

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**ZÁVĚREČNÁ  
PRÁCE**

**2019**

**DANIEL  
FRNKA**

Stabilita hlavních rozměrů obrobeneho hliníkového  
odlitku na základě délky předehřívacího cyklu  
obráběcího stroje

## **Abstrakt**

Cílem práce je stabilizace rozměrů obrobeného odlitku pomocí chlazení emulze. Realizovaná je dle návrhu částí chlazení a aplikace včetně experimentů. Stabilizace se podařila.

## **Summary**

The aim of the work is stabilization of dimensions of machined casting by cooling emulsion. Implementation is carried out according to proposal parts of cooling system and application with experiments. Stabilization was successful.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Stabilita hlavních rozměrů obrobeneho hliníkového odlitku na základě délky předehřívacího cyklu obráběcího stroje vypracoval samostatně pouze za využití pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

V Praze, 19.08.2019

.....

Daniel Frnka

## **Poděkování**

Za podnětné a cenné rady při zpracování této bakalářské práce bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D.

Za poskytnutí možnosti realizace této práce, materiálů a odborných konzultací děkuji pracovníkům firmy Aisan Industry Czech, s.r.o.

Dále děkuji své rodině za podporu při studiu, zvláště pak mé sestře Mgr. Haně Kusé.

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Charakteristika procesu obrábění.....</b>	<b>9</b>
2.1. Důvod chlazení.....	11
2.2. Popis jednotlivých typů chladiv.....	13
2.3. Popis jednotlivých principů chlazení.....	14
<b>3. Analýza .....</b>	<b>17</b>
3.1. Dřívější stav .....	17
3.2. Jevy ovlivňující teplotu celé soustavy .....	17
3.3. Rozbor měření teplot emulze, vlivu čerpadla a okolí.....	21
3.4. Rozbor měření vlivu předehřevu na tolerancích.....	24
3.5. Nynější stav .....	26
<b>4. Návrh řešení.....</b>	<b>28</b>
4.1. Vstupní předpoklady pro návrh .....	28
4.2. Samotný návrh .....	29
4.3. Výstupní předpoklad .....	30
4.4. Jednotlivé prvky návrhu .....	30
4.5. Realizace.....	31
4.6. Návrh měřených veličin.....	32
<b>5. Experimenty.....</b>	<b>34</b>
5.1. Teplotní rozbor 03.05.2019.....	34
5.2. Rozměrový rozbor 03.05.2019 .....	39
5.3. Teplotní rozbor 15.05.2019.....	45
5.4. Rozměrový rozbor 15.05.2019 .....	48
5.5. Teplotní rozbor 07.06.2019.....	53
5.6. Rozměrový rozbor 07.06.2019 .....	58
<b>6. Zhodnocení návrhu.....</b>	<b>63</b>
6.1. Zhodnocení experimentů.....	63
<b>7. Závěr.....</b>	<b>65</b>

# 1. Úvod

Toto téma jsem si vybral z důvodu studování nové průkopnické metody stability rozměrů a možnosti se prakticky podílet na práci a dění ve firmě Aisan, jelikož jsem se s žádným podobným tématem doposud neseťkal.

Cílem mé práce je zjistit tepelné účinky od stoje na rozměry obrobku, zmapovat chování a dopady na obráběcí proces při chlazení emulze. Tento cíl jsem se rozhodl splnit pomocí několika kroků. Prvním z nich je analýza současného stavu, druhým je návrh řešení, třetím je jeho testování. Očekávám, že se zde projeví nové děje, které popíši. V budoucnu by tyto poznatky mohly sloužit pro další zkoumání problematiky a vést k finálnímu zefektivnění obráběcího procesu skrze stabilizaci rozměrů obrobku pomocí chlazení emulze.

Společnost Aisan byla založena v roce 1938 v Japonsku pro výrobu vojenské techniky. Po roce 1947 byla přeorientovaná na výrobu karburátorů. Od roku 1981 firma zahájila sériovou výrobu elektronicky ovládaného vstřikování paliva. Nyní je celosvětovou firmou, která má od roku 2001 pobočku i v Lounech, tato pobočka nese název Aisan Industry Czech, s.r.o., v této firmě jsem dělal bakalářskou práci. Zde se věnují technologickým procesům a výrobě spojené s automobilovým průmyslem - významně palivovým čerpadlům, které podnik vyrábí kompletně. Na začátku je materiál a na konci funkční palivové čerpadlo. Většina dílů je zde vyráběna – jako například kostra, elektromotor. Vyrábí se zde různé modely do různých aut. To samé platí pro škrticí klapky. Využívané technologie jsou například: tlakové lití hliníku, vstřikování plastů, obrábění hliníku, oceli a plastů, montážní linky a propracovaný systém kontroly kvality. Uplatňuje se zde celá řada kontrolních systémů. Jeden z nich je například kontrola těsnosti. Kdy se měřený díl ponoří do vody, je napuštěn nízkomolekulovým plynem a detekuje se eventuální únik tohoto plynu. To se děje na molekulární úrovni. Ve firmě se uplatňuje proces robotizace. Ať již jako manipulační, nebo účelové – sprejovací robot, transportní pás. Významně se tak děje u montáže elektromotorů a čerpadel, vysokotlaké lití hliníku a vstřikování plastů. Firma si drží zdravou národní hrdost a kulturu rodné země. Ať se již jedná o politiku přístupu k práci nebo o každodenní nabídku jednoho japonského jídla v kantýně. Společnost také investuje do rozvoje kraje a ochrany životního prostředí. [1]



Obrázek 1 logo Aisan [1]

V roce 2018 bylo zjištěno, že u některých obráběných hliníkových odlitků není dodržena stabilita rozměrů a vybočuje z požadovaných tolerancí. Zejména po víkendové odstávce strojů, přes týden jedou v provozu non-stop. Nejvíce problematickou se jevila osa Y. Linka vyrábí například škrticí klapky do různých motorových vozidel. Problém vznikal na jedné lince, což v tomto případě znamená tři paralelně pracující obráběcí centra. Na vině jsou teplotní procesy strojů a vliv počasí v různém ročním období. Tato nepřesnost zasahovala do 3 hlavních rozměrů obrobku: Bore hole, Plug hole, Shaft hole – právě pro škrticí klapky. Tyto rozměry jsou kritické pro fungování zařízení. Rozměry byly měřeny na souřadnicových strojích.

Na dané lince, jsou tři stroje s pojmenováním MC1, MC2, MC3. Jsou to obráběcí centra od společnosti Fanuc Robodrill s výrobním označením Aplha D21LiA5. Jsou vybaveny zásobníkem na nástroje, které jsou polohovatelně poháněny. Centra disponují otočným polohovatelným a nastavitelným stolem, díky této funkci centrum dokáže všechny obráběcí operace zvládnout na jedno upnutí obrobku. Prováděné operace jsou například vyvrtávání, frézování, vytváření vnitřních závitů.

Pro potlačení teplotních rozdílů, které vedly k nestabilitě rozměrů, byl zvolen předeřev strojů. Ovšem toto řešení pouze částečně zkrátilo dobu, než se stroj teplotně stabilizoval a vyráběl v požadovaných tolerancích. Předeřev se uskutečňuje skrz simulaci obrábění, kdy stroj běží ale bez obrobku, což má řadu omezení.

Trend je dostat ještě více pod kontrolu teplotní stabilitu rozměrů skrze ochlazování emulze. Ať již pro rychlejší zavedení chodu strojů, nebo pro snížení případných tolerančních velikostí či zvýšenou celoroční kontrolu nad stabilitou rozměrů.



## 2. Charakteristika procesu obrábění

Obrábění je proces, kdy břit vniká do obrobku v dané hloubce řezu. To vyvolává deformaci obráběného materiálu, který na zavedenou změnu reaguje deformací elastickou a trvalou. Vzniká tříška, která je odváděna po čele břitu. Energie (příkon) zavedená od břitu se mění působením tření, deformace, zvýšeného tlaku a případně i chemických procesů na teplo, a to z 97 %. Největší podíl vzniku tepla mají ovšem oblasti plastických deformací při vzniku třísky. Vznikající teplo ovlivňuje fyzikální vlastnosti obráběného materiálu, řezné rychlosti, geometrie nástroje a řezné prostředí. [2]

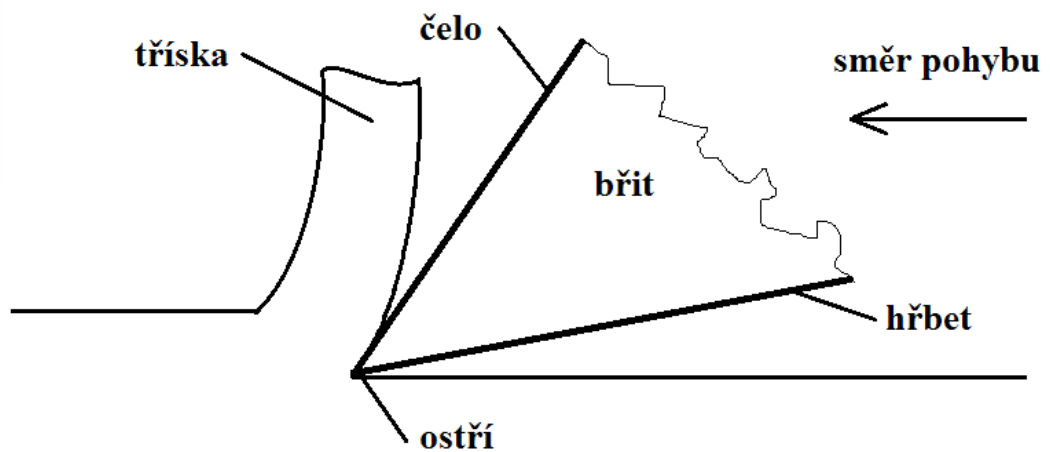


Schéma 1 nástroj v obrobku [2]

Rozlišují se nejčastěji 3 oblasti plastických deformací:

Oblast primární deformace, oblast sekundární deformace, oblast terciální deformace.

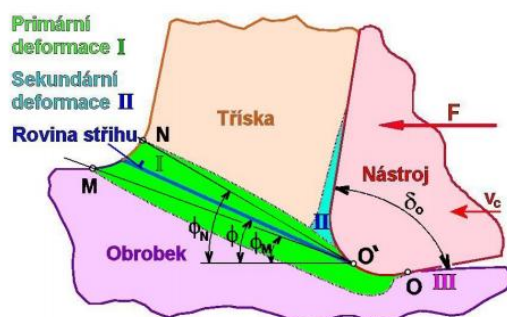


Schéma 2 oblasti deformací [3]



Schéma 3 tečení materiálu u ostří [4]

### 1) Oblast primární deformace

Tato oblast je nejvíce zasažena elastickou a trvalou deformací. Sem také patří úzká vrstva pěchování materiálu pod osou odřezávané vrstvy. Kde dochází k plastické deformaci a zhuštění, tzv. pěchování materiálu, což má za následek kromě tepla také eventuální zvýšení pevnosti obráběného povrchu díky zbytkovému napětí. [4]

### 2) Oblast sekundární deformace

V této oblasti vzniká teplo nejvíce vlivem tření mezi čelem nástroje a třískou. [4]

### 3) Oblast terciální deformace

Zde vzniká teplo díky tření mezi hlavním hřbetem a přechodovou plochou obrobku. [4]

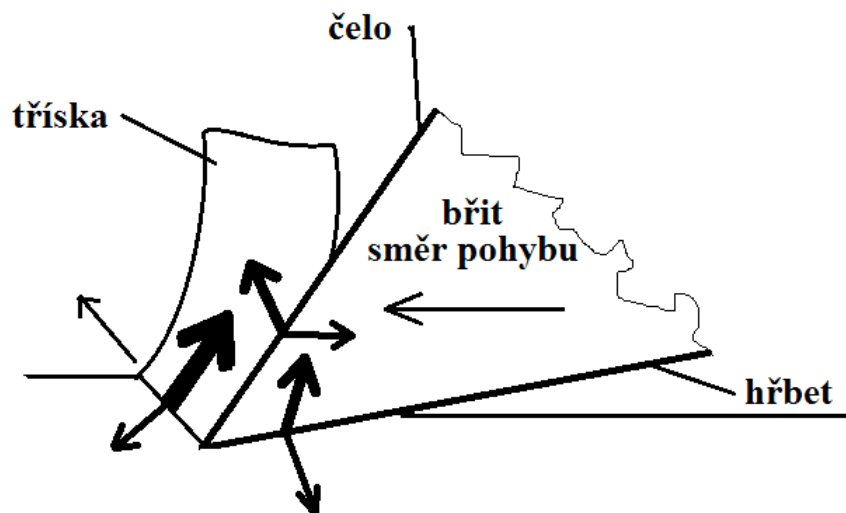


Schéma 4 odvod tepla v obráběcím procesu [5]

Šipky na obrázku znázorňují odvod tepla.

Tato všechna tepla, se vedením přesouvají do (uvedeno pro soustružení): třísky (85%), nástroje (8%), obrobku (5%), okolí (2%). Přičemž vliv na rozvedení tepla mají řezné podmínky jako například: řezná rychlost, posuv, geometrie nástroje atp. [5]

Díky výše zmíněným faktorům vznikají jako následek tyto nepříznivé vlivy v řezném procesu:

- zhoršování vlastností řezného nástroje - tvorba nárůstku
- ovlivnění mechanických vlastností obráběného materiálu - pěchování,

zpevnění, obrobitelnost

- opotřebení řezného nástroje vlivem otěru, adheze, difuze a chemických změn, tvorba žlábků

- zhoršování podmínek řezného procesu – rychlost, posuv

-špatné odvádění a tvar třísky [4] [5]

## **2.1. Důvod chlazení**

Kontrolované řezné prostředí má nemalý dopad na řezný proces. Dokáže eliminovat nebo aspoň částečně snížit dopad výše popsaných negativních činitelů v řezném procesu. To díky snížení samotného tepla v soustavě zajištěním dostatečné cirkulace a ochlazování od chladících médií, která toto teplo odvádějí. Zajišťují také požadované vedení třísky, tím že sníží tření použitím adekvátní substance. Tato opatření mají pak za následek zvýšení trvanlivosti a životnosti nástroje, zvýšení řezných rychlostí. Což znamená vyšší efektivitu výroby. Potažmo kratší intervaly mezi výměnou nástrojů. Lepší výslednou kvalitu rozměrů. Celkově tedy výhodnější ekonomickou stránku. [3]

**Nejčastější požadavky na přiváděná média:**

### **1) Chladicí účinek**

Má za cíl odvádět teplo při procesu řezání z oblastí, které jsou nejvíce zasaženy jeho vznikem. Tato schopnost je podmíněna základními faktory. Jsou to tepelný spád mezi obrobkem a povrchem obrobku. Obklopení nástroje, obrobku a třísky médii přiváděným do řezného prostředí a následným přejímáním generovaného tepla a jeho odvodu. Tyto aspekty mají pozitivní účinek na trvanlivost nástroje a kvalitu obrobeného povrchu. Chladicí účinek je dále podmíněn: smáčecími schopnostmi, výparným teplem, rychlostí vypařování v závislosti na teplotě, měrném teple a průtokovém množství. Přičemž je doporučeno tyto hodnoty držet ve vyšších tolerančních pásmech kvůli zvýšenému chladicímu účinku. [3]

### **2) Mazací účinek**

Je umožněn díky vzniku jemné vrstvy na povrchu obrobku a nástroje. Tato vrstva cíleně distancuje styk kovových povrchů, a tudíž snižuje tření, ke kterému dochází mezi obrobkem a nástrojem. Nedochozí zde ke kapalnému tření kvůli vysokým tlakům, ale k polosuchému (meznímu) tření, za předpokladu že

médium má vysokou vázací schopnost na povrch kovů. Děje se tak především v mikroskopickém měřítku oné vrstvy. Od mazacího účinku se očekává, že bude snižovat velikost řezných sil, spotřebu energie a napomůže k vyšší jakosti obráběného povrchu. Platí to právě pro dokončovací operace, nebo také u protahování, výrobě závitu či ozubení. Tato schopnost úzce souvisí s viskozitou a pevností vytvořené vrstvy. Kvůli vysoké viskozitě ovšem musíme počítat se snížením odvodu tepla, omezením průniku média do třecích ploch, zhoršením proudění média i ulpíváním média na třísece. [3]

### **3) Čistící účinek**

Uplatní se právě v odstraňování třísek, částic vzniklých například v procesu vrtání. Případně i ve zlepšení schopnosti řezivosti brousících kotoučů, čištění již zanesených pórů, zabraňování slepování třísek a částic odváděných od řezného procesu. [3]

### **4) Provozní stálost**

Tento požadavek určuje životnost média. Jaký čas bude potřebný, než se bude muset vyměnit provozní médium kvůli zhoršení fyzikálních a chemických vlastností, jako je například odvod tepla, výpar, nebo mazací účinek. Je ovlivněno i náchylností prostředí pro vznik bakterií. Médium může také začít tvořit sraženiny a tím zhoršovat řezné prostředí. Ničit vřetena, čerpadla. [6]

### **5) Ochranný účinek**

V tomto směru se dbá na ochranu obrobku a obráběcího stroje. Není žádoucí měnit chemicko-fyzikální vlastnosti obrobku vlivem koroze, či zvýšené difuze. Jde také o zajištění stability obrobku v mezioperačních krocích pomocí konzervace. Chránit je potřeba také stroj a tím prodlužovat jeho životnost a bezporuchovost. Zde je důležité klást důraz na inertnost média a různých nátěrů stroje, vnitřních součástí, dále také zamezit rozpouštění těsnění. [3]

### **6) Provozní náklady**

Zde se promítávají aspekty jako náklady na pořízení, na provozování, spotřebu a likvidaci. Nemalý podíl má finální přínos, který tyto kapaliny přinášejí do procesu – změna řezného prostředí, rychlosti, trvanlivost a životnost nástrojů, změny v obrobku. Svoji roli hraje také ekologická stránka a dopad na životní prostředí. Celkově jde o komplexní hodnocení technických a ekonomických parametrů přínosů a ceny. [3][6]

## **2.2. Popis jednotlivých typů chladiv**

Typy používaných řezných medií jsou plyny, mlhy, pasty a kapaliny. Plyny jsou používány při obrábění na sucho. Hlavně v případech, kdy je na místě odstranit co možná nejefektivněji abrazivní složky z obráběcího procesu. Například u materiálů keramika, grafit, tvrdokov. Jsou ale také využívány pro docílení snížení nákladů na údržbu maziv, kdy jsou použity moderní nástroje snášející vysoké teploty a mající dobré obráběcí vlastnosti i bez maziv. Plyny mají také chladicí efekt. Nejčastěji se používá vzduch. Relativní novinkou je i kryogenní chlazení využívající tekutý N a CO<sub>2</sub>. Použití mlhy jakožto řezného média má výhodu v dobrém odvádění tepla a relativně nízkém množství použitého maziva. Při použití olejové mlhy nesené stlačeným vzduchem je spotřeba např. 20 ml/h maziva. Pasty se používají při specifických operacích jako je třeba lapování. Kapaliny jsou nejrozšířenějším typem v moderních obráběcích procesech.

**Rozdělují se do 4 základních skupin:**

### **1) Vodní roztoky**

Mají hlavně chladicí a mírně čistící účinek. Vyžadují řadu úprav, jako změkčování, příměsi alkalické, příměsi proti korozi, pěnivosti, příměsi pro lepší smáčivost. Mazací účinek je zanedbatelný. Tyto roztoky jsou náchylné na vznik bakterií, tvořících zápach a kal. [3]

### **2) Emulze**

Nejsou nic jiného než dvě v sobě navzájem nemísitelné kapaliny, z nichž jedna je rozpuštěna ve druhé pomocí emulgátoru. Například když smícháme olej s vodou, po ustálení se zcela oddělí. Přidáme-li mýdlo, začne olej rozpouštět, olej změni své vlastnosti jako povrchové napětí a posléze se smíchá s vodou v jeden roztok. Účinky této směsi kombinují žádoucí chladicí účinky s mazacími. Chladicí účinky přesto převažují. Emulze jsou také náchylné na vznik bakterií. Mají mléčnou barvu. Jsou nejvíce zastoupeným řezným kapalným médiem. [3]  
[6]

### **3) Řezné oleje**

Jsou to báze minerálních olejů v kapalném skupenství. Hojně využívají přísad pro zlepšení vlastností, jako jsou tlaková únosnost či mazací schopnost. K tomuto účelu se používají mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva. Mastné látky jsou emulgované mastné oleje, kapaliny či syntetické estery. Mají za úkol

zvýšit přilnavost ke kovům a tím lépe mazat. Organické sloučeniny slouží ke zlepšení odolnosti vysokým tlakům. Jsou to báze S, Cl, P. Vytvářejí úzkou vrstvu kovových mýdel, která zamezuje svařování a tření. Pevná maziva přidávají mechanické účinky, díky úzké vrstvě přilnavé ke kovům. Tato vrstva je dobře odolná vůči vysokým tlakům a zároveň podporuje mazání. V kapalinách se nerozpustí, proto je nutno je udržet v rozptýleném stavu. Řezné oleje poskytují také antikorozi ochranu. [3] [8]

#### **4) Syntetické oleje**

Moderní a pokrokové kapaliny, nesoucí výhody výše nastíněných médií. Často jsou rozpustné ve vodě, mají významné chladicí, mazací a ochranné účinky při zachování dobré provozní stálosti. Jako rozpouštědla zde působí glykoly. Většinou jsou čiré barvy. Lze v nich rozpustit oleje. [3]

### **2.3. Popis jednotlivých principů chlazení**

Největší rozdíly jsou prakticky ve způsobu přivádění řezného média a typu používaného řezného média, případně i tlaku. Všechny metody se snaží docílit co nejpřesnějšího a neúčinnějšího přivedení médií do požadovaného místa. Pro chladicí účinky je zásadní dostat médium na břit nástroje. Pro mazací účinky, z principů vzniku tření při obrábění popsaných výše, je dosahováno největšího účinnosti těsně za místem obrábění. Tedy, adekvátní přístup médií na požadovaná místa je stěžejní pro žádané zlepšení vlastností v řezném procesu. Jsou to především trvanlivost nástroje a výsledná kvalita povrchu obrobených ploch. [3] [9]

#### **1) Standardní chlazení**

Zcela nejjednodušší systém, často dodávaný výrobcem, nevyžaduje větších úprav. Nejčastěji je řezná kapalina dopravována skrze obyčejné čerpadlo a rozvodné potrubí do blízkosti řezného procesu. Děje se tak zaplavením kapalinou nebo při mírném proudu. Při standardním a tlakové chlazení je třeba zajistit, aby nedocházelo vlivem velkých teplot k odpařování a vzniku par v místě obrábění. To by mohlo mít za následek nedosáhnutí řezného média cíleného místa a poklesnutí účinnosti chlazení. [6] [9] [10]

## 2) Tlakové chlazení

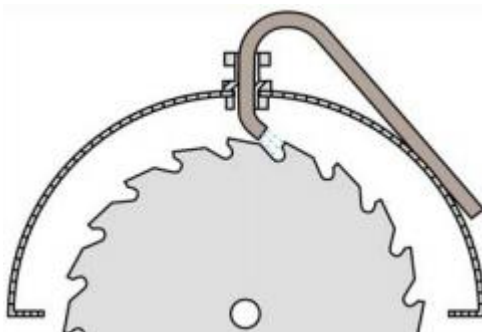
Řezné médium adekvátní viskozity je přivedeno do řezného procesu pomocí vysokého tlaku. Je usměrněno tryskou pro docílení stabilizace proudu přesně do požadovaného místa. Často se tak děje pomocí vnitřního chlazení (viz dále). Pomocí tohoto principu lze docílit usměrňování odvodu a tvorby požadované třísky. Zamezuje vzniku nárůstku. Tlak se pohybuje v řádech desítek až stovek barů, v závislosti na požadovaných účincích. Tryska má průměr  $0,3 \div 1,0$  mm. Spotřeba je obvykle až v 10l/min. Moderní zařízení dokážou tlak také regulovat. [3] [9]

