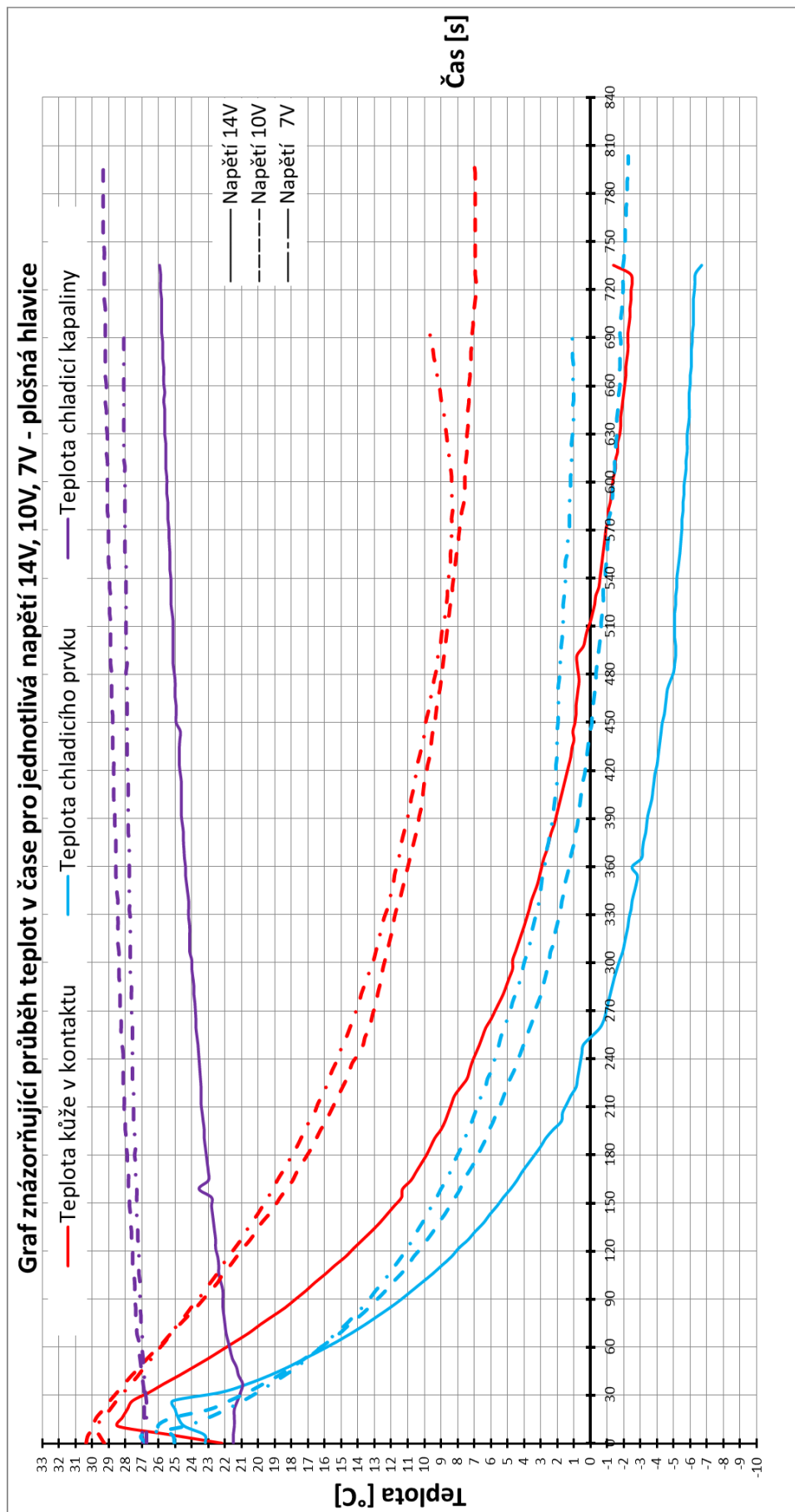
Obr. č. 28 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny pro různá napětí při aplikaci bodové hlavice 



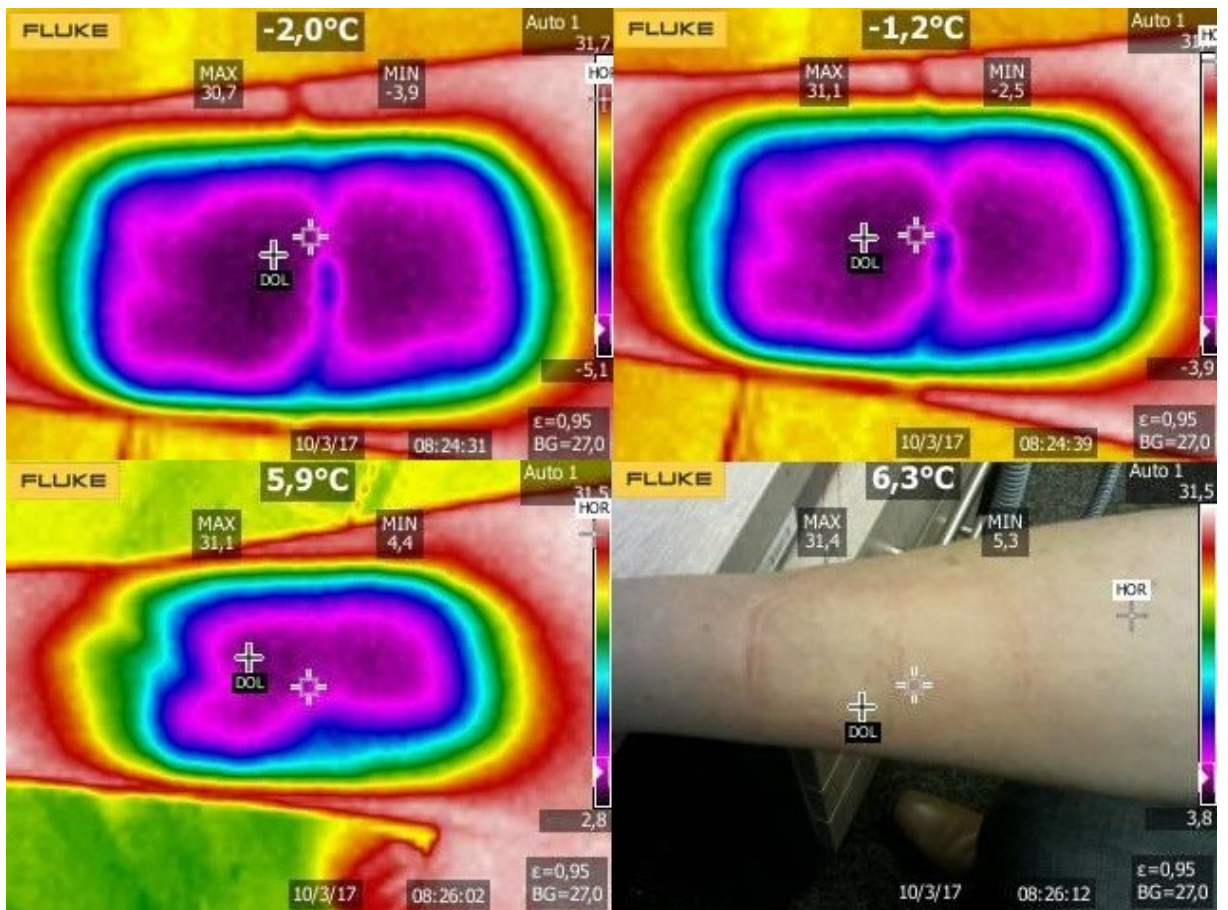
Obr. č. 29 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí bodové chladicí hlavice [redacted] a dalších 23s, 32s, 151s, 356s a 372s



*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*



Obr. č. 30 Průběh kontaktní teploty, teploty chladičícího prvku a chladičící kapaliny pro různá napětí při aplikaci plošné hlavičce



Obr. č. 31 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí plošné chladicí hlavičky

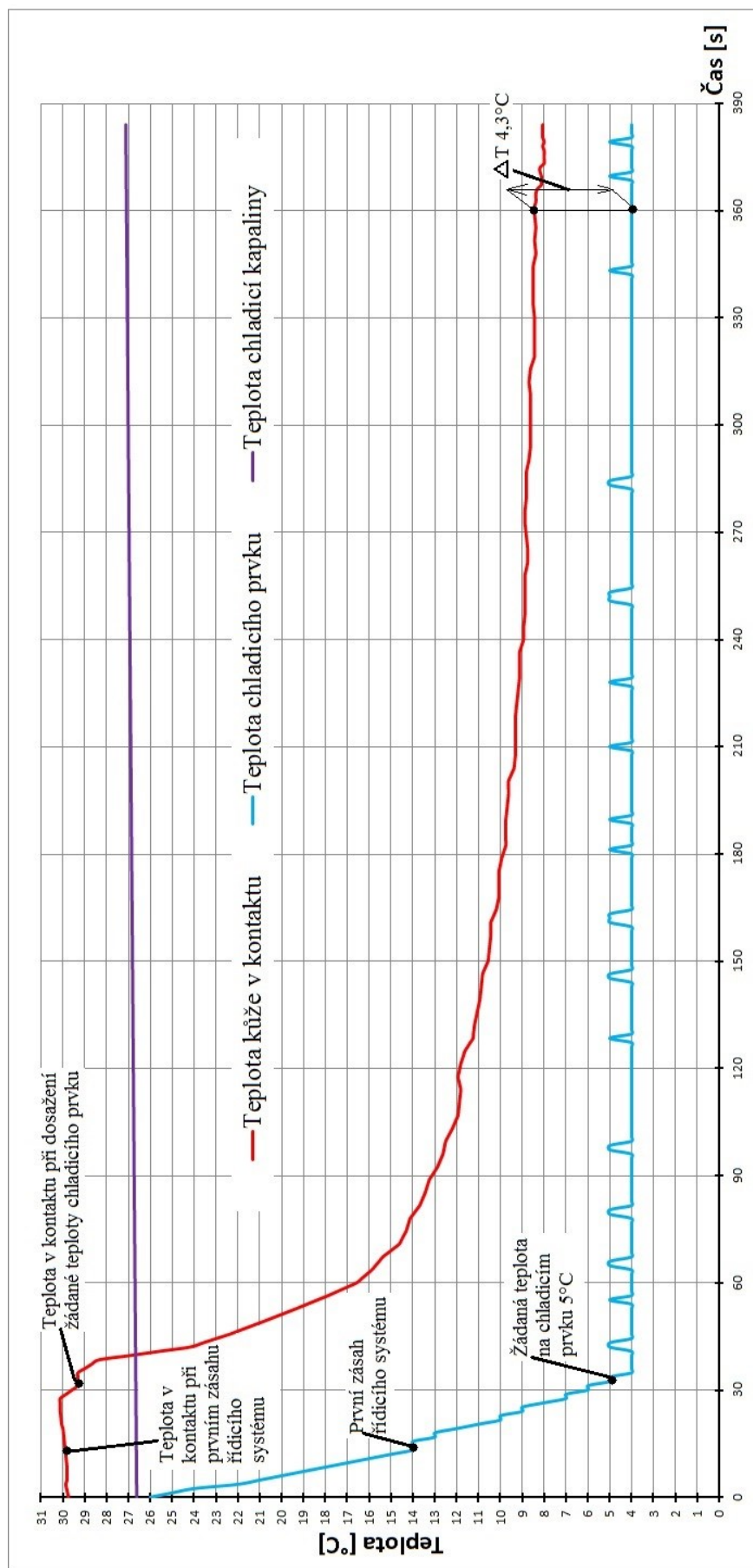
a dalších 8s, 169s a 179s

## 11.2 Testování chladicího zařízení s řídicím systémem pro dosažení žádané kontaktní teploty

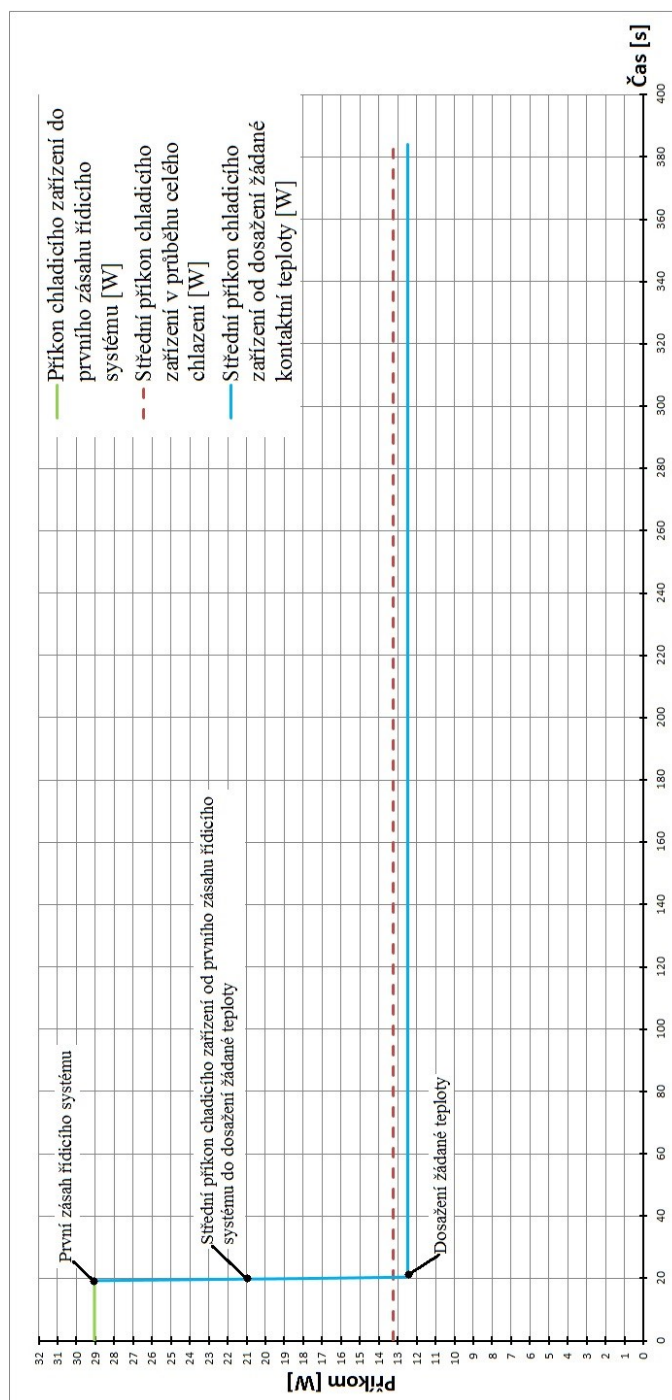
Chladicí zařízení s řídicím systémem bylo testováno při zadání žádané teploty v chladicím prvku 5°C

### a) Bodová chladicí hlavičky

Průběhy teplot v místě kontaktu chladicího prvku s živou tkání po první zásah řídicího systému zařízení a dosažení žádané teploty je uveden na Obr. č. 59. Průběh příkonu zařízení po první zásah řídicího systému a dosažení žádané teploty a jeho udržování v následném chlazení je uveden na Obr. č. 60. Záznamy napájecího proudu a napětí v průběhu chlazení jsou uvedeny v příloze F.