## 3) Řezné kapaliny

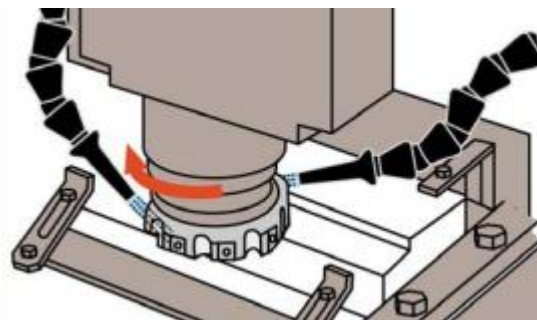
Je snaha o zvýšení efektu přenosu tepla, či zachování tekutosti. Při podchlazení kalin se teplota pohybuje okolo  $6^{\circ}\text{C}$ , olejů pak  $17^{\circ}\text{C}$ . Médium vyžaduje zachování schopností při těchto teplotách. [3]

## 4) Chlazení řeznou mlhou

Řezná kapalina je rozptylována pomocí natlakovaného vzduchu, usměrněna tryskou. Dosahuje vysoké rychlosti, až stovky metrů za sekundu. Je přiváděna na řeznou plochu nástroje, před dosáhnutím místa řezu. Využívá se například u frézování nebo při dělení materiálu. Zvýšený efekt chlazení je díky rozptýleným částicím kapaliny ve vzduchu a tím je podpořen teplotní spád. [3]



Obrázek 2 chlazení řeznou mlhou při dělicím procesu [3]

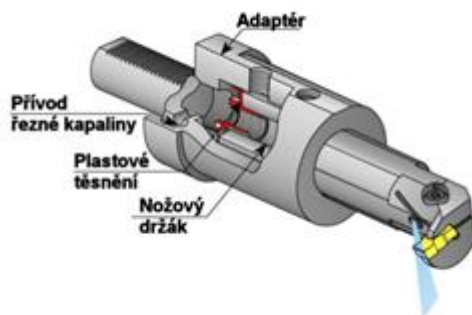


Obrázek 3 chlazení řeznou mlhou při frézování [3]

## 5) Vnitřní chlazení

Tato metoda je velice účinná, dovoluje zvýšit rychlost obrábění až o 15 %. Princip funguje na vedení kanálek skrze nástroj až k břitové destičce, případně břitů monolitního nástroje. Největším omezením je velikost nástrojů. Výrobci

jsou sice schopni zavést tento vnitřní přívod řezné kapaliny i do relativně malých nástrojů, což se ovšem odrazí na ceně. Využívají se jinak v klasickém soustružení, ale také u frézovacích nástrojů a při vrtání děr. U vrtání dokáže být tato metoda velice přínosná, díky přispívání odvodu třísek a chlazení. Tudíž je možné vrtat hlubší díry, za kratší čas. Při použití vnitřního chlazení lze očekávat i chlazení tlakové, které přináší další pozitiva v podobě zmenšení opotřebovávání trvanlivosti nástroje. Řezná média, se můžou přivádět z horní, spodní nebo z obou těchto stran břitu. [3] [11]



Obrázek 4 nákres obráběcího nástroje s vnitřním chlazením [3]



Obrázek 5 nákres vrtáku s vnitřním chlazením [3]

## 6) Aktivní využití plynu

Celkově se tato metoda používá zřídka. Nejčastěji se vhání médium pod tlakem úzkým proudem do potřebného místa. Tato metoda není moc účinná skrze chlazení, mazání a má problematický odvod třísek, potažmo abrazivních částic. Při použití  $\text{CO}_2$  musí být jak vnitřní, tak vnější prostor kvalitně odvětráván. Nalézá uplatnění při obrábění keramik, nebo těžce obrobitelných materiálů. Používá-li se kapalný dusík nebo kapalné  $\text{CO}_2$ , potom se metoda nazývá kryogenní. U dusíku je dosahováno teplot až  $-196^\circ\text{C}$  a u  $\text{CO}_2$  je to  $-78^\circ\text{C}$ . [3] [9]



## **3. Analýza**

### **3.1. Dřívější stav**

Pro představu zde uvedu zjednodušený provoz. Na začátku provozu přišel pracovník, zapnul stroje. Nastavil program pro obrábění daného odlitku, vložil odlitek a pustil. Všechny tři stroje vykonávaly stejný program. Takto to udělal na všech třech strojích. V mezičase během obrábění vyměňoval již obrobené obrobky za odlitky. Obrobky následně vkládal do čističky a tento proces se opakoval.

Díky výkyvům teplot se vyskytl problém. Příčiny později popíši. Problém byl ve stabilitě rozměrů stěžejních a funkčních částí obrobku. Jsou to: Main bore hole – otvor, kde je uložena klapka, Motor shaft hole – otvor pro vložení ovládací hřídelky, která natáčí klapku, Plug hole – otvor pro zátku, která je namontována po vložení hřídelky. Jednak se rozměry vyskytovaly mimo toleranční pásma, jednak se vyskytovaly náhodně – nebyl to stálý trend, který by se dal korigovat. Byl náhodný. Měřené rozměry byly naměřeny na přesných souřadnicových strojích.

### **3.2. Jevy ovlivňující teplotu celé soustavy**

Pro lepší pochopení zde uvedu schéma. Nejprve popíši jednotlivé členy a jejich dopad, na závěr uvedu pár příkladů.

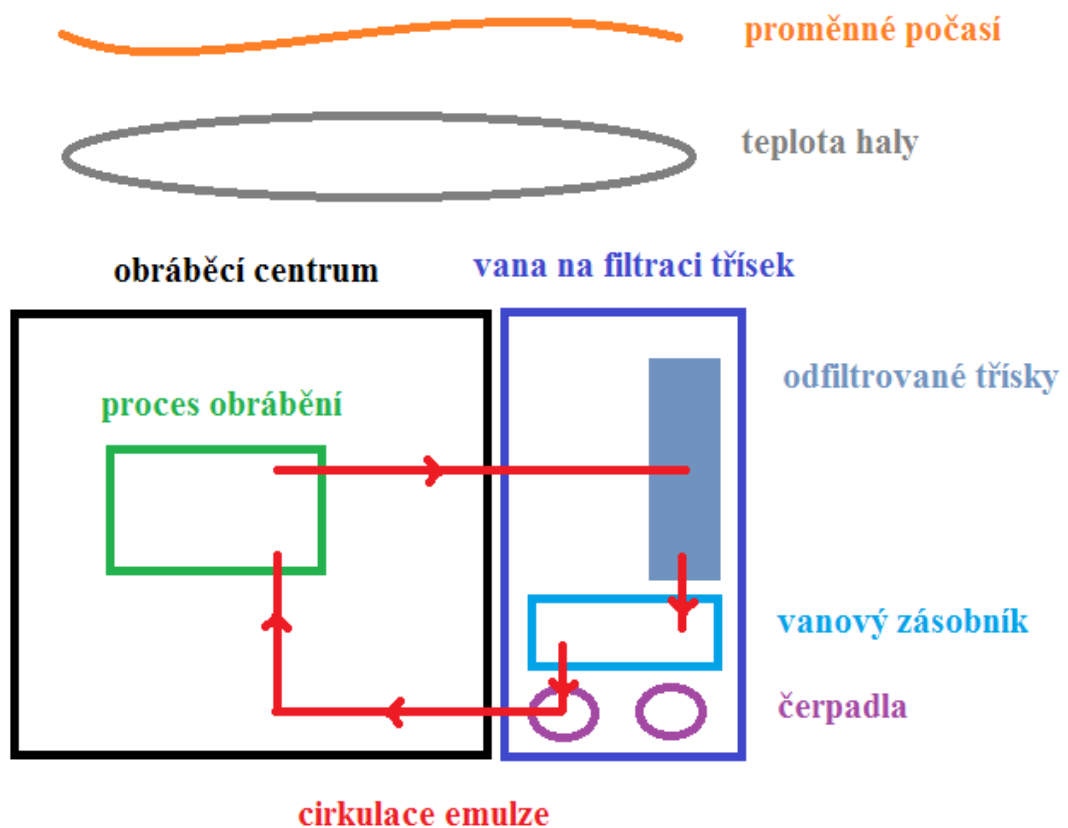


Schéma 5 tepelné činitelé

### Proměnné počasí:

V klimatických podmínkách situovaných ve střední Evropě se často vyskytují velké výkyvy teplot. Nejvíce znatelné jsou roční období – jaro, léto, podzim, zima. Výkyvy v počasí jsou znatelné v řádech jednotlivých týdnů i dnů. Nejsou nikdy stejné, ať se již jedná v létě o náhlé suché období, kdy teplota v létě dosahuje teplot nad 30 °C. Nebo v zimních měsících, kdy se díky absenci oblačnosti vyskytují holomrazy z rána, teplota klesá pod bod mrazu. Následně pak přes den teplota vzrůstá k 20 °C. Srážky nebo oblačnost mají také vliv. Zde se jedná o zvýšení teplotní kapacity vzduchu.

### Teplota haly:

Hala je po celý rok klimatizovaná, ne však o víkendy, kdy není provoz. Na konci víkendu se tedy teplota nejvíce přibližuje teplotě venkovního počasí. Klimatizování není na laboratorní podmínky – ustálenou a jednotnou teplotu po celý rok. Ale pro přijatelnou teplotu pro pracovníky, vyskytující se v prostředí haly. Teplotu haly ovlivňuje tedy počasí a také nakládka, vykládka a přesouvání sortimentu do skladu a ze skladu, kdy jsou otevřeny dveře.

### **Obráběcí centrum:**

Zde uvažuji jen samotný stroj, ne proces obrábění. Stroj vykonávající pohyb má přirozené ztráty. Děje se tak v důsledku přeměny elektrické energie na tepelnou a vnitřních pohybů stroje. Tyto aspekty mají tendenci se ustálit v závislosti na provozu. Na obráběcí centrum má dále vliv teplota haly, proces obrábění, teplota emulze.

### **Proces obrábění:**

Teplotu ovlivňují okolnosti vzniku třísek (popsány výše), emulze, obráběcí centrum.

### **Vana na filtraci třísek, odfiltrované třísky, vanový zásobník:**

Ve vaně se nachází jednak třísky, jednak velké množství emulze, která je ve vanovém zásobníku. Vana je vyrobena převážně z kovu, což je dobrý tepelný vodič. Vana má větší plochu než emulze, tudíž funguje částečně jako tepelný most pro emulzi. Teplota je ovlivňována emulzí a teplotou na hale. Zvětšená plocha při nahrnutí hliníkových třísek, mezi nimiž cirkuluje emulze, má zanedbatelný dopad.

### **Čerpadla:**

Nachází se zde elektromotor, kde se mění elektrická energie na tepelnou. Ta otepluje emulzi. Čerpadla mají žebrované chlazení, tudíž čerpadla a teplota haly se navzájem tepelně ovlivňují.

### **Cirkulace emulze:**

Zde působí celá řada ztrát a jevů, které nebudu popisovat. Jsou to především ztráty od tření, disipace, změny směrů, Bordovy ztráty atd. Významnější jsou změny teploty od procesu obrábění, teploty na hale, přijímané teplo od čerpadla.

### **Příklad:**

Emulze cirkuluje, v každé části je její teplota měněna. Začne to na čerpadlech, která ji vhání do procesu obrábění. Zde je oteplována od čerpadla a řezného procesu. Odtud je odplavovaná do filtrační vany, zde je předpokládané částečné ochlazení. Velikost závisí na rozdílu teploty haly a teploty filtrační vany, ve které je emulze. Dále putuje do zásobníku, kde platí to samé. Poté je znovu nasávána čerpadly.

Jak jsem již popsal, samotné centrum má tendenci ustálit se na své provozní teplotě v závislosti na hale za určitou dobu  $t_1$ , bod A1. Ovšem strojem probíhá emulze, takže stroj chvíli přehřívá – snižuje samotné  $t_1$ , nazvu ji zde  $t_2$ , bod A2. Ale pak díky své vyšší teplotě emulze stroj ohřívá ještě více. Nechť je  $t_3$ , A3.

Následující graf je pouze informativní, sloužící pro vysvětlení. Problematika procesu obrábění se vyskytuje především po víkendové odstávce stroje, kdy je teplota haly ovlivněna počasím. Zároveň se přidávají největší teplotní změny v jednotlivých segmentech soustavy.

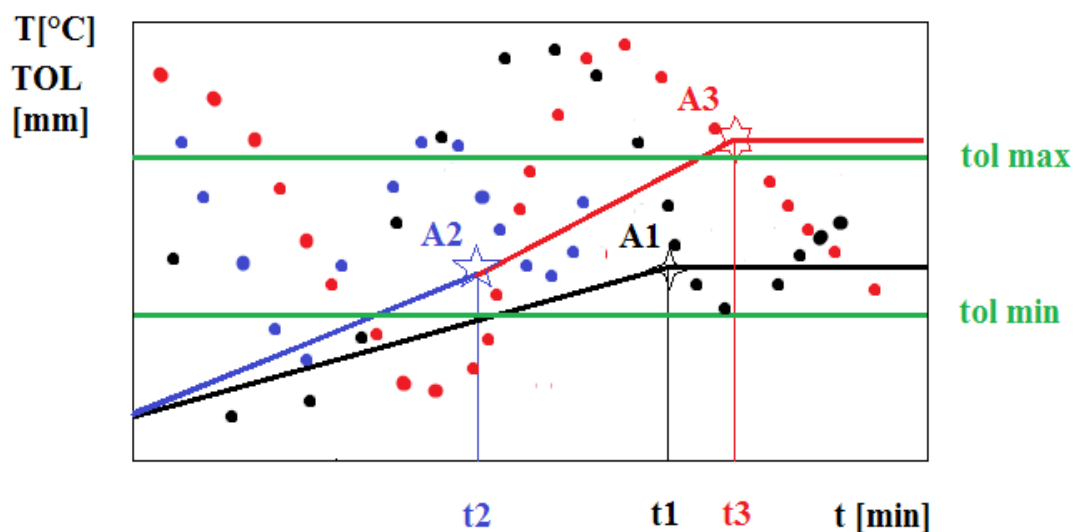
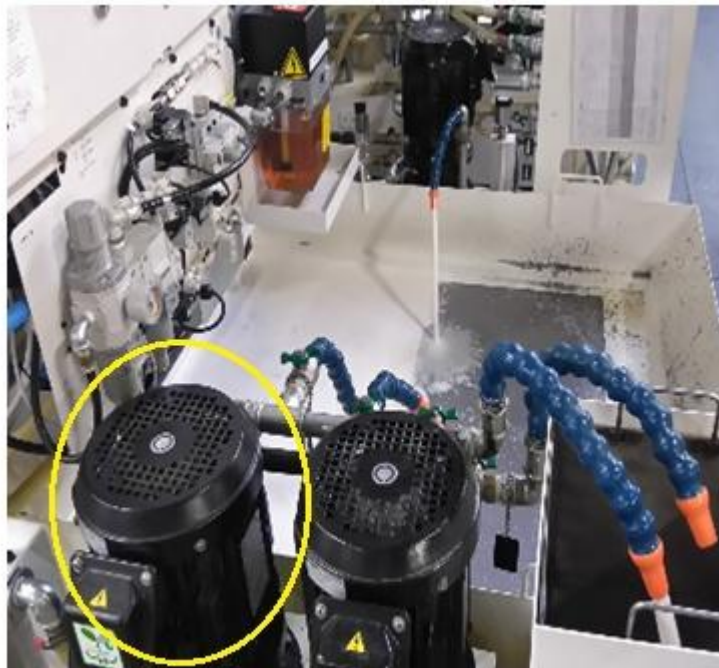


Schéma 6 závislost tolerance teploty a času

Zde jde jasně vidět, jak teplota ovlivňuje stabilitu rozměrů v závislosti na čase. Na začátku směny by se vyrábělo s nepříjemným procentem nevyhovujících kusů vůči firemní politice. Rozměry by byly mimo oblast stanovenou tolerancí. Tak by to bylo až do času  $t_3$ , kdy se tolerance ustaluje. Je nutno zmínit, že  $t_3$  je proměnná od počasí, někdy 2 h jindy 5 h. Zaměstnanci tedy přišli s řešením, jak se vyhnout většímu podílu nevyhovujících kusů. Je to simulace obrábění, kdy není vložen obrobek, ale stroj koná pohyb, emulze cirkuluje. To trvá až do  $t_3$ , kdy se rozměry již stabilizují. Pak je stroj připraven vyrábět v uspokojujících tolerancích.

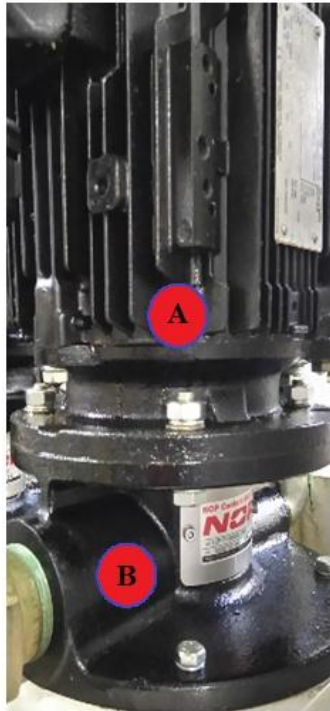
### 3.3. Rozbor měření teplot emulze, vlivu čerpadla a okolí

Měření bylo provedeno na dvou místech čerpadla: před vstupem emulze do čerpadla (v grafu B-side), která je nasávána čerpadlem z vanového zásobníku a na samotném těle čerpadla (v grafu A-side). Zároveň byla měřena i teplota emulze (v grafu Coolant temperature) a okolní teplota v hale (v grafu Outside air temperature). Teploty byly měřeny standardním infra-metrem značky LUX TOOLS.



Obrázek 6 čerpadlo [11]

Zde je vyfoceno měřené čerpallo, v pozadí je vana na separaci třísek od emulze.



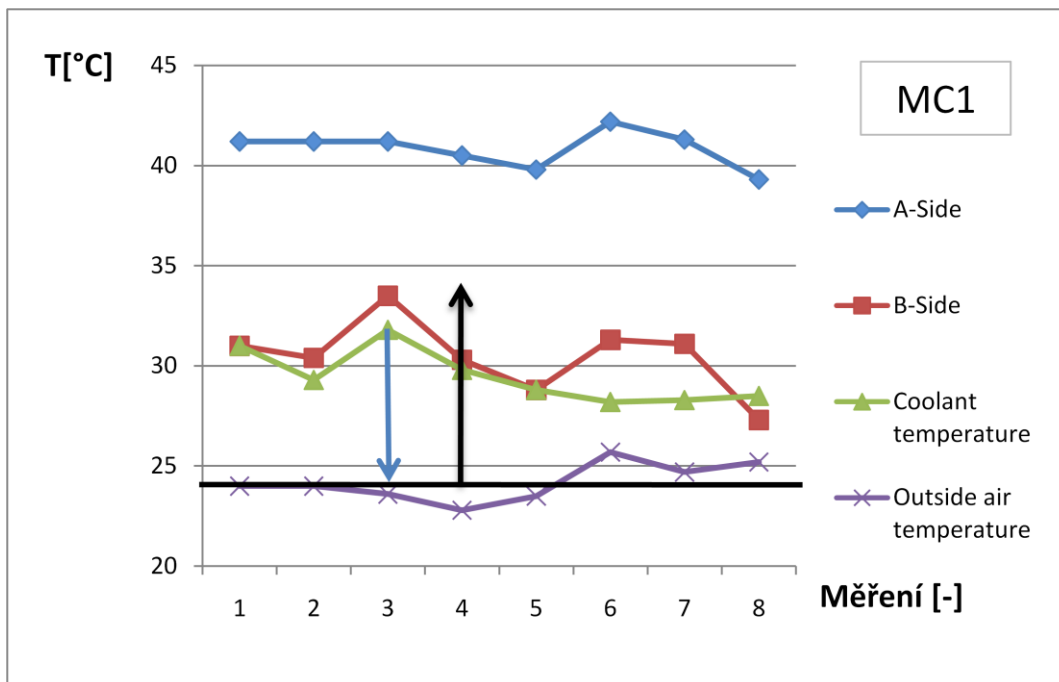
Obrázek 7 měřená místa čerpadla [11]

Bylo naměřeno osm výsledků. Měření probíhala od 23.04.2018 do 03.05.2018 (bez 01.05.2018). Měření se uskutečnilo na celé jedné lince, což znamená tři stroje – MC1, MC2, MC3. Průměrná teplota (Average) v tomto časovém úseku byla  $\approx 24$  °C.

Uvedu zde jen jeden graf – pro stroj MC1. Zbylé dva pro MC2, MC3 včetně naměřených hodnot naleznete v příloze (1).

Tabulka 1 teploty v různých dnech [11]

MC1	Date [-]	[-]	A-Side [°C]	B-Side [°C]	Coolant temperature [°C]	Outside air temperature [°C]
	23.4.2018	1	41,2	31	31	24
	24.4.2018	2	41,2	30,4	29,3	24
	25.4.2018	3	41,2	33,5	31,8	23,6
	26.4.2018	4	40,5	30,3	29,8	22,8
	27.4.2018	5	39,8	28,8	28,8	23,5
	30.4.2018	6	42,2	31,3	28,2	25,7
	2.5.2018	7	41,3	31,1	28,3	24,7
	3.5.2018	8	39,3	27,3	28,5	25,2
					Average:	24,2



Obrázek 8 teploty v různých dnech [11]

Pro připomenutí: A-side, B-side – tělo čerpadla, vstup do čerpadla. Coolant temperature je teplota emulze, outside air temperature je teplota haly.

Černá svíslá čára označuje průměrnou teplotu haly ( $\approx 24$  °C), během časového úseku. Černá vodorovná šipka orientovaná nahoru symbolizuje  $+\Delta 10$  °C. Což je největší rozdíl teploty motoru na povrchu a teploty haly. Modrá šipka orientovaná dolu znázorňuje snahu temperance emulze od okolí která činní  $+\Delta 7,5$  °C.

Celá soustava má tendenci se dostat na ustálenou tepelní hodnotu všech členů. To by platilo však pro stacionární soustavu. Zde máme neustále ohřívání čerpadla, proměnné počasí, teplo z řezného procesu, cirkulující emulzi, na kterou působí každý člen soustavy. Všechny jednotlivé prvky soustavy se tedy mají tendenci ustálit na své vlastní teplotě, která je ovlivňována vlastním generováním tepla a vlivy ostatních členů. Za předpokladu neměnného a soustavného provozu.

Nejvíce je tímto faktorem postihnuto obráběcí centrum, které je náchylné na teplotu, především osa Y. O tom dále v jednom z testů.