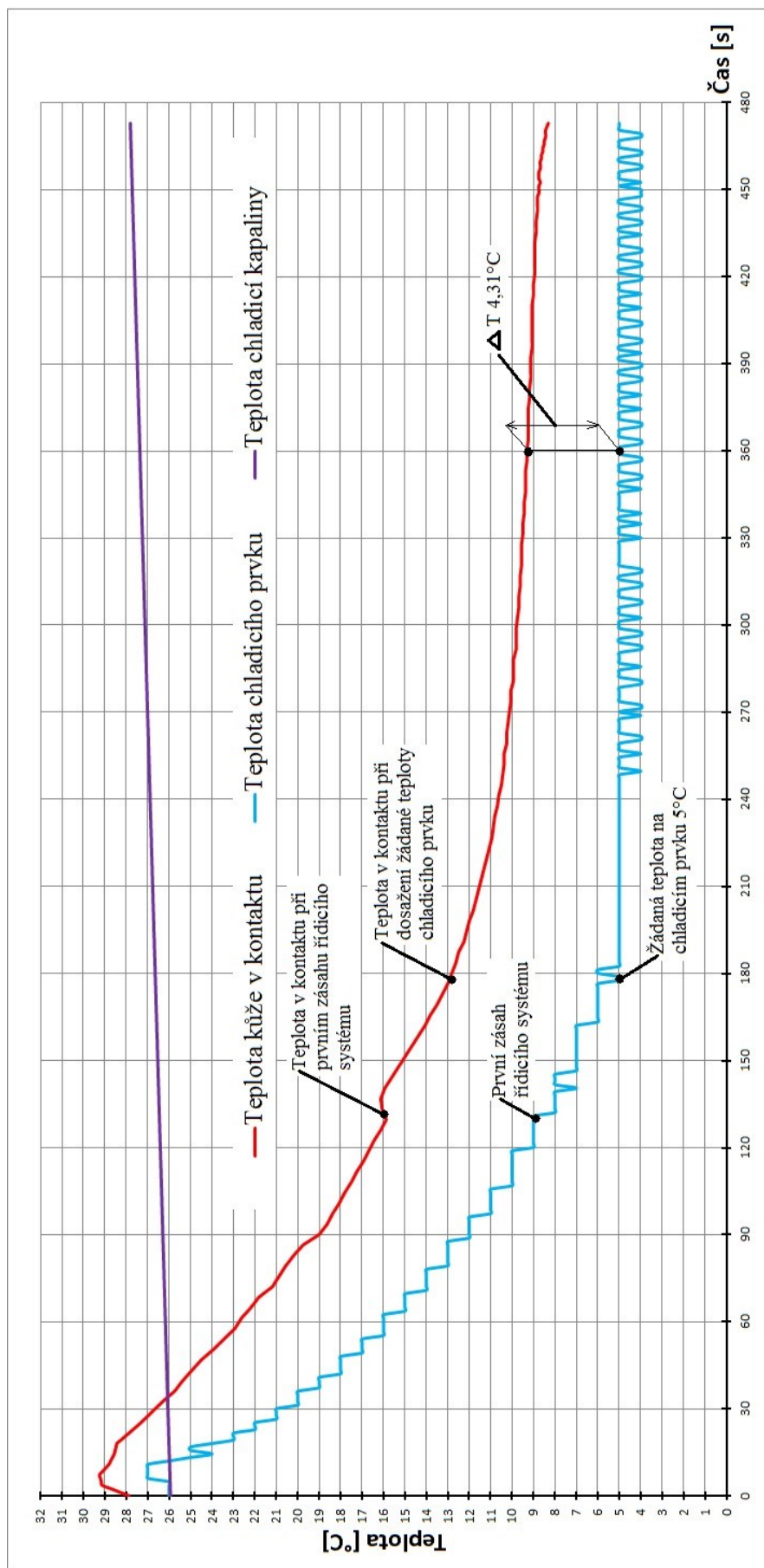
Obr. č. 32 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny při zásahu řídicího systému - bodová hlavice [REDACTED]



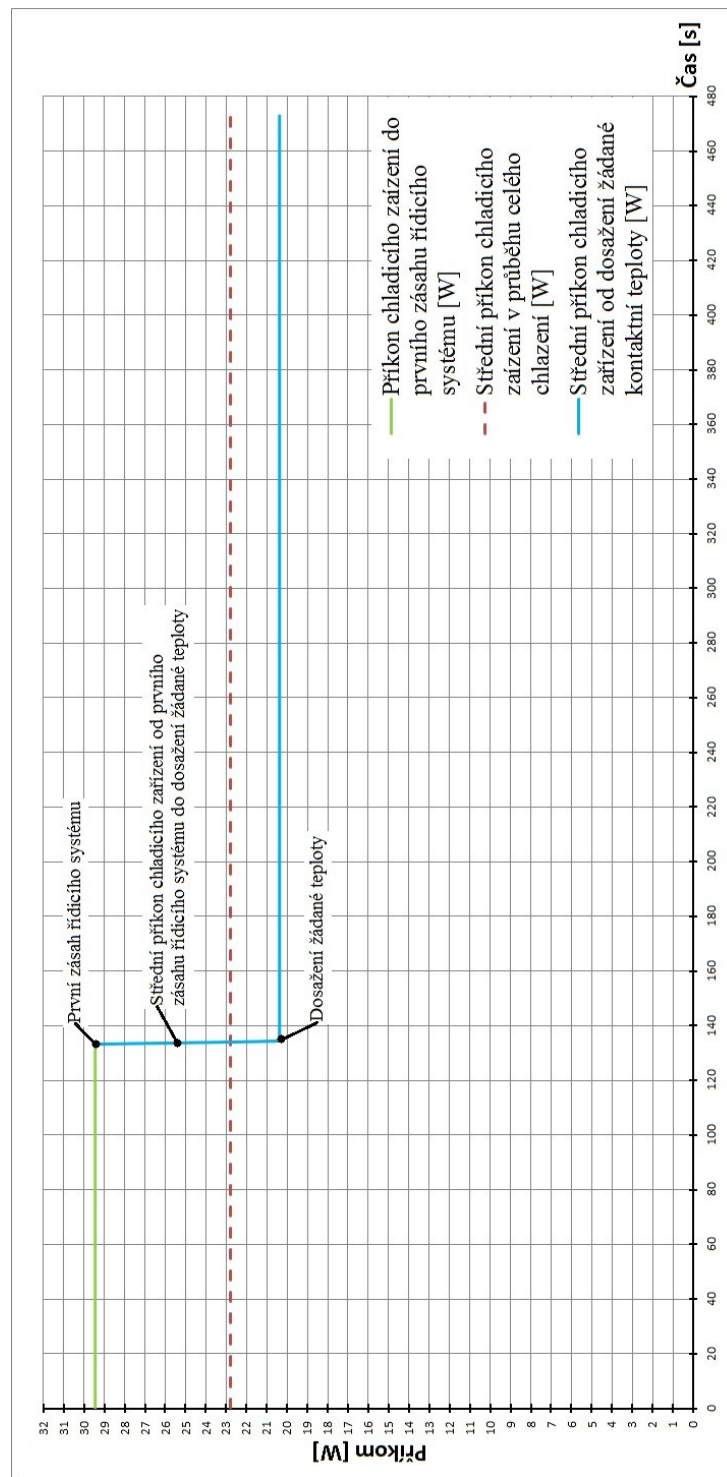
Obr. č. 33 Průběh příkonu zařízení při zásahu řídicího systému a dosažení žádané teploty a jeho udržování - bodová hlavice [redacted]

## b) Plošná chladicí hlavice

Průběhy teplot v místě kontaktu chladicího prvku s živou tkání po první zásah řídicího systému zařízení a dosažení žádané teploty je uveden na Obr. č. 61. Průběh příkonu zařízení po první zásah řídicího systému a dosažení žádané teploty a jeho udržování v následném chlazení je uveden na Obr. č. 62. Záznamy napájecího proudu a napětí v průběhu chlazení jsou uvedeny v příloze G.



Obr. č. 34 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny při zásahu řídicího systému - plošná hlavice



Obr. č. 35 Průběh příkonu zařízení při zásahu řídicího systému a dosažení žádané teploty a jeho udržování - plošná hlavice

## **12. Provedené experimenty**

### **12.1 Dosažení nejnižší teploty v místě kontaktu s živou tkání**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*





vyplývá z rozdílů použitých měřících metod, kdy bodové teplotní čidlo je umístěno v pouzdru a termogram zobrazuje povrchové teplotní pole chlazené oblasti při nespecifikované emisivitě povrchu chlazené oblasti.

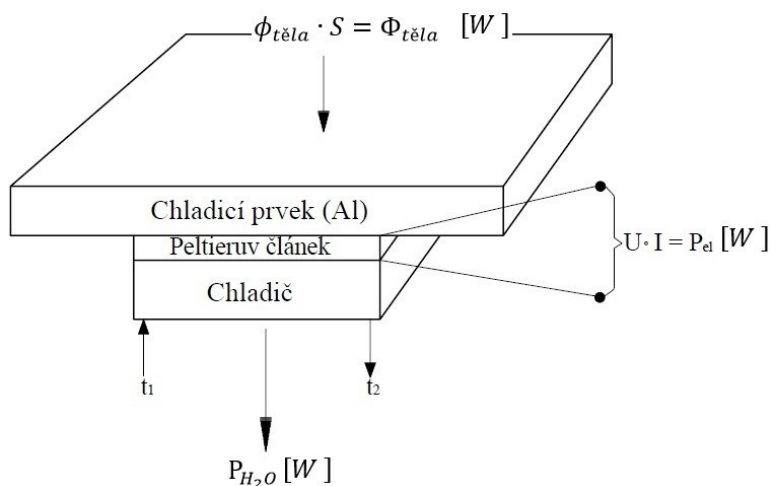


Obr. č. 36 Omrzlina po dosažení kontaktní teploty  $-11,6^{\circ}\text{C}$  při chlazení bodovou chladicí hlavicí s patrným izolačním vlivem přiloženého teplotního čidla

Riziko způsobení omrzlin klade požadavek na jeho eliminaci řídicím systémem chladicího zařízení.

## 12.2 Soulad mezi experimentem a matematickým modelem chladicích hlavic

Tepelnou bilanci **bodové i plošné chladicí hlavice** můžeme popsat s využitím Obr. č. 59, 60, 61, 62 a Obr. č. 65 přibližně vztahem (16), (17).



Obr. č. 37 Základní výpočtové schéma

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*



*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

## Závěr

V rámci řešení diplomové práce, jež byla zpracovávána v návaznosti na bakalářskou práci [1] ve 4. a 5. ročníku s podporou prostředků Studentské grantové soutěže (SGS), a zapojením do programu na podporu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací, GAMA (TA ČR) [2].

Byly zhotoveny následující prototypy:

- Chladicí hlavice s bodovým chladicím prvkem [4],
- Chladicí hlavice s plošným chladicím prvkem [3],
- Řídicí box [24],  
a byl podán PV [5].

Praktické ověření navrženého zařízení prokázalo funkčnost zařízení z hlediska zvoleného příkonu a dosažené kontaktní teploty.

Na prototypch zařízení byly prováděny experimenty z hlediska dosažení nejnižší teploty v kontaktu chladicích hlavic s živou tkání a experimentálně byla ověřována možnost optimalizace zařízení v případě použití materiálu kontaktního prvku s vyšší tepelnou vodivostí.

Další vývoj zařízení předpokládá optimalizaci vyrobených prototypů s uplatněním matematického modelování teplotních polí a z hlediska hmotnosti, výrobních nákladů a výkonů ve spolupráci s medicínskou a veterinární praxí pro jednotlivé aplikace zařízení.

## **Poděkování**

Mé poděkování patří Ing. Zdeňkovi Nogovi, CSc. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval.



## Seznam použité literatury

1. Pauler, Patrik. Zařízení pro vyvození hypotermie v obličejové oblasti hlavy. *Bakalářská práce*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015.
2. Ing. Zdeněk Noga, CSc. Závěrečná zpráva o realizaci projektu TG01010137. *Zpráv - RIV Ostatní*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2016. RIV/61989100:86100172.
3. Bc. Patrik Pauler, Ing. Zdeněk Noga CSc., Ing. Václav Sládeček, Ph.D. Chladicí hubice s velkou kontaktní plochou . *RIV/61989100:27230/16:86098501*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2016. 010/19-12-2016\_P.
4. Bc. Patrik Pauler, Ing. Zdeněk Noga, CSc., Ing. Václav Sládeček, Ph.D. Chladicí hubice s malou kontaktní plochou. *RIV/61989100:27230/16:86098502*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2016. 011/19-12-2016\_P.
5. Bc. Patrk Pauler, Ing. Zdeněk Noga, CSc., Ing. Václav Sládeček, Ph.D. Zařízení pro lokální chlazení tkáně. *RIV/61989100:27230/16:86099999*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava , 2016.
6. Švehlová, Dominika. EQUICHANNEL.cz Nejstarší české zpravodajský server o koních a jezdeckví. *Zdraví a veterinární péče*. [Online] 17. Listopad 1999. [Citace: 8. Leden 2017.] <http://www.equichannel.cz/lecba-chladem>. ISSN: 1213-0737.
7. Lokální kryoterapie. *Kryoterapie*. [Online] [Citace: 8. Leden 2017.] <http://kryoterapie.cz/kryoterapie/lokalni-kryoterapie/>.
8. MUDr. Machoň, Vladimír a Marcela Dejmalová. Zlomeniny obličejového skeletu. *ZDN*. [Online] 17. Březen 2005. [Citace: 7. Listopad 2014.] <http://zdravi.e15.cz/clanek/sestra/zlomeniny-oblicejoveho-skeletu-302961>.
9. Total Clinic Solutions. *Reusable hot/cold pack*. [Online] 2014. <http://www.totalclinicsolutions.com/product/reusable-hotcold-pack-5x10/>.
10. Devices. *Hilotherapy UK Ltd*. [Online] © 2014 . [Citace: 10. Listopad 2014.] <http://www.hilotherapyuk.com/devices>.
11. READY, GAME. Rehabilitation-equipment. *gameready*. [Online] 2017. [Citace: 23. Únor 2017.] <http://www.gameready.com/rehabilitation-equipment>.
12. Rubin, Aleš a Olga Rubinová. Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka. *TZB-info*. [Online] 22. Srpen 2005. [Citace: 16. Listopad 2014.] <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitрни-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>.