### 3.4. Rozbor měření vlivu předeřevu na tolerancích

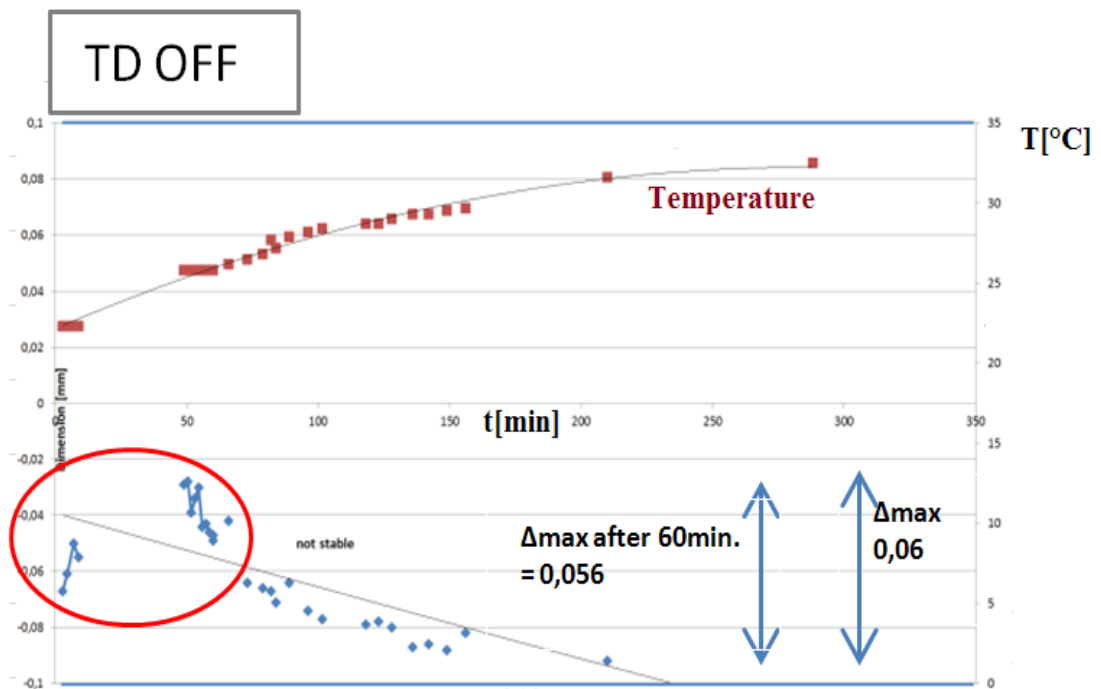
Již jsem zmiňoval, že největší dopad změny teploty, je nejvíce znatelný na ose Y. Byla provedena měření, která dokazují právě tento fakt. Zároveň prokázala efektivitu předeřevu pro přesnou výrobu v tolerančních mezích. Uvedu dvě z měření.

Jedno z měření zjišťovalo závislost mezi teplotou, tolerancemi a časovém rozdílu mezi nimi. Mělo ukázat, zdali by zvolený předeřev byl správnou cestou. Pro srovnání a lepší celkový pohled přikládám přílohu s obsáhlejší dokumentací - příloha (2). V tomto případě se uplatnilo nahřívání, kdy měřené obrobky byly testovány od počátku provozu, po víkend. Měření se uskutečnilo v zimním období, v lednu.

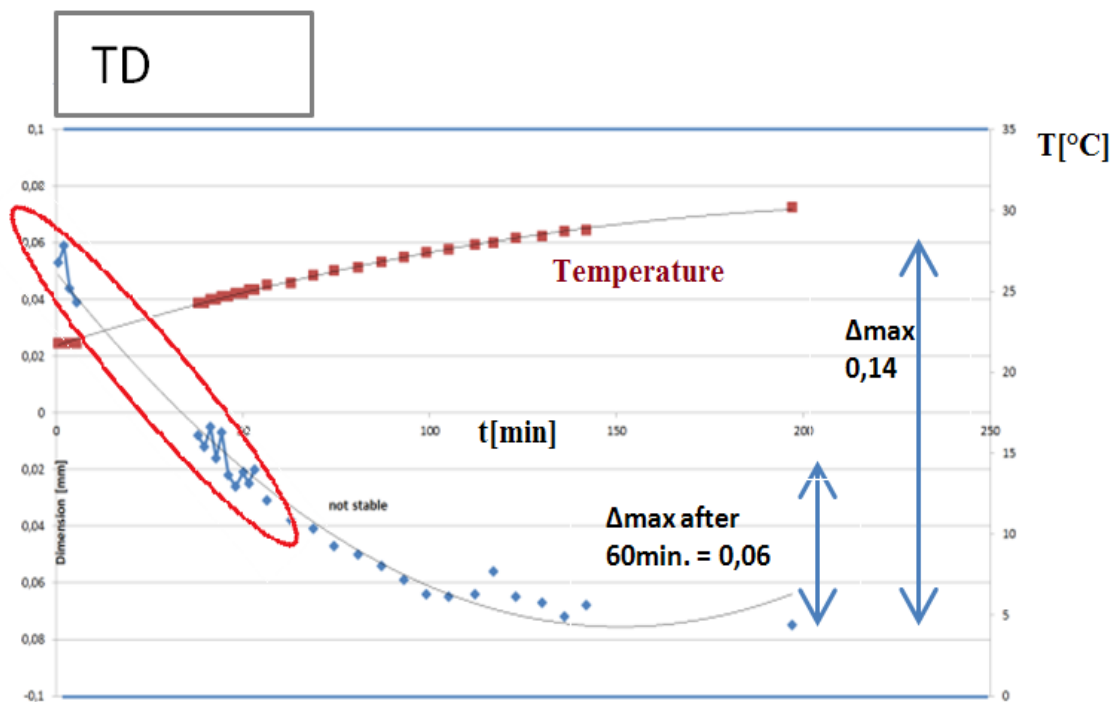
Následující grafy byly naměřeny v místě Plug hole, tady konkrétně je graf pro osu Y. Kontrolovaných obrobků bylo dvacet devět. První ze dvou je bez TD (= thermal displacement, tepelné nahřívání), druhý s TD. Tepelné nahřívání znamená ohřívání stroje od začátku provozu. V obou grafech jsou hodnoty teplot rozbíhající se tolerance a pro každý z grafů je uvedena jiná časová škála. Teploty, stejně jako naměřené tolerance, jsou proloženy trendem křivky.

Z grafu lze vyčíst, že prvotní náběh strojů do provozu, ať již s TD nebo TD OFF s sebou nese úskalí. Jedná se o zvýšený rozptyl měřených délek (vyznačeno v červených elipsách). To je způsobeno tepelným vyrovnáváním soustavy a jejích jednotlivých členů. Jak se soustava stabilizuje, stále hýbe s měřenými průměry, a to v obou případech. S TD jsou výchylky v trendu menší, prediktivnější. Avšak v dopadu na celkový výsledek jsou požadavky stále neuspokojeny. Jak je vidět, obě hodnoty  $\Delta_{max}$  po hodině provozu si jsou velice podobné (0,056 mm a 0,6 mm) především pro osu Y – viz příloha (2).





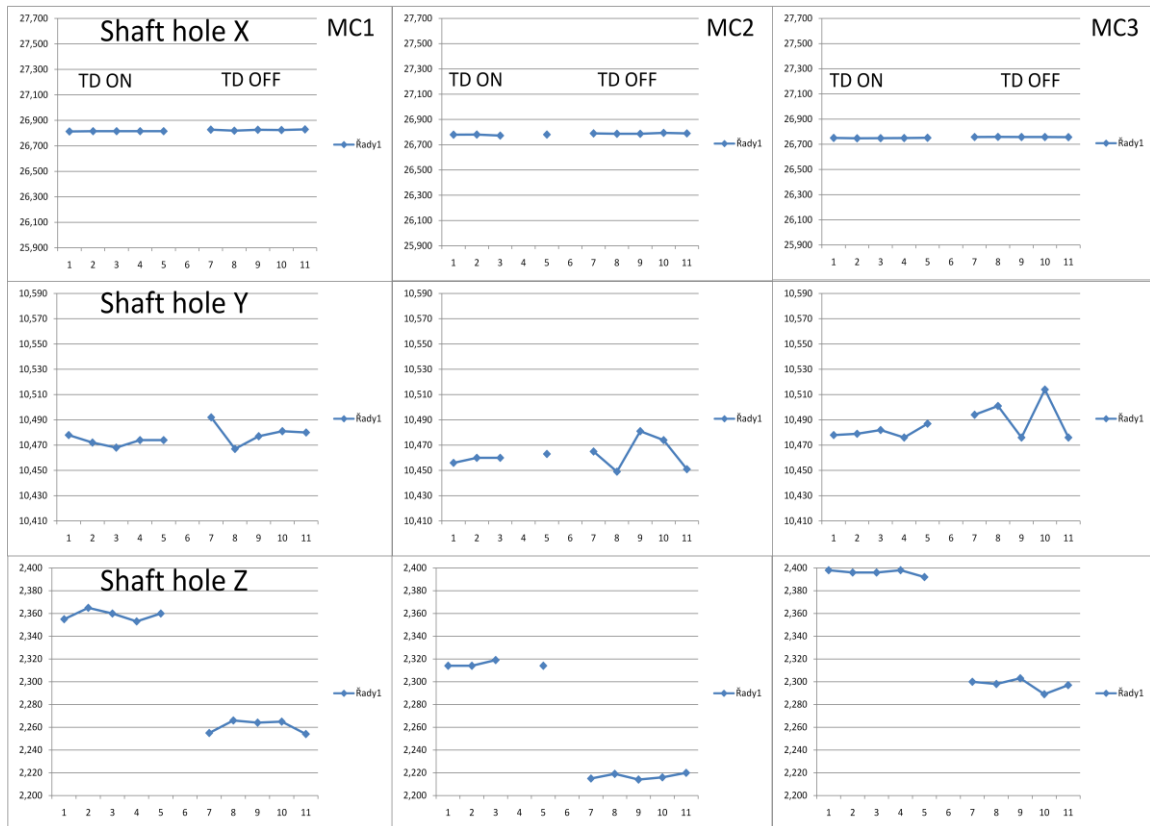
Obrázek 9 rozměry a teploty bez tepelného nahřívání [11]



Obrázek 10 rozměry a teploty s tepelným nahříváním [11]

Pro zdůraznění problematické osy, zde uvedu ještě jiná měření, kde jsou vyneseny tolerance z přílohy (3) pro Shaft hole v jednotlivých osách. Měření byla prováděna při TD, TD OFF pro jednotlivé stroje MC1, MC2, MC3. V grafu je vidět

dopad TD, TD OFF pro jednotlivé osy, kde osa Y je nejkolísavější v rámci měřených rozměrů.



Obrázek 11 ukázka jednotlivých os s a bez tepelného nahřívání, na strojích MC1, MC2 a MC3 [11]

### 3.5. Nynější stav

Před začátkem směny a provozu, tedy v pondělí ráno, přijde povolaná osoba a nastaví program na samotný předeřev. Zohledňuje přitom teplotu na hale a teplotu venkovní, ovlivněnou ročním obdobím. Předeřev trvá dvě i více hodin. V tomto procesu se neobrábí. Stroj však simuluje pohyby obrábění a emulze cirkuluje. Tím se stroj svépomocně zahřívá. Zahřívání probíhá od emulze, jejíž teplota je zvyšována činností motoru čerpadel, disipace a od okolí stroje. Zde již hraje podstatnou roli roční období a teplota na hale. Následně přijde povolaná osoba, změní program a připraví tak stroje na samotný provoz.

Potom přijde pracovník provozu, vloží obrobek postupně do všech tří strojů. V mezičase, kdy dva stroje obrábí, pracovník na lince vkládá již obrobek do čističky a připravuje se na vložení nového odlitku na dalším stroji. Po obrábění odlitku pracovník odlitek vyjme, vloží nový. Obrobek vloží do

čističky. Celý proces se takto opakuje. V procesu jsou pauzy na odpočinek a na oběd. Takto je stroj zapnutý bez ustání od pondělí do pátku. Samozřejmě dle nároků na výrobu dle zakázek. V pátek se stroj na konci provozu vypíná.

Toto řešení má žádoucí pozitivum – vyrábí se s požadovanou přesností. Ovšem jednotlivé délky předehřevu se liší v závislosti na teplotě počasí. Jsou relativně dlouhé a u celé soustavy hrozí náchylnost na změnu teplot, například mezi dnem a nocí.

## 4. Návrh řešení

### 4.1. Vstupní předpoklady pro návrh

V analýze jsem zmínil, že emulze funguje jako jakýsi prostředník a tepelný most, který ovlivňuje přímo veškeré prvky soustavy. Má vliv na zahřívání stroje v prvním stádiu uvedení do provozu. Jestliže by se emulze dala regulovat na zvolenou teplotu – přidáním dalšího prvku do soustavy, který by podléhal jen našim požadavkům, například chladič emulze - mohlo by to zapříčinit zkrácení doby předehřevu. Stroj by se tedy neohříval v bodě A2 zvýšenou teplotou emulze, viz *Schéma 6 závislost tolerance teploty a času*. Případně by efekt nebyl tak veliký a doba předehřevu by byla opravdu kratší. Nevedlo by to do bodu A3. Teplota soustavy by se stabilizovala dříve. Je eventuelně možné, že bychom předehnali teplotu a čas A2. Toto řešení by mělo dát operátorům také možnost odfiltrovat teplotní vlivy počasí. Najdeme-li horní a spodní mez teploty emulze, kdy při obrábění jsou rozměry v uspokojivých tolerancích, našel by tento návrh řešení funkci především u celkové regulace v plném provozu. Kde je to ještě důležitější. Stroj totiž reaguje na změny teplot a to se odvíjí v nestabilitě rozměrů.

Z dosavadních informací o závislosti teploty a stability os rozměrového vyrábění se lze domnívat, že jediné co by potom stačilo ke stabilizaci rozměrů, je držet celoročně teplotu emulze v těchto mezích. Řekněme, že výroba v jednotlivých osách má své nejlepší výsledky okolo určité teploty emulze, která se nachází v onom teplotním pásmu. Pravděpodobně proměnné v průběhu roku. Případně nikoli. Záleží na budoucím celkovém dopadu chlazení na soustavu. Jestliže se povede držet teplotu emulze v onom pásmu celoročně, přínos bude veliký.

Realizace mého návrhu by vedla k maximálnímu využití strojů, co se přesnosti výroby týče. Jak moc velké zlepšení by to mohlo být, patrně určí až testy a měření. Snazší by byla případná korekce rozměrů, jelikož obráběcí centrum by pracovalo stále okolo jednoho pásma teplot, samozřejmě tedy po ustálení náběhu.

## 4.2. Samotný návrh

Uvedu zjednodušené schéma:

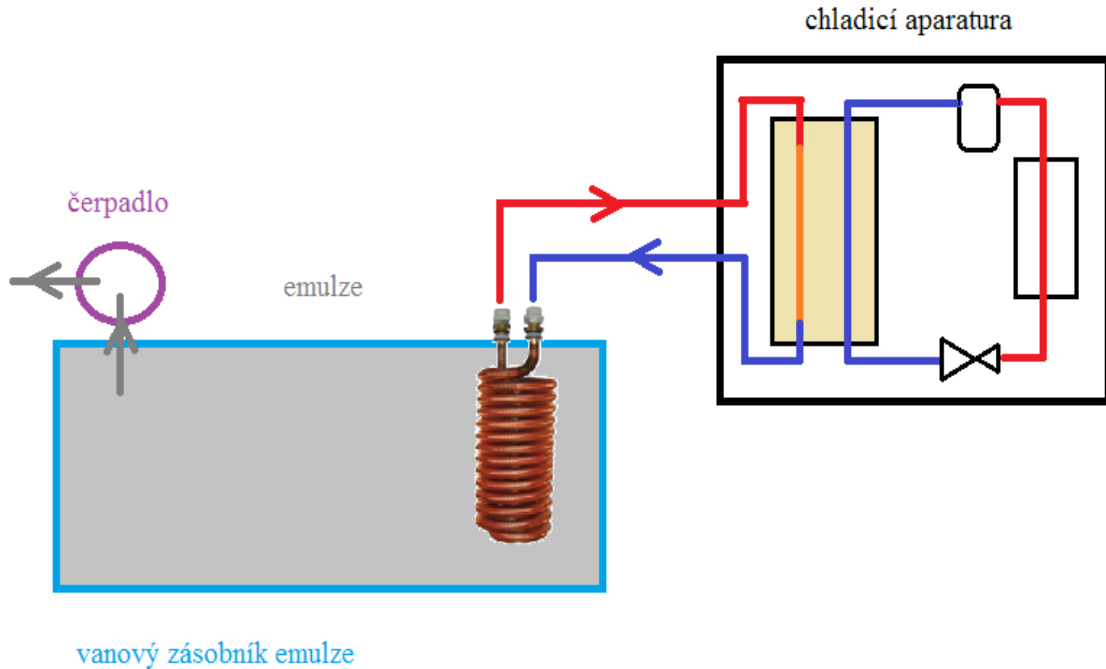


Schéma 7 okruh chladicí aparatury

Emulze je před samotným vstupem do čerpadla ochlazována měděným tepelným výměníkem. Ten je umístěn ve vanovém zásobníku emulze. Výměník je napojen na chladicí aparaturu. Chladicí aparatura přivádí do výměníku chladnou vodu a odvádí ohřátou vodu od emulze. Tím ochlazuje emulzi.

V chladicí aparatuře to funguje následujícím principem. V pravé části schématu je okruh s chladivem. V horní části tohoto okruhu je kompresor. Ten vhání chladivo do pravé části – výměníku. Zde se chladivo ochladí a změní se na kapalinu. Ta ve výparníku začne měnit své skupenství (levá část chladicí aparatury) zde se sníží tlak, teplota varu. Díky jinému průměru trubice. Skupenské teplo je odebíráno z výparníků. Okolí výparníku je tedy ochlazováno. Ochlazené okolí působí na vodu cirkulující mezi výměníkem a chladicí aparaturou.

### 4.3. Výstupní předpoklad

Je potřeba si uvědomit, že zvolené řešení vychází z ideálních parametrů. Ovšem reálně se může rozcházet. Případné použití návrhu nemusí dosahovat požadovaného efektu. Například bude potřeba vybavit vanový zásobník ještě dalším výměníkem. Kvůli neideální cirkulaci kolem výměníku, by mohla nastat potřeba instalace čerpadla, které by neustále ideálně proměšovalo teplotu emulze ve vaně.

Další experimenty odhalí, jestli zvolená chladicí aparatura dokáže mít uspokojivý efekt na soustavu jednoho stroje. Případně jestli dokáže být namontovaná i na další dva pracovní stroje.

### 4.4. Jednotlivé prvky návrhu

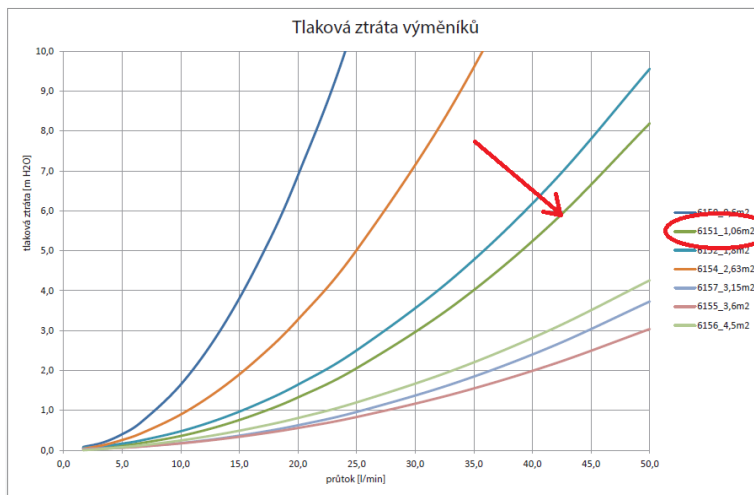
Hlavní prvky návrhu jsou dva, chladicí aparatura a výměník.

Výměník byl vybrán od firmy Regulus spol. s r.o. konkrétně typ s objednávacím kódem 6151. Aplikace výměníku je limitována rozměry a vhodným umístěním ve vaně zásobníku.

#### Rozměry a typy

OBJEDNACÍ KÓD		6150	6151	6152	6154	6157	6155	6156		
PLOCHA	m <sup>2</sup>	0,60	1,06	1,80	2,63	3,15	3,60	4,50		
DÉLKA SPIRÁLY	mm	410	420	470	600	560	650	750		
PRŮMĚR SPIRÁLY	mm	145	145	170	190	190	190	190		
OBJEM	l	0,4	0,9	1,5	2,2	2,5	2,9	3,7		
PŘIPOJENÍ	--	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1"	1"	1"		
POČET TRUBEK	ks	1	1	1	1	2	2	2		
PŘÍPRAVA TV z 10°C na 45°C	při teplotě ot. vody 60°C	průtok	l/min	2,0	3,4	10,0	18,3	11,8	13,0	22,8
		výkon	kW	5,0	8,0	24,0	45,0	29,0	32,0	56,0
	při teplotě ot. vody 80°C	průtok	l/min	7,4	13,3	27,4	48,1	30,7	33,6	59,8
		výkon	kW	18,0	32,0	67,0	117,0	75,0	82,0	146,0
VHODNÝ PRO AKUMULAČNÍ NÁDRŽ	PSxF	300 N a větší	300 N a větší	300 N a větší	500 N a větší	500 N a větší	800 N a větší	800 N a větší		

Obrázek 12 výběr typu výměníku [12]



Graf 1 tlaková ztráta výměníku [12]



Obrázek 13 výměník [12]

Jde o experimentální výběr řešení. Předpokládá se možnost nutnosti výměny výměníku, případně zvolení několika dalších výměníků. Je zde spousta možností, jaký bude vlastní dopad na celý systém. Jestli zvolené řešení nebude příliš účinné, nebo účinné příliš málo. Více o tom v experimentech, které později ukázaly, že tento typ výměníku nespĺňuje očekávání, a proto byl zvolen jiný. Výměník byl od stejné firmy jen o řadu vyšší 6152.

## 4.5. Realizace



Obrázek 14 výměník při instalaci [11]

Zde na fotce je výměník s kódem 6151 – vytažen a neponořen. Napravo je vidět jedno z čerpadel. Za výměníkem je odtok emulze a pod ním vana emulze. Nalevo a vpředu je již samotný stroj – nejde z fotky vidět.

Jako chladicí aparatura se zdála nejvhodnější od firmy TAEevo ze série TAEevo TECH MINI. Tato chladicí aparatura by měla pokrýt potřebu a plně vyhovět nárokům. Stále ale platí, že se může vyskytnout problém jako například velké rozmezí chladicího programu, nechtěný dopad a zpětná vazba od soustavy.



Obrázek 15 chladicí jednotka [13]

TAEevo Tech MINI		03	05	08	10
Nominal Cooling capacity 50/60 Hz (1)	kW	1,75 / 1,92	2,75	3,50	4,59
Total absorbed power 50/60 Hz (1)	kW	0,43 / 0,49	0,63	0,8	1,04
EER 50/60 Hz (1)		4,04 / 3,87	4,34	4,36	4,42
Nominal Cooling capacity 50/60 Hz (2)	kW	1,22 / 1,33	1,89	2,41	3,12
Total absorbed power 50/60 Hz (2)	kW	0,49 / 0,55	0,72	0,93	1,2
Nominal power P3 pump	kW	0,18	0,37	0,37	0,37
EER 50/60 Hz (2)		2,49 / 2,39	2,61	2,59	2,61
SEPR HT (3)		4,51	4,74	4,80	4,86
Power supply	V/Pth/Hz	230 ± 10% / 1 - PE / 50 - 60		230 ± 10% / 1 - PE / 50	
Noise level 50/60 Hz (*)	db(A)	46 / 47	47	47	47
Depth	mm	660	660	660	660
Width	mm	486	486	486	486
Height	mm	622	622	872	872
Working weight (P3 pump)	kg	68	71	95	98
Tank volume	l	15	15	22	22
Evaporator water connections	Rp	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"

Obrázek 16 výběr chladicí jednotky [13]

## 4.6. Návrh měřených veličin

Pro adekvátní zjištění našich hypotéz o funkčnosti chladicí aparatury, by bylo radno měřit níže sepsané veličiny. Je třeba zjistit, jaký dopad na obráběcí proces bude mít chlazení. Co se bude dít po stránce tepelné a jak toto chování ovlivní rozměry obrobků.

Po stránce tepelné je důležité blíže specifikovat jednotlivé dopady teplot na emulzi, která bude chlazená. Dále je žádoucí sledovat, jaký vliv bude mít ochlazená emulze na teplotu čerpadla, kterým protéká. Skrze teplotu okolí dostaneme lepší obrázek celkového dopadu chlazení na soustavu, především na emulzi a stroj. Soustava bude mít snahu o teplotní stabilizaci. To se odrazí na



rozměrech. Je třeba vypořádat teplotní nájezd a pak určit stabilizaci. Při tom sledovat účinnost chlazení, kvůli případné výměně jednotlivých komponent. Z toho vypořádat dění na rozměrech. Z těchto pozorování dále určit, kterým teplotám a za jakých okolností je nutno se vyhnout zakázaným teplotním pásmům, aby obráběcí proces pracoval na uspokojivé úrovni. Zkrátka řečeno, určit teplotní rozmezí, od jaké teploty do jaké teploty je stroj nejvíce stabilizován a nemá vysoké výkyvy na rozměrech.