13. Jiráček, Zdeněk a Zuzana Mathauserová. 2.3 Výměna tepla - rovnice tepelné bilance. *Kurs 3 - Měření a hodnocení pracovní tepelné zátěže na pracovištích*. [Online] 2013. [Citace: 12. Listopad 2014.] [http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/23\\_vmna\\_tepla\\_\\_rovnice\\_tepeln\\_bilance.html](http://www.khshk.cz/e-learning/kurs3/23_vmna_tepla__rovnice_tepeln_bilance.html).
14. Ing. Centnerová, Lada. Tepelná pohoda a nepohoda. *TZB-info*. [Online] 13. Prosinec 2000. [Citace: 16. Listopad 2014.] <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>.
15. electronic, GM. Teplotní čidla s analogovým výstupem . *GM electronic* . [Online] 2017. <https://www.gme.cz/lm35dz-to92-texas-instruments>. Copyright 1990–2017 .
16. s.r.o., TME Czech Republic. Převodníky teploty . *TME*. [Online] 2017. <http://www.tme.eu/cz/details/ds18b20u+/prevodniky-teploty/maxim-dallas/>.
17. Hubka, Vladimír. *KONSTRUKČNÍ NAUKA Obecný model postupu při konstruování*. Zürich : Heurista, 1995. ISBN: 80-90 1135-0-8.
18. Kováč, Jozef a Eva Ostertagová. Transfer inovácií. *Internetový časopis o inováciách v priemysle*. [Online] 19. Únor 2008. [Citace: 5. Prosinec 2014.] <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/index.htm>. ISSN 1337-7094.
19. item. *item Industrietechnik* . [Online] 2016. <http://welcome.item24.cz/welcome>.
20. Šustr, Jan. Vodní chlazení/All-in-One. *JSComputers*. [Online] 2017. [http://www.jscomputers.cz/produkt/Alphacool\\_NexXoS\\_Cool\\_Answer\\_240\\_D5-ST\\_-\\_Set.html?arg1=001053008](http://www.jscomputers.cz/produkt/Alphacool_NexXoS_Cool_Answer_240_D5-ST_-_Set.html?arg1=001053008).
21. Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Píček PhD. *Hydraulika potrubí*. Praha : K141 FSv ČVUT, 2006.
22. Bureš, Jiří. Viskozita vody. *conVERTER*. [Online] © 2002. [Citace: 22. Duben 2015.] <http://www.converter.cz/tabulky/viskozita-vody.htm>.
23. Corporation, Fluke. Termokamera Fluke TiS20 . *Fluke Corporation*. [Online] 1995 - 2017 . <http://www.fluke.com/fluke/czcs/termokamery/Fluke-TiS20.htm?PID=79860>.
24. Bc. Patrik Pauler, Ing. Zdeněk Noga CSc., Ing. Václav Sládeček, Ph.D. Řídicí box chladicího zařízení pro uplatnění lokálního chlazení v medicínské a veterinární oblasti. *RIV/62989100:27240/16:86098498*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2016. 007/19-12-2016\_P.

## Seznam obrázků

Obr. č. 1 Chladicí a hřejivá gelová poduška [9] .....	15
Obr. č. 2 HILOTHERM Clinic [10] .....	16
Obr. č. 3 HILOTHERM Domácí péče [10] .....	16
Obr. č. 4 Gameready chladicí a kompresní systém [11].....	17
Obr. č. 5 Gameready chladicí a kompresní systém [11].....	18
Obr. č. 6 Tepelné ztráty .....	18
Obr. č. 15 Teplotní analýza výchozí konstrukce čelního krytu bodové chladicí hlavice .....	26
Obr. č. 16 Teplotní analýza upravené konstrukce čelního krytu .....	27
Obr. č. 26 Černá skříňka chladicího zařízení.....	36
Obr. č. 27 Schéma technického procesu .....	37
Obr. č. 28 Chladicí zařízení - Hierarchický funkční strom.....	38
Obr. č. 29 Chladicí zařízení – funkční struktura (blokové schéma) .....	38
Obr. č. 31 Organová struktura – výběr konceptu.....	42
Obr. č. 32 Koncepční schéma – typ A .....	43
Obr. č. 33 Koncepční schéma – typ B .....	43
Obr. č. 34 Koncepční schéma – typ C .....	44
Obr. č. 36 WinCC programování grafiky .....	46
Obr. č. 37 Siemens Simatic dotykový panel v provozu.....	46
Obr. č. 43 Zobrazení sledované oblasti a její povrchové teplotní pole.....	56
Obr. č. 44 Umístění teplotního čidla na těle před přiložením bodové chladicí hlavice.....	56
Obr. č. 45 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny pro různá napětí při aplikaci bodové hlavice .....	57
Obr. č. 46 Termogram rozložení teplotního pole na živé tkáni po sejmutí bodové chladicí hlavice (max. výkon - 10 min. chlazení) .....	58
Obr. č. 47 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí bodové chladicí hlavice a dalších 41s, 59s, 90s .....	58
Obr. č. 49 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny pro různá napětí při aplikaci plošné hlavice.....	60
Obr. č. 50 Termogram a snímek místa chlazení plošnou chladicí hlavici .....	61
Obr. č. 51 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí plošné chladicí hlavice a dalších 30s - část 1 .....	61
Obr. č. 52 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí plošné chladicí hlavice po 52s a 99s - část 2 .....	61

Obr. č. 54 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny pro různá napětí při aplikaci bodové hlavice [REDACTED] .....	63
Obr. č. 55 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí bodové chladicí hlavice [REDACTED] a dalších 23s, 32s, 151s, 356s a 372s .....	64
Obr. č. 57 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny pro různá napětí při aplikaci plošné hlavice [REDACTED] .....	66
Obr. č. 58 Prohřev vychlazené tkáně po sejmutí plošné chladicí hlavice [REDACTED] a dalších 8s, 169s a 179s .....	67
Obr. č. 59 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny při zásahu řídicího systému - bodová hlavice [REDACTED] .....	68
Obr. č. 60 Průběh příkonu zařízení při zásahu řídicího systému a dosažení žádané teploty a jeho udržování - bodová hlavice [REDACTED] .....	69
Obr. č. 61 Průběh kontaktní teploty, teploty chladicího prvku a chladicí kapaliny při zásahu řídicího systému - plošná hlavice [REDACTED] .....	70
Obr. č. 62 Průběh příkonu zařízení při zásahu řídicího systému a dosažení žádané teploty a jeho udržování - plošná hlavice [REDACTED] .....	71
Obr. č. 64 Omrzlina po dosažení kontaktní teploty $-11,6^{\circ}\text{C}$ při chlazení bodovou chladicí hlavici s patrným izolačním vlivem přiloženého teplotního čidla .....	74
Obr. č. 65 Základní výpočtové schéma .....	74

## Seznam tabulek

Tab. 1 Energetický výdej – klasifikace dle činnosti [14] .....	20
Tab. 2 Požadavkový list.....	32
Tab. 3 Ztráty třením v chladícím okruhu.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Tab. 4 Místní ztráty v chladícím okruhu.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

## Seznam příloh

*Název přílohy:*

*Počet listů - Formát listu přílohy:*

Příloha A: Data nezbytná pro návrh.	1	-	A4
Příloha B: Technické parametry Peltierova modulu.	1	-	A4
Příloha C: Technické parametry vodního chlazení.	1	-	A4
Příloha D: Technické parametry čerpadla VPP-655 T12.	2	-	A4
Příloha E: Porovnání povrchového teplotního pole bodové chladičí hlavice před a po její úpravě	15	-	A4
Příloha F: Soulad mezi experimentem a matematickým modelem bodové chladičí hlavice.	10	-	A4
Příloha G: Soulad mezi experimentem a matematickým modelem plošné chladičí hlavice.	10	-	A4
Příloha H: Seznam výkresové dokumentace	1	-	A4
Příloha I: Výkresová dokumentace	2	-	A0

## Příloha A: Data nezbytná pro návrh.

Tab. 1 Technické parametry PA Typ 6

PA Typ 6	jednotka	značka	hodnota
Měrná tepelná kapacita	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	c <sub>PA</sub>	1601
Objemová hmotnost	[kg.m <sup>-3</sup> ]	ρ <sub>PA</sub>	1120
Součinitel tepelné vodivosti	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	λ <sub>PA</sub>	0,233

Tab. 2 Technické parametry hliníku

Hliník	jednotka	značka	hodnota
Měrná tepelná kapacita	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	c <sub>Al</sub>	900
Objemová hmotnost při 20°C	[kg.m <sup>-3</sup> ]	ρ <sub>Al</sub>	2705
Součinitel tepelné vodivosti při 20°C	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	λ <sub>Al</sub>	204

Tab. 3 Technické parametry nerezové oceli

Nerezová ocel	jednotka	značka	hodnota
Měrná tepelná kapacita	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	c <sub>š</sub>	450
Objemová hmotnost	[kg.m <sup>-3</sup> ]	ρ <sub>š</sub>	8027
Součinitel tepelné vodivosti	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	λ <sub>š</sub>	14,6

Tab. 4 Technické parametry vody

Voda	jednotka	značka	hodnota
Měrná tepelná kapacita	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	c <sub>H2O</sub>	4180
Objemová hmotnost při 20°C	[kg.m <sup>-3</sup> ]	ρ <sub>H2O</sub>	1000
Součinitel tepelné vodivosti při 20°C	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	λ <sub>H2O</sub>	0,599

Zdroj: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/58-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-stavebnich-materialu#t17>

## Příloha B: Technické parametry Peltierova modulu.



**STONECOLD TES1-12704**  
 Modul: Peltirérův; 14,6V; 4,3A; 30x30x3,3mm; 36W; Mat: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 16AWG 

Symbol: PM-30X30-36      **Technické informace:**  (1)  
 Označení výrobce: TES1-12704      **Katalogový popis:** [detaily](#)  
 Výrobce: STONECOLD

**PŘIDEJ K OBJEDNÁVCE**

1 **OBJEDNEJ**

Skladový stav: ● 156 [ks]  
 Dodávky do skladu:  [Zkontroluj](#)  
 Min. množství: 1  
 Násobnost: 1  
 Hromadné balení [ks]: 1

**CENOVÁ ROZPĚTÍ**

Množství [ks]	Cena netto* CZK
1+	340.45 Kč
3+	299.60 Kč
5+	258.74 Kč
25+	217.89 Kč

\* Všechny ceny jsou uvedené bez DPH a neobsahují náklady na dopravu, které se dopočítou do objednávky jako samostatná položka. Hodnotu nákladů na dopravu najdete zde: ["Jak nakoupit"](#).

[P](#) Přidej do Parkoviště

SPECIFIKACE	 SOUBORY KE STAŽENÍ (1)	MULTIMEDIA	Zobrazit podobné výrobky
Výrobce	STONECOLD		<input type="checkbox"/>
Typ modulu	Peltirérův		<input checked="" type="checkbox"/>
Max. prac. napětí	14.6V		<input type="checkbox"/>
Max. pracovní proud	4.3A		<input type="checkbox"/>
Vnější rozměry	30 x 30 x 3.3mm		<input type="checkbox"/>
Max. množství odváděného tepla	36W		<input type="checkbox"/>
Materiál	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		<input type="checkbox"/>
Průřez vodiče	16AWG		<input type="checkbox"/>
Délka kabelu	150mm		<input type="checkbox"/>
Materiál kontaktu	BiSn		<input type="checkbox"/>
Max. rozdíl teplot	68°C		<input type="checkbox"/>
Pracovní teplota	max. 138°C		<input type="checkbox"/>
Hodnota 	3.1Ω		<input type="checkbox"/>
Materiál izolace vodiče	teflon		<input type="checkbox"/>

Zdroj: <http://www.tme.eu/cz/details/pm-30x30-36/peltierovy-moduly/stonecold/tes1-12704/#>



## **Příloha C: Technické parametry vodního chlazení.**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

**Příloha D:**

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

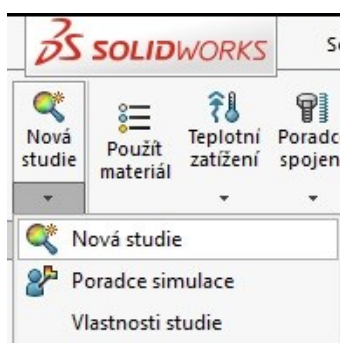



## Příloha E: Porovnání povrchového teplotního pole bodové chladicí hlavice před a po její úpravě.

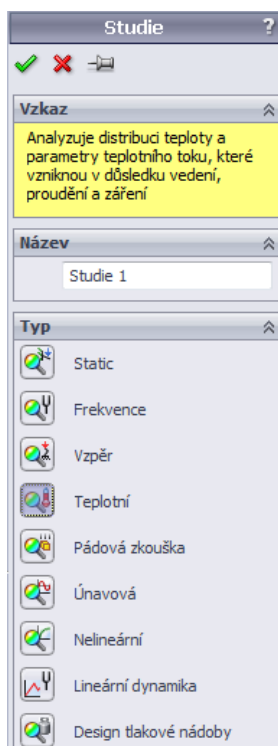
### TEPLOTNÍ ANALÝZA VÝCHOZÍ KONSTRUKCE ČELNÍHO KRYTU BODOVÉ CHLADICÍ HLAVICE

#### Vytvoření projektu teplotní analýzy

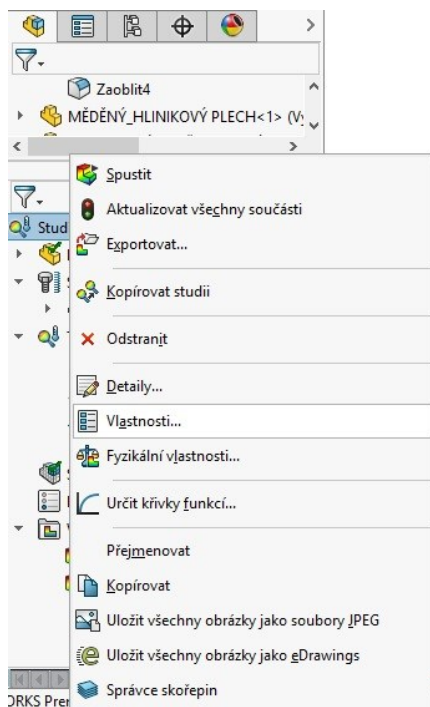
1. V modulu Simulace klepneme na tlačítko Poradce studií nová studie.



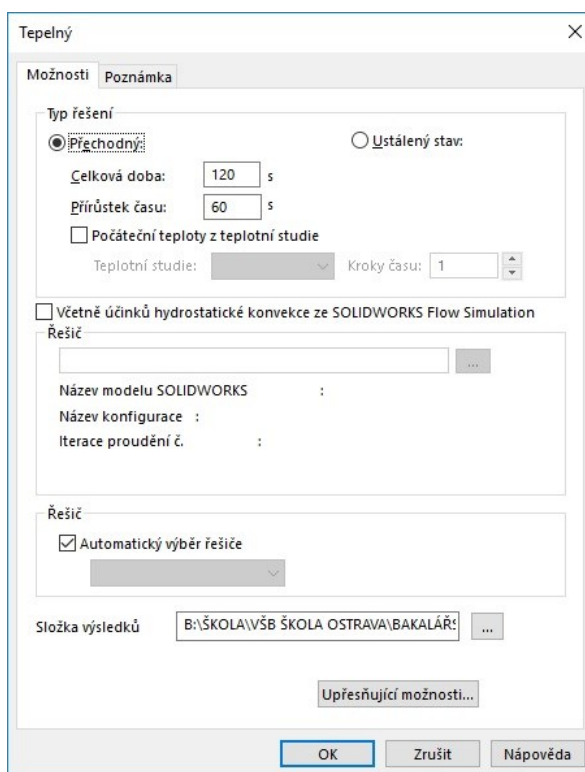
2. V dialogovém okně Studie si vybereme, kterou studii chceme provádět, v našem případě teplotní. Přijmeme nastavení tlačítkem 'OK' .