Po stránce rozměrové se bude dbát na čtyři hlavní rozměry, jsou to: Motor hole position - pozice otvoru pro motor, Bore hole position - pozice otvoru kde bude namontována klapka, Plug hole position – pozice otvoru pro zátku hřídele, Plug depth - hloubka otvoru pro zátku hřídele. Případně po vysledování vzorce chování lze dle možností výkresové dokumentace a měření ještě měřit další rozměr/rozměry pro ověření hypotéz. Nejkritičtější dle výroby jsou rozměry Bore hole position a Plug depth. Jsou náchylné na nižší teploty, kdy rozměry odskočí bez jakéhokoliv nájezdu a upozornění. Proto zde bude zvýšená pozornost na tyto hodnoty.

Rozměry by měly mít trend stoupavého nebo klesavého charakteru s případnými lokálními stabilizacemi. To bude způsobeno vyrovnáváním teplot v samotném stroji. Lze si to představit jako několik mravenišť s různou rychlostí činností a růstu. Tato mraveniště by pak představovala jednotlivé elektronické prvky ve stroji a v soustavě, v nichž dochází ke změnám energií. Každé z mravenišť může ovlivňovat okolí misky. Jednotlivá mraveniště by pak vytvářela koalice na různých stupních vývoje. Tyto stupně charakterizují stabilitu na určité teplotě. Jednotlivé koalice mravenišť pak vytvářejí větší koalice a opět působí na své okolí. Stupně vývoje mohou klesat i růst. Zkrátka stroj se bude nejspíše ustalovat po částech. Proto bude možno vypořádat několik úseků stabilizace.

#### **Měření teplot bude prováděno:**

- 1) Přístrojem pro měření teplot emulze a čerpadla – TES 1320 type K, k němu zapojené sondy:
  - a. Ponorná sonda - TP-K02 Immersion
  - b. Dotyková sonda – VR-815 32B
- 2) Přístrojem pro měření teploty okolí – AHB 3825D-Lutron

#### **Měření rozměrů:**

- 1) Souřadnicovým měřicím přístrojem, dostatečně přesným na čtyři desetinná místa

## 5. Experimenty

### 5.1. Teplotní rozbor 03.05.2019

Toto je první experiment z několika. Byly naměřeny dva výstupy – jeden teplotní a druhý rozměrový. Oba jsou navzájem spjaty. V obou níže uvedených tabulkách jsou uvedeny reálné časy, které označují čas měření. V tabulce rozměrů jsou uvedeny např. 3 ks MC3 to znamená, že v daný čas byly 3 ks vloženy na stroj do pořadí MC3. Po dokončení kusu, který byl právě v obráběcím centru, se dále prioritně dle popisku vkládaly měřené a popsané kusy. Čas potřebný k obrobení jednoho kusu se pohybuje v řádu minut. Ne všechny 3 kusy byly obráběny ve stejný čas. U chlazení je snaha se přiblížit na teplotu okolí, aby byl minimalizován její vliv na proces obrábění.

V této fázi nebyl výměník 6151 ponořen zcela 100%.

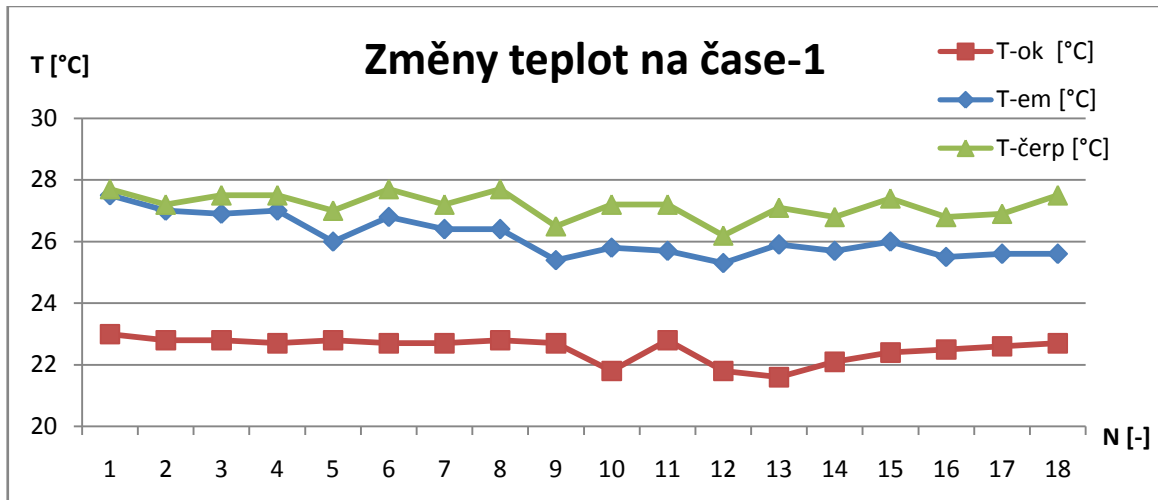
Jako první zde uvedu měření teplot:

Tabulka 2 měření teplot

obráběný model	68 944 THR R.1			datum 3.5.2019			výměník 6151			
měřené kusy	t- reálný [hod]	N [-]	t [min]	T-ok [°C]	T-em [°C]	T-čerp [°C]	T-in [°C]	T-out [°C]	$\Delta T$ [°C]	$\Delta T$ -ok,em [°C]
3 ks MC3	8:45	1	0	23	27,5	27,7	20,5	18	0,2	4,5
	8:55	2	10	22,8	27	27,2			0,2	4,2
	9:05	3	20	22,8	26,9	27,5	24,7	23,7	0,6	4,1
	9:15	4	30	22,7	27	27,5			0,5	4,3
	9:25	5	40	22,8	26	27			1	3,2
	9:35	6	50	22,7	26,8	27,7			0,9	4,1
3 ks MC3	9:45	7	60	22,7	26,4	27,2			0,8	3,7
	9:55	8	70	22,8	26,4	27,7			1,3	3,6
	10:05	9	80	22,7	25,4	26,5			1,1	2,7
	10:15	10	90	21,8	25,8	27,2	25	24	1,4	4
	10:25	11	100	22,8	25,7	27,2	28,8	27,8	1,5	2,9
	10:35	12	110	21,8	25,3	26,2	22,7	21,5	0,9	3,5
3 ks MC3	10:45	13	120	21,6	25,9	27,1			1,2	4,3
	10:55	14	130	22,1	25,7	26,8			1,1	3,6
	11:05	15	140	22,4	26	27,4			1,4	3,6
	11:15	16	150	22,5	25,5	26,8	24,5	23,6	1,3	3
	11:25	17	160	22,6	25,6	26,9	21	20	1,3	3
	11:35	18	170	22,7	25,6	27,5			1,9	2,9

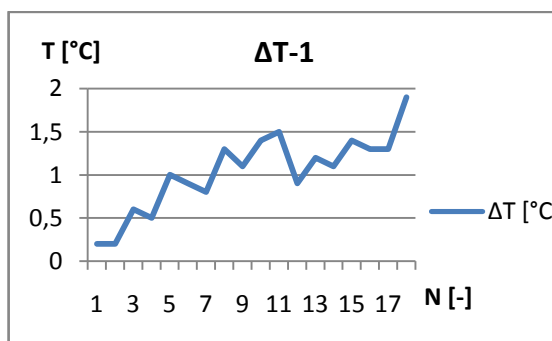
V hlavičce jsou uvedeny základní informace jako model, datum a typ výměníku. Jak jsem již zmínil, měřené kusy jsou spojeny s uvedeným časem. Měření teplot proběhlo 18x. T-ok – teplota okolí v hale. T-em – teplota emulze a T-čerp – teplota čerpadla na výstupu. Dále je zde uvedena T-in a T-out. Tyto hodnoty byly naměřeny u výstupu a vstupu chladicí jednotky. Jak bylo záhy zjištěno, tyto

hodnoty musejí být brány pouze jako informativní. Z důvodu velmi rychlých změn a nestálosti. Hodnoty byly měřeny ve fázi mezi vypnutím a zapnutím, byl to jediný okamžik teplotní stabilizace. Doba zapnutí a vypnutí se lišila s každým měřením – jak uvedu na konci této kapitoly.  $\Delta T$  je rozdíl mezi teplotou emulze ve vanovém zásobníku a na výstupu čerpadla.  $\Delta T_{ok,em}$  je rozdíl mezi emulzí a okolí – právě tato hodnota je žádoucí jako co nejnižší a co nejvíce stabilizovaná.

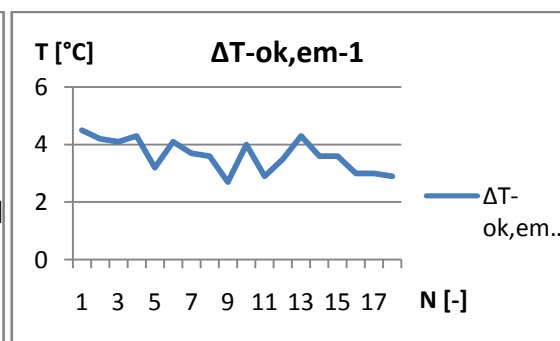


Graf 2 změny teplot na čase-1

Tento graf pojednává o jednotlivých teplotách v průběhu měření – na začátku je rozdíl čerpadla a emulze nejmenší - 0,2 (viz *Tabulka 2 měření teplot*), s postupem měření kolísá a zvyšuje se. Jednotlivá kolísavost teploty okolí byla způsobena nepříliš vhodným výběrem umístění. Pokud se otevřely dveře skladu, kde není teplota regulována a sklad má druhé dveře ven, je na místě se domnívat, že do výrobní haly začne proudit studený vzduch. Pro měření z jiných dnů již byl tento faktor minimalizován zvolením jiného umístění.



Graf 3 rozdíl teplot čerpadla a emulze



Graf 4 rozdíl teplot okolí a emulze

Zde v prvním grafu nalevo je vidět rozdíl teploty čerpadla a emulze. V druhém grafu napravo je rozdíl teplot okolí a emulze. V prvním je očekávaný nárůst rozdílu těchto teplot, naznačuje správnou funkci chladicí aparatury. V druhém

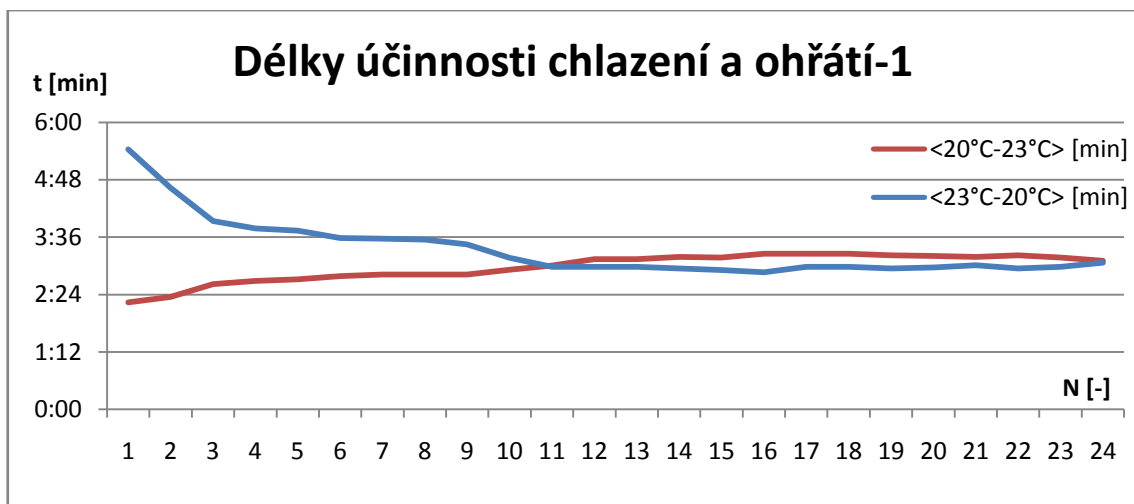
grafu nejsou rozdíly větší než 2°C, bohužel venkovní počasí bylo relativně ustálené. Je vidět pokles rozdílu a částečná stabilizace.

Součástí měření bylo i měření času vypnutí a zapnutí chladicího cyklu chladicí aparatury. Jsou zaznamenány zde:

**Tabulka 3 časové rozmezí chlazení a ohřátí**

Nastavení chladicí jednotky 20°C													
$\Delta T$	N [-]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<20°C-23°C>	[min]	2:14	2:21	2:37	2:41	2:43	2:47	2:49	2:49	2:49	2:55	3:00	3:08
<23°C-20°C>	[min]	5:26	4:38	3:56	3:47	3:44	3:35	3:34	3:33	3:27	3:10	2:59	2:59
$\Delta T$	N [-]	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
<20°C-23°C>	[min]	3:08	3:11	3:10	3:15	3:15	3:15	3:13	3:12	3:11	3:13	3:10	3:06
<23°C-20°C>	[min]	2:59	2:57	2:55	2:52	2:59	2:59	2:57	2:58	3:01	2:57	2:59	3:04

Chladicí aparatura byla nastavena na teplotu chlazení 20°C. Bylo zjištěno, že pracovní rozsah kdy je zapnuté chlazení, je v rozmezí <23°C-20°C>. Ovšem reálně teplota jde ještě dál. Uvedu situaci: když má chlazení začít působit v 23°C tak teplota ještě vystoupá například na 24,2°C, než opět začne klesat. Je nutno zdůraznit, že jednotlivá měření neodpovídají reálnému času, pouze první ano. Jednotlivá měření byla prováděna po 10 minutách, ovšem čas mezi fázemi chlazení stejně dlouhý nebyl.



**Graf 5 délky účinnosti chlazení a ohřátí**

V tomto grafu lze vidět začátek spuštění chlazení v levé straně. Ochlazení si z počátku vyžádalo delší časový úsek. Naopak ohřátí vnitřního systému chladicí aparatury proběhlo rychleji. Tento aspekt patrně vznikl vzhledem k většímu objemu vanového zásobníku. Tedy, po připojení chlazení do soustavy, soustava potřebuje jistý čas na reakci. V této fázi nelze odhadnout, jestli chlazení by nemohlo být více účinné.

Následovala zaměstnanecká přestávka na oběd a zbytek měření. Během pauzy bylo chlazení zapnuté. Tyto přestávky jsou každý den. V provozu je ještě pár drobných zaměstnaneckých přestávek.

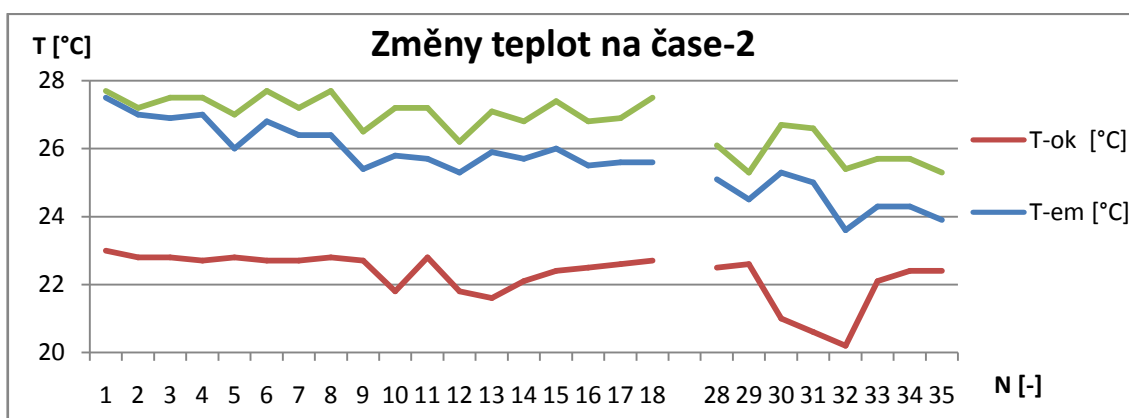
### Zbytek doměřených hodnot:

Tabulka 4 měření teplot

měřené kusy	t- reálný [hod]	N [-]	t [min]	T-ok [°C]	T-em [°C]	T-čerp [°C]	T-in [°C]	T-out [°C]	ΔT [°C]	ΔT-ok,em [°C]				
3 ks MC3	12:15	28	210	22,5	25,1	26,1	20,5	19,2	1	2,6				
	12:25	29	220	22,6	24,5	25,3					0,8	1,9		
	12:35	30	230	21	25,3	26,7					1,4	4,3		
	12:45	31	240	20,6	25	26,6					23,5	22,5	1,6	4,4
	12:55	32	250	20,2	23,6	25,4					1,8	3,4		
	13:05	33	260	22,1	24,3	25,7					1,4	2,2		
3x3 ks MC-1,2,3	13:15	34	270	22,4	24,3	25,7	1,4	1,9						
	13:25	35	280	22,4	23,9	25,3	1,4	1,5						

Opět platí to samé co výše. Zde v této tabulce stojí za povšimnutí závěr. Na konci tohoto experimentu byly vzaty kontrolní kusy na stroje MC1 a MC2. Rozměry se měřily na všech třech strojích, ale o tom více později (viz grafy 13, 14, 15, 16 a 17).

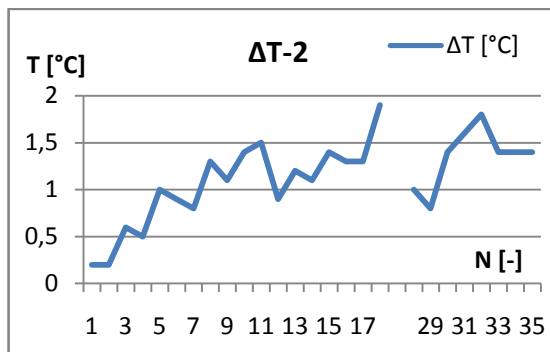
Další grafy, vzhledem k nízkému počtu měření, budou kombinací měření předchozího a nyníjšího. Tabulkové hodnoty zde budou uváděny.



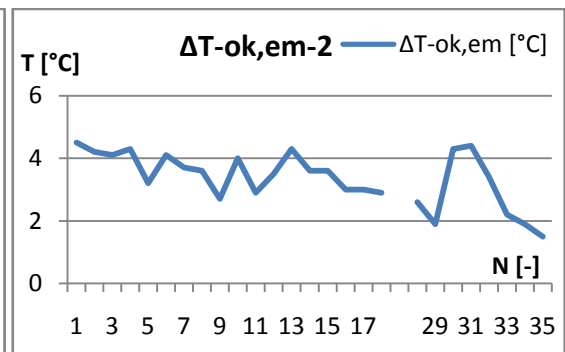
Graf 6 změny teplot na čase

Právě v tomto grafu je krásně vidět podobnost rozcházející se teploty okolí a teploty emulze. Teplota okolí by se mohla zdát, že vytváří podobné hodnoty, jen v opačném směru. Například u měření 9, 10 a 11. Kdy teplota od emulze a čerpadla se zvyšuje, ale teplota okolí se snižuje. Podobný efekt je částečně vidět i u měření 29-32. Zdali jde o náhodu, vedlejší efekt provozu, případně jakousi vnitřní záležitost kompilace strojů, odhalí až další měření.

Pro úplnost a jednoznačnost opět dva grafy, kombinace předchozího a nynějšího měření. Grafy ukazují rozdíl teplot čerpadla a emulze, okolí a emulze. Bráno zleva.



Graf 7 rozdíl teplot čerpadla a emulze



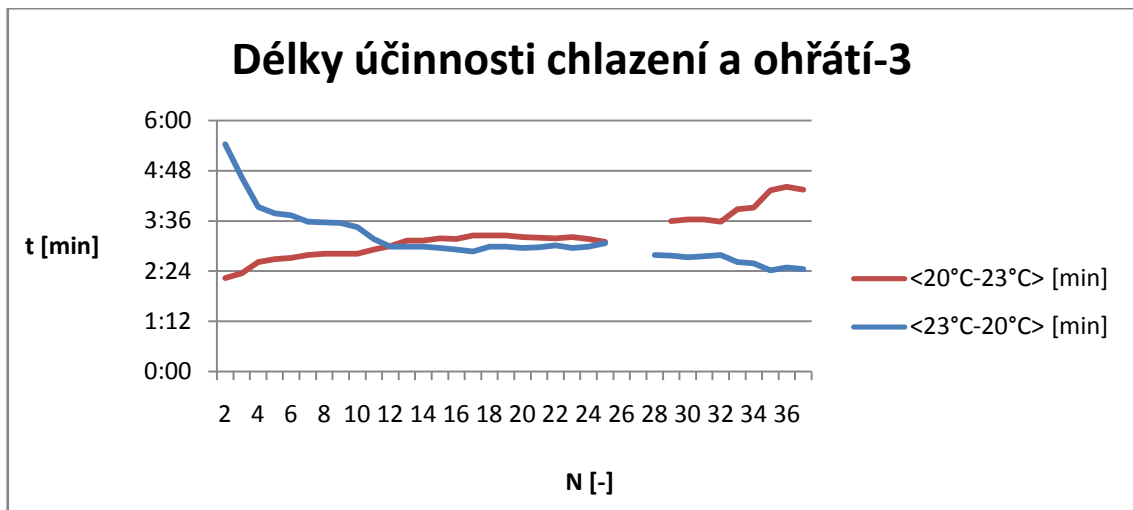
Graf 8 rozdíl teplot okolí a emulze

U obou grafů je znatelný velký výkyv teplot v druhé části měření (29-35), téměř o stupeň. Lze se domnívat, že tento výkyv byl způsoben pozastavením stroje při zaměstnanecké přestávce na oběd. V celé soustavě vlastně chyběl element, který by soustavu ohříval. Části stroje tedy negenerovaly teplo a začaly se přizpůsobovat ochlazené emulzi. Proto i v předchozím grafu není pokles tak rapidní, jak by se mohl na první očekávání zdát – emulze přijímala teplo od zahřátého stroje, i když stroj již teplo negeneroval.

Tabulka 5 časové rozmezí chlazení a ohřátí

$\Delta T$	N [-]	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
<20°C-23°C>	[min]		3:36	3:38	3:38	3:35	3:53	3:55	4:20	4:25	4:21
<23°C-20°C>	[min]	2:47	2:46	2:44	2:45	2:47	2:37	2:35	2:25	2:29	2:27

Jak bylo slíbeno, tabulka hodnot pro teplotní nastavení 20°C chladicí aparatury. Připomínám, že druhá část měření byla prováděna po zaměstnanecké pouze na oběd. Během pauzy bylo chlazení zapnuté. Dále bude graf složen z obou částí měření – před i po přestávce.



Graf 9 délky účinnosti chlazení a ohřátí

Tento graf nabízí dlouhodobější pohled na délky chlazení a ohřátí. Levá část je popsána výše. V pravé části, po pauze, jde vidět, že se časové délky zcela vyměnily. Časový úsek fáze chladicí aparatury <20°C-23°C> se prodloužil – jde o fázi nechlazení. Zatímco čas chlazení <23°C-20°C> se snížil. Odskok byl patrně způsoben právě odstávkou stroje. Ke konci grafu je již patrná stabilizace. To celé je relativně dlouhá doba – od 8:45 do 14:25. Což by spolu s onou výměnou dvou křivek mohlo naznačovat potřebu změny polohy výměníku pro lepší účinnost. Případně potřebu více dimenzovaného výměníku.

## 5.2. Rozměrový rozbor 03.05.2019

Druhá část měření je věnována rozměrům. Měření samozřejmě probíhala současně s měřením teplot.