3. Ve stromu Teplotní studie klikneme pravým tlačítkem myši na vytvořenou studii a klikneme na políčko vlastnosti.

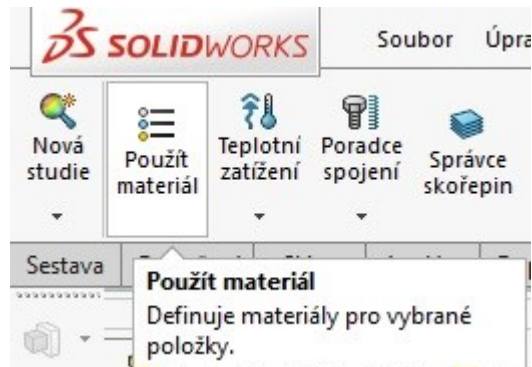


4. V dialogovém okně „Tepelný“ přepneme typ řešení na přechodný a nastavíme celkovou dobu a přírůstek času. V našem případě nastavíme celkovou dobu na 120s a přírůstek času po 60s. Přijmeme nastavení tlačítkem OK.

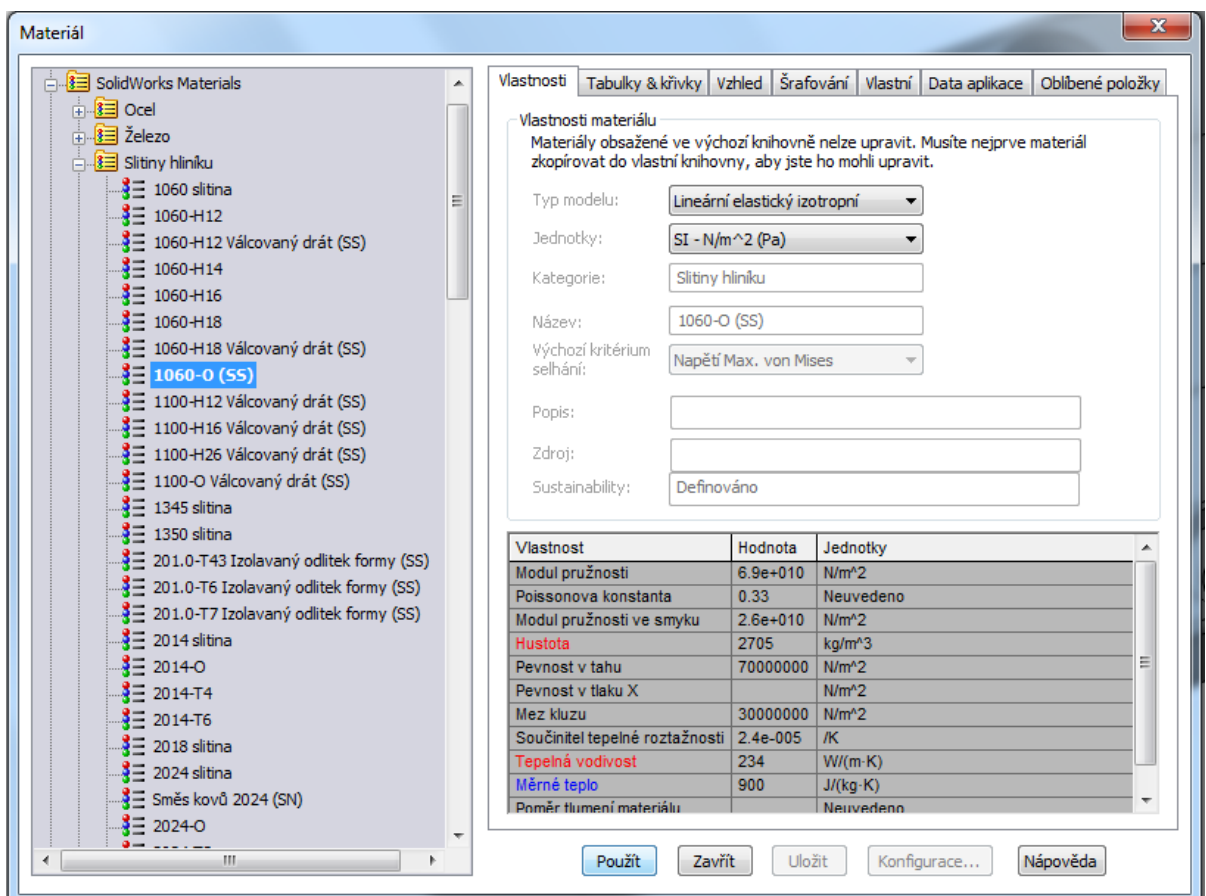


Dalším krokem je zadání okrajových podmínek.

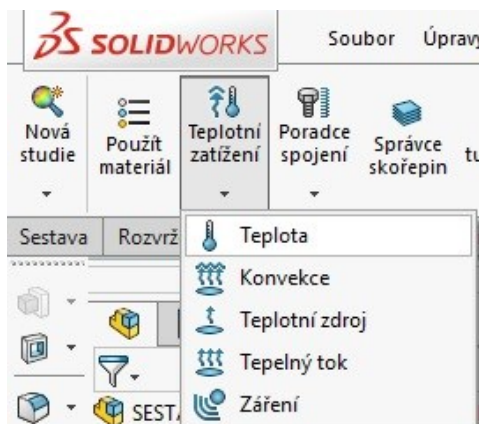
5. Přiřazení materiálu dílu.




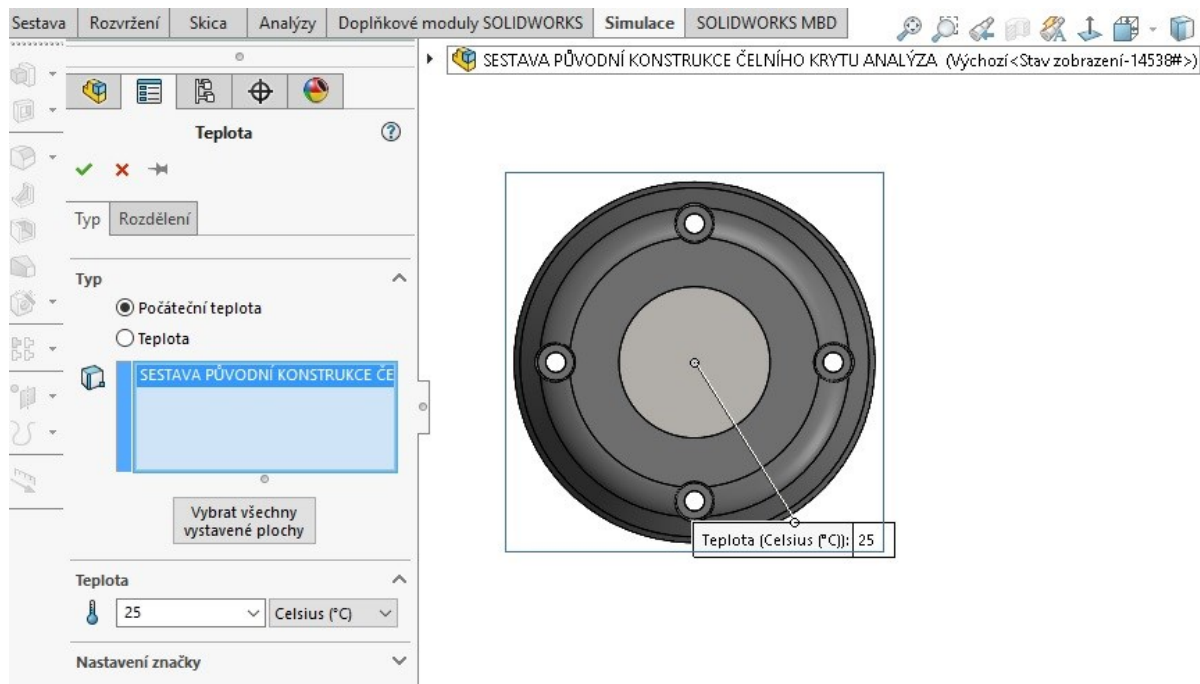
6. V dialogovém okně Materiál vybereme druh materiálu a přijmeme nastavení tlačítkem Použít, Zavřít.



7. V seznamu typů okrajových podmínek, vybereme Teplotní zatížení a klikneme na tlačítko Teplota.



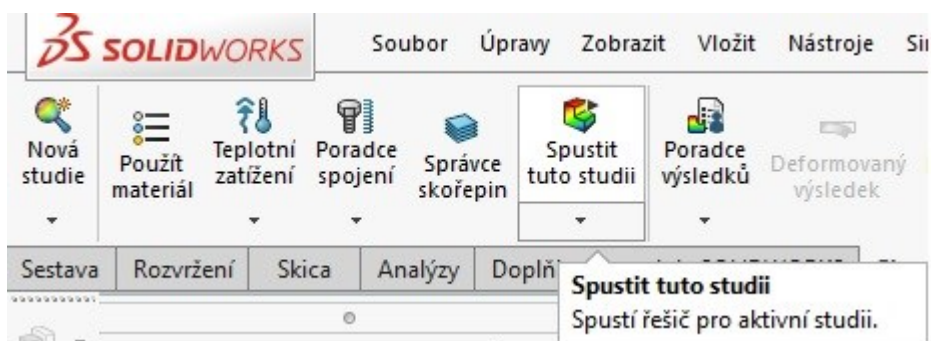
8. V dialogovém okně Teplota nastavíme počáteční teplotu a označíme kontrolovanou sestavu / díl. V našem případě SESTAVA PŮVODNÍ KONSTRUKCE ČELNÍHO KRYTU s počáteční teplotou 25°C. Přijmeme nastavení tlačítkem 'OK' .



*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*



*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

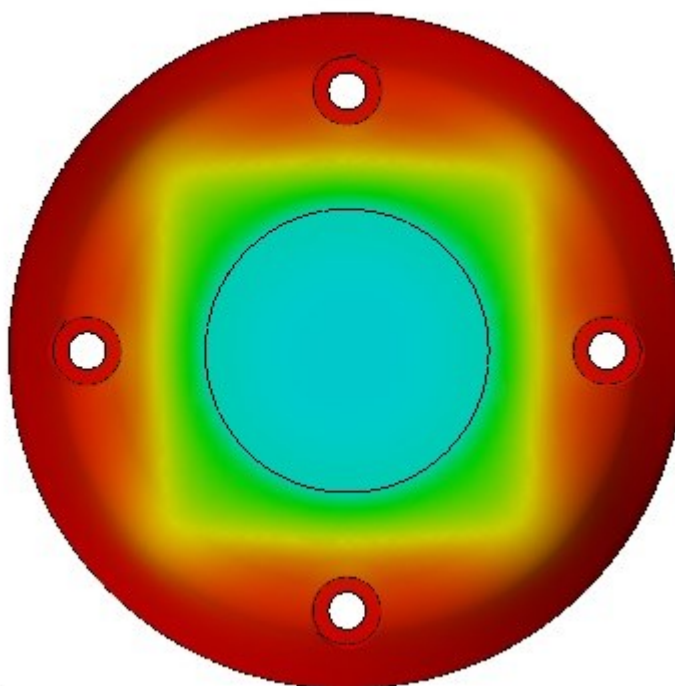
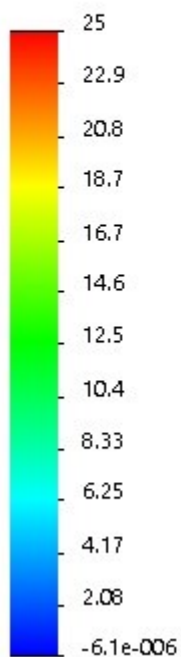


## 9. Výsledek řešení

V čase 60s:

Název modelu:SESTAVA PŮVODNÍ KONSTRUKCE ČELNÍHO KRYTÍ ANALÝZA  
Název studie:Studie 1(-Výchozí-)  
Typ obrázku: Tepelný Teplotní1  
Časový krok: 1 čas: 60 sekund

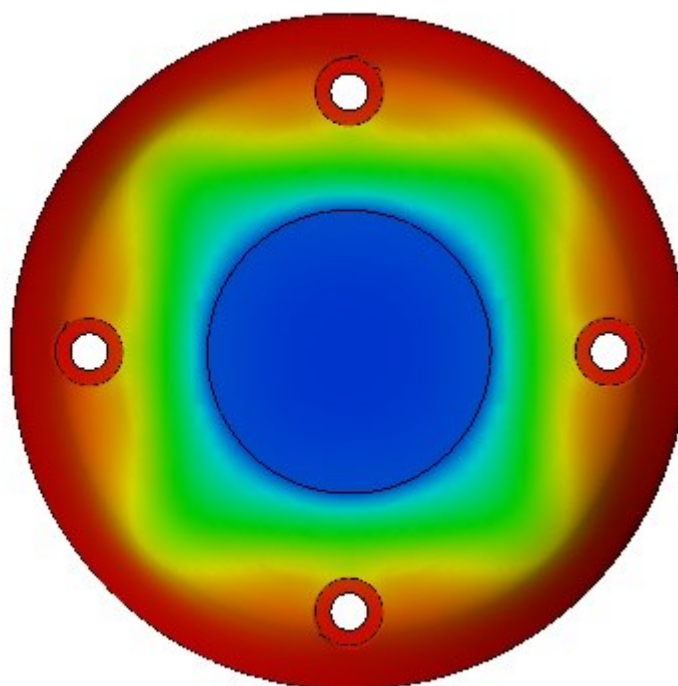
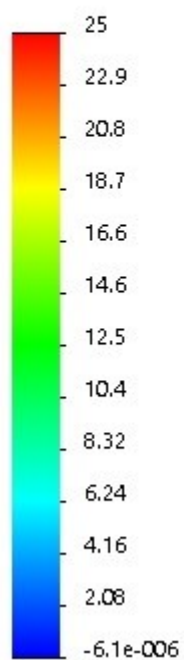
Tepl (Celsius)



V čase 120s:

Název modelu:SESTAVA PŮVODNÍ KONSTRUKCE ČELNÍHO KRYTU ANALÝZA  
Název studie:Studie 1[-Výchozí-]  
Typ obrázku: Tepelný Teplotní3  
Časový krok: 2 čas: 120 sekund

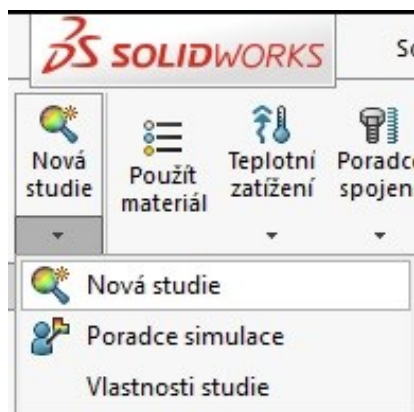
Teplo (Celsius)




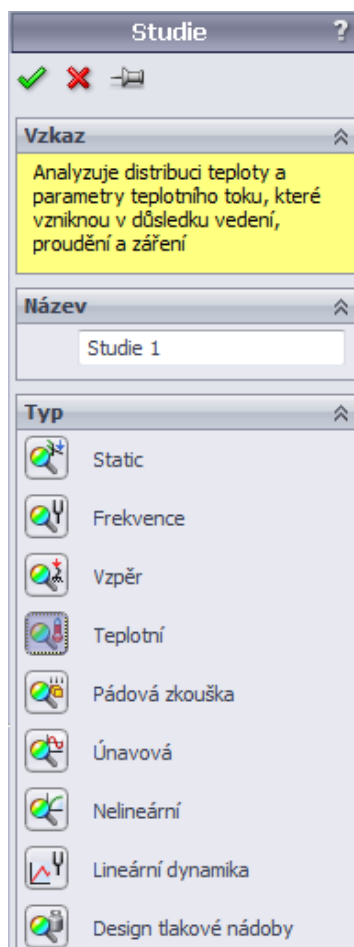
# TEPLOTNÍ ANALÝZA UPRAVENÉ KONSTRUKCE ČELNÍHO KRYTU BODOVÉ CHLADICÍ HLAVICE

## Vytvoření projektu teplotní analýzy

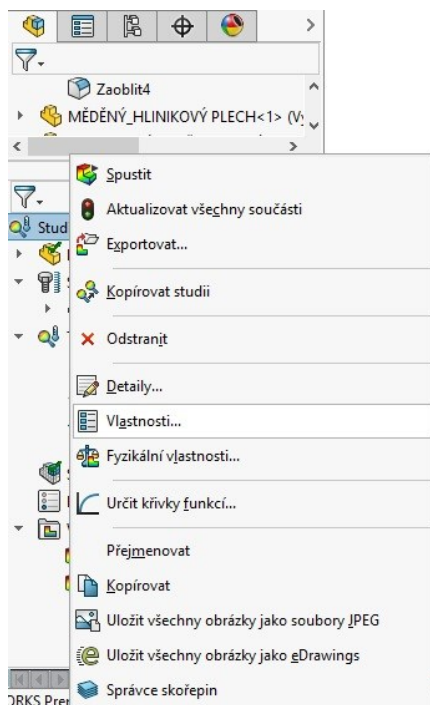
1. V modulu Simulace klepneme na tlačítko Poradce studií nová studie.



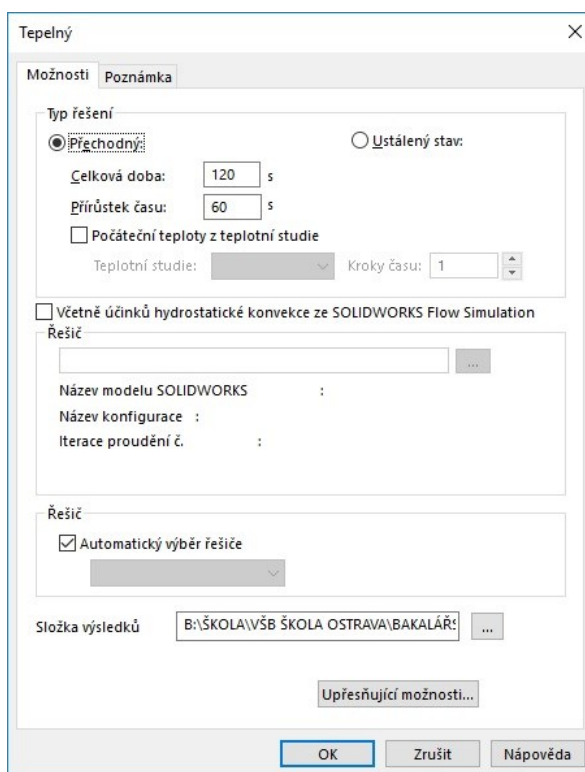
2. V dialogovém okně Studie si vybereme, kterou studii chceme provádět, v našem případě teplotní. Přijmeme nastavení tlačítkem OK .



3. Ve stromu Teplotní studie klikneme pravým tlačítkem myši na vytvořenou studii a klikneme na políčko vlastnosti.

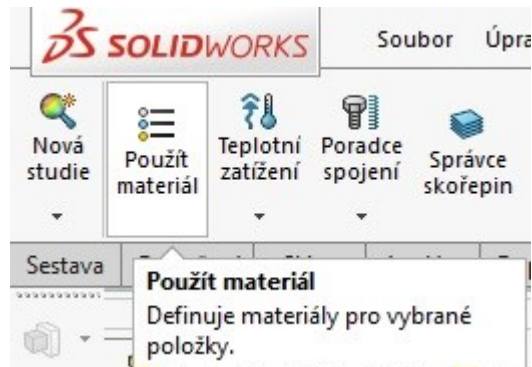


4. V dialogovém okně „Tepelný“ přepneme typ řešení na přechodný a nastavíme celkovou dobu a přírůstek času. V našem případě nastavíme celkovou dobu na 120s a přírůstek času po 60s. Přijmeme nastavení tlačítkem OK.

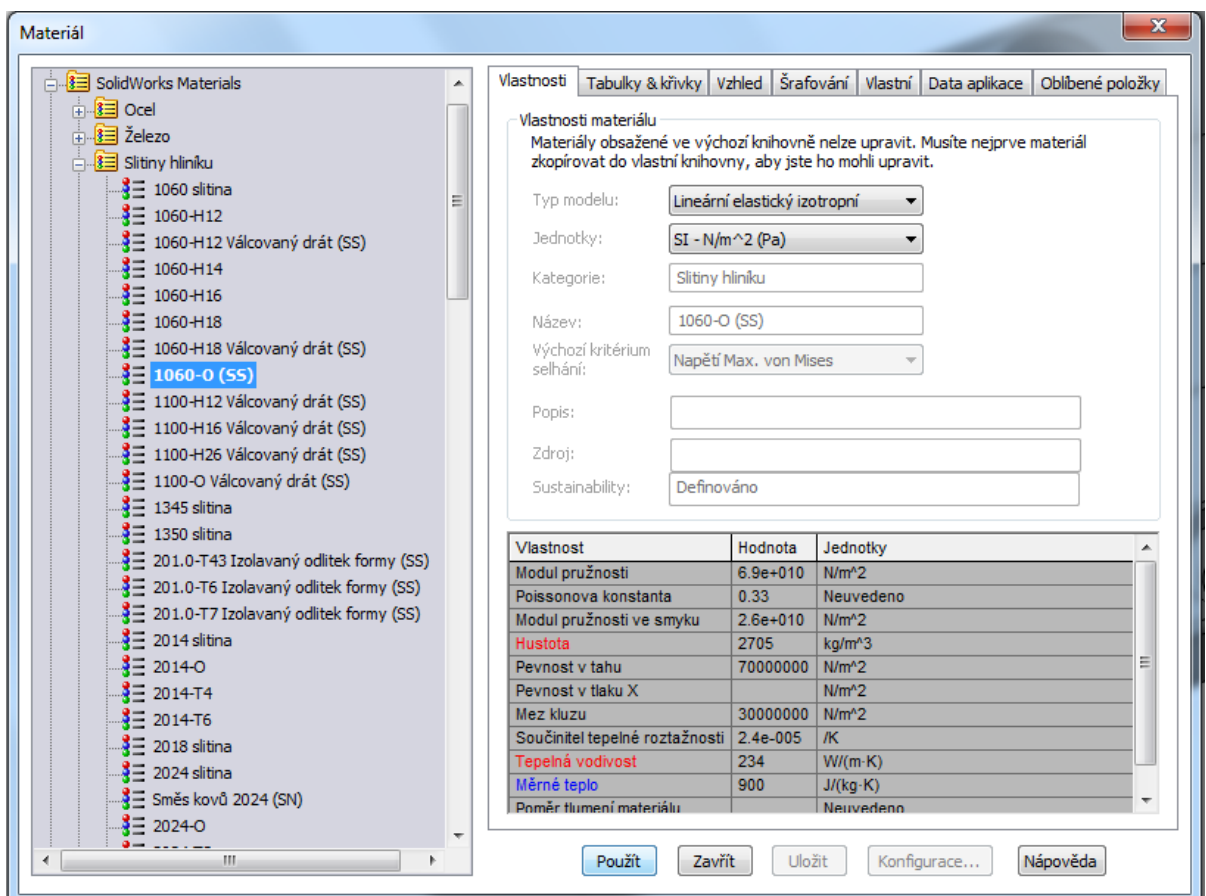


Dalším krokem je zadání okrajových podmínek.

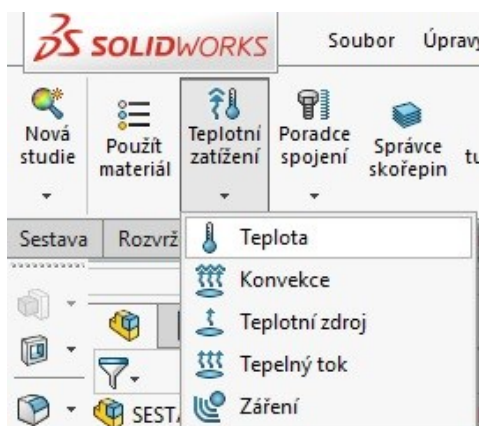
5. Přiřazení materiálu dílu.




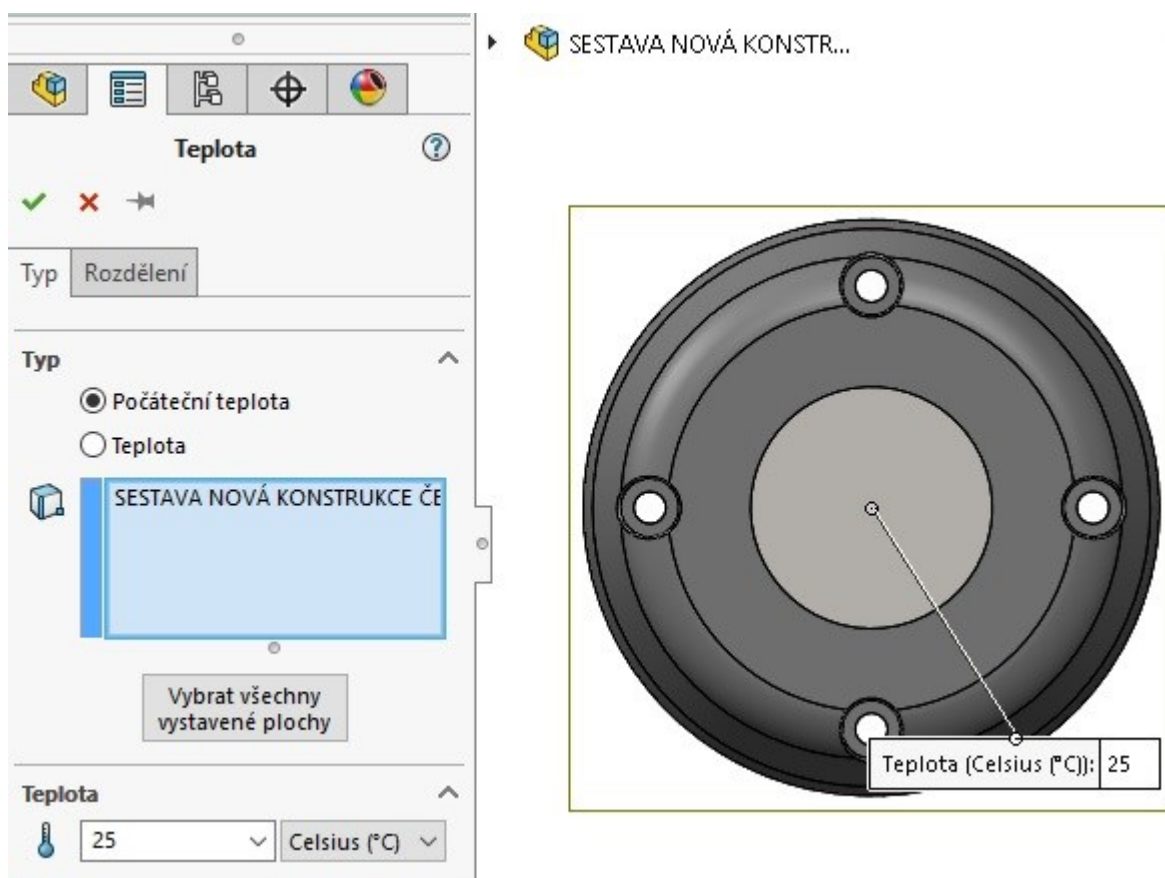
6. V dialogovém okně Materiál vybereme druh materiálu a přijmeme nastavení tlačítkem Použít, Zavřít.



7. V seznamu typů okrajových podmínek, vybereme Teplotní zatížení a klikneme na tlačítko Teplota.



8. V dialogovém okně Teplota nastavíme počáteční teplotu a označíme kontrolovanou sestavu / díl. V našem případě SESTAVA NOVÁ KONSTRUKCE ČELNÍHO KRYTU s počáteční teplotou 25°C. Přijmeme nastavení tlačítkem OK .

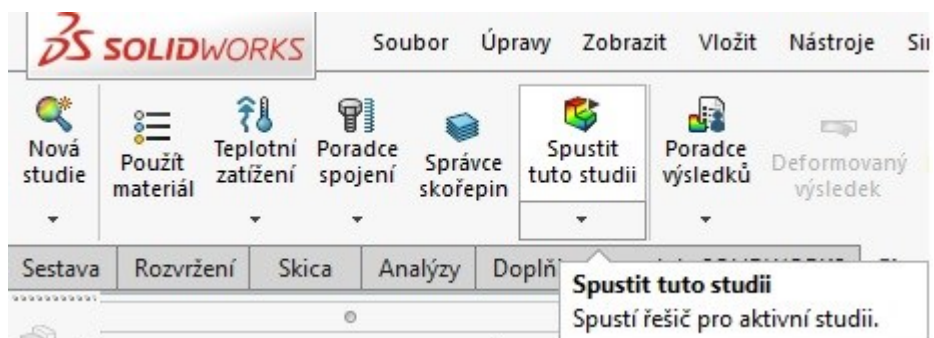


*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*



*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

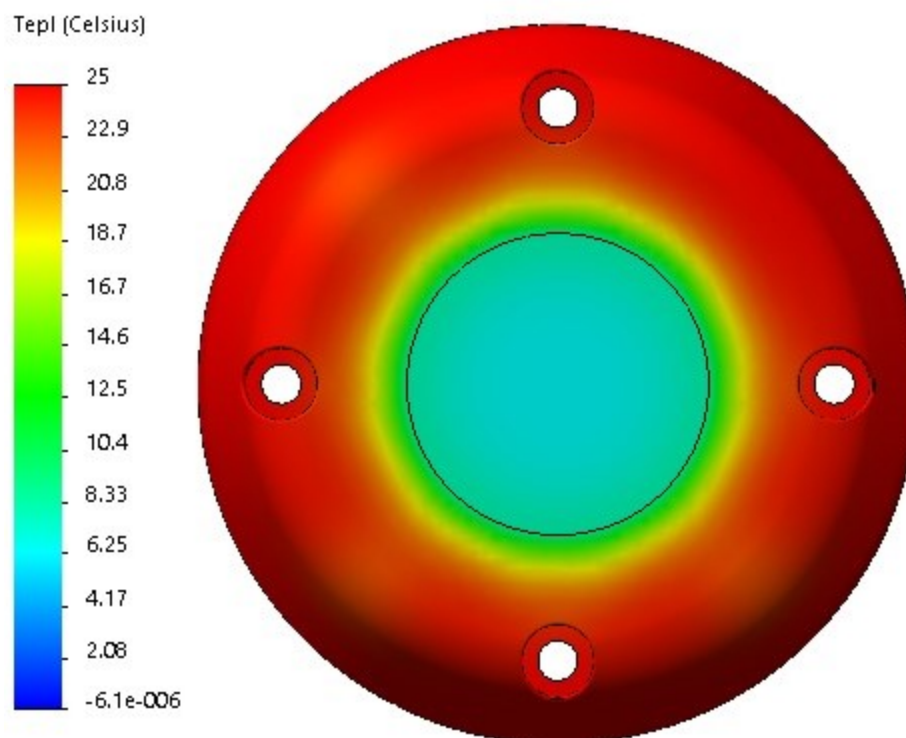
9. Všechny potřebné okrajové podmínky jsou nastaveny. Klikneme na tlačítko Spustit.