V tabulce je v hlavičce označení typu obráběných dílu - 68 994 FTNR R.1, potom stroje – MC1, MC2, MC3 a datum. Dále je zde uveden čas, kdy byly kusy vkládány k obrobení, posloupnost je zachována. Stále platí, že časy mohou být posunuty časově dopředu, třeba o několik minut. Jsou tu 3 základní hledané rozměry: Motor hole D19 position (K3)(24;25) - pozice otvoru pro motor, Bore hole position (149;150) – pozice otvoru pro umístění klapky a Plug hole D10 position (80;81) spolu s Plug depth (83), to je pozice pro zásepku a hloubka zásepky. Právě hloubka zásepky je často nejvíce postihovaná od teplotní nestability. Zde je uvedena osa Z u Plug depth. Dříve jsem ji zmiňoval jako osu Y. Jelikož si stroj obrobek po dobu obrábění otáčí, není výhodné pevně říct, která to je osa. Kromě hloubky zátky jsou zde data uváděna pro pozice jako x, y a

vektor. Jelikož tyto otvory jsou kruhové, x a y značí polohu středu otvoru od měřicí základny. Vektor je kvadrát těchto hodnot – slouží pro představu přesností.

U názvu například Motor hole D19 position (K3)(24,25) jsou D19 a hodnoty v závorkách kódové označení. U kusů je uvedeno například 1B, 2A, to značí orientaci odlitku na straně vpravo, nebo vlevo. Pro představu tolerancí pro jednotlivé hodnoty zde uvedu základní rozměr a jeho horní a dolní mez.

### 1) Motor hole D19 position (K3)(24,25)

- $x = 26,800 \pm 0,090$  mm
- $y = 10,500 \pm 0,090$  mm

### 2) Bore hole position (149;150)

- $x = 36,450 \pm 0,070$  mm
- $y = 0 \pm 0,070$  mm

### 3) Plug hole D10 position (80,81)

- $x = 0 \pm 0,100$  mm
- $y = 0 \pm 0,100$  mm

### 4) Plug depth (83)

- $z = 73,550 \pm 0,150$  mm

Tabulka 6 naměřené odchylky rozměrů

		68 994F THR R.1		MC1,2,3		3.5.2019											
		Motor hole D19 position (K3)(24;25) [mm]				Bore hole position (149;150) [mm]				Plug hole D10 position (80;81) [mm]				Plug depth (83) [mm]			
t-r [hod]	stroj	kusy	x	y	vektor	x	y	vektor	x	y	vektor	z					
8:45	MC3	1B	0,028	-0,036	0,045607	-0,042	0,018	0,045695	0,045	-0,057	0,072622		-0,083				
		2A	0,017	-0,038	0,041629	-0,043	0,022	0,048301	0,052	-0,058	0,077897		-0,08				
		3B	0,019	-0,041	0,045188	-0,045	0,015	0,047434	0,043	-0,064	0,077104		-0,078				
9:45		4B	0,02	-0,024	0,031241	-0,049	0,026	0,055471	0,059	-0,032	0,067119		-0,109				
		5A	0,011	-0,031	0,032894	-0,048	0,016	0,050596	0,042	-0,039	0,057315		-0,112				
		6A	0,015	-0,028	0,031765	-0,054	0,013	0,055543	0,041	-0,039	0,056586		-0,119				
10:45		7B	0,024	-0,017	0,029411	-0,051	0,019	0,054424	0,051	-0,028	0,058181		-0,122				
		8A	0,014	-0,019	0,023601	-0,055	0,012	0,056294	0,04	-0,019	0,044283		-0,124				
		9A	0,013	-0,015	0,019849	-0,053	0,02	0,056648	0,055	-0,02	0,058523		-0,125				
12:15		10A	0,015	-0,016	0,021932	-0,048	0,009	0,048836	0,032	-0,016	0,035777		-0,121				
		11A	0,015	-0,013	0,019849	-0,049	0,012	0,050448	0,036	-0,012	0,037947		-0,122				
		12A	0,019	-0,011	0,021954	-0,049	0,011	0,05022	0,035	-0,007	0,035693		-0,122				
13:15	MC3	13A	0,019	-0,01	0,021471	-0,038	0,012	0,03985	0,036	-0,003	0,036125		-0,115				
		14A	0,02	-0,007	0,02119	-0,039	0,016	0,042154	0,046	-0,001	0,046011		-0,115				
		15A	0,021	-0,012	0,024187	-0,04	0,012	0,041761	-0,011	-0,025	0,027313		-0,118				
13:15	MC1	MC1-1A	0,019	-0,029	0,03467	-0,03	0,025	0,039051	-0,01	-0,055	0,055902		-0,012				
		MC1-2A	0,023	-0,03	0,037802	-0,034	-0,017	0,038013	-0,006	-0,058	0,05831		-0,014				
		MC1-3A	0,024	-0,027	0,036125	-0,034	-0,016	0,037577	-0,001	-0,056	0,056009		-0,011				
13:15	MC2	MC2-1A	0,001	0,035	0,035014	0,033	-0,012	0,035114	-0,023	-0,028	0,036235		0,022				
		MC2-2A	0,006	0,029	0,029614	0,033	-0,039	0,051088	-0,068	-0,036	0,076942		0,02				
		MC2-3A	0,002	0,032	0,032062	0,031	-0,011	0,032894	-0,017	-0,034	0,038013		0,017				

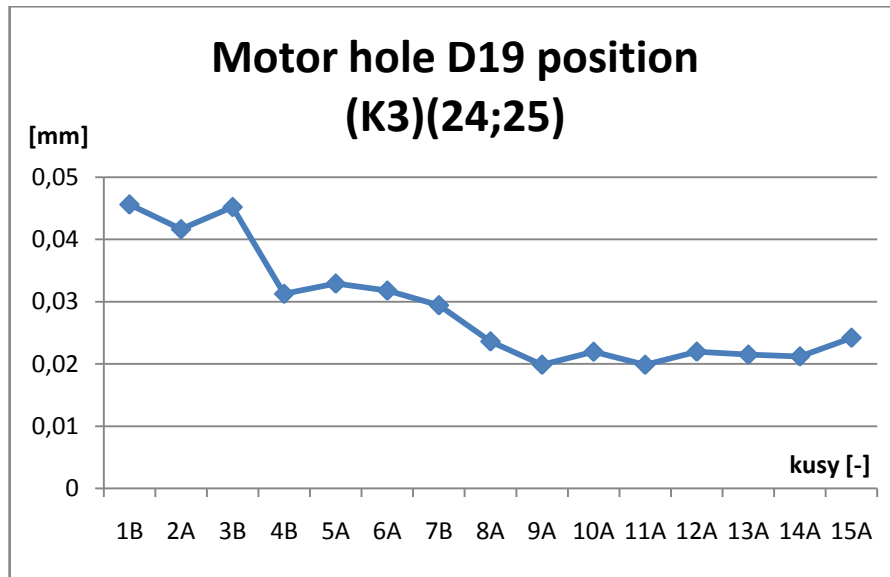
Z počátku byly brány kusy A a B náhodně stejně jako v běžném provozu. Sloužily pro představu a zjištění případných velkých trendů odchylek. Ke konci experimentu již byly brány pro lepší přesnost pouze odlitky z jedné strany s označením A.

Kusy byly vkládány do procesu po procesu po hodině od 8:45 s výjimkou 12:15, kdy se blížila zaměstnanecká pauza na oběd. Ke konci byly dány 3 ks na každý ze strojů –



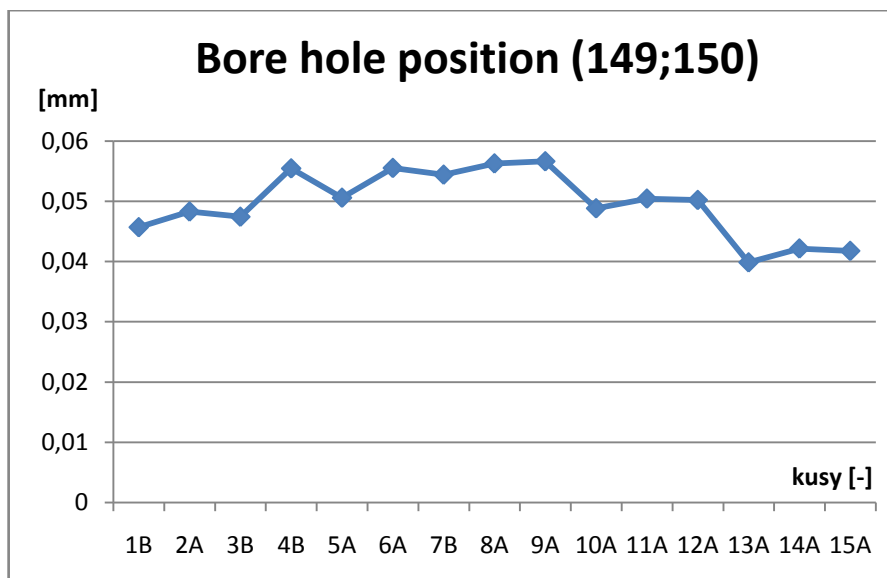
MC1, MC2, MC3 od stejné strany s označením A. Sloužit by měly pro alespoň minimální představu chování strojů s ovlivněním teplotním a bez něj.

Následující grafy jsou vynesené hodnoty z tabulky výše. Pro snazší orientaci je vhodné se orientovat dle vodorovné osy – na ní je pořadí kusů.



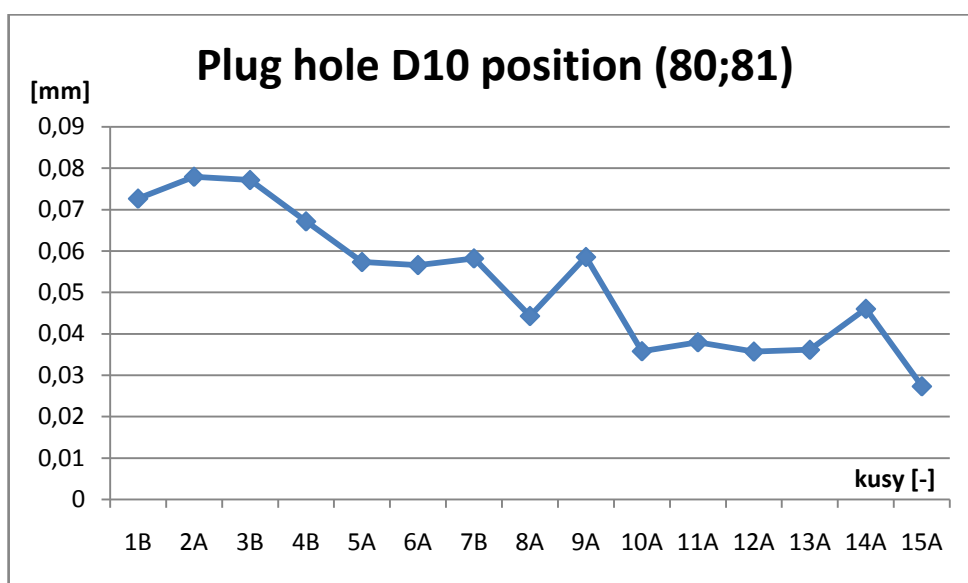
Graf 10 odchylka pozice otvoru pro motor

Zde je vidět klesající trend a možná stabilizace – ovšem v závislosti na grafech od teplot, konkrétně *Graf 8 délky účinnosti chlazení a ohřátí*, je nutno tato data brát jako podklady pro další měření, nevylučuje se jiné chování po výměně prvků chlazení. Výchylka v tomto časovém úseku není větší než 0,03 mm, což je vzhledem k toleranci + 0,127 mm přijatelné. Je nutno poznamenat, že hodnota + 0,127 mm je tolerance vztáhnuta vzhledem k vektorové hodnotě. Vychází z hodnoty 0,09 mm pro osu x i y. Krátkodobé odchylky jsou velmi nízké. Lze konstatovat splnění předpokladu dobrých výsledků.



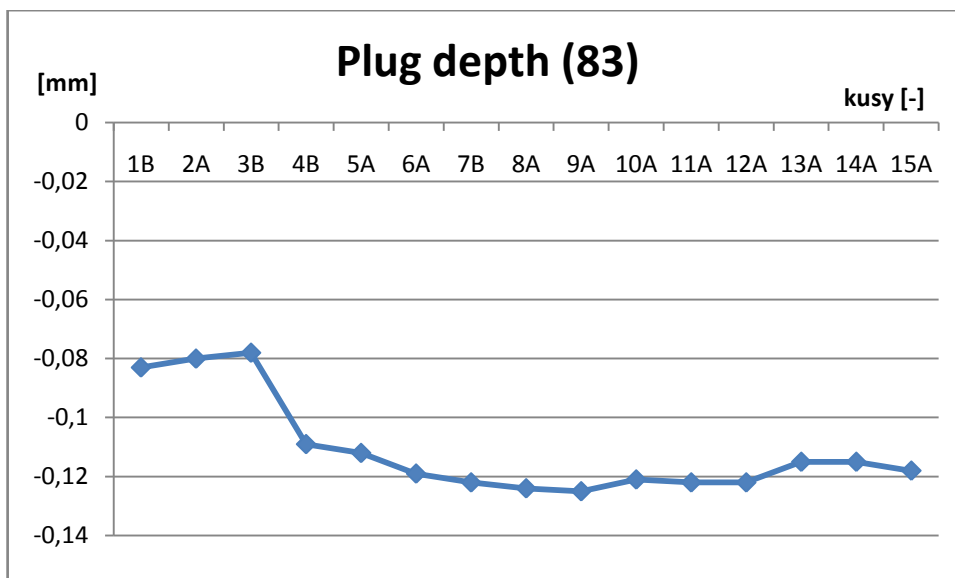
Graf 11 odchylka pozice otvoru pro umístění klapky

Tento graf ukazuje maximální odchylku ne větší než 0,02 mm vzhledem k toleranci +0,0989 mm opět vzato pro vektorovou hodnotu. Lze konstatovat splnění předpokladu dobrých výsledků. Krátkodobé odchylky jsou malé.



Graf 12 odchylka pozice pro záslepku

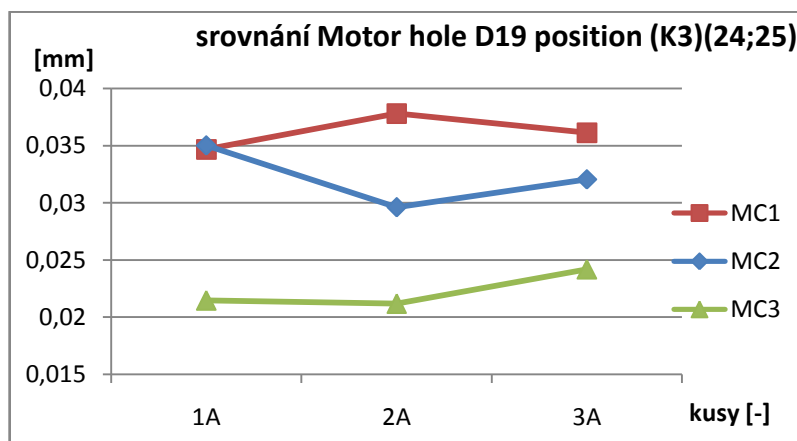
Tyto rozměry patří mezi kritičtější. Stává se, že poměrně dost odskočí, bez nájezdu. Malé odskoky jsou zde vidět. Největší je téměř 0,025. Vzhledem k rozdílným orientacím částí A a B, je částečně možné ovlivnění od jiných odlitků. Trend je klesající. Odchylka je přes 0,05 u tolerance 0,141 mm (obě hodnoty jsou vektorové). Tady bylo očekávání méně příznivějších výsledků, což se potvrdilo.



Graf 13 odchylka hloubka záslepky

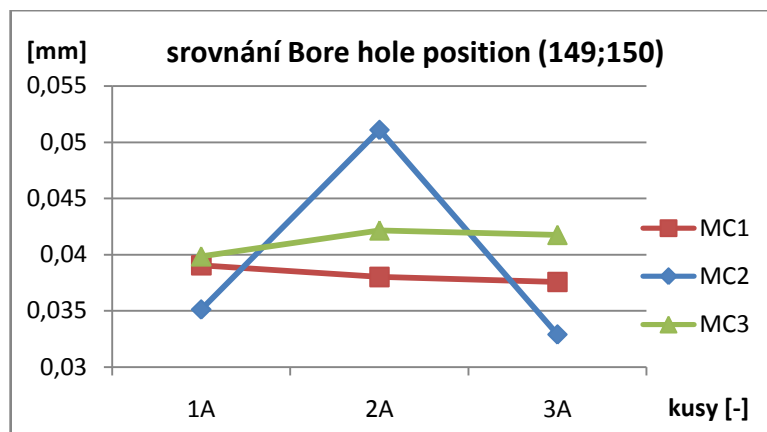
Další rozměry, které mají tendenci být kritické. Dlouhodobé odskočení je téměř 0,025 mm při toleranci  $\pm 0,150$  mm. To se blíží už k hraně, ale je to stabilizováno u 4B-15A. Což je chtěný faktor, jelikož rozměry dokáže kvalifikovaný operátor zkorigovat zpátky na nulu. Posléze by se tyto hodnoty měly pohybovat okolo nuly s velmi malou odchylkou. Tento graf má potenciál posloužit informativně. Jestliže se, při případné výměně prvků chladicí aparatury, bude obdobný trend opakovat, pomůže to zjistit hodnotu nastavení pro nejlepší výsledky.

V další části bude uvedeno srovnání měření na jednotlivých strojích – MC1, MC2, MC3. Právě v čase 13:15.



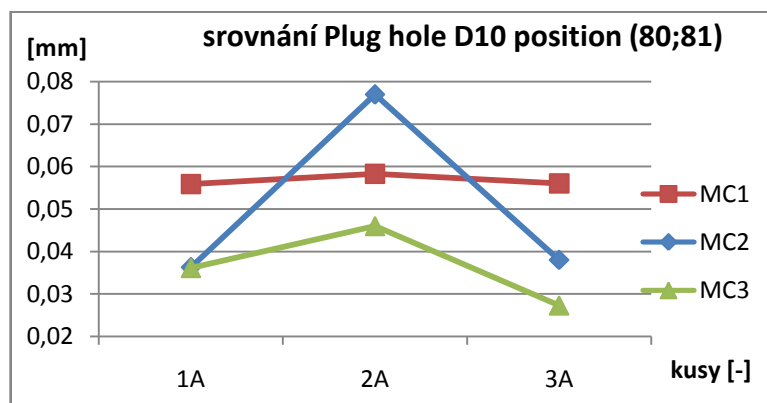
Graf 14 srovnání odchylek pozice otvoru pro motor na strojích MC1, MC2 a MC3

V tomto grafu lze vidět u MC3 nižší rozměr než u MC1 a MC2. Lze se domnívat, že to bylo způsobeno ovlivněním od chladicí aparatury. Ovšem pro úplné konstatování jsou nutná další měření.



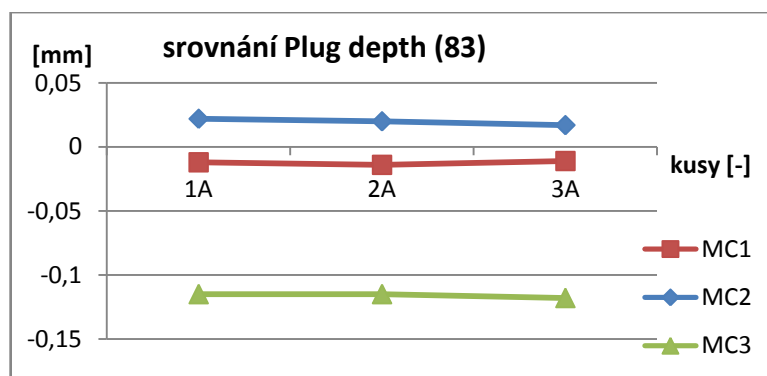
Graf 15 srovnání odchylek pozice otvoru pro umístění klapky na strojích MC1, MC2 a MC3

Rozměry toho otvoru nebyly významně jiné v závislosti na teplotní změně. Další měření ukážou, jestli tomu tak bude i znovu.



Graf 16 srovnání odchylek pozice pro záslepku na strojích MC1, MC2 a MC3

Zde také není patrná velká změna rozměrů od změn teploty. Toto tvrzení také můžou vyvrátit další měření.



Graf 17 srovnání odchylek hloubky záslepky MC1, MC2 a MC3

Hodnoty se tady rozcházejí ve stabilní linii. Je možné, že tyto hodnoty byly ovlivněny významně od teplotního chlazení.

### 5.3. Teplotní rozbor 15.05.2019

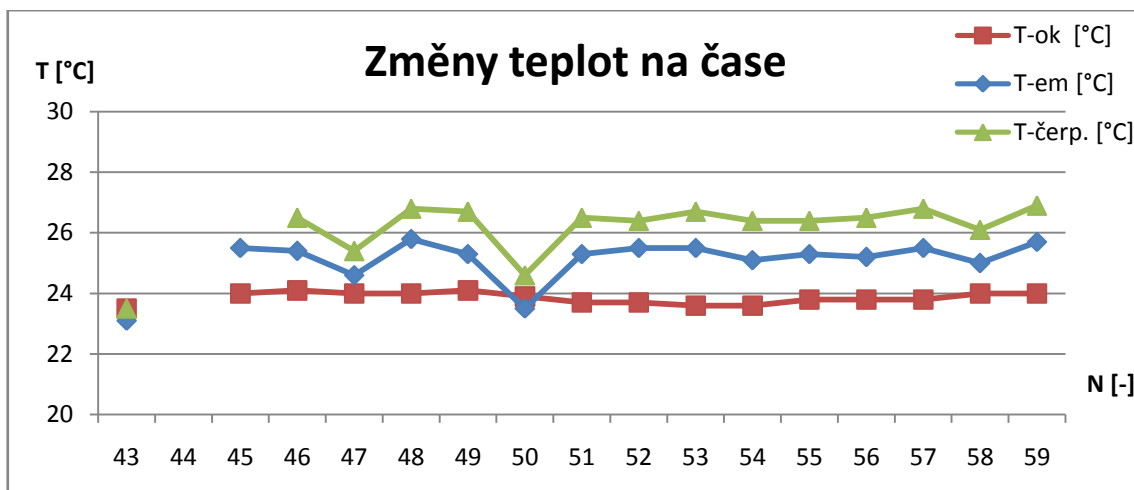
Tento experiment postupuje rozdílně oproti minulému ze dne 03.05.2019. Ze začátku, od 7:05, bylo chlazení nastaveno standardně na 20°C, potom v čase 8:40 bylo změněno na 15°C. U tohoto nastavení se fáze chlazení a ohřívání okruhu chladicí aparatury pohybují v rozmezí <19,5°C-15°C> a <15°C-19,5°C>. Tato varianta umožňuje udělat si představu o nižším nastavení teploty a jeho dopadu na stroj a rozměry obrobku. Výsledný efekt při nastavení chladicí aparatury na 20°C je již znám. Proto při tomto chlazení nebyly měřeny kusy. Tento proces sloužil jako předchlazení k nastavení chladicí jednotky na 15°C, za účelem docílení možnosti sledování chování teplot v plném rozsahu a tepelnou stabilizaci soustavy v akceptovatelné době. Obráběné kusy přicházely postupně po celý čas měření, od 8:40.

Hlavička se shoduje s experimentem ze dne 03.05.2019. Čas je reálný, čísla měření jsou posunuta a začínají číslem 43. Stalo se tak v důsledku návaznosti na minulé měření. Čas měření slouží k lepší orientaci mezi daty a zvýraznění počátečního měření. Dále jsou zde uvedeny: teploty okolí, emulze, čerpadla, vstupu a výstupu do chladicí aparatury (jsou informativního charakteru), rozdíly teplot mezi okolím a emulzí.

Tabulka 7 měření teplot

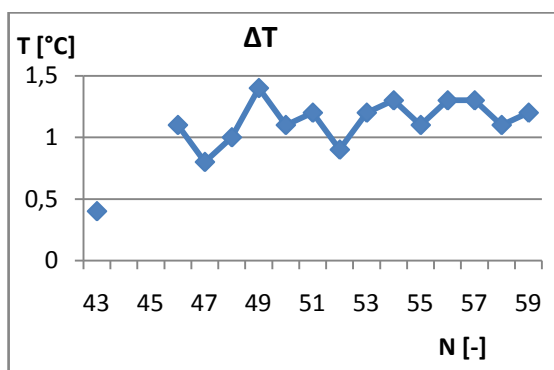
obráběný model	68 944 THR R.1			datum 15.5.2019			výměník 6151			
	t- reálný	N	t	T-ok	T-em	T-čerp.	T-in	T-out	ΔT	ΔT-ok,em
	[hod]	[-]	[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
	7:05	43		23,5	23,1	23,5	21,3	20,8	0,4	-0,4
		44								0
	8:40	45	0	24	25,5					1,5
	8:50	46	10	24,1	25,4	26,5	21	22,5	1,1	1,3
	9:00	47	20	24	24,6	25,4			0,8	0,6
	9:10	48	30	24	25,8	26,8			1	1,8
	9:20	49	40	24,1	25,3	26,7	14,2	16,3	1,4	1,2
	9:30	50	50	23,9	23,5	24,6			1,1	-0,4
	9:40	51	60	23,7	25,3	26,5	20	21,5	1,2	1,6
	9:50	52	70	23,7	25,5	26,4	18,5	20,2	0,9	1,8
	10:00	53	80	23,6	25,5	26,7			1,2	1,9
	10:10	54	90	23,6	25,1	26,4			1,3	1,5
	10:20	55	100	23,8	25,3	26,4	17,3	15,3	1,1	1,5
	10:30	56	110	23,8	25,2	26,5			1,3	1,4
	10:40	57	120	23,8	25,5	26,8	20,1	18,4	1,3	1,7
	10:50	58	130	24	25	26,1	17,4	15,1	1,1	1
	11:00	59	140	24	25,7	26,9	20,7	19,2	1,2	1,7

Následuje grafické zpracování v obdobném řazení jako z prvního experimentu:

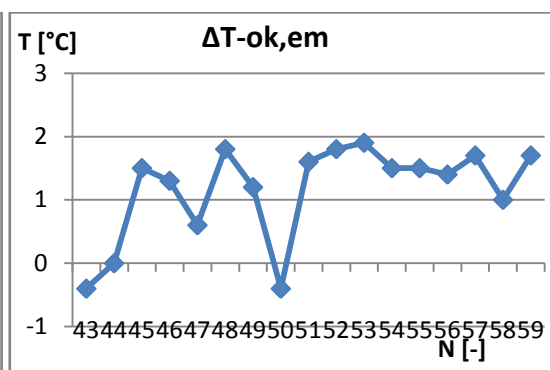


Graf 18 teploty čerpadla, emulze a okolí

Zde v grafu stojí za povšimnutí dva lokální poklesy u teplot emulze a čerpadla. Propad bude nejspíše náhodného charakteru, způsobeno například neobráběním při přestávce, či poruše stroje a následné korekce od operátora. U křivek teplot emulze a čerpadla je očekáváno obdobné chování. Rozdíl mezi hodnotami těchto dvou křivek se pohybuje okolo hodnoty 1,1°C. Což je obdobné vzhledem ke chlazení emulze. Teplota okolí v hale se držela konstantně u 24°C.



Graf 19 rozdíl teplot čerpadla a emulze



Graf 20 rozdíl teplot okolí a emulze

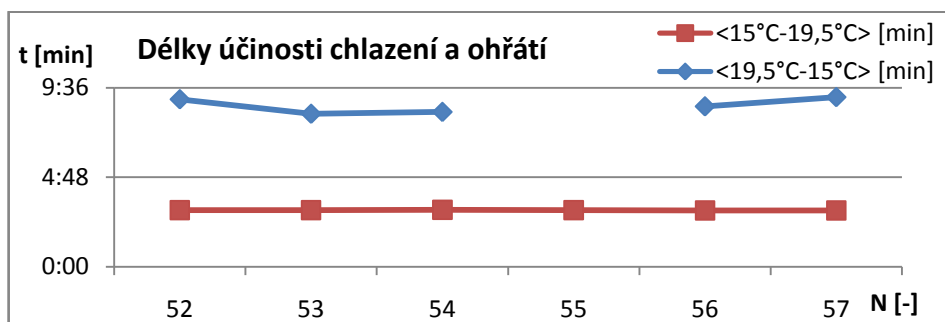
Tyto dva grafy jsou důležité z hlediska zjištění účinnosti chlazení. Graf na levé straně nemá stoupavý charakter, jako tomu bylo u měření z 03.05.2019. Z počátku je více kolísavý. To, že hodnoty nemají stoupavý trend, naznačuje možnost už ustáleného stavu, kde by hodnoty rozdílu zůstávaly stejné. Toto tvrzení také podporuje kolísavost. Je na místě se domnívat, že vzhledem k nízkému nastavení teplotního chlazení chladicí aparatury a množství emulzní kapaliny, není emulze ve stejné teplotě všude. Co se zásobníkové vany týče, by právě množství ovlivňovalo počáteční fáze chlazení, kdy část je již chlazená a část není. Když je potom chladicí aparatura ve fázi ohřevu, tento jev se vyruší a zase opakuje, ovšem už ne s takovými odchylkami.

V pravé části je graf, který ukazuje rozdíl hodnoty okolí a emulze. Ve dvou případech nastala situace, že teplota okolí byla větší než teplota emulze. Stalo se tak v měření 43 a 50. To není příznivý jev, jelikož by pak emulze fungovala jako chladič okolí a ubírala by od chlazení stroje. Nejpravděpodobnějším vysvětlením je nízké nastavení chlazení, kdy už rozjetá chladicí aparatura způsobila výkyvy v hodnotách při přenastavení a krátce po něm.

Hodnoty zde v tabulce mají sloužit informativně pro lepší představu účinnosti chlazení, proto sběr těchto dat nebyl tak vydatný jako třeba v minulém měření. Nepředpokládalo se překlenutí křivek vzhledem k nastavení chlazení. Graf z tohoto úseku předpoklad podporuje.

**Tabulka 8 časové rozmezí chlazení a ohřátí**

Nastavení chladicí jednotky 15°C						
$\Delta T$	N [-]	52	53	54	55	56
<15°C-19,5°C> [min]		3:02	3:02	3:03	3:02	3:01
<19,5°C-15°C> [min]		8:59	8:12	8:18		8:36



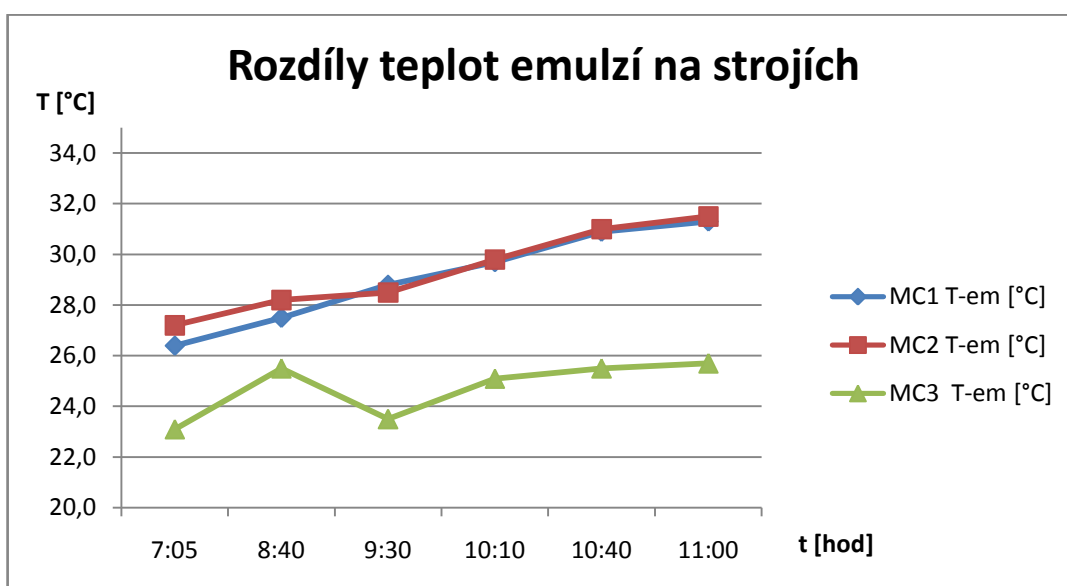
**Graf 21 délky účinnosti chlazení a ohřátí**

Jak již bylo zmíněno, nenastalo zde žádné překlenutí dvou křivek. Vzhledem k nízkému nastavení teploty chlazení a vysoké teplotě emulze je zcela předpokládaný vyšší časový úsek u chlazení než u ohřátí.

Během měření se v reálných časech sbírala data teplot emulzí i od strojů MC1 a MC2. Hodnoty jsou vyneseny v následující tabulce a posléze i v grafu.

Tabulka 9 teploty emulze na strojích MC1, MC2 a MC3

stroj	MC1	MC2	MC3
t- reálný	T-em	T-em	T-em
[hod]	[°C]	[°C]	[°C]
7:05	26,4	27,2	23,1
8:40	27,5	28,2	25,5
9:30	28,8	28,5	23,5
10:10	29,7	29,8	25,1
10:40	30,9	31,0	25,5
11:00	31,3	31,5	25,7



Graf 22 teploty emulze na strojích MC1, MC2 a MC3

Očekával se nárůst teplot emulze a obdobné hodnoty pro stroje MC1 a MC2, ty pak poslouží pro lepší představu dopadu chlazení na stroj MC3. Očekávání tady bylo splněno.

#### 5.4. Rozměrový rozbor 15.05.2019

V této kapitole je pojednání o rozměrech při chlazení emulze. Bylo měřeno celkem 30 ks obrobků na stroji MC3, odlitky od jedné kavitace. Časy tu jsou, oproti minulému měření, uvedeny když obrobky přišly do laboratoře na měření. Časy tedy hlavně slouží pro určení pořadí kusů ve výrobě. Měření šlo více do hloubky – zkoumalo se více rozměrů a přesněji, kompletní zpráva čítá 6 listů. V tomto měření se projevil velký odskok. Jedno z možných vysvětlení je, že ve stroji dosáhnou jednotlivé komponenty vlivem změny teploty kritické hodnoty a posunou se, tím nejspíše vzniká odskok. Bohužel je to pouze hypotéza. Ve

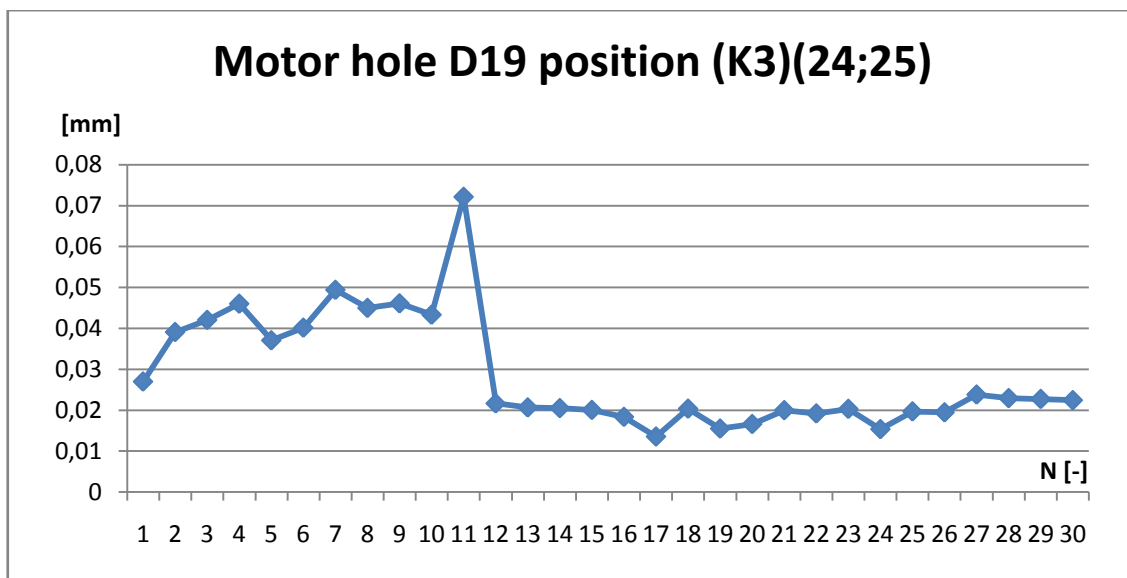


výrobě je celá řada faktorů, která toto mohla ovlivnit. Jedno z možných řešení je právě regulace teploty stroje skrze chlazení emulze pro tento typ problému. Měření probíhalo za zapojení výměníku s označením 6151.

Ohledně hlavičky a hodnot platí to samé co v měření ze dne 03.05.2019, nebylo-li řečeno jinak. Stručné připomenutí: 4 hlavní rozměry, kde se předpokládá vliv chlazení, otvor pro motor, otvor pro vzduchovou klapku, otvor pro zátku a hloubka otvoru pro zátku. Červeně označené hodnoty se již vymykají toleranci. Chlazení bylo původně nastaveno na 20°C a posléze změněno na 15°C viz kapitola *Teplotní rozbor 15.5.2019*.

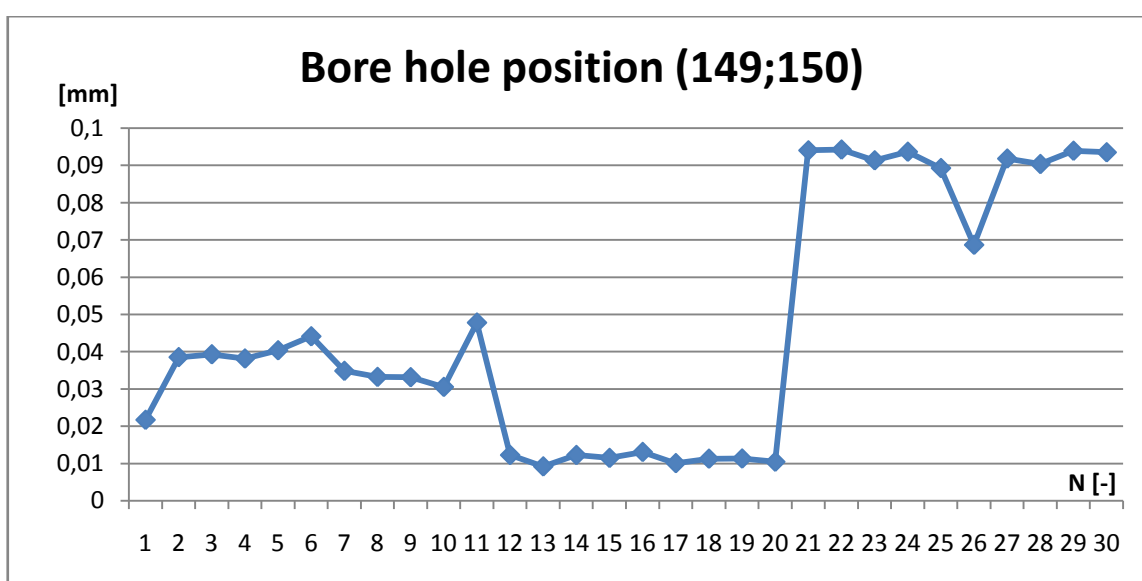
**Tabulka 10 naměřené odchytky rozměrů**

		68 994F THR R.1			MC1,2,3			15.5.2019				
čas	stroj	kusy	Motor hole D19 position (K3)(24;25) [mm]			Bore hole position (149;150) [mm]			Plug hole D10 position (80,81) [mm]			Plug depth (83) [mm]
			x	y	vektor	x	y	vektor	x	y	vektor	z
15:09	MC3	1	0,0198	-0,0184	0,02703	-0,0111	0,0186	0,02166	0,0021	0,0454	0,045449	0,0019
15:16		2	0,0212	-0,0329	0,039139	-0,0343	0,0175	0,038506	0,034	0,0614	0,070185	-0,0167
15:23		3	0,0237	-0,0348	0,042104	-0,0349	0,018	0,039268	0,0025	0,0658	0,065847	-0,0201
15:44		4	0,0256	-0,0383	0,046068	-0,033	0,0191	0,038129	0,028	0,0718	0,077066	-0,0184
15:51		5	0,0213	-0,0304	0,037119	-0,0358	0,0186	0,040344	0,0011	0,0623	0,06231	-0,0201
15:59		6	0,0198	-0,035	0,040212	-0,0357	0,0259	0,044106	0,0116	0,0622	0,063272	-0,0186
16:16		7	0,0216	-0,0445	0,049465	-0,0301	0,0175	0,034818	0,0033	0,0791	0,079169	-0,0143
16:45		8	0,0237	-0,0383	0,04504	-0,0318	0,0095	0,033189	0,0167	0,0687	0,070701	-0,0182
17:03		9	0,0204	-0,0414	0,046153	-0,0305	0,0129	0,033116	0,0133	0,0742	0,075383	-0,018
17:19		10	0,0228	-0,0369	0,043376	-0,0272	0,0138	0,0305	0,01	0,0642	0,064974	-0,0138
17:33		11	0,0013	0,0722	0,072212	0,0459	0,0133	0,047788	0,0139	0,0513	0,05315	-0,0366
17:47		12	0,0058	0,0209	0,02169	0,0038	0,0116	0,012207	0,0143	0,0454	0,047599	-0,0356
18:51		13	0,0053	0,02	0,02069	0,0028	0,0087	0,009139	0,0069	0,0455	0,04602	-0,0387
19:32		14	0,0091	0,0184	0,020527	0,0055	0,0109	0,012209	0,0141	0,0498	0,051758	-0,0345
19:50		15	0,0052	0,0194	0,020085	0,004	0,0107	0,011423	0,009	0,0416	0,042562	-0,0381
19:57		16	0,005	0,0177	0,018393	0,004	0,0124	0,013029	0,0131	0,0459	0,047733	-0,0345
20:21		17	0,0036	0,0131	0,013586	0,0048	0,0088	0,010024	0,007	0,0529	0,053361	-0,0378
20:43		18	0,0063	0,0194	0,020397	-0,0006	0,0112	0,011216	0,0142	0,0425	0,044809	-0,0401
20:51		19	0,0063	0,0142	0,015535	0,0028	0,0109	0,011254	0,0132	0,0481	0,049878	-0,0383
21:01		20	0,009	0,014	0,016643	0,0014	0,0103	0,010395	0,0146	0,0493	0,051416	-0,0373
21:24		21	0,0128	-0,0154	0,020025	-0,092	0,0196	0,094065	0,0527	0,0024	0,052755	-0,2429
21:49		22	0,0124	-0,0147	0,019231	-0,0926	0,0177	0,094276	0,0503	0,0027	0,050372	-0,2462
21:59		23	0,0133	-0,0154	0,020348	-0,0896	0,018	0,09139	0,0477	0,038	0,060986	-0,2374
22:18		24	0,009	-0,0125	0,015403	-0,0912	0,0215	0,0937	0,0569	0,0061	0,057226	-0,241
22:28		25	0,0093	-0,0174	0,019729	-0,0875	0,0179	0,089312	0,0519	0,0012	0,051914	-0,2376
22:53		26	0,011	-0,0161	0,019499	-0,0653	0,0213	0,068686	0,0577	0,0043	0,05786	-0,2016
23:49		27	0,013	-0,02	0,023854	-0,0895	0,0207	0,091863	0,0558	0,0047	0,055998	-0,2429
0:13		28	0,0091	-0,0211	0,022979	-0,0884	0,0189	0,090398	0,0516	0,0034	0,051712	-0,2393
1:04		29	0,013	-0,0187	0,022775	-0,0922	0,0181	0,09396	0,0497	0,0006	0,049704	-0,2437
1:19		30	0,0129	-0,0184	0,022472	-0,0918	0,018	0,093548	0,05	0,0035	0,050122	-0,2451



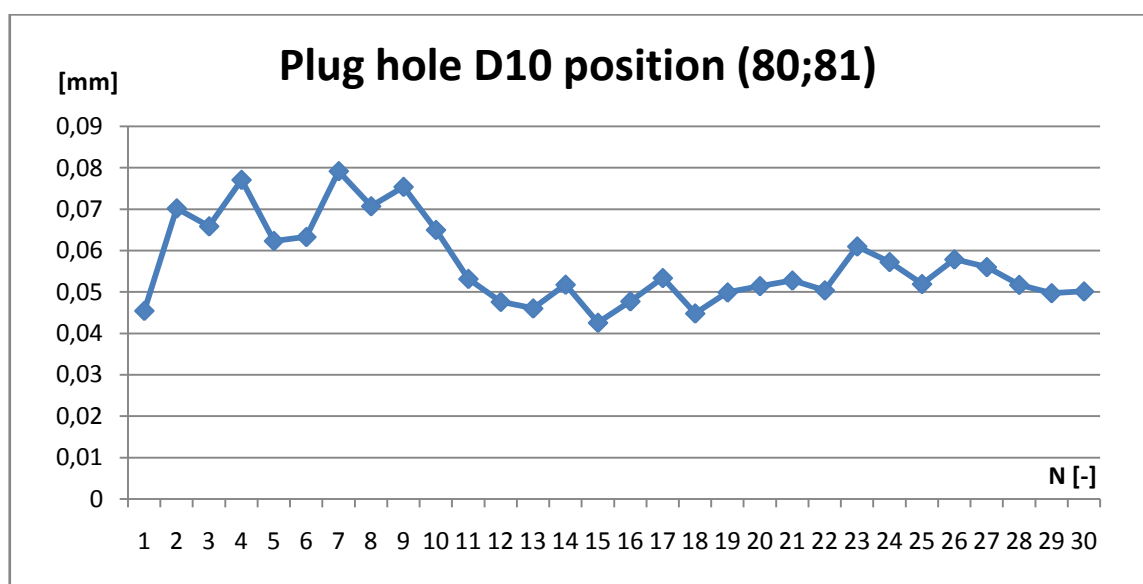
**Graf 23 odchylka pozice otvoru pro motor**

Tento graf ukazuje hodnotu tolerancí v dlouhodobém průběhu měření. Do 10 měření se dá říci, že hodnota byla stabilizována. To je nejspíše způsobeno začátkem měření, kdy ještě není znát plný dopad chladicí aparatury. Hodnota 11 je buď chybová, nebo ukazuje vnitřní teplotní roztažnost stroje, kdy část byla postižena plným dopadem chladicí aparatury a část ještě ne. Díky tomuto rozdílu by se dalo připisovat ono odskočení. Není vyloučeno, že od hodnoty 12 se stroj tepelně stabilizoval na účinky chlazení. Posléze není rozkmit hodnot tolerance tak vysoký. Je minimální. Toto je žádoucí faktor. Tyto poznatky platí bohužel čistě pro otvor pro motor. Další již bohužel tak příznivé a jednoduché nebudou. Vzhledem ke snaze stabilizovat veškeré rozměry při obrábění.



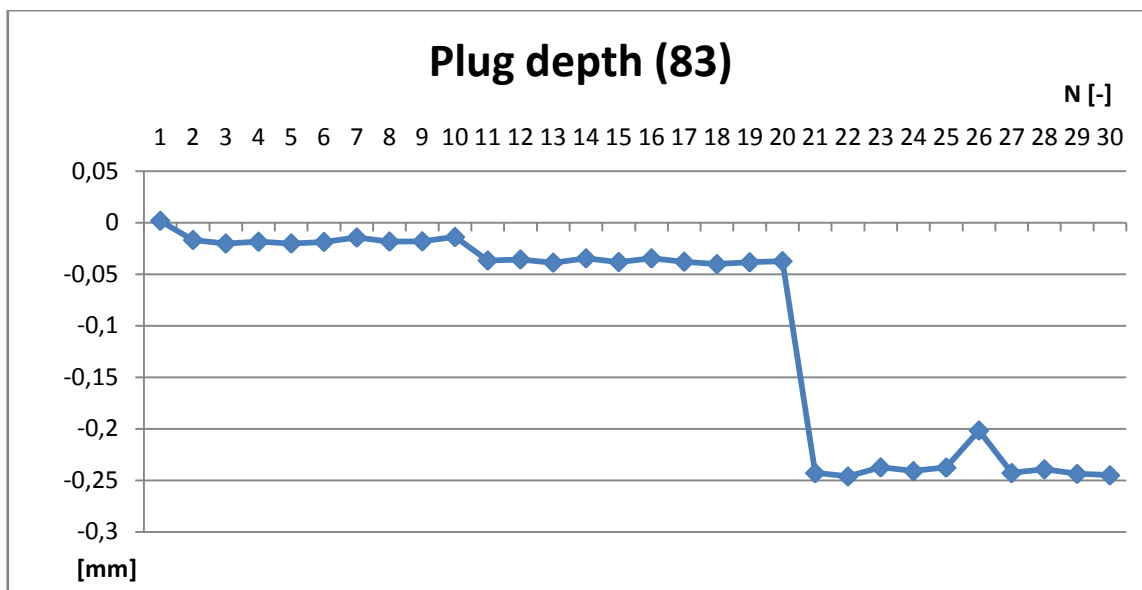
**Graf 24 odchylka pozice otvoru pro umístění klapky**

Na uvedeném grafu je vidět v části měření do čísla 10 obdobný trend jako v grafu výše. Stejně je to i u hodnoty 11. Jde buď o vliv trochu jiného obrobku, nebo o vnitřní pochody stroje. Dále od měření 12 do měření 20 se graf také podobá grafu předešlému. Tak se ovšem děje jen do měření 20. Měření 21 by mohlo naznačovat další pochody stroje. Takovýto odskok by mohl být ukazatelem nedokonalosti systému programu, kdy stroj koriguje sám sebe. Této hypotéze ale protirečí zbylé rozměry. Odskoky tam nejsou (z rozsáhlejší zprávy měření). Zbývá tedy hypotéza o teplotní roztažnosti vnitřních mechanických komponentů stroje. Chlazení po těchto měřeních bylo vypnuto z důvodů minimální změny v rozměrech a již nevyhovující výrobě. Patrně by se rozměry stabilizovaly podobně, jako tomu bylo u měření 12 až 20.



Graf 25 odchylka pozice pro záslepku

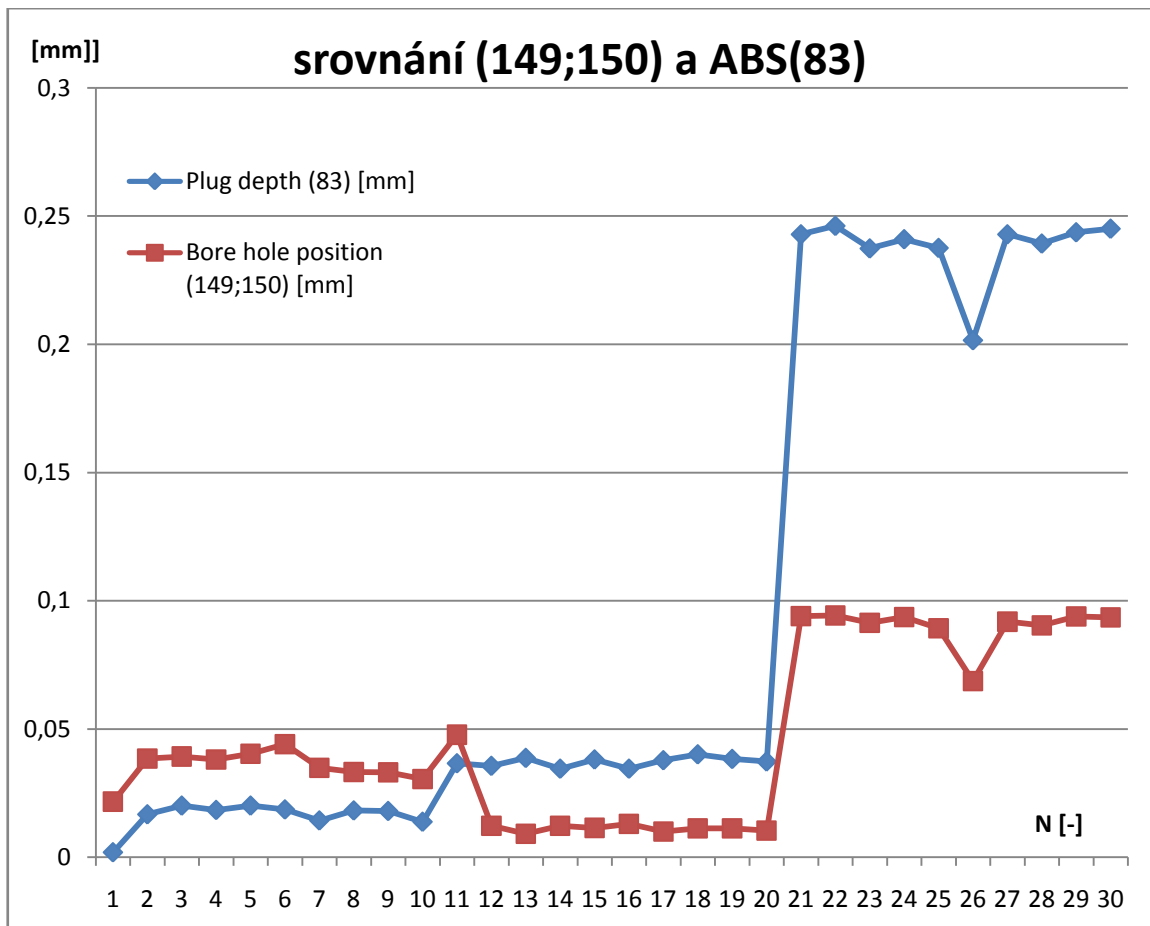
Na tomto grafu je patrná mírná stabilizace v úseku měřených kusů 2-9, ovšem hodnoty relativně dost odskakují. Následující hodnoty 9-13 kdy trend neodskakuje a klesá. Od 13 do 30 se již žádné znatelné změny nedějí. Jako tomu bylo například u otvoru pro klapku. U měření 2-9 je možné, že nastavení chladicí aparatury bylo ovlivněno nastavením chlazení na 20°C a pak na 15°C. Ovšem toto tvrzení nepodporuje minulá měření. Takovéto odskoky se neděly.



**Graf 26 odchylna hloubky záslepky**

V tomto grafu lze vyčíst podobnost s grafem *Graf 23 odchylna pozice otvoru pro umístění klapky*, kdy od měření 2-10 byly hodnoty stabilizované okolo jedné hodnoty. Potom skok u hodnoty 11, ovšem zde není tak markantní a následuje stabilní úsek do hodnoty měření 20. Kdy nastává razantní skok, mimo toleranci. Dále je tu stabilizace od měření 20 až do 30, kromě 26 – opět podobné s grafem číslo 23.

Jestliže se vezmou v potaz hodnoty z tabulky os x pro otvor z grafu číslo 23 pro tento graf a bez vektoru. Je zde vidět obdobný skok, ačkoli menší. Hodnoty hloubky zátky jsou pro lepší ukázání podobnosti převedeny do absolutní hodnoty a vykresleny spolu s hodnotami vektoru z *Grafu 23 odchylna pozice otvoru pro umístění klapky*.



Graf 27 srovnání vektorových odchylek pozice otvoru pro umístění klapky a hloubky záslepky

Právě v tomto grafu je vidět ono srovnání, které jsem psal výše. Neočekávané je vykreslení křivek od hodnoty měření 11 do hodnoty 20.

## 5.5. Teplotní rozbor 07.06.2019

Tento experiment proběhl po instalaci nového výměníku s označením 6252. Při výměně se zjistilo, že vnitřní žebra jsou velmi zanesená jemným popelem vzniklým z úlomků třísek při procesu obrábění. Šlo vidět i větší částičky připomínající drobné třísky. Tyto částičky, co byly tak malé, že pronikly čistícími sítí, šlo odstranit obyčejným tryskem vody. Teplota chladicí aparatury byla, vzhledem k novému výměníku 6252 a zkušeností z měření 15.05.2019, nastavena na 20°C.

V tomto experimentu bylo testováno 5 ks odlitek na stroji MC3 od kavitace A i B. Tedy 10 ks. Vždy se vložily dva kusy do výroby – jeden od kavitace A a druhý od kavitace B. Toto nám má blíže určit a více specifikovat možné rozdíly. Kusy byly

vkládány po hodině, případně v jiném časovém rozmezí závislém na provozu. Časy zde jsou reálné. Nově, jsme měřili i hloubku od Motor hole.

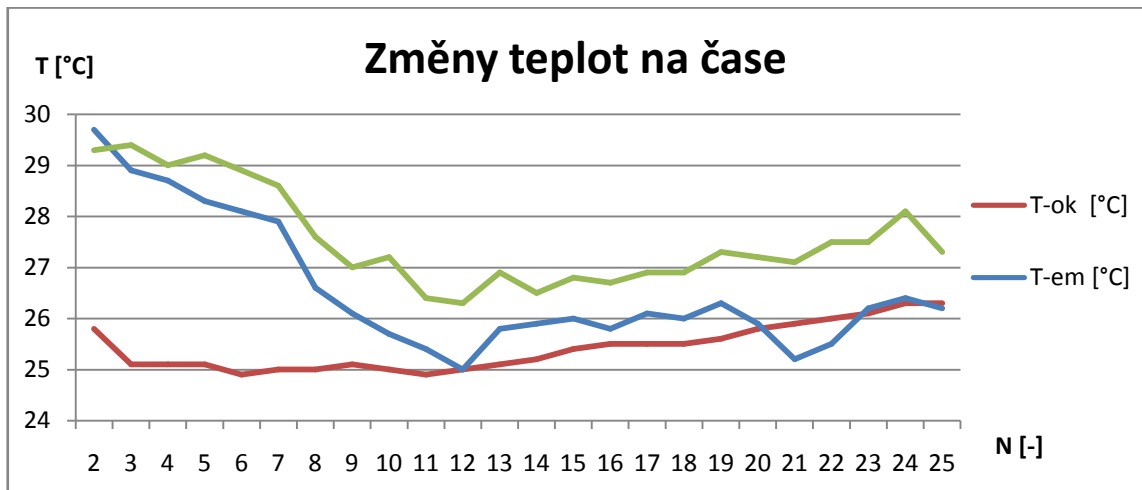
Hlavička se opět shoduje s ostatními experimenty. Stručné připomenutí: čas je reálný, před ním jaké kusy vkládaly, čísla měření, čas měření, ten slouží k lepší orientaci mezi daty a zvýraznění doby měření. Teploty okolí, emulze, čerpadla, vstupu a výstupu do chladicí aparatury – pouze pro představu, rozdíly teplot mezi emulzí a čerpadla, rozdíl teplot okolí a emulze.

Čas měření t má dvě nuly. Jednou s časem 7:30 a poté s časem 8:35. Bylo to první měření s novým výměníkem, což znamenalo nové zapojení komponentů. Po zapnutí chladicí aparatury došlo k dopuštění vody z nádrže chlazení do výměníku. Jelikož výměník nebyl zcela naplněn – jak se předpokládalo, že se stane vlivem samospádu - došlo na ukazateli vody v chladiči k výraznému poklesu. Chlazení bylo vypnuto z důvodu možného úniku chladicí vody do emulze, například kdyby někde byla špatně zapojená koncovka u výměníku. Koncentrace emulze byla v pořádku a po kontrolách se přišlo na to, že výměník se nenaplnil zcela vlivem samospádu. Proto měření pokračovalo.

Tabulka 11 měření teplot

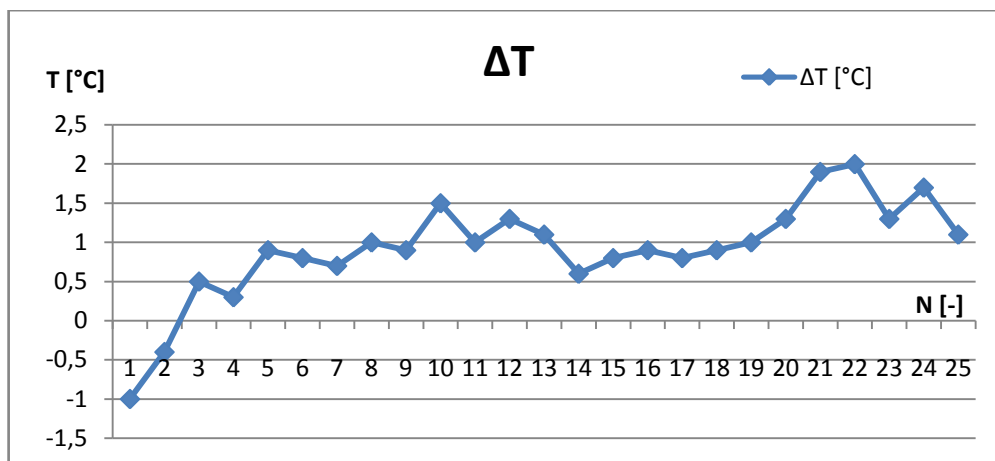
měřené kusy	68 944 THR R.1		datum		7.6.2019		výměník		6152		T-in [°C]	T-out [°C]	ΔT [°C]	ΔT-ok,em [°C]
	t- reálný [hod]	N [-]	t [min]	T-ok [°C]	T-em [°C]	T-čerp. [°C]								
	7:30	1	0	24,5	30,1	29,1							-1	5,6
2 ks MC3 -A,B	8:35	2	0	25,8	29,7	29,3							-0,4	3,9
	8:45	3	10	25,1	28,9	29,4							0,5	3,8
	8:55	4	20	25,1	28,7	29	24,9	21,5					0,3	3,6
	9:05	5	30	25,1	28,3	29,2							0,9	3,2
	9:15	6	40	24,9	28,1	28,9							0,8	3,2
	9:25	7	50	25	27,9	28,6							0,7	2,9
2 ks MC3 -A,B	9:35	8	60	25	26,6	27,6							1	1,6
	9:45	9	70	25,1	26,1	27							0,9	1
	9:55	10	80	25	25,7	27,2							1,5	0,7
	10:05	11	90	24,9	25,4	26,4							1	0,5
	10:15	12	100	25	25	26,3							1,3	0
	10:25	13	110	25,1	25,8	26,9							1,1	0,7
2 ks MC3 -A,B	10:35	14	120	25,2	25,9	26,5							0,6	0,7
	10:45	15	130	25,4	26	26,8							0,8	0,6
	10:55	16	140	25,5	25,8	26,7							0,9	0,3
	11:05	17	150	25,5	26,1	26,9							0,8	0,6
	11:15	18	160	25,5	26	26,9							0,9	0,5
2 ks MC3 -A,B	11:25	19	170	25,6	26,3	27,3							1	0,7
	11:55	20	200	25,8	25,9	27,2							1,3	0,1
	12:05	21	210	25,9	25,2	27,1	25,5	24,4					1,9	-0,7
	12:15	22	220	26	25,5	27,5							2	-0,5
	12:25	23	230	26,1	26,2	27,5							1,3	0,1
2 ks MC3 -A,B	12:35	24	240	26,3	26,4	28,1							1,7	0,1
	12:45	25	250	26,3	26,2	27,3	26,2	25,2					1,1	-0,1

Bude dodržena organizační struktura z minulých měření.



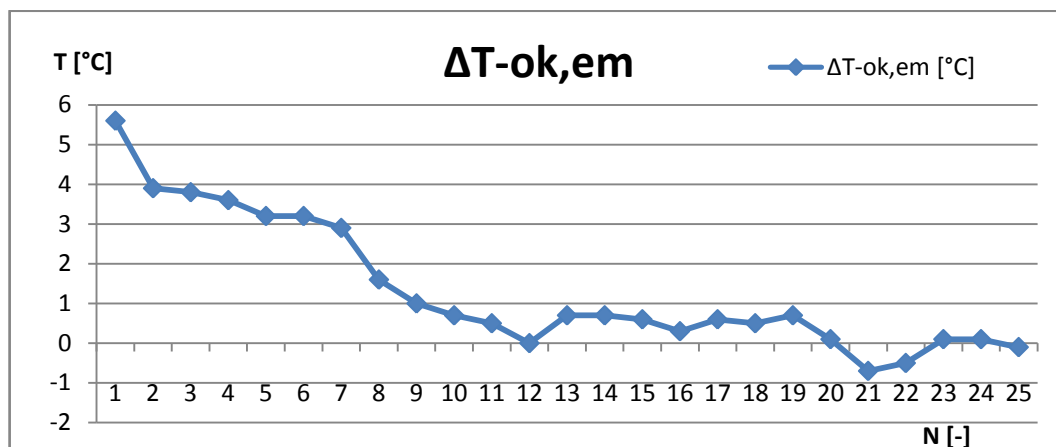
Graf 28 teploty čerpadla, emulze a okolí

Graf vychází z hodnot z tabulky výše, pojednává o teplotách okolí, emulze a čerpadla. Tvary křivek teploty emulze a okolí nekopírují svůj vzájemný průběh s posunutím. Stále se dá vysledovat podobnost trendu těchto dvou křivek. U teploty emulze lze pozorovat 2 odskoky v místě měření 12 a 21. Jedny z možných příčin jsou pracovní přestávka, pozastavení výroby a nutnosti povolání operátora. Další z možností je vnitřní proces chladicí aparatury a nepředvídatelné dopady na tuto teplotu. Při tomto měření došlo k několika přestávkám, ať již pracovním či z nutnosti povolání operátora. Poklesy jsou však časově delší, proto nepředpokládám velkou pravděpodobnost, že to bylo způsobeno přestávkami. U teploty okolí haly jde vyzorovat stoupavý trend, jaký se očekával vzhledem k mírně teplejšímu počasí. První z hodnot se ale vymyká. Není pravděpodobné, že by se venku ochladilo natolik, že by na to teplota v hale reagovala a celkově spadla o 1°C. Spíše tedy tento propad byl způsoben pohybem osob v okolí výfuků teplého vzduchu, například chladicí aparatury, a tím pádem změnou lokálního proudění vzduchu, což vedlo k oteplení.



Graf 29 rozdíl teplot okolí a čerpadla

V tomto grafu je uveden rozdíl teplot od okolí a čerpadla. Měřené hodnoty u čísla 1 a 2 se vymykají předpokladům. Doposud všechna tato data byla vždy v kladné části. Jedno z možných vysvětlení je, že před měřením nepracovala čerpadla na plný výkon, vzhledem k aktuálním požadavkům na výrobu, stroj třeba mohl před měřením stát při nočním provozu. Tímto by se tento jev vysvětlil.



Graf 30 rozdíl teplot okolí a emulze

Toto vykreslení nám ukazuje rozdíl teplot mezi okolím a emulzí. Klesající charakter od počátku je žádoucí. Jak jde vidět, hodnoty se přiblížily u čísla měření 9-19 a ustálily se mezi 0-1°C. Dále se měření 21 a 22 ocitla v záporných hodnotách. To znamená, že emulze byla chladnější než okolí. Pro velmi nízké hodnoty to úplně nevádí. Problém by nastal, pokud by hodnoty byly dlouhodobě například o dva stupně v záporných mezích, což by znamenalo, že je nastavení teploty u chladicí aparatury moc nízké. Jak je zmíněno u minulého měření, znamenalo by to, že okolí by bylo emulzí ochlazováno. Toto chování není

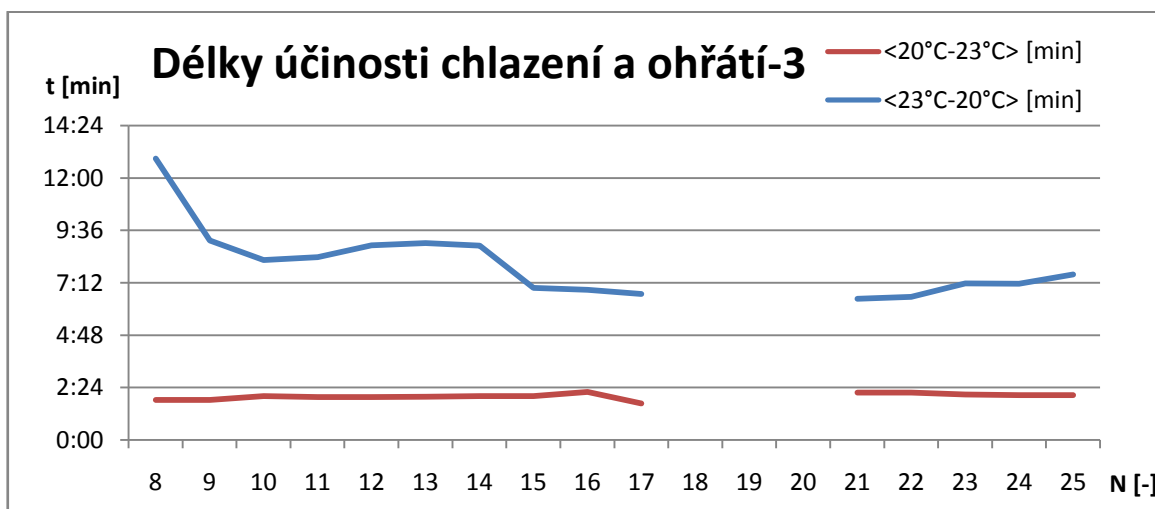


žadoucí. Jedny z možných variant ideálního rozdílu jsou okolo 1-2°C rozdílu a potom okolo 0°C rozdílu.

**Tabulka 12 délky účinnosti chlazení a ohřátí**

Nastavení chladicí jednotky 20°C		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\Delta T$	N [-]										
<20°C-23°C>	[min]	1:50	1:50	2:00	1:58	1:58	1:59	2:00	2:00	2:12	1:40
<23°C-20°C>	[min]	12:54	9:08	8:15	8:23	8:55	9:01	8:54	6:58	6:53	6:41

V této tabulce je sběr časových dat v závislosti na délce ohřívání a chlazení. Hodnoty slouží jen pro představu, mají informativní charakter, kdyby se v průběhu měření objevilo něco neočekávaného.



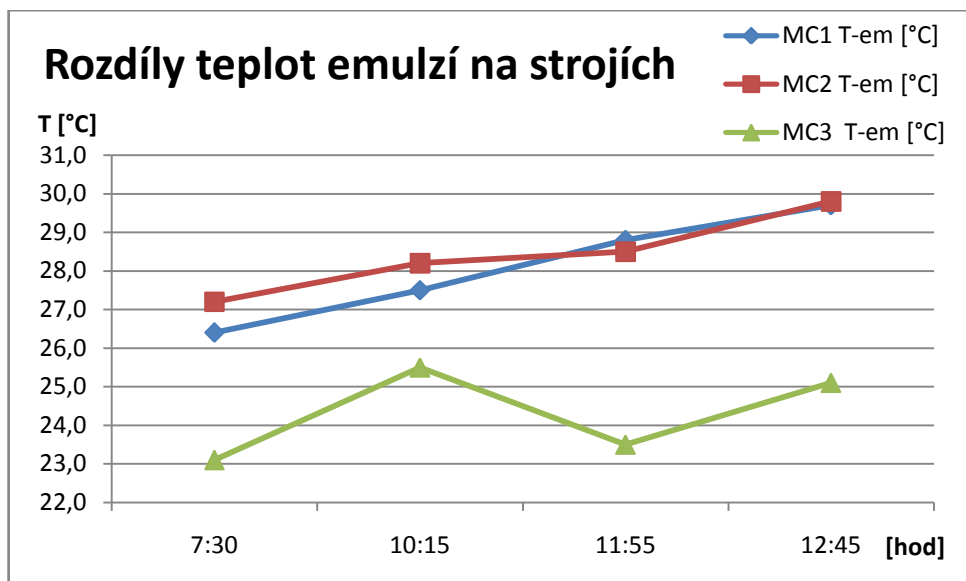
**Graf 31 délky účinnosti chlazení a ohřátí**

Dle předpokládání, ač nejsou hodnoty brány od začátku měření, chlazení má klesavý charakter, posléze stabilnější okolo osy hodnoty 7 minut a 12 s. Ohřívání je stabilní. Je možné, že hodnoty byly od úplného počátku nižší, tedy čas kratší. Jako tomu bylo u měření ze dne 03.05.2019.

Sběr dat zahrnoval i kontrolní měření emulze na strojích MC1 a MC2. To z důvodu vysledování účinků chlazení na teplotu emulze. Pod tabulkou bude grafický výstup.

**Tabulka 13 teploty emulze na strojích MC1, MC2 a MC3**

stroj	MC1	MC2	MC3
t- reálný	T-em	T-em	T-em
[hod]	[°C]	[°C]	[°C]
7:30	26,4	27,2	23,1
10:15	27,5	28,2	25,5
11:55	28,8	28,5	23,5
12:45	29,7	29,8	25,1



Graf 32 teploty emulze na strojích MC1, MC2 a MC3

Lze konstatovat, že chování teplot emulzí na všech třech strojích má obdobný charakter, jako tomu bylo u měření ze dne 15.05.2019. Ukazuje správnost chodu chlazení. Nejmenší konečný teplotní rozdíl byl 5,6°C (měření ze dne 15.05.2019). Zde je u konce 4,6°C a pro čas 11:55 je to 5°C. Nutno podotknout, že měření ve dne 15.05.2019 bylo s nastavením chlazení na 15°C a menším, a ne zcela 100% ponořeným výměníkem. Změna polohy a zvolení většího výměníku rapidně zvýšilo účinnost. Rozdíl je až 0,6 °C u nastavení na 15°C nastavení, oproti nastavení na 20°C.

## 5.6. Rozměrový rozbor 07.06.2019

Pro tento experiment byly zvoleny následující změny na základě zkušeností z předchozích experimentů a jejich výsledků. Vybrány byly právě pro potvrzení, nebo vyvrácení hypotéz o předchozích chováních, případně jako možnost pro hlubší porozumění procesům. Teplotní nastavení chladicí aparatury bylo nastaveno na 20°C.

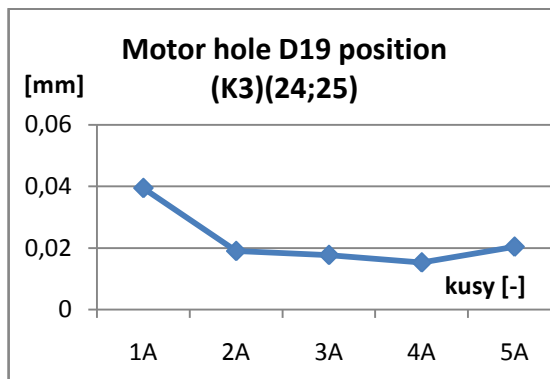
Jak již bylo napsáno v úvodu této kapitoly, měřených kusů bylo deset. Pět od kavitace A a pět od kavitace B. Všechny kusy byly obráběny na stroji MC3. Do výroby byly vkládány vždy dva kusy, jeden od každé kavitace. Časové rozmezí mezi vkládáním kusů byla jedna hodina. Vkládat se mohlo i dříve, s ohledem k provozu a zaměstnaneckým přestávkám na oběd. Nově byly měřeny i hloubky Motor hole.

V hlavičce jsou následující hodnoty 4 hlavních rozměrů: otvor pro motor, otvor pro vzduchovou klapku, otvor pro zátku a hloubka otvoru pro zátku. Nově v další tabulce níže budou vzhledem k možnostem a výsledkům z předchozích experimentů měřeny i hloubky Motor hole.

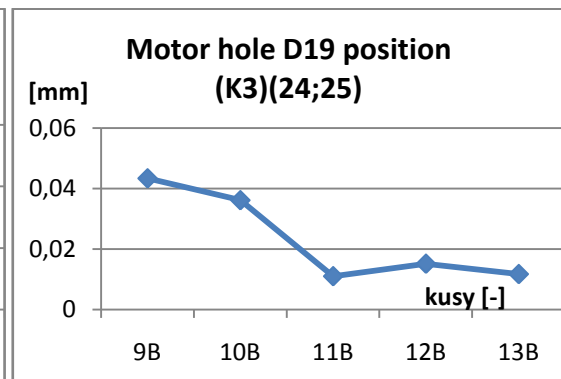
**Tabulka 14 naměřené odchylky rozměrů**

		68 994F THR R.1			MC3			7.6.2019						
		Motor hole D19 position (K3)(24;25) [mm]			Bore hole position (149;150) [mm]			Plug hole D10 position (80;81) [mm]			Plug depth (83) [mm]			
kusy	x	y	vektor	[mm]	x	y	vektor	[mm]	x	y	vektor	[mm]	z	[mm]
1A	0,023	-0,032	0,039408		0,006	0,016	0,017088		0,045	-0,058	0,07341		0,091	
2A	0,019	0	0,019		0,013	0,013	0,018385		0,041	0,12	0,126811		0,039	
3A	0,017	0,005	0,01772		-0,02	0,023	0,03048		0,057	0,02	0,060407		0,005	
4A	0,015	-0,003	0,015297		-0,012	0,022	0,02506		0,054	0,007	0,054452		-0,001	
5A	0,02	0,004	0,020396		-0,002	0,017	0,017117		0,048	0,021	0,052393		0,009	
9B	0,019	-0,039	0,043382		0,004	0,016	0,016492		0,044	-0,07	0,08268		0,085	
10B	0,035	0,009	0,036139		0,011	0,012	0,016279		0,035	0,004	0,035228		0,034	
11B	0,011	0	0,011		-0,007	0,01	0,012207		0,034	0,011	0,035735		0,001	
12B	0,015	-0,002	0,015133		-0,01	0,022	0,024166		0,055	0,004	0,055145		-0,001	
13B	0,011	0,004	0,011705		-0,001	0,014	0,014036		0,038	0,012	0,03985		0,008	

Následující sled grafů bude vždy ve dvojici. Na levé straně bude kavitace A a na pravé kavitace B. Pro lepší orientaci jsou kavitace sepsány za číslem na vodorovné ose.

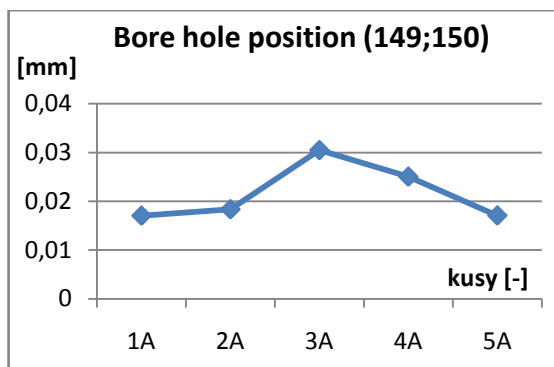


**Graf 33 odchylka pozice otvoru pro motor kavitace A**

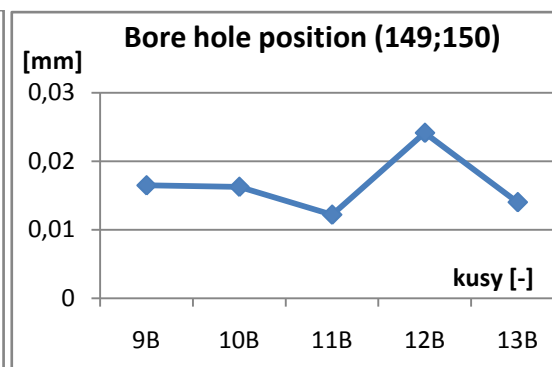


**Graf 34 odchylka pozice otvoru pro motor kavitace B**

Na těchto grafech lze vidět v rámci jistých posunutí obdobné chování. Dlouhodobě není žádný velký odskok rozměrů a největší rozdíl (levý graf) je 0.032 mm. Stabilizace nastává od druhého a třetího obrobeneho kusu. Tyto hodnoty splnily očekávání – částečně klesající trend a následnou stabilizaci bez větších odskoků (viz experiment 03.05.2019).

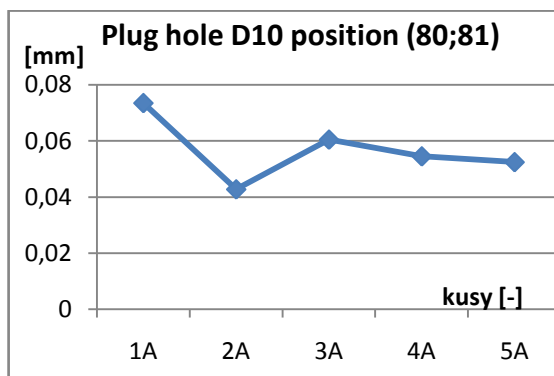


Graf 35 odchylka pozice otvoru pro umístění klapky kavítace A

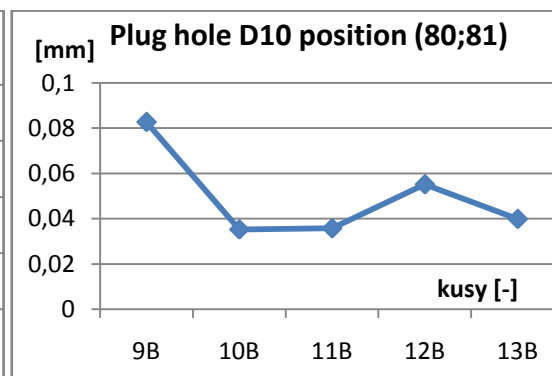


Graf 36 odchylka pozice otvoru pro umístění klapky kavítace B

První z kritických rozměrů náchylných na teplotu. Oba tyto grafy by se daly označit za obdobné – až na výjimku 11B. Dlouhodobě odchylka mezi měřeními nevystoupala nad hodnotu 0,015 mm. Měření splnilo očekávání a potvrdilo již předešlé. Mírní nárůst a dále pokles, to celé za nízkých odchylek. Vzhledem k tomu, že teplotní nastavení bylo nad kritickou hodnotou pro odskok, nedošlo k rapidnímu odskoku.

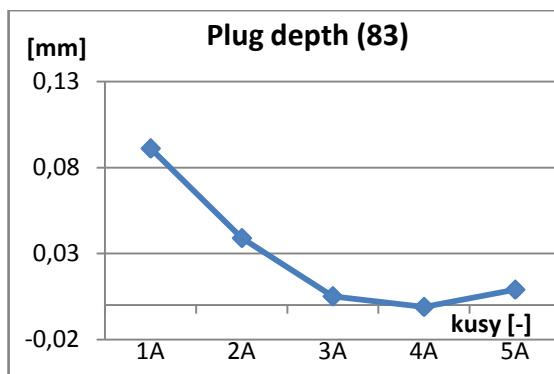


Graf 37 odchylka pozice pro záslepku kavítace A

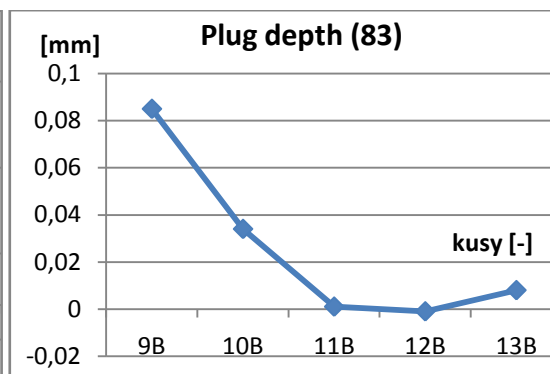


Graf 38 odchylka pozice pro záslepku kavítace B

V rámci dostupných dat, byl očekávaný trend spíše klesajícího rázu s mírnými odskoky. To by se dalo označit jako splněné. Při větším počtu měření by patrně bylo možné vysledovat několik lokálních oblastí stabilizace – obdobně jako u měření z 03.05.2019.



Graf 39 odchylka hloubky záslepky kavitace A



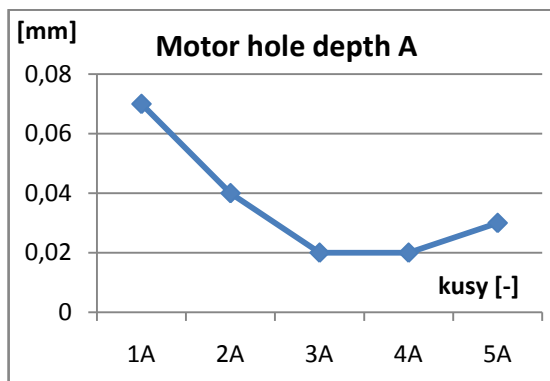
Graf 40 odchylka hloubky záslepky kavitace B

Na těchto hodnotách vyneseny do grafu si lze povšimnout podobnosti. Jak mezi sebou, tak z 03.05.2019, je vidět klesající trend s krátkým ustálením a potom zvyšující se změnu. Při delším sběru dat by se dalo očekávat, že při zachování podmínek by zvyšující se hodnoty měly tendenci vracet do oblasti stabilizace. Neodsakovat. Dokonce ani případná korekce obráběcího procesu by nebyla nutná, jelikož se pohybujeme v oblasti 0. Splněno bylo i očekávání nejnáchylnějších plynulých změn. V tomto případě je dlouhodobá maximální odchylka 0,09 mm. Tolerance je pro tento údaj 0,150 mm. Odchylka dlouhodobá je tedy téměř 1/3. Což potvrdilo domněnku o druhém kritickém rozměru, který je velmi náchylný na teplotní změny. Bohužel v tomto experimentu se nepotvrdila závislost mezi rozměry Plug depth (83) a Bore hole position (149;150). Nejspíše to bylo způsobeno teplotním nastavením a jeho dopadem – nepohybovali jsme se v pomyslných kritických nízkých mezích, a proto rozměr Bore hole position neprojevil svoji kolísavost.

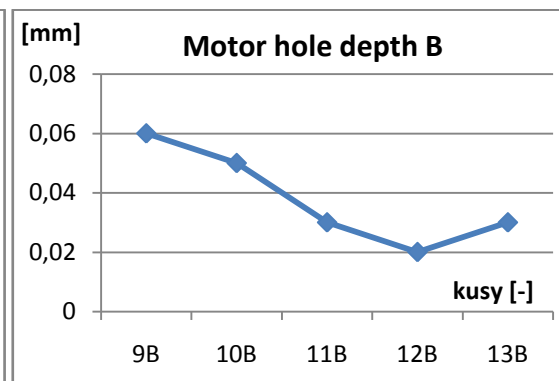
V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty pro rozměr hloubky Motor hole, které jsou vyneseny pod tabulkou v grafickém výstupu.

Tabulka 15 tabulka rozměrů hloubky Motor hole

	Motor hole depth
rozměr	2,3+ $\pm$ 0,1mm
MC3	depth [mm]
kusy	[mm]
1A	0,07
2A	0,04
3A	0,02
4A	0,02
5A	0,03
9B	0,06
10B	0,05
11B	0,03
12B	0,02
13B	0,03



Graf 41 hloubka kavitace A



Graf 42 hloubka kavitace B

Toto měření nám ukazuje jasnou závislost a podobnost chování hloubek jako s Plug depth (83).

Potvrzuje tedy, že hypotézy a domněnky byly správné. Zde již lze provést stabilizaci rozměrů v závislosti na teplotě. Při udržení se v teplotách měřených kusů 3A, 4A a 11B, 12B za předpokladu nulového dalšího chování stroje od změn teplot, lze tento rozměr stabilizovat. Zhodnocení návrhu a experimentů

## 6. Zhodnocení návrhu

Návrh, v původní verzi s výměníkem 6151, nesplňoval dostatečnou efektivitu. Tato možnost byla předpokládána. Bylo to z důvodu nedostačených parametrů, jako jsou například plocha a objem výměníkové spirály. Přispět k tomu také mohl fakt, že výměník nebyl zcela ponořen kvůli obtížím při montáži. Výměník s označením 6152 již splňoval požadované kritérium účinnosti. O účinnosti vypovídaly grafy: *Graf 9 délky účinnosti chlazení a ohřátí pro první výměník* a dále pak pro druhý výměník *Graf 31 délky účinnosti chlazení a ohřátí*, kde je patrné jiné chování fází chlazení a ohřátí. Návrh tedy ve finální podobě splnil vstupní požadavky a lze konstatovat jeho přínos na experimentech.

### 6.1. Zhodnocení experimentů

#### Experiment 03.05.2019

Po tepelné stránce přinesl tento experiment, hlavně vstupní podklady pro další experimenty – jako bylo zjištění možné výměny výměníku kvůli nedostačující účinnosti. Po stránce rozměrové bylo zjištěno potvrzení předchozích hypotéz o dopadu teploty na celkové rozměry, viz Grafy 13, 14, 15, 16a 17, zvláště pak dopad na kritickou osu  $y$ , viz *Graf 17 srovnání odchylek hloubky záslepky MC1, MC2 a MC3*.

#### Experiment 15.05.2019

Z tepelného hlediska toto měření poskytlo informace o předchlazení emulze na 20°C a následně o chlazení na 15°C. Bylo tak učiněno kvůli technické realizaci a zkrácení doby dopadu chlazení na 15°C. Tedy i zkrácení nájezdové doby. Byla zjištěna správná volba chladicí jednotky, viz Grafy 18 a 22. Rozměrový rozbor ukázal, že nastavení na 15°C nevyhovuje a projevuje se již velký a náhlý odskok tolerancí. Vnitřní teplota stroje se tedy dostala pod kritickou pracovní teplotu a v důsledku toho patrně nastal odskok. Projevila se také možná závislost rozměrů otvoru pro klapku s hloubkou záslepky. Tato podobnost se jinde než v tomto měření dále neprojevila.

#### Experiment 07.06.2019

V tomto případě bylo testováno nastavení na 20°C s novým výměníkem. *Graf 30 rozdíl teplot okolí a emulze* jasně ukázal, že zvolený nový výměník 6152 byl

mnohem efektivnější. Rozdíl byl minimální a zároveň nejstabilnější ze všech dřívějších experimentů. Grafy s číslem 28 a 31 také podporují toto tvrzení. Dosáhlo se tedy neoptimálnějších podmínek pro zjištění dopadů na rozměry. V rozměrové analýze je nejdůležitější zjištění u grafů 39, 40, 41 a částečně i 42. Zde je prokázána jasná lokální stabilizace – většinou u třetích, čtvrtých a pátých měření. Páté měření naznačuje stoupavý trend, tuto možnost je nutno brát v budoucnu v potaz. Kombinace tohoto zrealizovaného návrhu a tepelného nastavení přinesla poznatky pro budoucí dlouhodobou stabilizaci rozměrů.

### **Celkový dopad**

Tyto výsledky by měly posloužit budoucímu zefektivnění obráběcího procesu. Specificky pak rozměrů osy y. Při dalším plánování by bylo na místě propojit systémy průběžné kontroly a chlazení emulze proto, aby po stabilizování (viz Grafy 39, 40, 41 a 42 v době, kdy se odchylky rozměrů blíží nule) křivka dále nestoupala. Oblast stabilizace může být v kladných i záporných mezích, potom pracovník už jednoduše změní nastavení korekce obráběcího procesu. Tímto způsobem se dá vyhnout i pomyslné krizové spodní teplotě, kdy při dalším klesání hrozí odskok rozměrů a vyrábění mimo toleranční pásmo. Testování zkrácení nájezdové doby (nastavení na 20°C a pak následně na 15°C) v experimentu ze dne 07.06.2019 se prokázalo jako realizovatelné, avšak v tomto případě bylo nastavení na 15°C příliš nízké, proto následovalo vybočení stroje z teplotního rozmezí a následovalo odskočení mimo tolerance.



## 7. Závěr

V teoretické části, krátce po úvodu, jsem popsal základní principy vzniku tepla při obráběcím procesu. Na to jsem navázal důvody a účinky chlazení rezného procesu médii. Následně jsem popsal typy chladicích médií a jejich základní metody aplikace. Teoretická část pokračuje kapitolou Analýza, ve které uvádím dřívější stav, představuji a popisuji tepelné prvky, které ovlivňují teplotu stroje. Na základě těchto informací jsem uvedl rozbor na konkrétních datech z konkrétních měření. Díky těmto poznatkům jsem byl schopný připravit samotný návrh, jak chladit emulzi.

Kapitola Návrh řešení obsahuje vstupní předpoklady, schéma a popis chladicí aparatury, výstupní předpoklady samotnou realizaci a konkrétní výběrové prvky. Ze zjištěných faktů jako jsou například destabilizace osy  $y$ , možnosti měření rozměrů při výrobě, jsem stanovil rozměry, které mají tendenci být kritické a je realizovatelné se na ně zaměřit.

Kapitolu Experimenty jsem sepsal na již praktických zkouškách návrhu chladicí aparatury. Z těchto zkoušek jsem naměřil data a zpracoval je do podoby tabulkové a grafické. Každý experiment má dvě části. V první práci s daty, které jsou zaměřeny na teplotu. V druhé části pojednávám o rozměrech a tedy i eventuálních dopadech mého návrhu. Experimenty jsem provedl třikrát, každé měření s odlišnými parametry. Zvolil jsem tak z důvodů: testování prvků návrhů, sledování vstupních očekávání a pro možnost sledování chování rozměrů při různých teplotách a náběžích. Z dat z prvního experimentu jsem zjistil nedostačující efektivitu výměníku. Data druhého experimentu mi prokázala existenci hledaných odskoků v rozměrech u osy  $y$ . Dělo se tak v důsledku nízkého nastavení chladicí jednotky. Prokázal jsem tedy vznik těchto odskoků v závislosti na nízké teplotě stroje. Ve třetím experimentu jsem prokázal stabilizaci kritické osy  $y$  a tedy i správné vyladění prvků a žádoucí tepelné nastavení chladicí aparatury.

V poslední kapitole jsem provedl zhodnocení návrhu a experimentů. U zhodnocení experimentů jsem vyzvedl nejdůležitější poznatky, chování při tepelných změnách od chlazení emulze a jeho dopady na rozměry.

## Zdroje:

- [1] *Společnost* [online]. [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: <http://www.aisan.cz/Spolecnost.aspx>
- [2] *Základy obrábění* [online]. [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/obrabeni.htm>
- [3] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. Brno, 2003 [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [4] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [5] ] ELUC. *Teplota vznikající při obrábění* [online]. [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1199>
- [6] KUBÍČEK, Jaromír. *KOMPLEXNÍ VZDĚLÁVÁNÍ: CNC obrábění* [online]. SPŠSE a VOŠ LIBEREC [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: [https://www.pslib.cz/komplex\\_CNC\\_a\\_CAM/files/Prezentace\\_PDF/Komplex\\_CNC\\_Kk\\_11.pdf](https://www.pslib.cz/komplex_CNC_a_CAM/files/Prezentace_PDF/Komplex_CNC_Kk_11.pdf)
- [7] ELUC. *Chlazení a mazání* [online]. [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1817>
- [8] DVOŘÁK, Luděk. ROZHODUJÍCÍ JE POUŽITÍ EFEKTIVNÍHO CHLAZENÍ. *SK technik* [online]. MM Průmyslové spektrum, 2014, 12.02.2014 [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: [http://www.sktechnik.cz/dokumenty/clanky/clanek\\_horn\\_01a02-14.pdf](http://www.sktechnik.cz/dokumenty/clanky/clanek_horn_01a02-14.pdf)
- [9] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II - 1. díl. 1. vyd.* Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8
- [10] Použití řezné kapaliny a chlazení při soustružení. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general-turning/pages/how-to-apply-coolant-and-cutting-fluid-in-turning.aspx?Country=az>
- [11] Aisan Industry Czech, s.r.o. interní materiály
- [12] Trubkový výměník pro akumulární nádrže. *REGULUS* [online]. [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/trubkovy-vymenik-pro-akumulacni-nadrze>
- [13] TAEvo TECH MINI: Air-cooled industrial chillers. *M.T.A. S.p.A.* [online]. [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: [https://www.mta-it.com/backend/prodotti/file\\_upload/allegato/1904161033111\\_5050ftaem001ca.pdf](https://www.mta-it.com/backend/prodotti/file_upload/allegato/1904161033111_5050ftaem001ca.pdf)

## Seznam příloh

- (1) Příloha: Závislost teplot v několika dnech
- (2) Příloha: Nájezdové chování os
- (3) Příloha: Chování jednotlivých os a bez tepelného nahřívání