10. Výsledek řešení

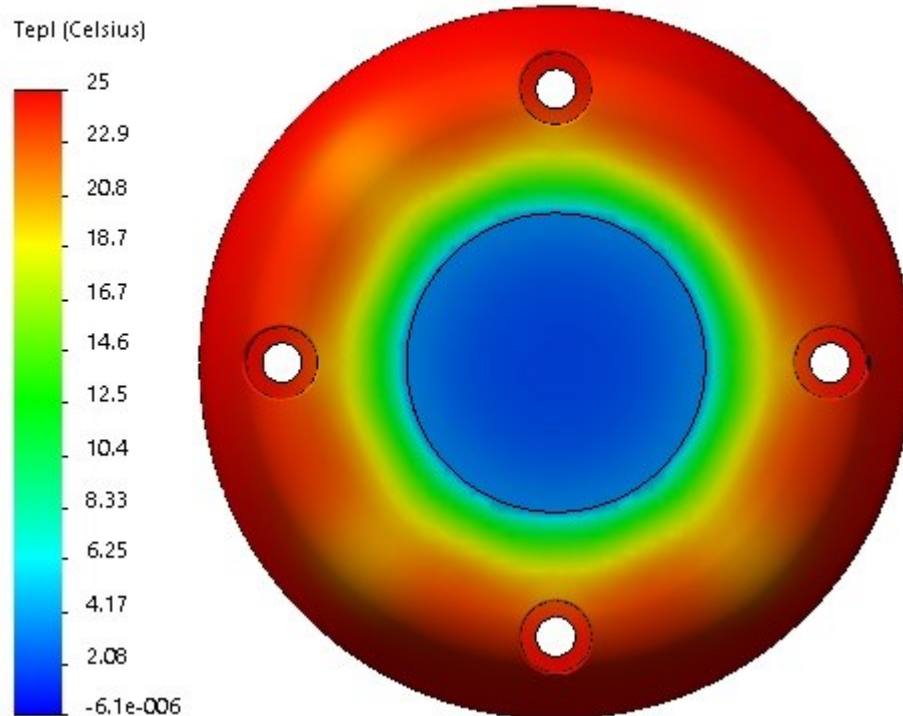
V čase 60s:

Název modelu:SESTAVA NOVÁ KONSTRUKCE ČELNÍHO KRYTU ANALÝZA  
Název studie:Studie 1(-Výchozí-)  
Typ obrázku: Tepelný Teplotní3  
Časový krok: 1 čas: 60 sekund



V čase 120s:

Název modelu:SESTAVA NOVÁ KONSTRUKCE ČELNÍHO KRYTU ANALÝZA  
Název studie:Studie 1(-Výchozí-)  
Typ obrázku: Tepelný Teplotní  
Časový krok: 2 čas: 120 sekund




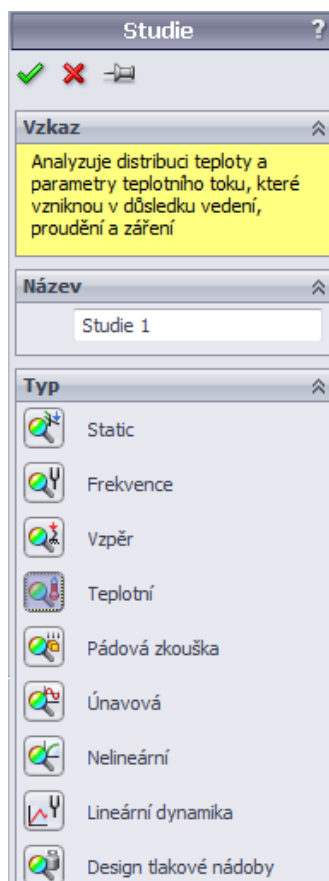
## **TEPLOTNÍ ANALÝZA BODOVÉ CHLADICÍ HLAVICE**

### **Vytvoření projektu teplotní analýzy**

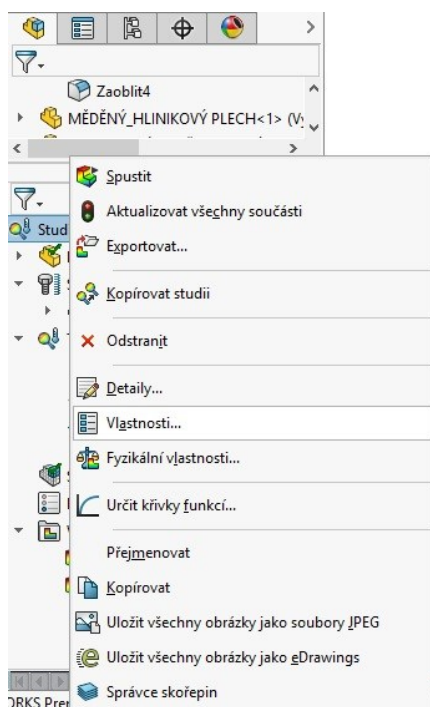
1. V modulu Simulace klepneme na tlačítko Poradce studií nová studie.



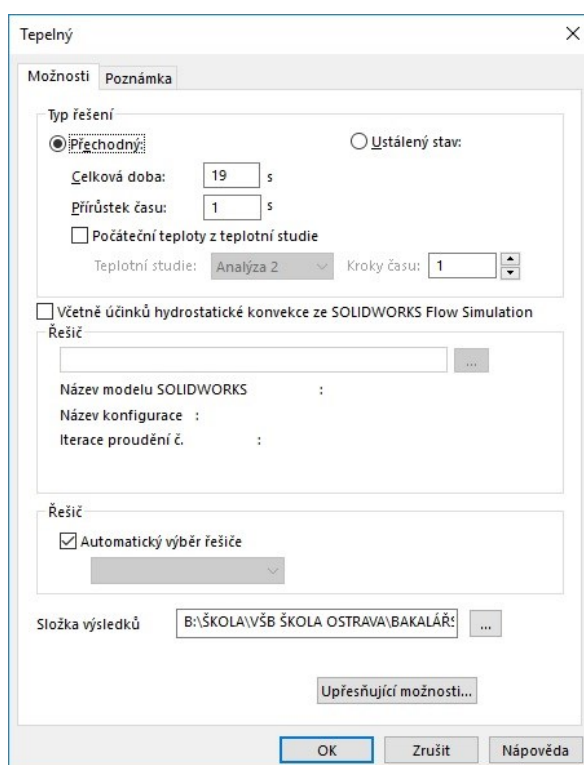
2. V dialogovém okně Studie si vybereme, kterou studii chceme provádět, v našem případě teplotní. Přijmeme nastavení tlačítkem **OK** .



3. Ve stromu Teplotní studie klikneme pravým tlačítkem myši na vytvořenou studii a klikneme na políčko vlastnosti.

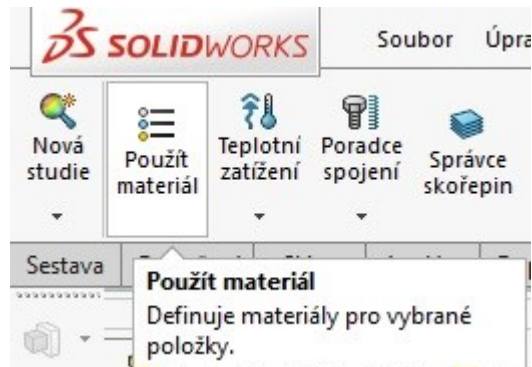


4. V dialogovém okně „Tepelný“ přepneme typ řešení na přechodný a nastavíme celkovou dobu a přírůstek času. V našem případě nastavíme celkovou dobu na 19s a přírůstek času po 1s. Přijmeme nastavení tlačítkem OK.

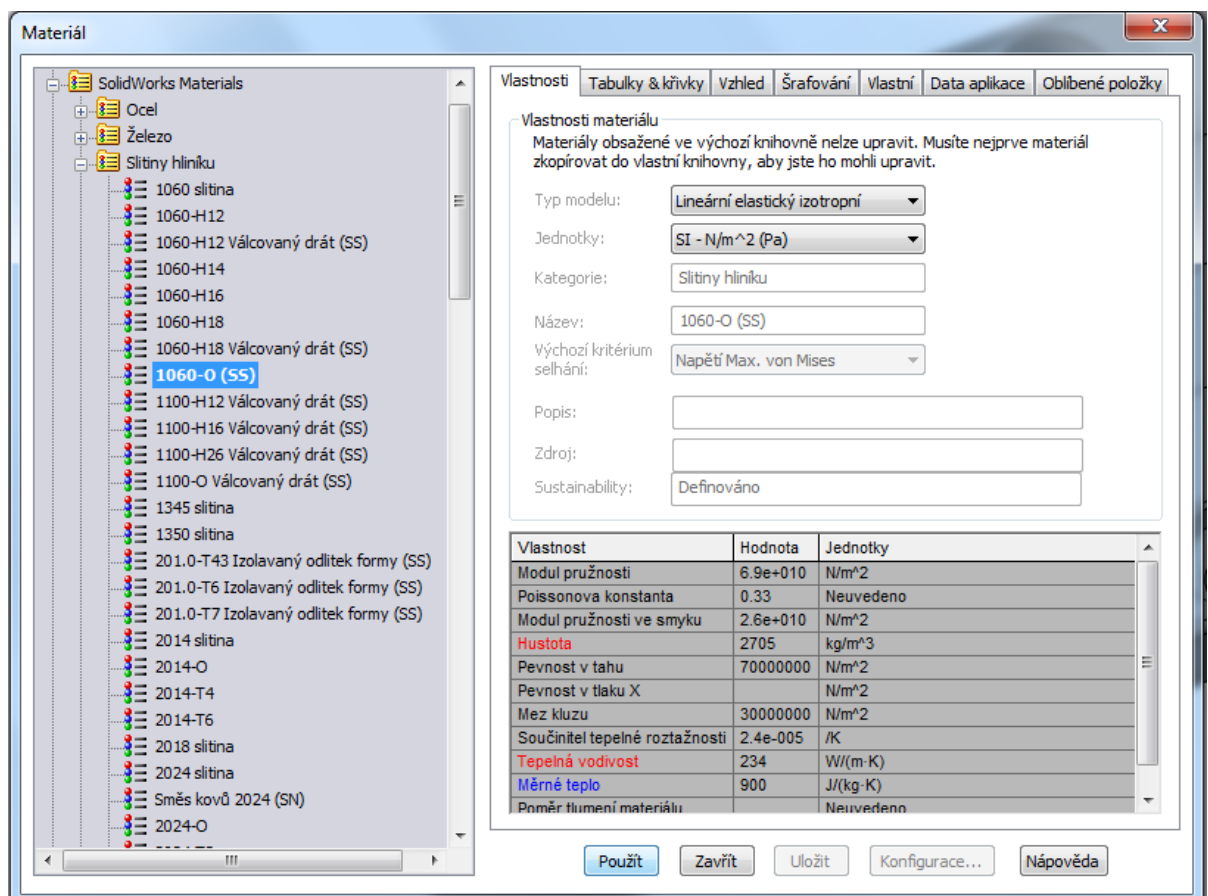


Dalším krokem je zadání okrajových podmínek.

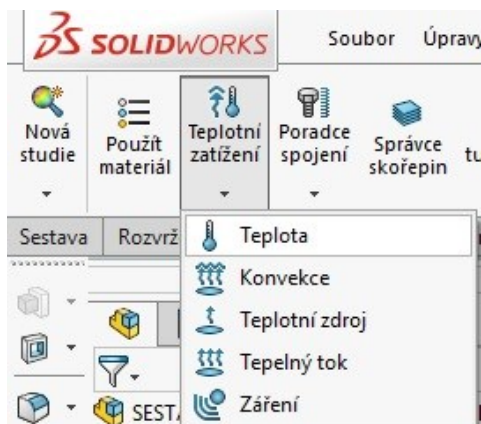
5. Přiřazení materiálu dílu.




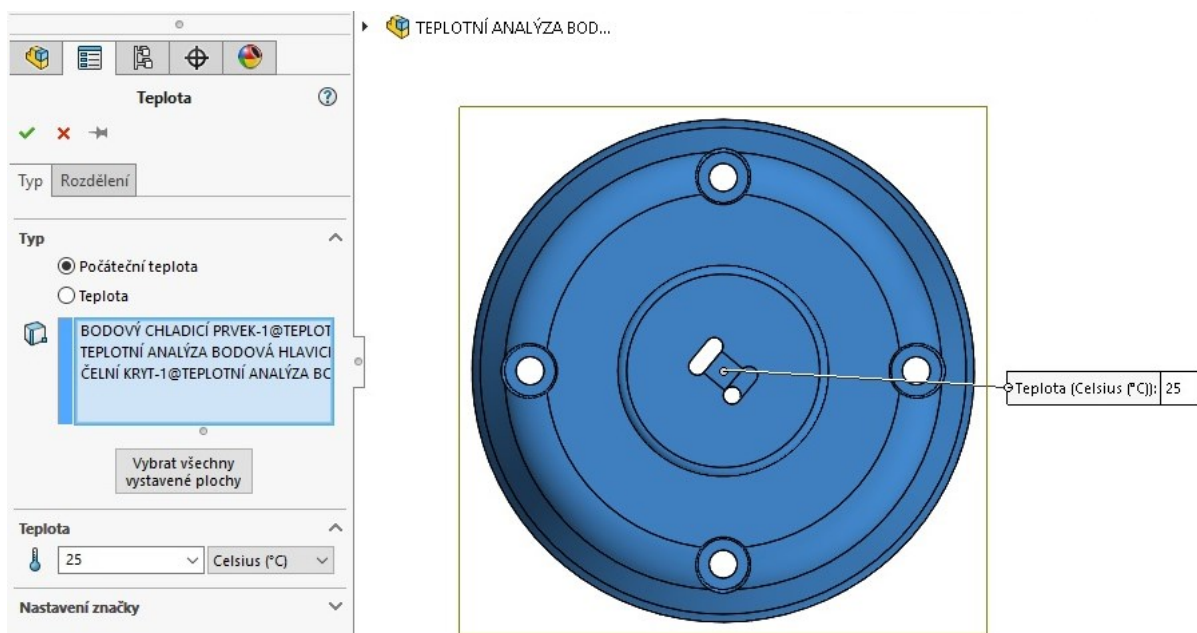
6. V dialogovém okně Materiál vybereme druh materiálu a přijmeme nastavení tlačítkem Použít, Zavřít.



7. V seznamu typů okrajových podmínek, vybereme Teplotní zatížení a klikneme na tlačítko Teplota.



8. V dialogovém okně Teplota nastavíme počáteční teplotu a označíme kontrolovanou sestavu / díl. V našem případě TEPLONÍ ANALÝZA BODOVÁ HLAVICE s počáteční teplotou 25°C. Přijmeme nastavení tlačítkem 'OK' .

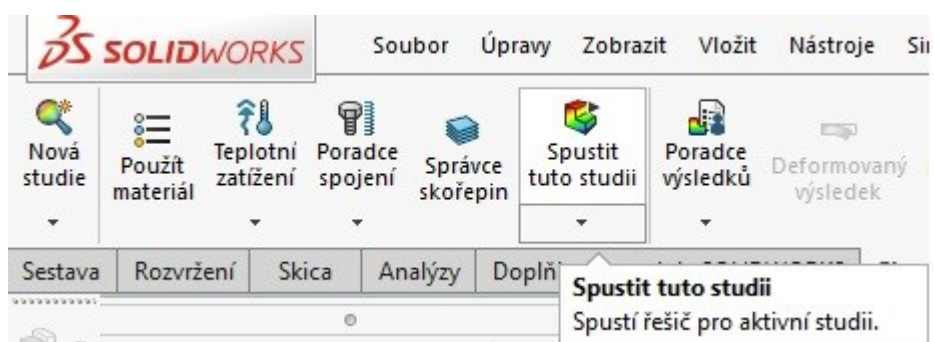


*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*



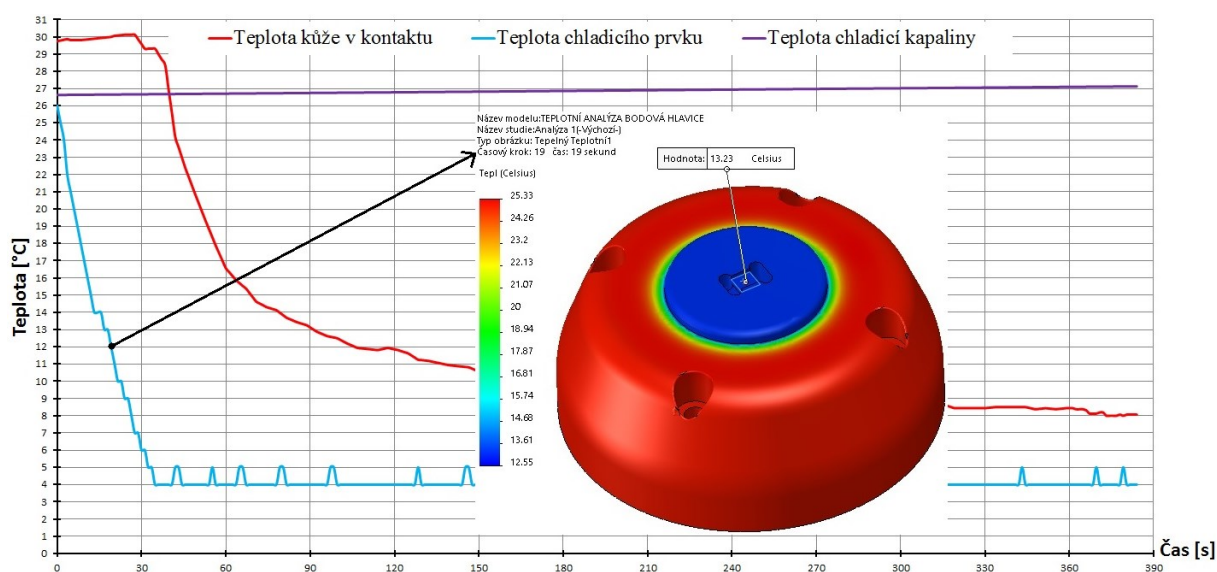
*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

9. Všechny potřebné okrajové podmínky jsou nastaveny. Klikneme na tlačítko Spustit.

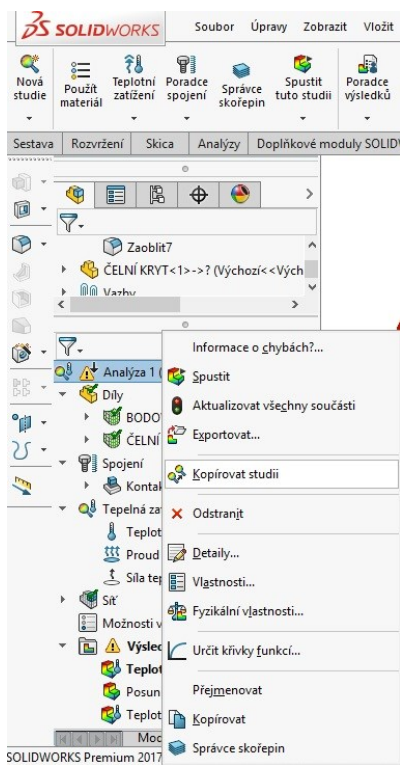


10. Výsledek řešení

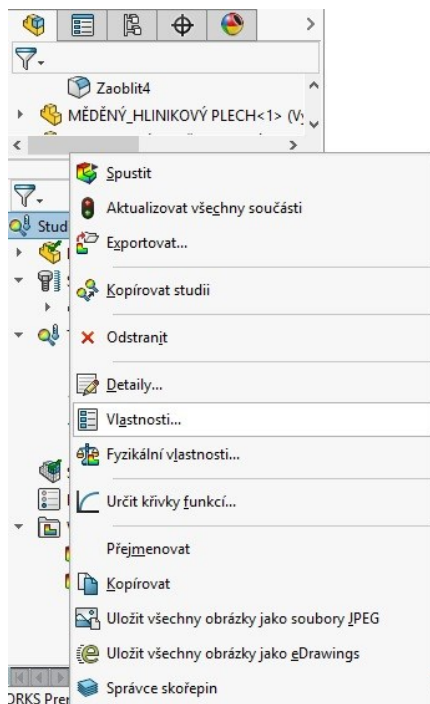
V čase 19s:



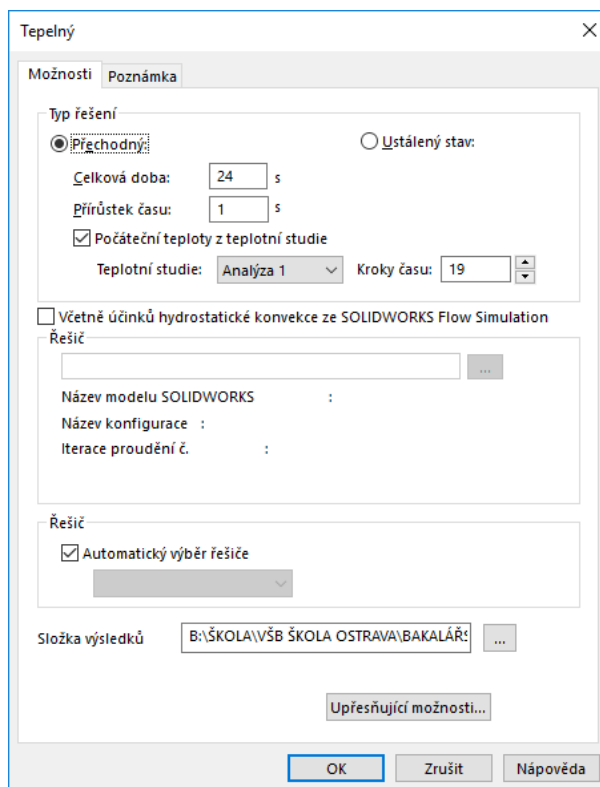
11. Ve stromu Teplotní studie klikneme pravým tlačítkem myši na vytvořenou studii a klikneme na políčko kopírovat studii.



12. Ve stromu Teplotní studie klikneme pravým tlačítkem myši na nově vytvořenou studii a klikneme na políčko vlastnosti.

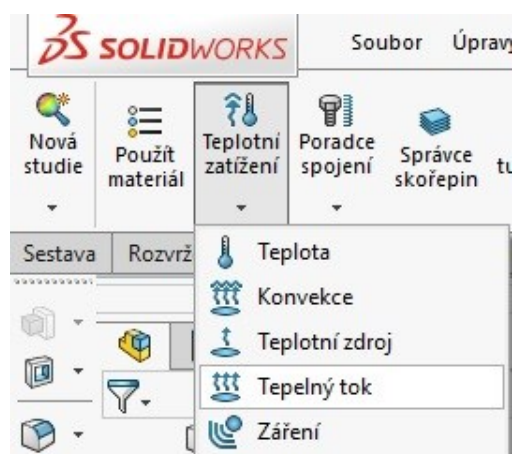


13. V dialogovém okně „Tepelný“ přepneme typ řešení na přechodný a nastavíme celkovou dobu a přírůstek času. V našem případě nastavíme celkovou dobu na 24s a přírůstek času po 1s a zahákneme políčko počáteční teploty z teplotní studie. Přijmeme nastavení tlačítkem OK.



**Dalším krokem je zadání okrajových podmínek.**

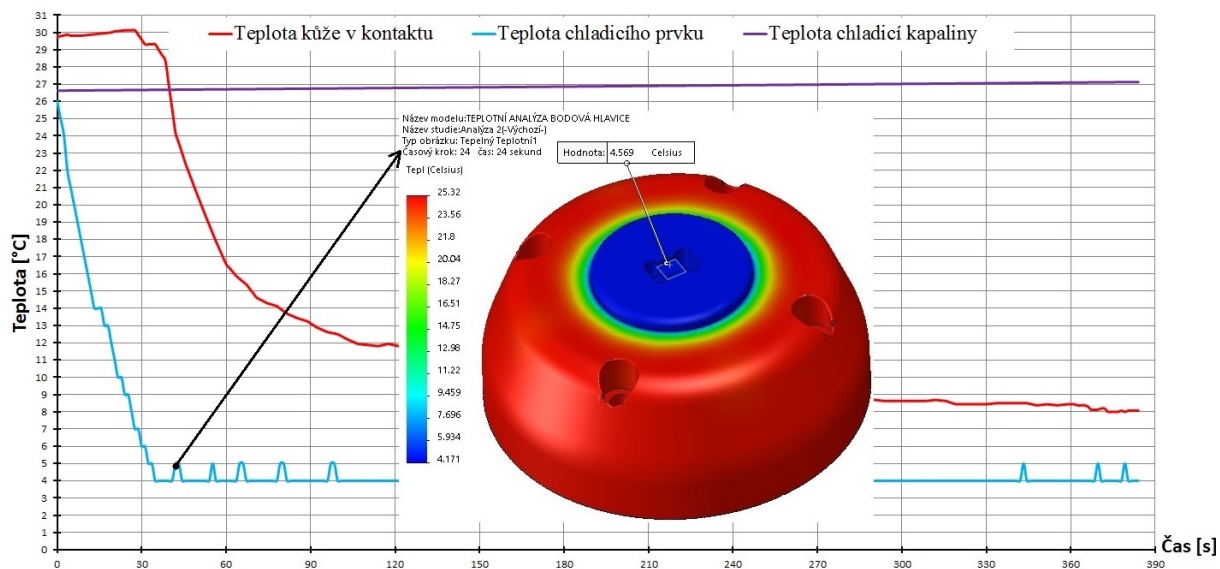
14. V seznamu typů okrajových podmínek, vybereme Teplotní zatížení a klikneme na tlačítko Tepelný tok.



*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

## 15. Výsledek řešení

V čase 43s:

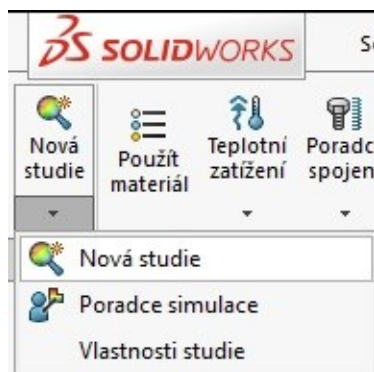



## Příloha G: Soulad mezi experimentem a matematickým modelem plošné chladicí hlavice.

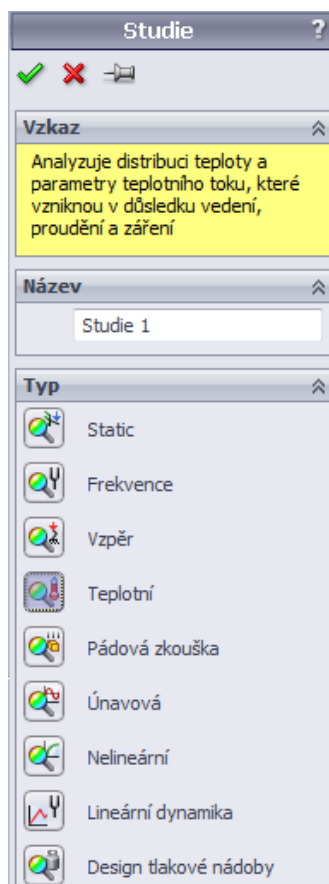
### TEPLOTNÍ ANALÝZA PLOŠNÉ CHLADICÍ HLAVICE

#### Vytvoření projektu teplotní analýzy

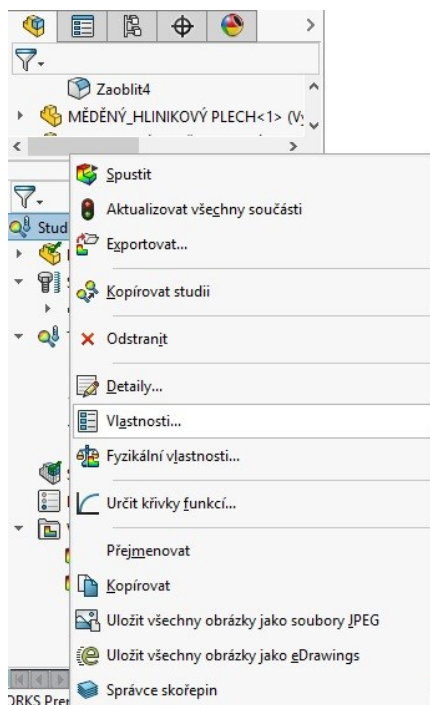
1. V modulu Simulace klepneme na tlačítko Poradce studií nová studie.



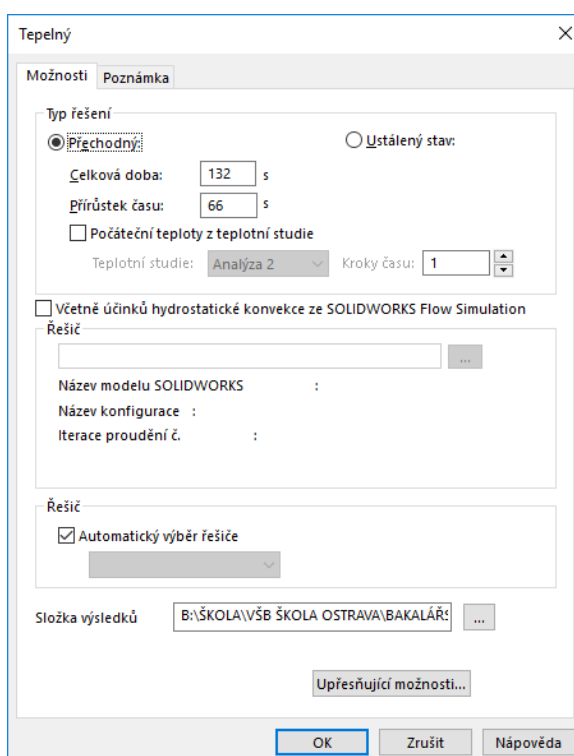
2. V dialogovém okně Studie si vybereme, kterou studii chceme provádět, v našem případě teplotní. Přijmeme nastavení tlačítkem 'OK' .



3. Ve stromu Teplotní studie klikneme pravým tlačítkem myši na vytvořenou studii a klikneme na políčko vlastnosti.



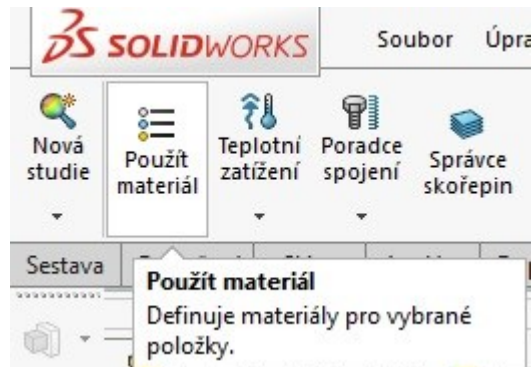
4. V dialogovém okně „Tepelný“ přepneme typ řešení na přechodný a nastavíme celkovou dobu a přírůstek času. V našem případě nastavíme celkovou dobu na 132s a přírůstek času po 66s. Přijmeme nastavení tlačítkem OK.



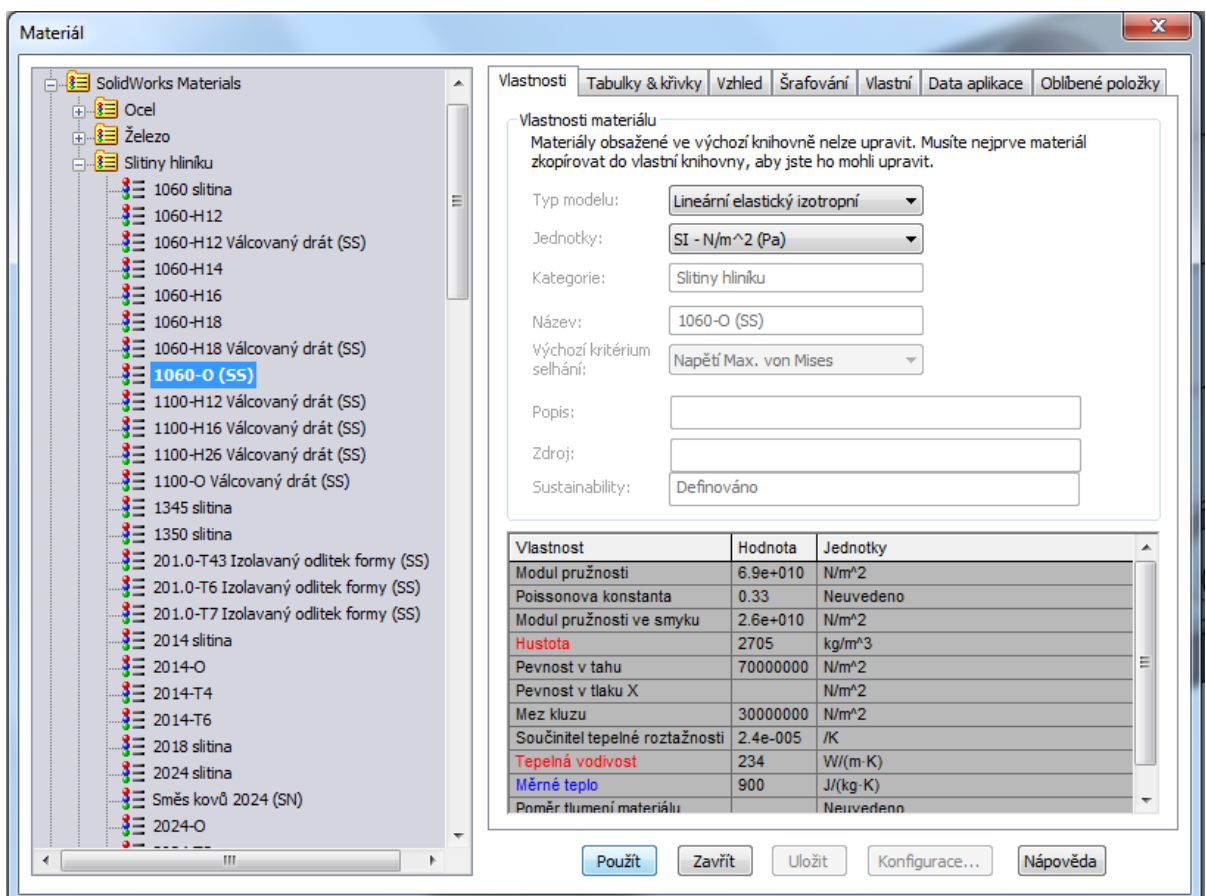


Dalším krokem je zadání okrajových podmínek.

5. Přiřazení materiálu dílu.



6. V dialogovém okně Materiál vybereme druh materiálu a přijmeme nastavení tlačítkem Použít, Zavřít.

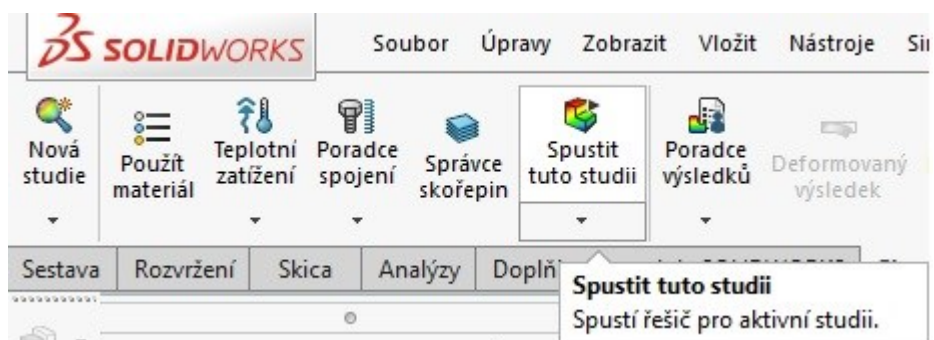


*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

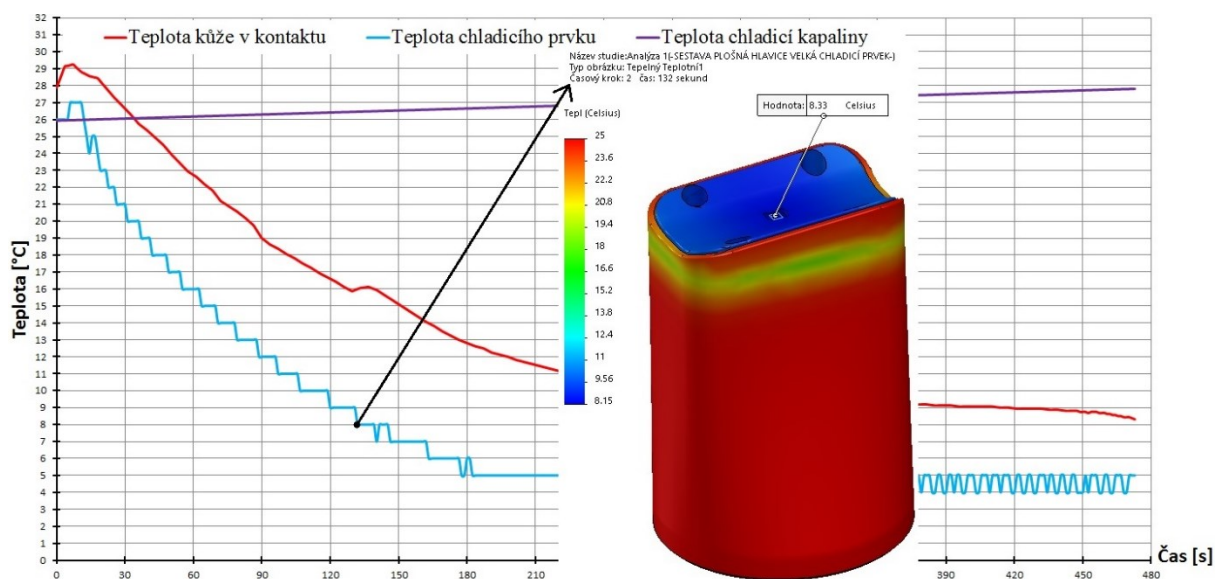
*Následující text je předmětem průmyslové ochrany a je obsažen v technické zprávě. Technická zpráva bude poskytnuta při obhajobě diplomové práce. Technická zpráva je uložena u vedoucího diplomové práce a bude zpřístupněna po předložení žádosti.*

7. Všechny potřebné okrajové podmínky jsou nastaveny. Klikneme na tlačítko Spustit.

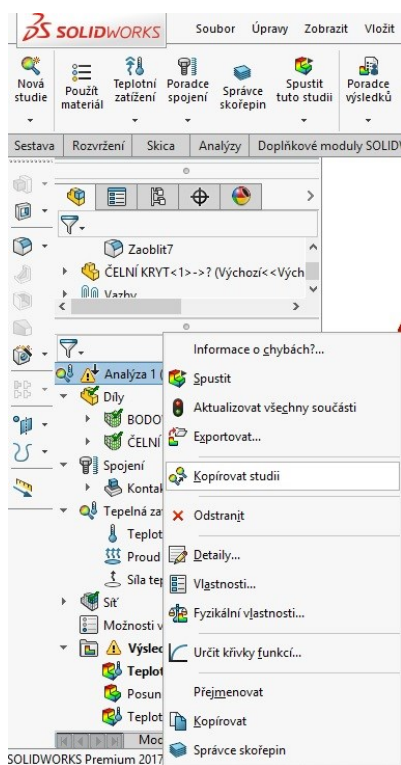


8. Výsledek řešení

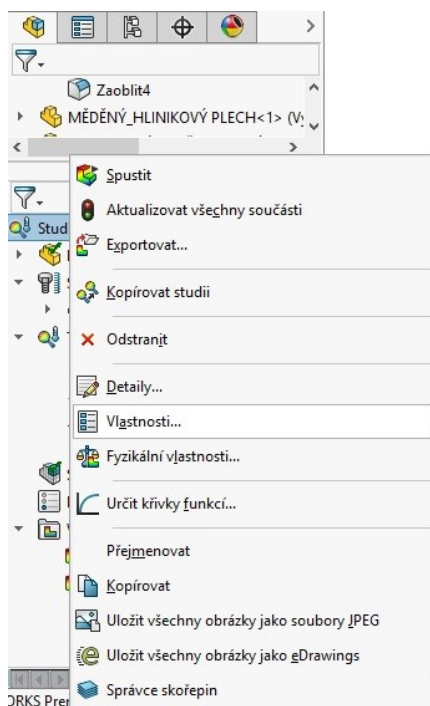
V čase 1132s:



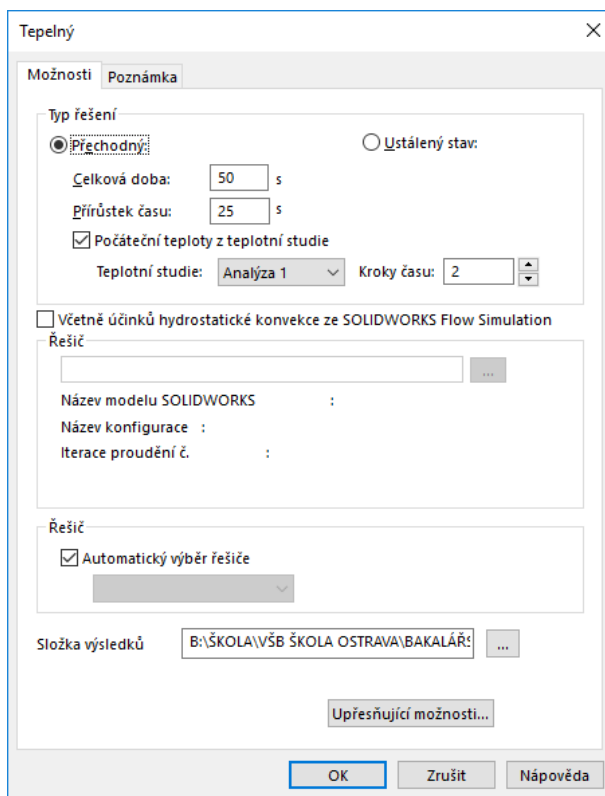
9. Ve stromu Teplotní studie klikneme pravým tlačítkem myši na vytvořenou studii a klikneme na políčko kopírovat studii.



10. Ve stromu Teplotní studie klikneme pravým tlačítkem myši na nově vytvořenou studii a klikneme na políčko vlastnosti.

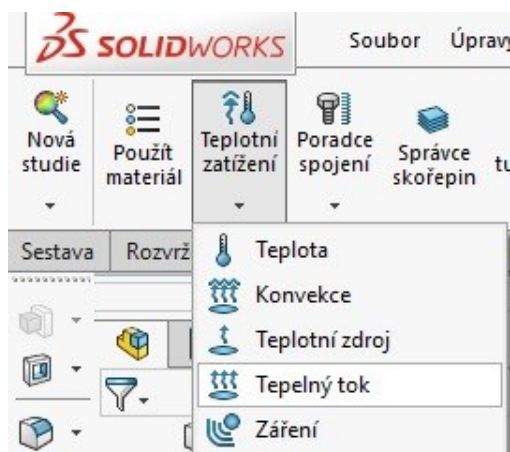



11. V dialogovém okně „Tepelný“ přepneme typ řešení na přechodný a nastavíme celkovou dobu a přírůstek času. V našem případě nastavíme celkovou dobu na 50s a přírůstek času po 25s a zahákneme políčko počáteční teploty z teplotní studie. Přijmeme nastavení tlačítkem OK.



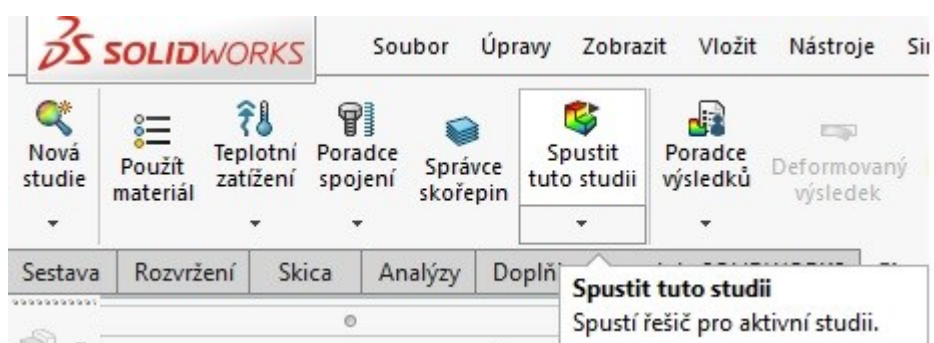
**Dalším krokem je zadání okrajových podmínek.**

12. V seznamu typů okrajových podmínek, vybereme Teplotní zatížení a klikneme na tlačítko Tepelný tok.



13. V dialogovém okně Proud tepla, nastavíme hustotu tepelného toku Peltierova článku, který prochlazuje chladič prvek bodové hlavice. V našem případě  $-10\ 500\ \text{W/m}^2$  v daném časovém úseku. Vybereme plochu, na kterou působí hustota tepelného toku. Přijmeme nastavení tlačítkem **OK** .

14. Všechny potřebné okrajové podmínky jsou nastaveny. Klikneme na tlačítko Spustit.





## 15. Výsledek řešení

V čase 182s:

