

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3911T016 Materiálové inženýrství  
a strojírenská metalurgie

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vliv parametru procesu chemicko-tepelného zpracování  
na deformace ozubených kol

Autor: **Bc. Jindřich Kaizr**  
Vedoucí práce: **Doc. Dr. Ing. Antonín Kříž**

Akademický rok 2013/2014

**Místo pro vložení originálního zadání BP**

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

|                      |   |                          |                                      |
|----------------------|---|--------------------------|--------------------------------------|
| <b>AUTOR</b>         | <b>Příjmení</b><br>Kaizr  | <b>Jméno</b><br>Jindřich |                                      |
| <b>STUDIJNÍ OBOR</b> | 3911T016 „Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“                    |                          |                                      |
| <b>VEDOUCÍ PRÁCE</b> | <b>Příjmení (včetně titulů)</b><br>Doc.Dr.Ing. Kříž                             | <b>Jméno</b><br>Antonín  |                                      |
| <b>PRACOVISTĚ</b>    | ZČU - FST - KMM   |                          |                                      |
| <b>DRUH PRÁCE</b>    | <b>DIPLOMOVÁ</b>  | <b>BAKALÁŘSKÁ</b>        | Nehodící se <input type="checkbox"/> |
| <b>NÁZEV PRÁCE</b>   | Vliv parametru procesu chemicko-tepelného zpracování na deformace ozubených kol |                          |                                      |

|                |         |                |     |                    |      |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| <b>FAKULTA</b> | strojní | <b>KATEDRA</b> | KMM | <b>ROK ODEVZD.</b> | 2014 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

|               |    |                     |    |                      |    |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|
| <b>CELKEM</b> | 94 | <b>TEXTOVÁ ČÁST</b> | 56 | <b>GRAFICKÁ ČÁST</b> | 38 |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|

|  |   |
|--|---|
| <p><b>STRUČNÝ POPIS</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL</b></p> <p><b>POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p> | <p>Diplomová práce se zabývá příčinami deformací ozubených kol při chemicko-tepelném zpracování, kde se klade důraz na vliv kalícího média. V práci je popsána konstrukce experimentálního zařízení a ověřování zjištěných hodnot na vzorcích vůči reálným součástem.</p> |
| <p><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p>  | <p>deformace, ozubená kola, tepelné zpracování, kalící média, ochlazovací média, chemicko-tepelné zpracování</p>  |



## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

|                          |  |                            |                                   |
|--------------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>AUTHOR</b>            | <b>Surname</b><br>Kaizr  | <b>Name</b><br>Jindřich    |                                   |
| <b>FIELD OF STUDY</b>    | 3911T016 „Material Engineering and Engineering Metallurgy“               |                            |                                   |
| <b>SUPERVISOR</b>        | <b>Surname (Inclusive of Degrees)</b><br>Doc.Dr.Ing. Kříž                | <b>Name</b><br>Antonín     |                                   |
| <b>INSTITUTION</b>       | ZČU - FST - KMM  |                            |                                   |
| <b>TYPE OF WORK</b>      | <b>DIPLOMA</b>   | <del><b>BACHELOR</b></del> | <b>Delete when not applicable</b> |
| <b>TITLE OF THE WORK</b> | Effect of process parameters chemical heat treatment on deformation gear |                            |                                   |

|                |                        |                   |                                 |                     |      |
|----------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------|------|
| <b>FACULTY</b> | Mechanical Engineering | <b>DEPARTMENT</b> | Material Science and Technology | <b>SUBMITTED IN</b> | 2014 |
|----------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------|------|

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

|                |    |                  |    |                       |    |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|
| <b>TOTALLY</b> | 94 | <b>TEXT PART</b> | 56 | <b>GRAPHICAL PART</b> | 38 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|

|   |  |
|---|--|
| <b>BRIEF DESCRIPTION</b><br><br><b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b> | This thesis deals with the causes deformation of tooth wheels in the chemical and thermal processing, where the emphasis is on the influence of quenching media. The thesis describes the construction of the experimental equipment and validation of the values observed on the samples to the real parts. |
| <b>KEY WORDS</b>  | Deformation, tooth wheels, heat treatment, quenching medium, cooling medium, chemical and thermal processing   |

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Doc. Dr. Ing. Antonínu Křížovi, Ing. Jiřímu Hájkovi Ph.D, Ing. Ivanu Vorlovi z firmy Fotech - Výzkumné centrum tvářecích technologií, Ing. Pavlu Stolařovi, CSc. a Ing. Judovi Čížkovskému z firmy Ecosond s.r.o. a hlavně Ing. Jiřímu Vítovi z firmy WikovMGI a.s. za odborné vedení a rady při měření a zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval všem mým blízkým, kteří mne po celou dobu studia na FS ZČU v Plzni podporovali, bez jejichž podpory by tato práce nemohla vzniknout.

Tato diplomová práce vznikla za podpory projektu FR-TI3/503 - Stanovení příčin deformace po chemicko-tepelném zpracování a jejich následná eliminace pro klíčové díly převodovek větrných elektráren (2011-2014, MPO/FR). Tato práce byla také řešena v rámci projektu ESF OPVK „Systém vzdělávání pro personální zabezpečení výzkumu a vývoje v oblasti moderního trendu povrchového inženýrství – integrity povrchu“, reg.č. CZ.1.07/2.3./00/20.0037. Tyto projekty napomohly při propojení výstupů diplomové práce mezi aplikačním a akademickým prostředím.

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Obsah.....   | 7  |
| 1. ÚVOD.....   | 9  |
| 2. POPIS PŘÍČIN DEFORMACÍ OZUBENÝCH KOL PŘI TEPELNÉM ZPRACOVÁNÍ.....   | 11 |
| 2.2. Deformace při tepelném zpracování .....   | 12 |
| 2.3. Ochlazovací média při procesu CHTZ – kalicí prostředí .....   | 15 |
| 3. VÝBĚR VHODNÉHO KALICÍHO MÉDIA PO CEMENTACI.....   | 17 |
| 3.2. Výběr kalicích médií a měření jejich charakteristik .....   | 19 |
| 4. POPIS VLIVU PROUDĚNÍ KALICÍHO MÉDIA NA DEFORMACE BĚHEM CHTZ .....   | 22 |
| 4.2. Určení vhodného typu a rychlosti proudění kalicího média.....   | 22 |
| 5. URČENÍ VHODNÉ TEPLoty KALICÍHO MÉDIA.....   | 25 |
| 6. Experimentální část .....   | 26 |
| 7. PROMĚŘENÍ RŮZNÝCH RYCHLOSTÍ PROUDĚNÍ V URČITÝCH MÍSTECH REÁLNÉ OLEJOVÉ LÁZNĚ.....   | 27 |
| 7.1. Způsob měření rychlosti proudění.....   | 27 |
| 7.2. Měření ve velké lázni (80 m <sup>3</sup> ).....   | 28 |
| 7.3. Měření v malé lázni (40 m <sup>3</sup> ) .....  | 30 |
| 7.4. Závěr.....  | 32 |
| 8. PRAKTICKÉ ZKOUŠKY KALENÍ PŘI RŮZNÝCH REŽIMECH A PARAMETRECH OLEJE V REÁLNÝCH LÁZNÍCH A JEJICH VLIV NA VÝSLEDNOU STRUKTURU A DEFORMACE OZUBENÝCH KOL ..... | 33 |
| 8.1. Postup.....   | 33 |
| 8.2. Výsledky.....   | 34 |
| 8.3. Vyhodnocení výsledků .....  | 41 |
| 8.4. Závěr.....  | 41 |
| 9. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO ZAŘÍZENÍ.....   | 43 |
| 9.2. První návrh zařízení.....   | 43 |
| 9.3. Druhý návrh zařízení.....   | 44 |
| 9.4. Kompletace experimentálního zařízení.....   | 46 |
| 10. MĚŘENÍ OCHLAZOVAČÍCH KŘIVEK PŘI RŮZNÝCH REŽIMECH A PARAMETRECH OLEJE POMOCÍ QUENCH TESTU .....   | 48 |
| 10.1. Způsob měření ochlazovacích křivek.....  | 48 |
| 10.2. Měření rychlosti proudění.....   | 49 |

|   |    |
|---|----|
| 10.3. Regulace teploty olejové lázně .....  | 50 |
| 10.4. Postup měření.....  | 50 |
| 10.5. Výsledky měření .....   | 51 |
| 10.6. Vyhodnocení výsledků .....  | 53 |
| 11. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PO ZAKALENÍ V EXPERIMENTÁLNÍM<br>ZAŘÍZENÍ NA VZORCÍCH..... | 55 |
| 11.1. Použité zařízení a přípravky.....   | 55 |
| 11.2. Postup měření.....  | 57 |
| 11.3. Vyhodnocení výsledků .....  | 62 |
| 12. Diskuze .....   | 63 |
| 13. Závěr.....  | 65 |
| Seznam použité literatury .....   | 66 |
| Seznam příloh .....   | 68 |

## 1. ÚVOD

S ozubenými koly se lze setkat v každodenním životě. Jak s miniaturními v hodinkách nebo velkými ve větrných elektrárnách. Obecně jsou na ně kladeny vysoké nároky (přesnost, pevnost, přenášené momenty atd.). Ozubená kola se mohou rozdělit do dvou hlavních kategorií: pro přenos pohybu nebo transformaci energie. Do první kategorie patří kola obvykle nekovová, především z polymerů. Do druhé kategorie se řadí kola z ocelových slitin, která přenášejí zátěž.

Pastorky, ozubená kola a další součásti, které přenášejí vysoké točivé momenty, patří k nejnámáhanějším strojním součástem. Proto se musí výběru vhodného materiálu věnovat veškerá pozornost, stejně jako správné volbě mechanického opracování a tepelného nebo chemicko-tepelného zpracování. Moderní ozubená kola se mohou vyrábět z mnoha konstrukčních materiálů. Nejpoužívanějším materiálem na jejich výrobu je především ocel a to díky jejím dobrým vlastnostem (vysoká pevnost, houževnatost atd.) při poměrně nízké ceně. Pro výrobu ozubených kol se v současné době používá z více než 90% slitiny oceli.

Nejdůležitějšími požadavky, které jsou kladeny na ozubené součásti, jsou dostatečná povrchová tvrdost a otěruvzdornost, ale také houževnaté jádro s vyhovující ohybovou a tahovou pevností. Dalším důležitým parametrem z mechanických vlastností je únavová pevnost a kontaktní únavová pevnost. Z důvodu maximální možné funkční doby provozu převodovek je důležité minimalizovat deformace součástí. Tento problém se řeší buď ovlivněním mechanického a tepelného zpracování (levnější a efektivnější), nebo dodatečným opatřením (např. dokončovacím broušením), které je ale nákladnější.

Z hlediska tepelného zpracování se nejčastěji používá cementace, popř. nitrocementace s následným kalením a nízkoteplotním popouštěním. Jiné technologie chemicko-tepelného zpracování nejsou tak výhodné. Nitridací lze dosáhnout podobné kombinace mechanických vlastností, ale tento proces je ekonomicky více nákladný.

V současné době nejpoužívanější technologií chemicko-tepelného zpracování ozubených součástí je kombinace cementace v plynu s následným kalením do oleje. Následuje praní součástí a nízkoteplotní popouštění při teplotách 150 – 200°C. Výsledkem tohoto procesu je tvrdost povrchu cca 700 HV a jádra v závislosti na použitém materiálu v rozmezí 300 – 450 HV.

V průmyslové výrobě se také stále často využívá vakuové (nízkotlaké) cementace s následným kalením inertním plynem (dusík, hélium), nebo vzduchem o vysokém tlaku. Touto technologií lze proces zpracování značně urychlit, protože pro sycení lze použít značně vyšších teplot (až kolem 1000°C), než pro cementaci v plynu. Kalení přetlakem plynu umožňuje dosáhnout vyšší stejnoměrnosti ochlazování vsázky, což se může příznivě projevit na deformacích součástí.

Tyto základní dva typy zpracování lze i kombinovat. Nejlépe tak, že na konec linky tepelného zpracování (zpravidla průběžná pec) se zařadí ochlazovací jednotka s tlakovým plynem.

Rozměrové a tvarové změny konstrukčních součástí jsou nežádoucím průvodním jevem procesů tepelného zpracování (dále jen TZ). Je známo, že podíl TZ na celkové deformaci dílu se může pohybovat v širokém rozmezí (20–30%). [1]

Pokud je věnována velká pozornost volbě materiálu, jeho homogenitě, správné konstrukci dílu a minimalizaci napětí při obrábění, mohou být tyto veličiny nepatrné a relativní podíl TZ na deformaci může vzrůst na více než 50 %, ale celková deformace dílů bude podstatně nižší.

Deformace lze rozdělit na změny objemové a na změny tvarové. Objemové změny z praktického hlediska představují menší problém a pohybuje-li se jejich velikost v dostatečně malém rozptylu hodnot, lze jim předcházet (např. nastavením korekcí při me-

chanickém opracování). Tvarové změny představují mnohem vážnější problém, protože jim žádnými korekcemi nelze efektivně předejít a jedinou možností je optimální volba materiálu, konstrukce součásti a jejího tepelného zpracování. Rozměrové a tvarové změny závisí na mnoha faktorech. Tyto veličiny lze rozdělit do několika oblastí.

**Materiál a jeho výroba:** stav materiálu po odlití (jeho homogenita, segregace, textura a změny fázového složení), stav po žíhání a rozložení velikosti zrn, a také prokalitelnost daného materiálu.

**Konstrukce dílu a způsob jeho výroby:** na konstrukci dílů jsou kladeny různé požadavky i z hlediska optimálního vlivu při TZ, které ale nelze vždy zohlednit.

**Tepelné zpracování:** tvarové změny vlivem tepelného zpracování jsou ovlivněny teplotními gradienty uvnitř součástí, které vznikají při rychlém ohřevu nebo nerovnoměrném a rychlém ochlazení. Pokud se tyto rozdíly spojí s časově proměnlivou fázovou transformací, dochází také k pnutí a deformacím v důsledku této transformace. Mezi vhodné způsoby minimalizace těchto efektů patří především stupňovitý ohřev a pozvolnější ochlazení.

Pro minimalizaci deformací před poslední třískovou operací se používá žíhání na odstranění pnutí, ale často není realizováno z úsporných důvodů. [1],[2]

Tato diplomová práce se zabývá jedním z důležitých parametrů chemicko-tepelného zpracování ovlivňujícího deformace součástí a tím je vliv kalicího média. Je zde popsán teoreticky a následně experimentálně ověřen vliv parametrů kalicího média (oleje) po chemicko-tepelném zpracování na deformace ozubených kol.

V **experimentální části** diplomové práce je popsán způsob a vyhodnocení proměření rychlostí v reálných lázních. Následně je zde vyhodnocen vliv rozdílných parametrů kalicího média na deformace u reálných dílců ozubených kol po CHTZ. V dalších kapitolách je uveden popis konstrukčního řešení stavby experimentálního zařízení. Experimentální zařízení bylo sestaveno pro zjišťování vlivu teploty a různých rychlostí kalicího oleje na ochlazení křivky a pro vyhodnocení struktur a průběhu tvrdosti u předem upravených vzorků pro tento účel, které byly kaleny v tomto experimentálním zařízení.

## 2. POPIS PŘÍČIN DEFORMACÍ OZUBENÝCH KOL PŘI TEPELNÉM ZPRACOVÁNÍ

Vhodná optimalizace tepelného zpracování ozubených kol představuje složitý problém a je důležité si uvědomit, jaké vlivy zde působí.

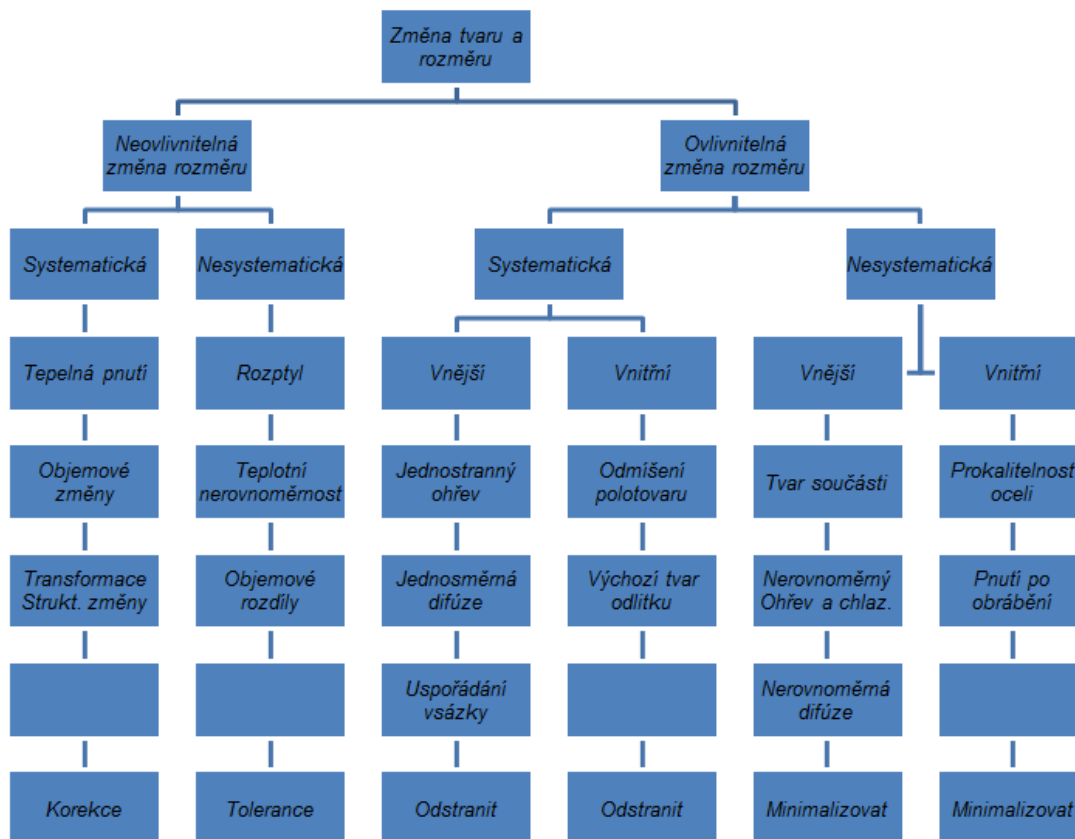
Tyto vlivy lze rozdělit například takto:

1. Vliv konstrukčního řešení ozubeného kola
2. Vliv struktury materiálu (chemické složení, mikročistota, vměstky, řádkovitost, struktura polotovaru před třískovým obráběním a její nestejnorodost atd.)
3. Vliv použité technologie při výrobě součásti
  - slévání
  - tváření
  - třískové obrábění
  - tepelné zpracování
4. Vliv lidského faktoru (dostatečné proškolení pracovníků, technologická kázeň,...)

Tyto parametry nemají na velikost a charakter deformace stejný vliv. Hlavním faktorem je konstrukční řešení ozubeného kola (50 až 75%) [4].

Na výsledné deformace má vliv i tuhost kola. Čím je kolo masivnější (má větší tuhost), tím menší budou deformace po třískovém obrábění. Při TZ toto pravidlo zcela neplatí a deformace závisí na konkrétních rozměrech kol. Vliv rozměrů lze tedy rozdělit na:

- Vliv absolutních rozměrů – sledováním bylo zjištěno, že větší kola se deformují více, než kola malých průměrů. Velký vliv mají také rozměry kola (průměry, délky, zaoblení, rozměry a geometrie ozubení, ...)
- Vliv relativních rozměrů – obecně lze říci, že k deformacím jsou náchylnější kola s velkým poměrem průměru a tloušťky, ve srovnání s masivnějšími součástmi. Platí, že čím větší je poměr mezi šířkou prstence (rozdíl mezi vnějším a vnitřním průměrem) a tloušťkou kola, tím větší je pravděpodobnost vzniku deformací, zejména pak rovinných deformací. Naopak při malém poměru šířky prstence ku tloušťce se zvyšuje nebezpečí deformací kruhovitosti. Konstrukce kola má velký vliv i při ohřevu a chladnutí při TZ a CHTZ. Také je důležité, že se pevnost ozubeného kola s rostoucí teplotou ohřevu mnohonásobně snižuje. Z toho vyplývá, že kola s menší tuhostí jsou náchylnější k mechanickému poškození, tedy i deformacím, za vysokých teplot. [3]



Obr. 2-1: Klasifikace příčin deformací [4]

## 2.2. Deformace při tepelném zpracování

Deformace závisí na řadě faktorů, jako je kvalita materiálu, konstrukční řešení součásti, tváření a také samotný proces tepelného zpracování.

Homogenita materiálu (segregace, textura zrna) litých ingotů byla shledána velmi důležitým parametrem. Kruhovitost ozubených kol je lepší po použití kontinuálně litého ingotu jako polotovaru pro výrobu talířových kol. [5]

Rovnoměrné tuhnutí ingotu je dalším činitelem ovlivňujícím deformace. Také chemické složení oceli má velký vliv na tvarové i rozměrové změny. Míra vytvrditelnosti oceli směrem do jádra je ověřena Jominiho křivkami prokalitelnosti. Pro danou třídu oceli se tyto křivky mohou markantně lišit v závislosti i na malých rozdílech chemického složení. Bylo zjištěno, že snižující se prokalitelnost způsobuje u určitého typu ozubeného kola prudké snížení citlivosti vůči deformacím, převážně rozměrových změn. Vliv prokalitelnosti na tvarové změny je pravděpodobný, ale v mnoha případech není zcela jasně předvídatelný.

Deformace způsobené nevyhovujícím konstrukčním návrhem v sobě můžou zahrnovat až 60% celkového objemu deformací. Ale protože na součást a její výrobu je kladeno větší množství nároků, je třeba najít kompromis, který není vždy optimálním řešením z hlediska tepelného zpracování. Je proto nutné udržovat prokalitelnost používané oceli v co nejužším pásu (viz. zúžené pásy prokalitelnosti). [6]

Deformace způsobené tepelným zpracováním jako takovým jsou výsledkem teplotního gradientu v součásti (tepelná pnutí), které nastává zejména při příliš rychlém ohřevu součásti či jejím kalení. Pokud jsou tyto rozdíly teplot doprovázeny strukturními změnami, tak i ty přispívají k celkové deformaci v důsledku transformačních pnutí. Deformace může



nastávat také v důsledku nerovnoměrné cementace, především pokud je poměr tloušťky cementované vrstvy a průřezu součásti příliš vysoký.

Deformace ozubených kol je jeden z nejkompexnějších případů deformace v rámci jedné součásti. V případě ozubeného kola nedochází pouze k deformaci ozubení, ale i základního tělesa.

Změny tvaru a rozměrů výrobků jsou průvodními jevy při tepelném zpracování, i když se jedná o nežádoucí změny. Nelze je zcela odstranit.

Tyto změny lze rozdělit na:

- změny objemové,
- změny tvarové.

Změny objemové jsou vyvolány zvětšením nebo zmenšením objemu (obr. 2-2) v důsledku fázových změn. Z měrných objemů strukturních složek je zřejmé, že austenitizace je spojena s objemovým smrštěním, zatímco martenzitická přeměna s objemovým nárůstem. Velikost rozměrových změn tedy souvisí s obsahem uhlíku v martenzitu (s jeho rostoucím obsahem rozměrové změny vzrůstají) a s podílem zbytkového austenitu po kalení (s rostoucím obsahem jsou objemové přírůstky menší). Přírůstek rozměrů po kalení se zmenšuje popouštěním. U vysokolegovaných ocelí (vykazujících sekundární tvrdost) může dojít k dalšímu zvětšení rozměrů vlivem rozpadu zbytkového austenitu. Důsledky objemových změn lze částečně kompenzovat vhodně zvolenými přísadkami před tepelným zpracováním.



**Obr. 2-2:** Objemová změna [4]

Obvykle větší výrobní potíže působí tvarové změny výrobků (obr. 2-3), které jsou způsobeny nerovnoměrným rozložením tepelných a transformačních napětí. Velikost změny geometrického tvaru a její výskyt je ovlivněn řadou faktorů od konstrukčního návrhu až po vlastní zpracování. Výskyt deformací je vnějším projevem rozložení a velikosti vnitřních napětí. Nejedná se pouze o napětí tepelná a strukturní, ale na velikost deformací po tepelném zpracování působí i zbytková napětí ve výrobku před vlastním zpracováním způsobená např. tvářecí strukturou, různým stupněm zpevnění povrchu při třiskovém obrábění apod. Je tedy snahou tato vstupní zbytková napětí před tepelným zpracováním odstranit (žihání na odstranění zbytkových napětí). Eliminace změn tvaru je velmi náročná jak z hlediska odhadu jejich velikosti a umístění, tak v problematice jejich odstraňování.



**Obr. 2-3:** Tvarová změna [4]

K největším tvarovým změnám dochází samozřejmě při uplatnění nejvyšších strukturních změn i nejvyšších rychlostí ochlazování. Vznik vnitřních napětí a deformací v kalených výrobcích závisí při ohřevu především na:

- druhu a vlastnostech oceli,
- podmínkách austenitizace,
- podmínkách kalení,

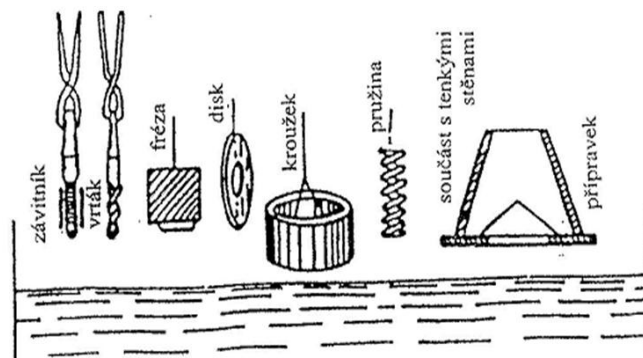
- velikosti a tvaru výrobku.

Vnitřní napětí u oceli se zvětšuje když:

- se zmenšuje tepelná vodivost,
- se zvětšuje tepelná roztažnost,
- se zmenšuje prokalitelnost a tvárnost,
- jsou větší objemové změny při tvoření martenzitu,
- velikostí nedokonalé austenitizace a nerovnoměrnému prohřátí výrobku.

Také vzrůstá, pokud se zvětšuje rozdíl teplot mezi kalenou součástí a kalicím prostředím a zvyšuje-li se rychlost ochlazování v kalicím prostředí. Značný vliv na velikost deformací má sám způsob kalení. Obecně je nutno při ponořování do kalicí lázně dodržet následující zásady (obr.2-4):

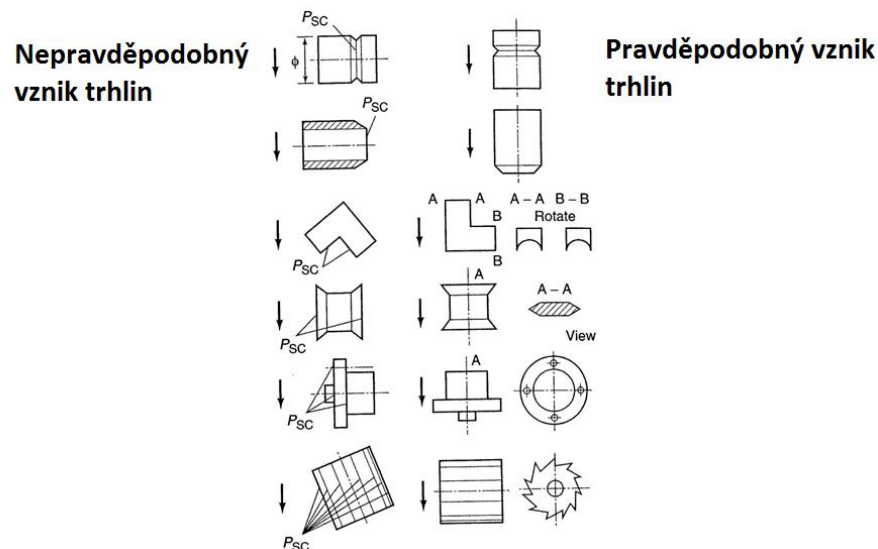
- výrobky, které nemají stejnou tloušťku, musí být ponořovány nejprve hmotnější částí,
- výrobky s neprůchodnými dutinami musí být ponořovány tak, aby otevřená strana dutiny byla směrem nahoru a umožnila odcházení par,
- tenké ploché výrobky, které mají tvar disku, je nutno ponořovat hranou,
- tenkostěnné prstence se musí ponořovat tak, aby jejich tvořící přímka měla svislou polohu, dlouhé výrobky je nutno ponořovat svisle. [7]



**Obr. 2-4:** Doporučené způsoby ponořování dílců do kalicích lázní s ohledem na minimalizaci napětí při kalení [7]

Na obr. 2-5 jsou pro různé součásti vyobrazeny dva způsoby ponoření. Při prvním způsobu ponoření je vznik trhlin nepravděpodobný, ale u druhého způsobu je pravděpodobnost výskytu trhlin vysoká. Tyto poznatky vycházejí z dlouhodobých zkušeností.

Pro konzistentní výsledky procesu kalení hmotných a nahusto rozložených vsázek je nutno použít sofistikovanou kalicí soustavu s odpovídajícím objemem. Doporučovaný poměr mezi objemem kalicího tanku v  $m^3$  a hmotností vsázky v  $t$  je v rozmezí 8-10 : 1. [4]



**Obr. 2-5:** *Vhodné a nevhodné způsoby a směry ponořování ohřátých součástí do kapalného kalicího média [4]*

Podstatný vliv na velikost vnitřních napětí a tím na velikost deformací nebo až vznik trhlin má tvar a rozměr kalených výrobků. Se zvětšujícím se rozměrem se zvětšují rozdíly teplot na povrchu a v jádře. Rozdílné průřezy, náhlé přechody, ostré hrany, rohy a otvory jsou nevhodné pro kalení a zvětšují náchylnost ke koncentraci deformací a vzniku trhlin.

Obvyklé tvarové a rozměrové změny po tepelném zpracování se odstraňují obráběním (broušením). V některých případech lze deformace odstranit rovnáním, jindy je nutno výrobek překalit (před zakalením je nutno součást vyžítat a vyrovnat). Rovnání se provádí za studena nebo za tepla. Rovnací operace jsou náročné nejen z hlediska pracnosti a s tím spojených nákladů, ale i z hlediska možnosti porušení rovnaného výrobku.

Pro rovnání je možno použít rovnacích lisů, nebo je rovnání možno uskutečnit prodlužováním zkrácených vláken plastickou deformací údery kladiva. Efektivní metody rovnání používají místního (lokálního) ohřevu. Jako zdroje tepla se používá ohřev kyslíko-acetylenovým plamenem, odporový nebo indukční ohřev. V průběhu ochlazování dochází k dalšímu snižování zbytkových napětí vlivem smršťování ohřátého místa. [7]

### 2.3. Ochlazovací média při procesu CHTZ – kalicí prostředí

Při tepelném zpracování má správná volba kalicího prostředí rozhodující vliv na jakost výrobků.

Pro oceli, u kterých je kritická rychlost vysoká (uhlíkové oceli), se používá intenzivně působících prostředí, jako je voda nebo vodní roztoky. U ocelí, u nichž je kritická rychlost nízká (legované oceli) postačí, když bude působit mírnější prostředí, např. olej nebo vzduch. Na volbu kalicího prostředí má kromě oceli vliv také velikost a tvar výrobku, který chceme tepelně zpracovat. Pro prostředí s vyšší ochlazovací intenzitou se u téže oceli použije v případě, kdy vzrůstá velikost průřezu. Příliš velká rychlost ochlazování není žádoucí. Mezi povrchem a jádrem součásti během ochlazování vzniká velký rozdíl teplot, který je příčinou strukturních a tepelných napětí vedoucích k deformaci nebo až k praskání kaleného výrobku.

Kalicím prostředím, které nejintenzivněji působí na tepelný pochod, je voda. Její výhodou je vysoká ochlazovací účinnost za teplot v oblasti perlitické přeměny. Nevýhodou je značná ochlazovací intenzita i za teplot martenzitické přeměny. To má pak za následek vznik dalších vnitřních napětí. Ochlazovací účinek vody se zvýší pomocí cirkulace lázně

nebo vhodnými přísadami, které zmenšují stabilitu parního polštáře (soli, kyseliny, hydroxidy). Do vody se kalí převážně výrobky z uhlíkových a nízkolegovaných ocelí.

Ochlazování do oleje probíhá, obdobně jako ve vodě, převážně odpařováním. Vzhledem k tomu, že oleje mají proti vodě větší viskozitu a malou měrnou tepelnou kapacitu, je rychlost ochlazování značně nižší než ve vodě. Příznivá je zejména intenzita ochlazování v oblasti martenzitické přeměny, která je vůči vodě nižší. Důsledkem nižší intenzity ochlazování jsou menší vnitřní napětí (i u tvarově složitých součástí) a tím i menší výsledné deformace. Do oleje se obvykle kalí legované oceli.

Vysokolegované oceli s velmi nízkou kritickou rychlostí se dají zakalit ochlazováním na klidném vzduchu nebo v proudu vzduchu. Oceli kalitelné vzduchem jsou označovány jako samokalitelné a vzniklé deformace jsou u nich minimální. [8]

### 3. VÝBĚR VHODNÉHO KALICÍHO MÉDIA PO CEMENTACI

Nežádoucí efekty jako je například nehomogenní struktura, zbytková napětí, oduhličení nebo růst zrna nemohou být odstraněny během procesu kalení nebo jeho pomocí. Proto je třeba kalení navrhnout tak, aby pokud možno nedocházelo k dalšímu zhoršení kvality materiálu a jeho mikrostruktury. Je nutno zvolit nejen vhodné kalicí médium, ale i jeho teplotu, konfiguraci vsázky a rychlost proudění či víření.

Optimální rychlost kalení závisí na třídě oceli, geometrii a rozměrech součásti a požadovaných mechanických vlastnostech. Kalení, ať už je rychlé či pomalé, musí vždy proběhnout rovnoměrně.

Nejpoužívanějším kalicím médiem jsou v současnosti oleje. Ty mohou být:

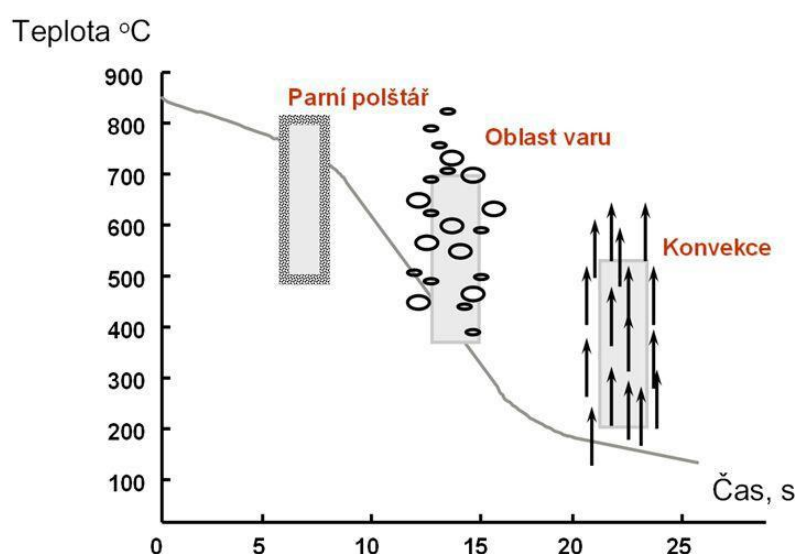
- minerální,
- polosyntetické,
- syntetické,
- živočišné,
- rostlinné. [9]

Oleje používané pro kalení lze vybírat dle jejich ochlazovací charakteristiky. Ochlazovací charakteristiku olejů lze popsat třemi fázemi (obr 3-1, obr 3-2).

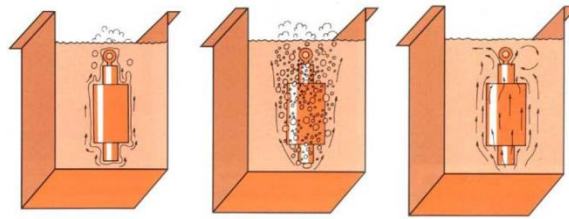
**První fáze** - období stabilního parního polštáře je většinou krátká, protože bod varu je relativně vysoký. Ochlazování kalených dílců se děje sáláním přes parní obal, jehož vodivost je velmi malá a tudíž i účinek chlazení je v této fázi malý.

**Druhá fáze** - ochlazovaný dílec přichází do přímého styku s olejem. Na povrchu kaleného dílce dochází k prudkému varu kapaliny a pára v podobě bublinek je odnášena prouděním kapaliny. Nízká viskozita teplého oleje umožňuje jeho dobrou cirkulaci podél povrchu kaleného předmětu. Je to nejrychlejší fáze ochlazování.

**Třetí fázi** - ochlazování vedením tepla (konvekce). Při této fázi je odvod tepla pomalý, závislý na viskozitě, tepelné vodivosti oleje a na mechanicky vyvolaném pohybu oleje - víření. Je to fáze nejpomalejší.

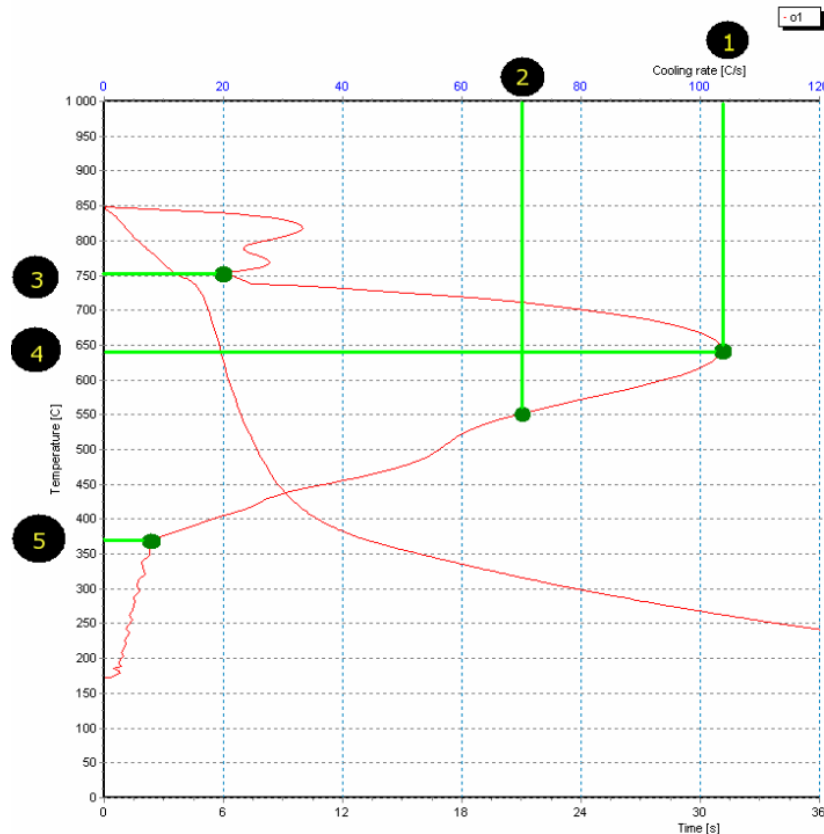


Obr. 3-1: Zobrazení jednotlivých fází průběhu při kalení [20]



**Obr. 3-2:** Zobrazení jednotlivých fází průběhu při kalení [20]

Posouzení vhodnosti použití kalícího oleje vychází z kalicí křivky, která udává rychlost ochlazování v závislosti na teplotě.



**Obr. 3-3:** Ochlazovací křivka s vyznačenými limitními body [20]

Vysvětlivky k jednotlivým bodům kalicí křivky na obr. 3-3:

- 1:  $CR_{max}$ : Maximální ochlazovací rychlost. Nejvyšší intenzita ochlazování. Poměrně dobře vyjadřuje celkovou ochlazovací intenzitu oleje. Vyšší  $CR_{max}$  znamená vyšší schopnost prokalení, ale i vznik trhlin.
- 2:  $CR_{550}$ : Ochlazovací rychlost při teplotě 550 °C.
- 3:  $T_{vp}$ : Teplota konce parní fáze. Nad touto teplotou je jen parní fáze, funkční povrch součásti je obklopen pouze plynným obalem. Pod touto teplotou probíhá přechodová fáze (fáze varu) kdy kapalný olej přijde do kontaktu s povrchem a intenzivně se vaří.
- 4:  $TCR_{max}$ : Teplota maximální ochlazovací rychlosti. Nachází se v přechodové fázi. Teplota, při které je nejvyšší intenzita ochlazování.
- 5:  $T_{cp}$ : Konec přechodové fáze. Nad touto teplotou je přechodová fáze. Pod touto teplotou je konvekční fáze – teplo je odváděno jen kapalnou fází, již nedochází k varu.

Pro porovnání jednotlivých kalících olejů byla zvolena tato kritéria:

- Maximální ochlazovací rychlost musí zaručit dostatečné prokalení dílce, ale nesmí být extrémně vysoká, aby na dílcích nevznikali trhliny.
- Krátká fáze parního polštáře a rychlý nástup přechodové fáze varu s intenzivním a přitom rovnoměrným odběrem tepla.
- Dostatečně nízká viskozita oleje, která zaručí, že olej dobře stéká z povrchu a výnosy oleje na dílcích jsou minimální. Viskozita, ale nemůže být extrémně nízká, aby nedocházelo ke ztrátám oleje odparem.
- Životnost olejové náplně po dobu 10 let.
- Reference výrobce oleje na kalení velkých ozubených kol, spojená s řešením deformací ozubených kol. [20]

### 3.2. Výběr kalících médií a měření jejich charakteristik

**Živočišné a rostlinné oleje** vykazují špatnou odolnost vůči teplotní či oxidační zátěži, proto se téměř nepoužívají. **Syntetické oleje** se vyznačují vysokou teplotní stabilitou a nízkou hořlavostí, ale jejich složení zvyšuje jejich cenu. Proto jsou syntetické oleje používány pouze ve speciálních případech, jako je kalení velkých hřídelů nebo součástí větrných turbín. Nejrozšířenější použití tedy mají **oleje minerální a polosyntetické** kvůli jejich všestrannosti vzhledem ke třídám ocelí, zařízení pro tepelné zpracování a také vzhledem k jejich prakticky nekonečné životnosti.

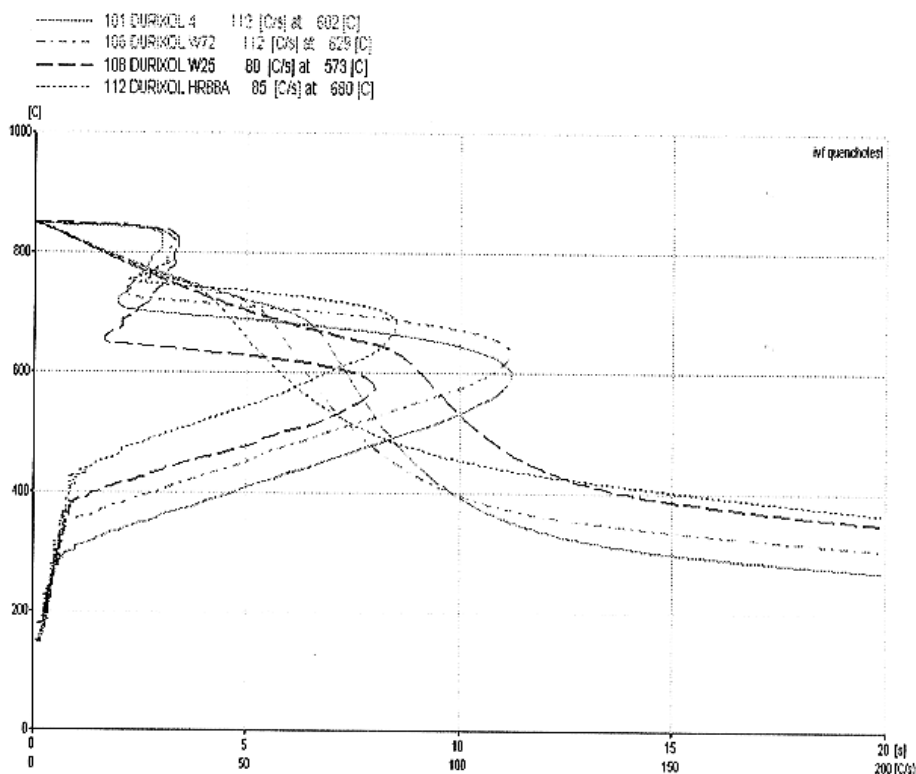
Ochlazovací efekt vykazuje tři rozdílné fáze s různými ochlazovacími rychlostmi:

- 1) fáze parního polštáře,
- 2) fáze varu,
- 3) fáze čisté konvekce.

Hlavní charakteristikou olejů je skutečnost, že maximální rychlost ochlazování se pohybuje v rozmezí teplot součásti 600°C a 300°C, čímž je zabráněno vzniku nežádoucích struktur, jako je ferit, perlit a bainit.

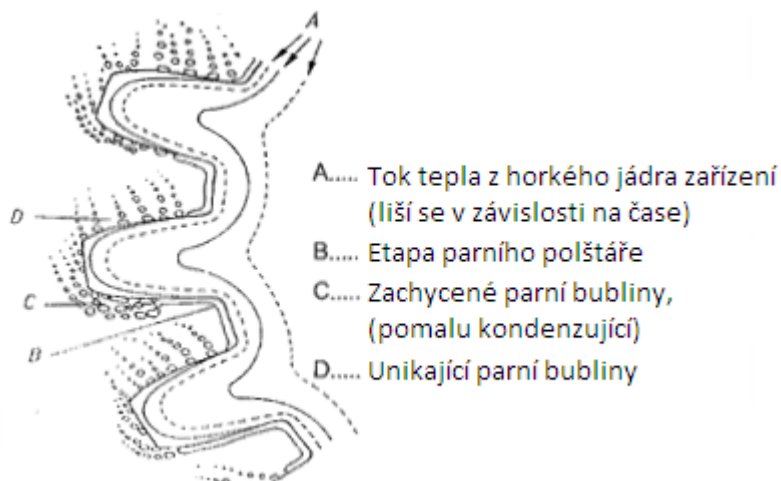
Druhou výhodou je, že pod teplotou 300°C oleje vykazují nízké ochlazovací rychlosti, což vede ke snížení vnitřních prnutí způsobených vznikem martenzitu a teplotních změn.

Na obr. 3-4 jsou znázorněny ochlazovací křivky vysokovýkonných kalících olejů. Teplota, při které dochází k nejintenzivnějšímu ochlazování, záleží na složení oleje.



**Obr. 3-4:** Ochlazovací křivky vysokovýkonných kalicích olejů podle ISO 9950, měřeno na válcové sondě  $\varnothing 12,5 \times 60 \text{ mm}$  z INCONELu 600 [9]

Ochlazování součásti ve třech etapách uvedených výše není příliš rovnoměrné. Protože začátek i konec každé ze tří etap není závislý jen na druhu kalicího média, ale také na lokální rychlosti proudění, teplotě média, geometrie součásti, povrchové drsnosti výrobku, atd. Toto je schematicky znázorněno na obr. 3-5, ze kterého je zřejmé, že zatímco hlava a boky zubů jsou rychle ochlazovány fází varu, paty zubů jsou stále v oblasti parního polštáře a ochlazují se pomalu. To může být důvodem podstatných rozdílů ve vytvrzení a deformaci.

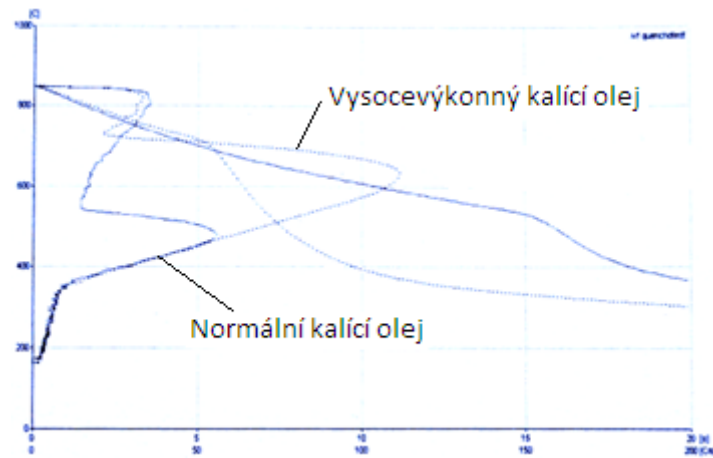


**Obr. 3-5:** Zachycení par na ozubení při kalení v oleji [9]

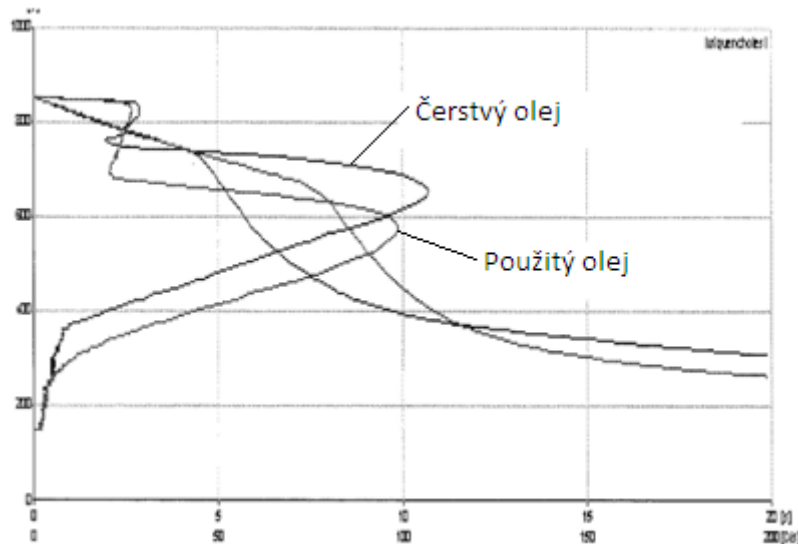
Za účelem minimalizace těchto jevů je vhodné používat vysokovýkonné stabilní kalicí oleje se speciálními aditivami zkracujícími etapu parního polštáře, které, mají téměř neomezenou životnost. Použití méně stabilních olejů vede k jejich postupné degradaci a změně



kalicí schopnosti během používání. Rozdíl mezi ochlazovací křivkou vysokovýkonného kalicího oleje a normálního oleje je na obr. 3-6. Rozdíl mezi ochlazovací křivkou nového a použitého standardního oleje je na obr. 3-7. [9]



**Obr. 3-6:** Ochlazovací charakteristiky vysokovýkonného kalicího oleje a normálního oleje [9]

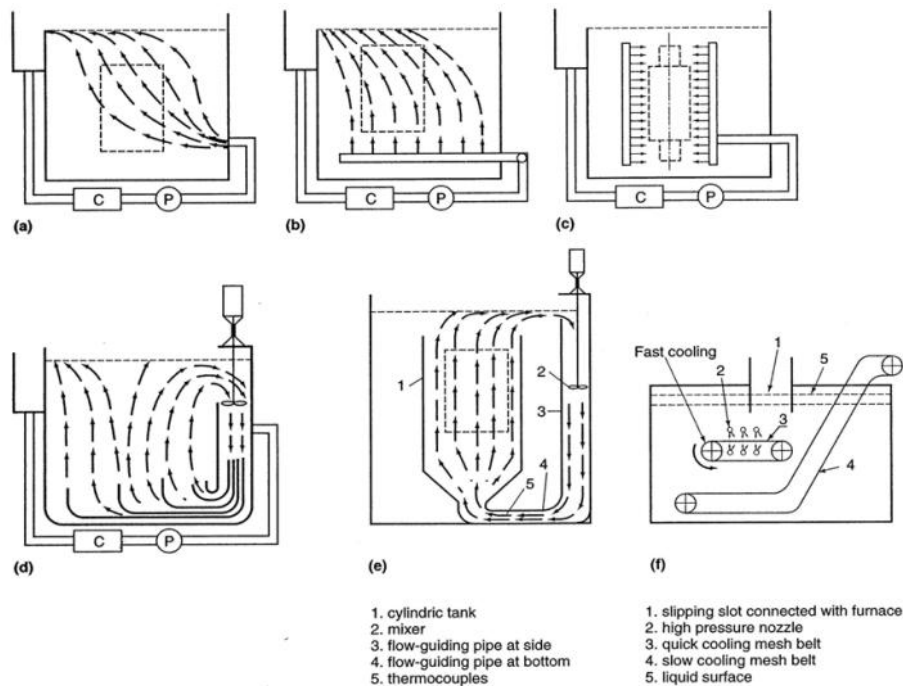


**Obr. 3-7:** Ochlazovací křivky čerstvého a používaného standardního oleje [9]

Složení kalických olejů a jejich mocnost při ochlazování jsou předmětem neustálého vývoje. Vylepšování samotných olejů nestačí, je potřeba modernizovat a vyvíjet i kalicí zařízení.

## 4. POPIS VLIVU PROUDĚNÍ KALICÍHO MÉDIA NA DEFORMACE BĚHEM CHTZ

Jelikož jsou deformace silně ovlivněny rovnoměrností a intenzitou ochlazování, bývá vhodné rychlost ochlazování urychlit vynuceným prouděním (např. mícháním v lázni či otryskáváním v lázni). Na obr. 4-1 jsou schematicky znázorněny některá provedení tohoto vynuceného proudění.



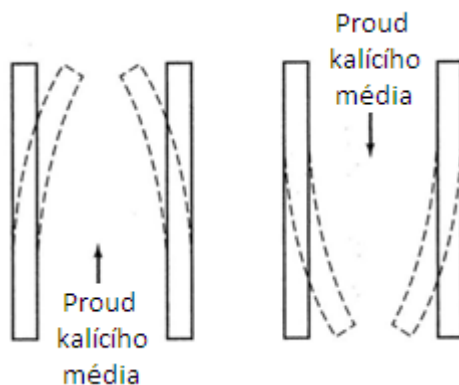
**Obr. 4-1:** *Metody a způsoby víření oleje v lázni, symetričnost a nesymetričnost proudění [4]*

Při kalení kapalným nebo plynným médiem může dojít k nerovnoměrnému ochlazení z důvodu nestejného přestupu tepla v různých místech vsázky. Kromě rozdílů v proudění média mezi součástmi je další příčinou i geometrie a rozdíly ve velikosti součástí nebo jejich částí. Počátek deformace součásti během kalení závisí na teplotních a transformačních napětích, které vedou k plastické deformaci. [10]

### 4.2. Určení vhodného typu a rychlosti proudění kalícího média

Optimální rychlost kalení závisí na třídě oceli, geometrii a rozměrech součásti a požadovaných mechanických vlastnostech. Kalení, ať už je rychlé či pomalé, musí vždy proběhnout rovnoměrně.

Na obr. 4-2 je zobrazena závislost deformací uvedeného tvaru součásti na směru proudění kalícího média, kde je patrné, že vzdálenější část výrobku se smršťuje.



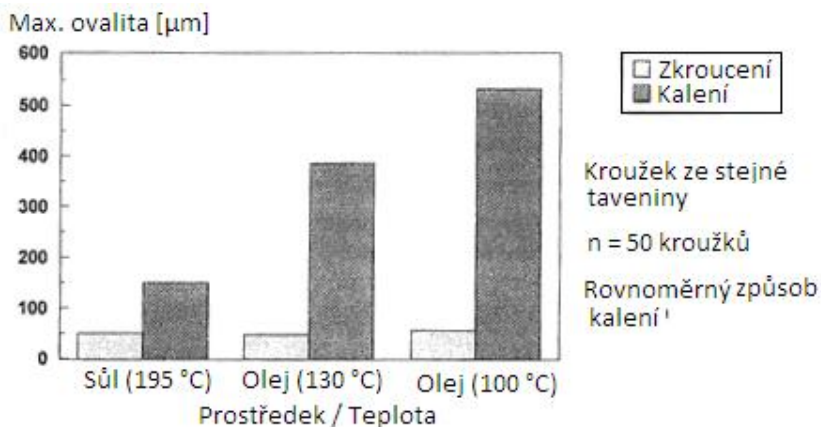
**Obr. 4-2:** Vliv proudění kalícího média na deformaci [4]

Vliv proudění na deformace jak náběžné tak i odtokové hrany daného typu kola je na obr. 4-3. S rostoucí rychlostí proudění oleje se zvyšuje odchylka sklonu zubů náběžné hrany. Naopak deformace odtokové hrany zubu s rostoucí rychlostí proudění klesá. [6]



**Obr. 4-3:** Vliv proudění oleje na odchylku sklonu zubů [6]

Z obr. 4-4 je patrný vliv volby kalícího prostředí a jeho teploty na deformaci. V tomto případě se jedná o ovalitu dosaženou po kalení kroužků ze stejné taveniny do soli a oleje o teplotách 130 °C a 100 °C. Nejpříznivěji se zde projevuje kalení do soli o teplotě 195 °C. [11]



**Obr. 4-4:** Vliv kalícího prostředí na maximální dosaženou ovalitu [11]

#### **4.2.1. Příklady výzkumů různých způsobů kalení na konkrétních součástech v praxi**

Vlivy proudění oleje byly sledovány např. na kolech hnaného kola převodovky. Byly sledovány různé typy kalících olejů, rychlosti proudění oleje v kalící lázni, konstrukční úpravy lázně, různá umístění kol na přípravku ve vsázce a teploty oleje kalící lázně. V práci bylo zjištěno, že s rostoucí rychlostí ochlazování se zvyšuje deformace kroužků o průměru 132 mm s otvorem 44 a tloušťkou 22 mm. Deformace je závislá rovněž na prokalitelnosti. Pokud je součást neprokalena, je vliv prokalitelnosti na tvarové a rozměrové změny velký. Pokud je součást prokalena, vliv prokalitelnosti klesá. [12]

Byly také srovnávány tvarové a rozměrové změny ozubených kol z oceli 42CrMo4. Bylo zjištěno, že kalení do polymeru způsobuje větší nárůst vnitřního průměru kol o průměru 390 x 125 a výšce 103 mm. Rozptyl změn průměru je však při kalení do polymeru menší. [13]

Při analýze na kroužcích synchronizace 84 x 75 x 15 mm z materiálu 16MnCr5 nebyl nalezen moc velký rozdíl v kruhovitosti při kalení do oleje a kalení v přetlakovém dusíku při 18 bar, ale při přetlakovém kalení nastal menší rozptyl hodnot u kruhovitosti. [14]

Zajímavé jsou rovněž zkušenosti některých autorů, kteří uvádějí, že zakřivení trubek při kalení do vody je výrazně větší při pomalém ponořování, než při ponořování rychlým (u nerezové austenitické korozivzdorné oceli). Tato zkušenost se zdá logická, protože rychlé ponoření trubek odpovídá v rovnoměrnější ochlazování na rozdíl od ponoření pomalého.

Byly také sledovány deformace hřídelů, ozubených kol a objímek z cementační oceli, které byly cementovány a kaleny v oleji a tlaku 10 – 20 bar dusíku. Rovinnost ozubených kol a přímost hřídelů byla lepší při kalení v plynu, naopak deformace kruhovitosti a geometrie zubů se s kalením v oleji po kalení v přetlakovém plynu zvýšila. [15]

Lze tedy říci, že nelze udělat jednoznačný závěr a posouzení je nutné provést pro konkrétní výrobek a pro konkrétní způsob tepelného zpracování.

## 5. URČENÍ VHODNÉ TEPLoty KALÍCIHO MÉDIA

Teplota kalícího média výrazně neovlivní intenzitu ochlazování vpuštěné vsázky do lázně. Ochlazovací rychlost olejů se zvyšuje se snižující se viskozitou, která se mění s teplotou. V praxi u „studených“ olejů se používá teplota 50 až 80 °C a to z důvodu redukce distorzí. Výrazné ovlivnění rychlosti ochlazování způsobí způsob a rychlost víření, které umožňuje průběžné odstranění části horkého oleje od součásti. Je proto snaha udržovat vyrovnanou teplotu v celé lázni, aby se předešlo náhlému vzplanutí oleje. Někdy se pro intenzivnější narušení parního polštáře využívá i ultrazvuk. [16]

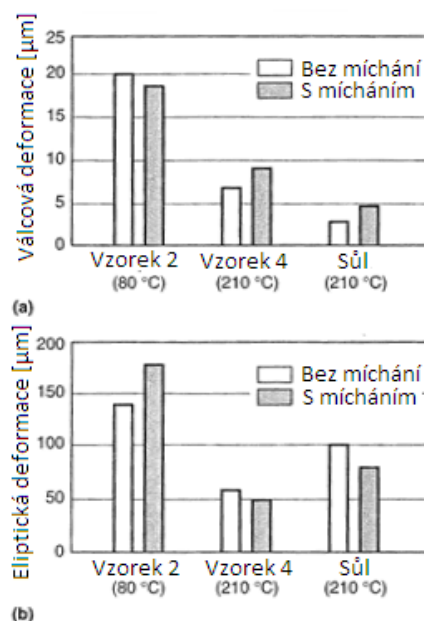
Deformace (odchylky sklonu zubu) mohou být ovlivněny nejen teplotou, ale také snížením tlaku nad kalícím olejem na 500 – 100 torr při 200 °C. [17]

Z důvodu udržení rovnoměrného rozložení teplot kalící lázně ihned po a během kalení je nutno instalovat účinný systém ochlazování oleje zabraňující zvýšení teplot o více než 20 – 25°C. Pro splnění těchto podmínek je účelné zajistit turbulentní proudění média. Hlavní proud oleje by měl směřovat vzhůru. [9]

Lehčí ohřátý olej dosáhne povrchu a z něj by měl být odstraněn protiproudem z boku. Následně projde skrze ochlazovací aparaturu a je znovu uveden do oběhu. Dostatečná vzdálenost mezi horním povrchem vsázky a hladinou oleje předchází přehřátí oleje a s tím souvisejícím nerovnoměrnostem a i možnému vzplanutí. V případě integrovaných kalících pecí o střední velikosti by měla být tato vzdálenost alespoň 250mm. Teplota oleje by měla být přizpůsobena typu součásti a pokud možno konfiguraci vsázky. [18]

Nově vyvinuté kalící lázně nabízejí rovnoměrnější a silnější rychlosti proudu oleje díky silnějším pumpám a zdokonaleným lopatkám oběžných kol. Optimálně jsou pak úhly lopatek nastavitelné a je tak možno měnit rychlost proudu během kalení anebo ještě lépe měnit ho pomocí frekvenčních měničů.

Na obr. 5-1 jsou výsledky srovnání deformace válcovitých součástí při různých teplotách oleje a proudění. Je zřejmé, že vliv proudění kalícího média na deformace není rozhodující sám o sobě, ale je podmíněn teplotou kalícího prostředku (oleje), jeho druhem (u solných lázní) a také geometrií součástí a sledovaným rozměrovým parametrem. [6]



Obr. 5-1: Vliv proudění na deformace výrobků [6]

## 6. Experimentální část

V experimentální části diplomové práce je popsán způsob a vyhodnocení proměření rychlostí v reálných lázních. Následně je zde vyhodnocen vliv rozdílných parametrů kalicího média na deformace u reálných dílců ozubených kol po CHTZ.

V dalších kapitolách je uveden popis konstrukčního řešení stavby experimentálního zařízení. Experimentální zařízení bylo sestaveno pro zjišťování vlivu teploty a různých rychlostí kalicího oleje na ochlazovací křivky pomocí ivf Quench testu. Dále zařízení sloužilo pro vyhodnocení struktur a průběhu tvrdosti u předem upravených vzorků pro tento účel, které byly v tomto experimentálním zařízení kaleny.

## 7. PROMĚŘENÍ RŮZNÝCH RYCHLOSTÍ PROUDĚNÍ V URČITÝCH MÍSTECH REÁLNÉ OLEJOVÉ LÁZNĚ

V této kapitole je popsáno měření různých rychlostí proudění kalícího oleje v reálných lázních ve firmě Wikov MGI a.s.. Měření bylo provedeno ve spolupráci s firmou Ecosond s.r.o., která poskytla měřící zařízení a důležité informace. V proměřovaných lázních byly zpracovány i vsázky s ozubenými koly, které prošly kompletním procesem CHTZ a následně byl u nich zjišťován vliv na deformace po kalení za rozdílných podmínek proudění kalícího média.

Byly proměřeny 2 lázně (malá a velká) různými metodami. Lázně mají odstupňované rychlostní stupně označené 1, 2, 3 a 4.

### 7.1. Způsob měření rychlosti proudění

K měření rychlosti proudění bylo použito čidlo SEAMETRICS 81 (obr. 7-1), které bylo upevněno ve vodorovné pozici ke svislé tyči zavěšené na transportním jeřábu pro lepší manipulaci a větší stabilitě pohybu při samotném měření.



Obr. 7-1: Tvar a konstrukce čidla SEAMETRICS 81 [21]

Měřící člen čidla má tvar lopatkového kola a čidlo je konstruované pro měření rychlosti proudění v jedné ose. Specifikace rychlostního čidla je v tab. 7-1. Kromě jednoho měření bylo čidlo používáno při svislé (vertikální) orientaci proudění. Výjimkou bylo měření zvané měření prstence, popsané v kapitole 7.2.1.

| Specifikace měřícího čidla – SEAMETRICS 81 |              |                          |
|--|--------------|--------------------------|
| Materiál                                   | Tělísko:     | 316 SS                   |
|  | Hřídel:      | Niklovaný slinutý karbid |
|  | Ložisko:     | Rubín                    |
|  | O-kroužek:   | EPDM                     |
| Měřící rozsah                              | 0,1 – 10 m/s |                          |
| Přesnost                                   | +/- 1.5%     |                          |

Tab. 7-1: Specifikace měřícího čidla [21]

Čidlo ukazuje frekvenci otáčení kola a tato je pak přepočítávána na absolutní hodnotu rychlosti v dané ose, ale směr z měření patrný není. Proto uvažujeme, že měřená rychlost čidlem se rovná průměru rychlostí proudění obecného směru do měřeného vektoru.

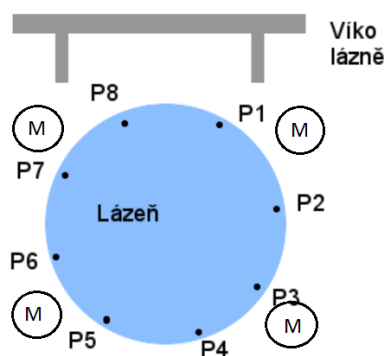
Každý měřený bod (poloha, rychlostní stupeň lázně, orientace čidla) byl měřen určitou dobu. Jako výsledná rychlost je použit aritmetický průměr čtených a zapisovaných hodnot v pravidelném časovém intervalu.

## 7.2. Měření ve velké lázni (80 m<sup>3</sup>)

„Velká lázeň“ je lázeň nového zařízení IVA o nominálním objemu 80 m<sup>3</sup> uvedenou do provozu v březnu roku 2012. Použitý olej v této lázni je DURIXOL W72. Pro měření byla teplota lázně nastavena na 50 °C, která se používá i při běžném provozu. Měření bylo provedeno systémem prstence a excentrickým způsobem.

### 7.2.1. Měření prstence

V místě u hladiny olejové lázně u obvodové stěny byla v 8 bodech lázně měřena rychlost ve všech třech osách (vertikální, odstředivá/dostředivá, tečná). Tyto body jsou nazývány P1, P2,...,P8. Umístění těchto bodů v lázni je schematicky znázorněno na obr. 7-2. Hloubka měření byla 15 cm od hladiny oleje a vzdálenost čidla od stěny byla 30 cm. Rychlostní stupeň lázně byl nastaven 3.



**Obr. 7-2:** Schematické znázornění značení měřených bodů při „měření prstence“ (pohled zhora na lázeň) [23]

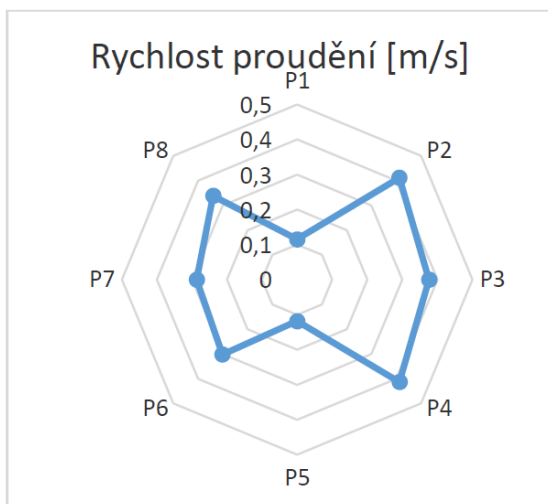
#### Výsledky měření metodou prstence

Dva body s nejnižšími naměřenými rychlostmi leží proti sobě (obr. 7-3). Směr rychlosti u povrchu byl blízký vodorovnému (tab. 7-2 a obr. 7-4) a téměř výhradně v ose od/do středu. Výsledek tohoto měření odpovídá faktu, že na horním okraji lázně je odtok přepadem.

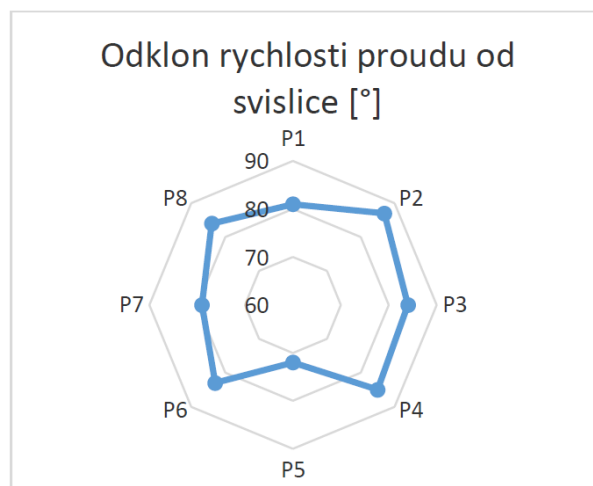
| Pozice | Celková rychlost [m/s] | Odklon úhlu od svislice [°] |
|--------|------------------------|-----------------------------|
| P1     | 0,12                   | 81                          |
| P2     | 0,41                   | 87                          |
| P3     | 0,38                   | 84                          |
| P4     | 0,41                   | 85                          |
| P5     | 0,12                   | 72                          |
| P6     | 0,30                   | 83                          |
| P7     | 0,29                   | 79                          |
| P8     | 0,34                   | 84                          |

**Tab. 7-2:** Výsledky celkové vypočtené rychlosti a odklonu vektoru rychlosti od svislice [23]





Obr. 7-3: Grafické znázornění výsledků měření rychlosti proudění [23]



Obr. 7-4: Grafické znázornění výsledků odklonu vektoru proudu od svislice [23]

### 7.2.2. Měření excentrické

Při této metodě byla měřena jen rychlost vertikálního směru čidla a to v hloubkách 800, 1600, 2400 a 2800 mm při rychlostním stupni 1, 2, 3 a 4. Vzhledem k ose lázně se čidlo umísťovalo do osy, v polovině poloměru a k obvodové stěně lázně. Rovina měření se nacházela mezi středem a bodem P1 (obr. 7-2).

#### Výsledky měření excentrickou metodou

Při kalení do velké lázně se používá rychlostní stupeň 2 a pracovní objem se nachází přibližně v rozsahu hloubek 800 – 2400 mm. Z tab. 7-3 je patrné, že za těchto podmínek je v pozicích v ose a v polovině poloměru rychlost v mezích 0,24 – 0,39 m/s. Takto úzké rozmezí rychlostí je pro kalení přijatelné. Mimo tuto oblast jsou rychlosti zpravidla nižší.

|                   |    | Rychlost [m/s]      |      |      |      |      |
|-------------------|----|---------------------|------|------|------|------|
|                   |    | Hloubka [mm]        |      |      |      |      |
|                   |    | Pozice              | 800  | 1600 | 2400 | 2800 |
| Rychlostní stupeň | R1 | V ose               | 0,19 | 0,22 | 0,19 | 0,19 |
|                   |    | V polovině poloměru | 0,14 | 0,14 | 0,07 | 0,00 |
|                   |    | U stěny             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
|                   | R2 | V ose               | 0,36 | 0,39 | 0,38 | 0,37 |
|                   |    | V polovině poloměru | 0,29 | 0,31 | 0,24 | 0,00 |
|                   |    | U stěny             | 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
|                   | R3 | V ose               | 0,62 | 0,55 | 0,90 | 0,60 |
|                   |    | V polovině poloměru | 0,38 | 0,43 | 0,33 | 0,00 |
|                   |    | U stěny             | 0,26 | 0,02 | 0,00 | 0,00 |
|                   | R4 | V ose               | 0,70 | 0,77 | 0,78 | 0,82 |
|                   |    | V polovině poloměru | 0,54 | 0,51 | 0,33 | 0,00 |
|                   |    | U stěny             | 0,37 | 0,02 | 0,00 | 0,00 |

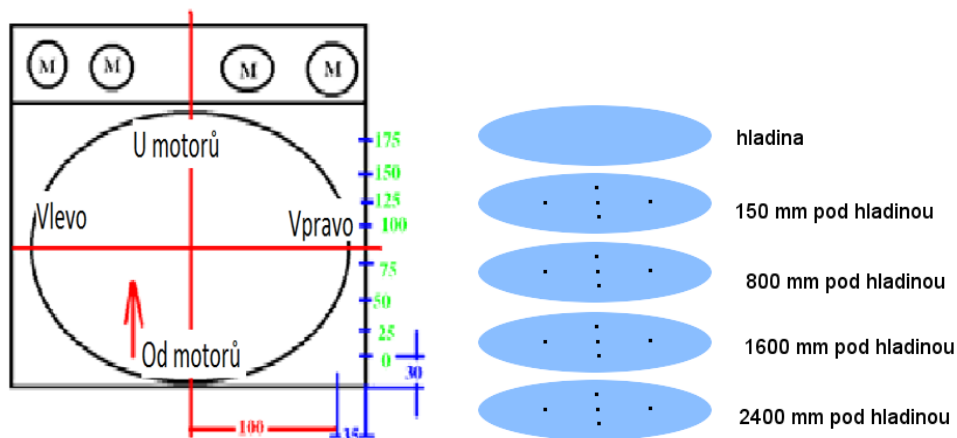
Tab. 7-3: Výsledky měření svislé rychlosti v závislosti na rychlostním stupni, vzdálenosti od středu a hloubce [23]

### 7.3. Měření v malé lázni (40 m<sup>3</sup>)

„Malá lázeň“ byla starší lázeň o nominálním objemu 40 m<sup>3</sup> plněnou v lednu 2012 olejem DURIXOL W72. Pro měření byla teplota lázně nastavena na 60 – 65 °C, která se používá i při běžném provozu. Měření bylo provedeno systémem křížů, sítě a linky.

#### 7.3.1. Měření metodou křížů

V každé hloubce bylo měřeno 5 bodů při rychlosti víření na rychlostním stupni 4. Měření probíhalo v hloubkách 150, 800, 1600 a 2400 mm vždy v ose nebo ve vzdálenosti poloviny poloměru od osy, orientace vlevo/vpravo je při pohledu na lázeň tak, že motory jsou až za lázní. Podrobné a názorné schéma je na obr. 7-5.



**Obr. 7-5:** Znárodnění značení měřených bodů při „měření křížů“ s ohledem na ilustraci hloubky [23]

#### Výsledky měření metodou křížů

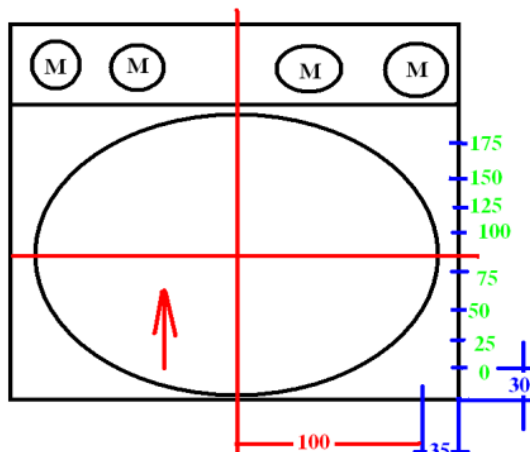
V tomto měření jsou výsledky velmi výrazně závislé na hloubce (tab. 7-4). V hloubkách 1600 a 2400 mm je víření kromě pravé strany velmi malé. V hloubce 800 mm je celková intenzita víření v měřených bodech nejvyšší a relativně rovnoměrné. V hloubce 150 mm je proudění málo intenzivní ve všech měřených bodech.

|              |      | Rychlost [m/s] |       |       |        |
|--------------|------|----------------|-------|-------|--------|
|              |      | Podélná pozice | Vlevo | Střed | Vpravo |
| Hloubka [mm] | 150  | U motorů       | -     | 0,03  | -      |
|              |      | Střed          | 0,04  | 0,11  | 0,13   |
|              |      | Od motorů      | -     | 0,03  | -      |
|              | 800  | U motorů       | -     | 0,27  | -      |
|              |      | Střed          | 0,44  | 0,14  | 0,43   |
|              |      | Od motorů      | -     | 0,06  | -      |
|              | 1600 | U motorů       | -     | 0,00  | -      |
|              |      | Střed          | 0,05  | 0,02  | 0,19   |
|              |      | Od motorů      | -     | 0,01  | -      |
|              | 2400 | U motorů       | -     | 0,00  | -      |
|              |      | Střed          | 0,05  | 0,02  | 0,19   |
|              |      | Od motorů      | -     | 0,01  | -      |

**Tab. 7-4:** Výsledky měření svislé rychlosti v závislosti na pozici ve všech třech osách [23]

### 7.3.2. Měření metodou sítě

Při měření způsobem sítě byla vytvořena orientační síť bodů při zvolené hloubce 1600 mm a rychlostním stupni 4. Hloubka měření byla zvolena jako přibližná hloubka středu vsázky. Podélný směr (osa: od motorů / k motorům) a příčný směr (osa: vlevo/vpravo) souřadnic je zobrazen na obr. 7-4.



**Obr. 7-6:** Půdorysové znázornění značení počátku souřadnic při „měření sítě“. Podélná délka a příčná šířka mají počátek v průniku vodorovné a svislé modré kóty [23]

#### Výsledky měření metodou sítě

Víření v malé lázni je velmi nerovnoměrné. V měřené hloubce jsou jen tři oblasti, kde je vertikální rychlost proudění vyšší než 0,05 m/s. Přehled oblastí je patrný z tab. 7-5. V některých místech je proud např. 0,5 m/s a v sousedním bodě čidlo nezaznamenalo žádný pohyb po dobu 1 minuty. Rychlost v jednom bodě je tedy menší než 1 % rychlosti v sousedním bodě vzdáleném 25 cm.

|                    |     | Rychlost [m/s]    |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|-----|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |     | Příčná šířka [cm] |      |      |      |      |      |      |      |
|                    |     | 0                 | 25   | 50   | 75   | 100  | 125  | 150  | 175  |
| Podélná délka [cm] | 0   | -                 | -    | -    | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -    | -    |
|                    | 25  | -                 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | -    |
|                    | 50  | 0,37              | 0,13 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,13 | 0,68 |
|                    | 75  | 0,02              | 0,13 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
|                    | 100 | 0,00              | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,35 | 0,33 | 0,00 | 0,00 |
|                    | 125 | 0,00              | 0,07 | 0,37 | 0,42 | 0,52 | 0,59 | 0,34 | 0,01 |
|                    | 150 | -                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -    |
|                    | 175 | -                 | -    | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -    | -    |

**Tab. 7-5:** Výsledky měření svislé rychlosti v závislosti na pozici v příčném a podélném směru v hloubce 1600 mm (rychlost je zobrazena barevným přechodem podbarvení každé buňky od bílé do tmavě modré) [23]

### 7.3.3. Měření metodou linky

Následovalo měření linky, tzn. jedné příčné řady (podélná délka byla rovna 125 cm), které probíhalo stejně jako „měření sítě“, jen s rozdílem, že nyní byl rychlostní stupeň nastaven na 3. Toto měření má za úkol ukázat porovnání rychlostí ve stejných bodech při rozdílném rychlostním stupni. Porovnání rychlostí bylo vyhodnoceno jako poměr průměrů rychlostí.

#### Výsledky měření metodou linky

Z tab. 7-6 je patrné, že při snížení rychlostního stupně ze 4. na 3. u této lázně poklesla rychlost v uzlových bodech linky cca o 21 %.

|                   |    | Rychlost [m/s]    |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|----|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   |    | Příčná šířka [cm] |      |      |      |      |      |      |      |
|                   |    | 0                 | 25   | 50   | 75   | 100  | 125  | 150  | 175  |
| Rychlostní stupeň | R3 | 0                 | 0,07 | 0,34 | 0,27 | 0,47 | 0,48 | 0,18 | 0,01 |
|                   | R4 | 0                 | 0,07 | 0,37 | 0,42 | 0,52 | 0,59 | 0,34 | 0,01 |

**Tab. 7-6:** Výsledky měření svíslé rychlosti v závislosti na pozici v příčném směru [23]

## 7.4. Závěr

Ve velké lázni lze v pracovním prostoru až do poloviny poloměru od osy pokládat víření za relativně rovnoměrné.

Víření v pracovním prostoru malé lázně je slabé a velmi nerovnoměrné.

Pro porovnání lázní se použilo excentrické měření pro velkou lázeň a měření sítě u malé lázně. Z tohoto porovnání bylo zjištěno, že ani při používání malé lázně na nejvyšším rychlostním stupni víření (4) se v celém prostoru vsázky nedosáhne stejné intenzity víření jako v pracovním prostoru velké lázně na rychlostním stupni 2.

Oblast v malé lázni, která by měla srovnatelné hodnoty víření jako velká lázeň v pracovním prostoru na rychlostním stupni 2, je jen velmi malá. Větší vsázka s nárokem na intenzivnější kalení proto musí být zpracovávána ve velké lázni.

## 8. PRAKTICKÉ ZKOUŠKY KALENÍ PŘI RŮZNÝCH REŽIMECH A PARAMETRECH OLEJE V REÁLNÝCH LÁZNÍCH A JEJICH VLIV NA VÝSLEDNOU STRUKTURU A DEFORMACE OZUBENÝCH KOL

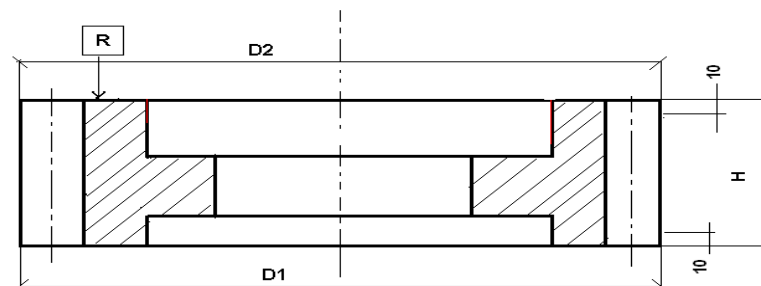
V této kapitole je popsáno ověření vlivu proudění kalicího média na deformace během CHTZ na reálných ozubených kolech. Bylo zpracováno celkem 105 ks ozubených kol v 5 vsázkách. Následně byly odebrány vzorky a vyhodnocena struktura a průběhy tvrdostí (přílohy č. 3-5). Všechna ozubená kola byla vyrobena z materiálu 18CrNiMo7-6. Výrobní výkres kol je v příloze č. 1.

### 8.1. Postup

Experiment byl založen na tom, že všechna ozubená kola (5 vsázek) proběhla stejným procesem cementace a ohřevem na kalící teplotu ve stejné peci se stejným způsobem uložení, pouze se měnil způsob ochlazování při kalení. Kola byla vždy proměřena před tepelným zpracováním a po tepelném zpracování. U kol se kontrolovaly rozměry dle obr. 8-1. Následně byla změřena povrchová tvrdost přímo na jednotlivých kolech a na provozních vzorcích vyhodnocena hloubka cementované vrstvy pomocí průběhu mikrotvrdosti a z naleptaného vzorku pořízeny fotografie struktur.

Pořadí způsobů kalení vsázek řazených dle čísel výrobních příkazů:

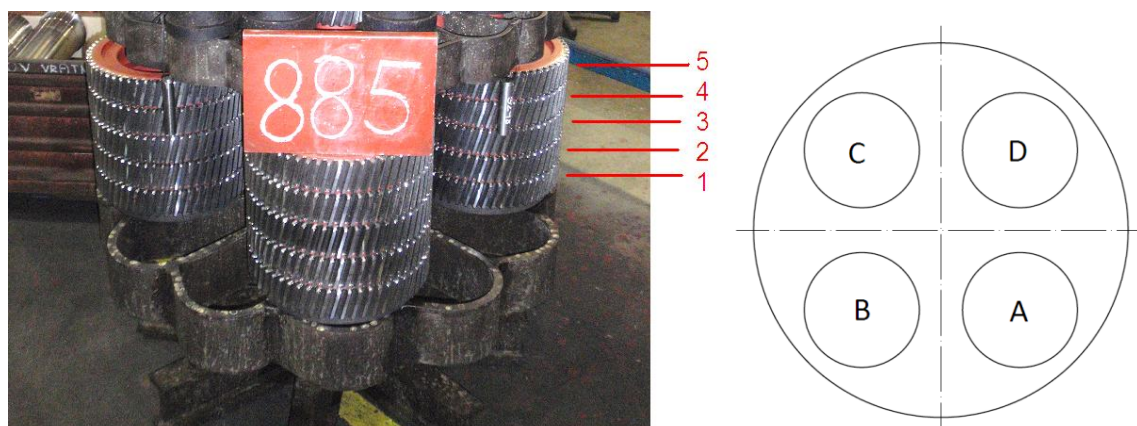
- 1) Kálení kol uložených dle schématu (obr. 8-2) v olejové lázni  $40\text{m}^3$  (malá lázeň) při nastavené rychlosti proudění na stupeň 3 (výrobní příkaz **V1216326**).
- 2) Kálení kol uložených dle schématu (obr. 8-2) v olejové lázni  $40\text{m}^3$  (malá lázeň) při nastavené rychlosti proudění na stupeň 4 (výrobní příkaz **V1216328**).
- 3) Kálení kol uložených dle schématu (obr. 8-2) v olejové lázni  $40\text{m}^3$  (malá lázeň) při nastavené rychlosti proudění na stupeň 2 (výrobní příkaz **V1303406**).
- 4) Kálení kol uložených dle schématu (obr. 8-2) v olejové lázni  $80\text{m}^3$  (velká lázeň) při nastavené rychlosti proudění na stupeň 3 (výrobní příkaz **V1305626**).
- 5) Kálení kol uložených dle schématu (obr. 8-2) v olejové lázni  $80\text{m}^3$  (velká lázeň) při nastavené rychlosti proudění na stupeň 2 (výrobní příkaz **V1305627**).



**Obr. 8-1:** Schéma měřených rozměrů ozubeného kola [24]

Všechna kola byla „šaržována“ stejným způsobem dle schématu (obr. 8-2) a výrobní čísla jednotlivých ozubených kol dle jejich umístění v sázce zapsána do tabulky (tab. 8-1), aby bylo snadné se zpětně lépe orientovat, kde jaké kolo bylo uloženo. Ozubená kola s výrobními čísly byla vždy orientována směrem od středu stojanu. Kola byla rovnána

na sebe vždy maximálně po 5 kusech pomocí podložek o rozměrech  $\varnothing 300 \times \varnothing 248 \times 35$  mm, které musely být rovné, příp. opracované.



**Obr. 8-2:** Fotografie a schéma způsobu šaržování kol na stojan

| Poloha | A   | B   | C   | D   |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 1      | 437 | 442 | 447 | 452 |
| 2      | 438 | 443 | 448 | 453 |
| 3      | 439 | 444 | 449 | 454 |
| 4      | 440 | 445 | 450 | 455 |
| 5      | 441 | 446 | 451 | 456 |

**Tab. 8-1:** Způsob zapisování umístění jednotlivých ozubených kol na stojan [24]

Všech 5 vsázek prošlo stejným procesem CHTZ jen s rozdílem parametrů kalicí lázně. Celý proces CHTZ se skládal z ohřevu na teplotu  $650^{\circ}\text{C}$  s výdrží 3 hodin na této teplotě, následného ohřevu na teplotu  $920^{\circ}\text{C}$  a výdrží 13 hodin, kde proběhl předdefinovaný proces cementace na hloubku 1,4 mm. Poté došlo k ochlazení na teplotu  $560^{\circ}\text{C}/2\text{hod.}$  a následný ohřev na kalicí teplotu  $850^{\circ}\text{C}$ , kde byla po 2 hodinách celá vsázka vytažena z pece a co nejrychleji vložena do kalicí lázně. Graf průběhu CHTZ jedné ze vsázek je v příloze č. 2.

## 8.2. Výsledky

Výsledné hodnoty měření rozměrů a odchylek před a po TZ a jejich rozdílů byly uspořádány do tab. 8-2 až 8-6. V tabulkách jsou červenou barvou zvýrazněné hodnoty překračující stanovená kritéria. Pomocí zvýraznění je z nich ihned patrný počet a velikost rozdílů hodnot mimo stanovený limit vzhledem k umístění kol na stojanu. Tyto tabulky jsou vloženy do hlavního textu této práce z důvodu větší přehlednosti a důležitosti v závislosti na zadání diplomové práce.

Povrchové tvrdosti téměř u všech vsázek se pohybovaly v rozmezí 59 - 60 HRC. Pouze v experimentu č. 3, kde byla nízká rychlost proudění kola, vykazovala kola povrchovou tvrdost o 1 HRC nižší.

Podrobný záznam výsledných hodnot povrchových tvrdostí, průběhů tvrdostí směrem od povrchu do jádra zubů s ověřením dosažené hloubky po cementaci a dosažených struktur jsou uvedeny v protokolových listech v přílohách č. 3, 4 a 5.



Naměřené hodnoty k experimentu č. 1

Příkaz: V1216326

Rychlost: 3

Teplota oleje: 60°C

Malá lázeň

Tavba: 21447

| poř. číslo | 397     |         | rozdíl | 416     |         | rozdíl | 398     |         | rozdíl | 404     |         | rozdíl | 400     |         | rozdíl |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|            | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| „R“        | 0,006   | 0,16    | 0,174  | 0,005   | 0,143   | 0,138  | 0,006   | 0,071   | 0,065  | 0,007   | 0,117   | 0,11   | 0,008   | 0,063   | 0,055  |
| „D1“       | 332,166 | 331,914 | -0,252 | 332,17  | 331,911 | -0,259 | 332,164 | 331,878 | -0,286 | 332,163 | 331,878 | -0,285 | 332,163 | 331,897 | -0,266 |
| „D2“       | 332,172 | 331,984 | -0,188 | 332,184 | 332,038 | -0,146 | 332,16  | 331,987 | -0,173 | 332,184 | 332,08  | -0,104 | 332,156 | 331,883 | -0,273 |
| „H“        | 56,248  | 56,231  | -0,017 | 56,254  | 56,227  | -0,027 | 56,245  | 56,225  | -0,02  | 56,25   | 56,229  | -0,021 | 56,244  | 56,236  | -0,008 |
| W1max      | 91,96   | 91,94   | -0,02  | 91,95   | 91,93   | -0,02  | 91,95   | 91,93   | -0,02  | 91,96   | 91,94   | -0,02  | 91,96   | 91,92   | -0,04  |
| W2min      | 91,776  | 91,776  | 0,000  | 91,95   | 91,93   | -0,02  | 91,95   | 91,93   | -0,02  | 91,96   | 91,94   | -0,02  | 91,96   | 91,9    | -0,06  |
| „D1“oval.  | 0,011   | 0,043   | 0,032  | 0,008   | 0,05    | 0,042  | 0,007   | 0,052   | 0,045  | 0,009   | 0,031   | 0,022  | 0,011   | 0,052   | 0,041  |
| „D2“oval.  | 0,019   | 0,084   | 0,065  | 0,008   | 0,052   | 0,044  | 0,006   | 0,057   | 0,051  | 0,006   | 0,068   | 0,062  | 0,007   | 0,053   | 0,046  |

| poř. číslo | 410     |         | rozdíl | 412     |         | rozdíl | 409     |         | rozdíl | 402     |         | rozdíl | 401     |         | rozdíl |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|            | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| „R“        | 0,006   | 0,094   | 0,088  | 0,008   | 0,056   | 0,048  | 0,015   | 0,034   | 0,019  | 0,009   | 0,035   | 0,026  | 0,005   | 0,013   | 0,008  |
| „D1“       | 332,171 | 331,888 | -0,283 | 332,164 | 331,913 | -0,251 | 332,175 | 331,923 | -0,252 | 332,168 | 331,917 | -0,251 | 332,179 | 331,963 | -0,216 |
| „D2“       | 332,175 | 331,943 | -0,232 | 332,15  | 331,943 | -0,206 | 332,15  | 331,931 | -0,219 | 332,179 | 331,983 | -0,196 | 332,171 | 331,89  | -0,281 |
| „H“        | 56,27   | 56,244  | -0,026 | 56,242  | 56,226  | -0,016 | 56,247  | 56,227  | -0,02  | 56,24   | 56,223  | -0,017 | 56,256  | 56,25   | -0,006 |
| W1max      | 91,95   | 91,92   | -0,03  | 91,97   | 91,95   | -0,02  | 91,95   | 91,92   | -0,03  | 91,96   | 91,95   | -0,01  | 91,97   | 91,94   | -0,03  |
| W2min      | 91,776  | 91,776  | 0,000  | 91,97   | 91,92   | -0,05  | 91,95   | 91,89   | -0,06  | 91,96   | 91,93   | -0,03  | 91,97   | 91,91   | -0,06  |
| „D1“oval.  | 0,019   | 0,096   | 0,077  | 0,009   | 0,067   | 0,058  | 0,01    | 0,034   | 0,024  | 0,006   | 0,048   | 0,042  | 0,009   | 0,065   | 0,056  |
| „D2“oval.  | 0,006   | 0,095   | 0,089  | 0,006   | 0,076   | 0,07   | 0,006   | 0,048   | 0,042  | 0,009   | 0,046   | 0,037  | 0,008   | 0,053   | 0,045  |

| poř. číslo | 408     |         | rozdíl | 405     |         | rozdíl | 413     |         | rozdíl | 403     |         | rozdíl | 407     |         | rozdíl |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|            | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| „R“        | 0,004   | 0,069   | 0,065  | 0,006   | 0,131   | 0,125  | 0,008   | 0,124   | 0,116  | 0,002   | 0,135   | 0,133  | 0,007   | 0,067   | 0,06   |
| „D1“       | 332,169 | 331,958 | -0,211 | 332,167 | 331,931 | -0,236 | 332,158 | 331,906 | -0,252 | 332,165 | 331,91  | -0,255 | 332,171 | 331,934 | -0,237 |
| „D2“       | 332,177 | 331,926 | -0,251 | 332,15  | 331,965 | -0,185 | 332,143 | 331,915 | -0,228 | 332,148 | 332,052 | -0,096 | 332,171 | 331,859 | -0,312 |
| „H“        | 56,263  | 56,257  | -0,006 | 56,251  | 56,256  | 0,005  | 56,245  | 56,223  | -0,022 | 56,254  | 56,235  | -0,019 | 56,256  | 56,249  | -0,007 |
| W1max      | 91,95   | 91,94   | -0,01  | 91,96   | 91,94   | -0,02  | 91,96   | 91,93   | -0,03  | 91,97   | 91,96   | -0,01  | 91,96   | 91,94   | -0,02  |
| W2min      | 91,776  | 91,776  | 0,000  | 91,96   | 91,92   | -0,04  | 91,96   | 91,91   | -0,05  | 91,97   | 91,93   | -0,04  | 91,96   | 91,91   | -0,05  |
| „D1“oval.  | 0,011   | 0,045   | 0,034  | 0,009   | 0,02    | 0,011  | 0,012   | 0,038   | 0,026  | 0,008   | 0,058   | 0,05   | 0,009   | 0,083   | 0,074  |
| „D2“oval.  | 0,011   | 0,054   | 0,043  | 0,005   | 0,093   | 0,088  | 0,007   | 0,09    | 0,083  | 0,014   | 0,105   | 0,091  | 0,009   | 0,118   | 0,109  |

| poř. číslo | 414     |         | rozdíl | 406     |         | rozdíl | 399     |         | rozdíl | 411     |         | rozdíl | 415     |         | rozdíl |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|            | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| „R“        | 0,013   | 0,147   | 0,134  | 0,005   | 0,093   | 0,088  | 0,008   | 0,111   | 0,103  | 0,027   | 0,061   | 0,034  | 0,007   | 0,13    | 0,123  |
| „D1“       | 332,167 | 331,921 | -0,246 | 332,168 | 331,899 | -0,269 | 332,162 | 331,935 | -0,227 | 332,148 | 331,904 | -0,244 | 332,165 | 331,918 | -0,247 |
| „D2“       | 332,181 | 331,894 | -0,287 | 332,158 | 331,969 | -0,189 | 332,152 | 331,942 | -0,21  | 332,134 | 331,986 | -0,148 | 332,154 | 331,899 | -0,255 |
| „H“        | 56,264  | 56,246  | -0,018 | 56,251  | 56,238  | -0,013 | 56,245  | 56,239  | -0,006 | 56,256  | 56,24   | -0,016 | 56,252  | 56,248  | -0,004 |
| W1max      | 91,97   | 91,93   | -0,04  | 91,96   | 91,95   | -0,01  | 91,96   | 91,93   | -0,03  | 91,96   | 91,95   | -0,01  | 91,97   | 91,94   | -0,03  |
| W2min      | 91,776  | 91,776  | 0,000  | 91,96   | 91,92   | -0,04  | 91,96   | 91,93   | -0,03  | 91,96   | 91,95   | -0,01  | 91,97   | 91,92   | -0,05  |
| „D1“oval.  | 0,013   | 0,046   | 0,033  | 0,012   | 0,034   | 0,022  | 0,01    | 0,044   | 0,034  | 0,032   | 0,053   | 0,021  | 0,006   | 0,036   | 0,03   |
| „D2“oval.  | 0,008   | 0,069   | 0,061  | 0,005   | 0,036   | 0,031  | 0,011   | 0,027   | 0,016  | 0,027   | 0,07    | 0,043  | 0,006   | 0,034   | 0,028  |

řada č.1

řada č.2

řada č.3

řada č.4

řada č.5

Tab. 8-2: Naměřené hodnoty k experimentu č. 1 položek ve výrobním příkazu v1216326 [24]

Naměřené hodnoty k experimentu č. 2

Příkaz: V1216328 Rychlost: 4 Teplota oleje: 60°C Maiá lázeň Tavba: 21447

| poř. číslo | 437     |         | rozdlil | 438     |         | rozdlil | 439     |         | rozdlil | 440     |         | rozdlil | 441     |         | rozdlil |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         |
| "R"        | 0,012   | 0,111   | 0,099   | 0,007   | 0,068   | 0,061   | 0,005   | 0,043   | 0,038   | 0,007   | 0,039   | 0,032   | 0,007   | 0,031   | 0,024   |
| "D1"       | 332,167 | 331,943 | -0,224  | 332,153 | 331,906 | -0,247  | 332,151 | 331,913 | -0,238  | 332,177 | 331,941 | -0,236  | 332,152 | 331,923 | -0,229  |
| "D2"       | 332,16  | 331,693 | -0,467  | 332,171 | 331,805 | -0,366  | 332,165 | 331,718 | -0,447  | 332,166 | 331,72  | -0,446  | 332,174 | 331,682 | -0,492  |
| "H"        | 56,246  | 56,241  | -0,005  | 56,24   | 56,261  | 0,021   | 56,25   | 56,277  | 0,027   | 56,251  | 56,277  | 0,026   | 56,24   | 56,25   | 0,01    |
| W1max      | 91,97   | 91,9    | -0,07   | 91,9    | 91,91   | 0,01    | 91,9    | 91,9    | 0       | 91,95   | 91,92   | -0,03   | 91,91   | 91,89   | -0,02   |
| W2min      | 91,97   | 91,88   | -0,09   | 91,9    | 91,88   | -0,02   | 91,9    | 91,88   | -0,02   | 91,95   | 91,89   | -0,06   | 91,91   | 91,88   | -0,03   |
| "D1"oval.  | 0,01    | 0,041   | 0,031   | 0,01    | 0,027   | 0,017   | 0,009   | 0,049   | 0,04    | 0,013   | 0,032   | 0,019   | 0,017   | 0,009   | -0,008  |
| "D2"oval.  | 0,016   | 0,07    | 0,054   | 0,009   | 0,037   | 0,028   | 0,01    | 0,072   | 0,062   | 0,023   | 0,022   | -0,001  | 0,014   | 0,02    | 0,006   |

| poř. číslo | 442     |         | rozdlil | 443     |         | rozdlil | 444     |         | rozdlil | 445     |         | rozdlil | 446     |         | rozdlil |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         |
| "R"        | 0,009   | 0,09    | 0,081   | 0,01    | 0,091   | 0,081   | 0,007   | 0,053   | 0,046   | 0,012   | 0,04    | 0,028   | 0,004   | 0,067   | 0,063   |
| "D1"       | 332,142 | 331,909 | -0,233  | 332,147 | 331,934 | -0,213  | 332,153 | 331,92  | -0,233  | 332,164 | 331,982 | -0,182  | 332,147 | 331,933 | -0,214  |
| "D2"       | 332,161 | 331,674 | -0,487  | 332,169 | 331,808 | -0,361  | 332,169 | 331,727 | -0,442  | 332,168 | 331,754 | -0,414  | 332,171 | 331,695 | -0,476  |
| "H"        | 56,245  | 56,241  | -0,004  | 56,258  | 56,289  | 0,031   | 56,249  | 56,253  | 0,004   | 56,246  | 56,246  | 0       | 56,251  | 56,245  | -0,006  |
| W1max      | 91,92   | 91,9    | -0,02   | 91,88   | 91,87   | -0,01   | 91,88   | 91,87   | -0,01   | 91,93   | 91,93   | 0       | 91,91   | 91,9    | -0,01   |
| W2min      | 91,92   | 91,87   | -0,05   | 91,88   | 91,86   | -0,02   | 91,88   | 91,86   | -0,02   | 91,93   | 91,91   | -0,02   | 91,91   | 91,87   | -0,04   |
| "D1"oval.  | 0,019   | 0,072   | 0,053   | 0,009   | 0,059   | 0,05    | 0,007   | 0,038   | 0,031   | 0,011   | 0,048   | 0,037   | 0,011   | 0,027   | 0,016   |
| "D2"oval.  | 0,013   | 0,06    | 0,047   | 0,009   | 0,065   | 0,056   | 0,01    | 0,035   | 0,025   | 0,023   | 0,044   | 0,021   | 0,024   | 0,03    | 0,006   |

| poř. číslo | 447     |         | rozdlil | 448     |         | rozdlil | 449     |         | rozdlil | 450     |         | rozdlil | 451     |         | rozdlil |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         |
| "R"        | 0,006   | 0,105   | 0,099   | 0,01    | 0,059   | 0,049   | 0,013   | 0,041   | 0,028   | 0,01    | 0,056   | 0,046   | 0,008   | 0,03    | 0,022   |
| "D1"       | 332,166 | 331,932 | -0,234  | 332,161 | 331,936 | -0,225  | 332,16  | 331,943 | -0,217  | 332,119 | 331,918 | -0,201  | 332,154 | 331,92  | -0,234  |
| "D2"       | 332,173 | 331,702 | -0,471  | 332,163 | 331,795 | -0,368  | 332,164 | 331,758 | -0,406  | 332,097 | 331,677 | -0,42   | 332,177 | 331,682 | -0,495  |
| "H"        | 56,259  | 56,252  | -0,007  | 56,245  | 56,243  | -0,002  | 56,253  | 56,264  | 0,011   | 56,234  | 56,229  | -0,005  | 56,257  | 56,258  | 0,001   |
| W1max      | 91,96   | 91,94   | -0,02   | 91,95   | 91,94   | -0,01   | 91,96   | 91,95   | -0,01   | 91,96   | 91,96   | 0       | 91,89   | 91,88   | -0,01   |
| W2min      | 91,96   | 91,92   | -0,04   | 91,95   | 91,91   | -0,04   | 91,96   | 91,92   | -0,04   | 91,96   | 91,94   | -0,02   | 91,89   | 91,86   | -0,03   |
| "D1"oval.  | 0,007   | 0,033   | 0,026   | 0,013   | 0,034   | 0,021   | 0,017   | 0,025   | 0,008   | 0,021   | 0,018   | -0,003  | 0,007   | 0,034   | 0,027   |
| "D2"oval.  | 0,009   | 0,046   | 0,037   | 0,022   | 0,052   | 0,03    | 0,015   | 0,033   | 0,018   | 0,029   | 0,031   | 0,002   | 0,019   | 0,026   | 0,007   |

| poř. číslo | 452     |         | rozdlil | 453     |         | rozdlil | 454     |         | rozdlil | 455     |         | rozdlil | 456     |         | rozdlil |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|            | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         | před TZ | po TZ   |         |
| "R"        | 0,01    | 0,157   | 0,147   | 0,012   | 0,109   | 0,097   | 0,006   | 0,055   | 0,049   | 0,014   | 0,057   | 0,043   | 0,013   | 0,029   | 0,016   |
| "D1"       | 332,163 | 331,951 | -0,212  | 332,162 | 331,965 | -0,197  | 332,163 | 331,94  | -0,223  | 332,153 | 331,954 | -0,199  | 332,151 | 331,908 | -0,243  |
| "D2"       | 332,172 | 331,743 | -0,429  | 332,172 | 331,834 | -0,338  | 332,17  | 331,768 | -0,402  | 332,144 | 331,728 | -0,416  | 332,149 | 331,701 | -0,448  |
| "H"        | 56,254  | 56,257  | 0,003   | 56,245  | 56,246  | 0,001   | 56,245  | 56,24   | -0,005  | 56,251  | 56,235  | -0,016  | 56,248  | 56,226  | -0,022  |
| W1max      | 91,89   | 91,88   | -0,01   | 91,95   | 91,96   | 0,01    | 91,95   | 91,95   | 0       | 91,94   | 91,93   | -0,01   | 91,94   | 91,94   | 0       |
| W2min      | 91,89   | 91,83   | -0,06   | 91,95   | 91,94   | -0,01   | 91,95   | 91,93   | -0,02   | 91,94   | 91,92   | -0,02   | 91,94   | 91,93   | -0,01   |
| "D1"oval.  | 0,01    | 0,047   | 0,037   | 0,011   | 0,067   | 0,056   | 0,008   | 0,045   | 0,037   | 0,009   | 0,04    | 0,031   | 0,01    | 0,013   | 0,003   |
| "D2"oval.  | 0,024   | 0,061   | 0,037   | 0,009   | 0,066   | 0,057   | 0,009   | 0,033   | 0,024   | 0,01    | 0,02    | 0,01    | 0,015   | 0,037   | 0,022   |

řada č.5

řada č.4

řada č.3

řada č.2

řada č.1

Tab. 8-3: Naměřené hodnoty k experimentu č. 2 položek ve výrobním příkazu V1216328 [24]



Naměřené hodnoty k experimentu č. 3

Tabva: 0805612 pro pořadová čísla 468 – 477; 21447 pro pořadová čísla 478 – 487

Rychlost: 2 Teplota oleje: 60°C Malá lázeň

Příkaz: V1303406

| poř. číslo | 470     |         | rozdíl | 480     |         | rozdíl | 468     |         | rozdíl | 486     |         | rozdíl | 484     |         | rozdíl |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|            | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| "R"        | 0,014   | 0,237   | 0,223  | 0,01    | 0,157   | 0,147  | 0,009   | 0,073   | 0,064  | 0,009   | 0,026   | 0,017  | 0,009   | 0,066   | 0,057  |
| "D1"       | 332,17  | 331,83  | -0,34  | 332,212 | 332,004 | -0,208 | 332,18  | 331,803 | -0,377 | 332,18  | 332,056 | -0,124 | 332,176 | 331,952 | -0,224 |
| "D2"       | 332,127 | 331,497 | -0,63  | 332,163 | 331,953 | -0,21  | 332,147 | 331,637 | -0,51  | 332,147 | 331,896 | -0,251 | 332,146 | 331,828 | -0,318 |
| "H"        | 56,467  | 56,467  | 0      | 56,419  | 56,441  | 0,022  | 56,461  | 56,417  | -0,044 | 56,461  | 56,44   | -0,021 | 56,412  | 56,429  | 0,017  |
| W1max      | 92,01   | 91,91   | -0,1   | 91,95   | 91,93   | -0,02  | 91,95   | 91,92   | -0,03  | 91,95   | 91,89   | -0,06  | 91,97   | 91,9    | -0,07  |
| W2min      | 92,01   | 91,88   | -0,13  | 91,95   | 91,93   | -0,02  | 91,95   | 91,9    | -0,05  | 91,95   | 91,87   | -0,08  | 91,97   | 91,88   | -0,09  |
| "D1"oval.  | 0,011   | 0,036   | 0,025  | 0,011   | 0,041   | 0,03   | 0,011   | 0,054   | 0,043  | 0,011   | 0,063   | 0,052  | 0,013   | 0,022   | 0,009  |
| "D2"oval.  | 0,012   | 0,105   | 0,093  | 0,007   | 0,036   | 0,029  | 0,011   | 0,041   | 0,03   | 0,011   | 0,055   | 0,044  | 0,013   | 0,04    | 0,027  |

| poř. číslo | 472     |         | rozdíl | 475     |         | rozdíl | 483     |         | rozdíl | 479     |         | rozdíl | 482     |         | rozdíl |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|            | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| "R"        | 0,011   | 0,115   | 0,104  | 0,009   | 0,065   | 0,056  | 0,009   | 0,093   | 0,084  | 0,006   | 0,075   | 0,069  | 0,009   | 0,089   | 0,08   |
| "D1"       | 332,171 | 331,811 | -0,36  | 332,184 | 331,802 | -0,382 | 332,175 | 331,958 | -0,217 | 332,217 | 332,027 | -0,19  | 332,178 | 332,008 | -0,17  |
| "D2"       | 332,125 | 331,51  | -0,615 | 332,124 | 331,695 | -0,429 | 332,159 | 331,956 | -0,203 | 332,192 | 331,922 | -0,27  | 332,166 | 331,925 | -0,241 |
| "H"        | 56,404  | 56,386  | -0,018 | 56,502  | 56,479  | -0,023 | 56,477  | 56,51   | 0,033  | 56,428  | 56,453  | 0,025  | 56,433  | 56,437  | 0,004  |
| W1max      | 92,02   | 91,92   | -0,1   | 92,02   | 91,91   | -0,11  | 91,97   | 91,93   | -0,04  | 91,99   | 91,93   | -0,06  | 91,93   | 91,91   | -0,02  |
| W2min      | 92,02   | 91,88   | -0,14  | 92,02   | 91,89   | -0,13  | 91,97   | 91,92   | -0,05  | 91,99   | 91,9    | -0,09  | 91,93   | 91,87   | -0,06  |
| "D1"oval.  | 0,011   | 0,082   | 0,071  | 0,053   | 0,034   | -0,019 | 0,011   | 0,026   | 0,015  | 0,031   | 0,062   | 0,031  | 0,011   | 0,05    | 0,039  |
| "D2"oval.  | 0,008   | 0,053   | 0,045  | 0,011   | 0,033   | 0,022  | 0,012   | 0,027   | 0,015  | 0,01    | 0,066   | 0,056  | 0,069   | 0,053   | -0,016 |

| poř. číslo | 474     |         | rozdíl | 473     |         | rozdíl | 471     |         | rozdíl | 476     |         | rozdíl | 478     |         | rozdíl |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|            | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| "R"        | 0,01    | 0,078   | 0,068  | 0,012   | 0,161   | 0,149  | 0,012   | 0,073   | 0,061  | 0,013   | 0,048   | 0,035  | 0,011   | 0,07    | 0,059  |
| "D1"       | 332,18  | 331,668 | -0,512 | 332,192 | 331,821 | -0,371 | 332,184 | 331,814 | -0,37  | 332,171 | 331,735 | -0,436 | 332,212 | 332,018 | -0,194 |
| "D2"       | 332,123 | 331,673 | -0,450 | 332,12  | 331,711 | -0,409 | 332,125 | 331,647 | -0,478 | 332,131 | 331,552 | -0,579 | 332,182 | 331,918 | -0,264 |
| "H"        | 56,488  | 56,527  | 0,039  | 56,483  | 56,466  | -0,017 | 56,468  | 56,477  | 0,009  | 56,468  | 56,437  | -0,031 | 56,449  | 56,464  | 0,015  |
| W1max      | 92,05   | 91,87   | -0,180 | 92,01   | 91,97   | -0,04  | 91,99   | 91,9    | -0,09  | 92,02   | 91,9    | -0,12  | 91,97   | 91,9    | -0,07  |
| W2min      | 92,05   | 91,86   | -0,190 | 92,01   | 91,9    | -0,11  | 91,99   | 91,88   | -0,11  | 92,02   | 91,92   | -0,1   | 91,97   | 91,9    | -0,07  |
| "D1"oval.  | 0,009   | 0,039   | 0,030  | 0,014   | 0,075   | 0,061  | 0,062   | 0,067   | 0,005  | 0,009   | 0,129   | 0,12   | 0,011   | 0,063   | 0,052  |
| "D2"oval.  | 0,011   | 0,04    | 0,029  | 0,011   | 0,117   | 0,106  | 0,011   | 0,063   | 0,052  | 0,01    | 0,143   | 0,133  | 0,011   | 0,051   | 0,04   |

| poř. číslo | 469     |         | rozdíl | 477     |         | rozdíl | 487     |         | rozdíl | 485     |         | rozdíl | 481     |         | rozdíl |
|------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|            | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| "R"        | 0,012   | 0,068   | 0,056  | 0,011   | 0,094   | 0,083  | 0,011   | 0,051   | 0,04   | 0,011   | 0,095   | 0,084  | 0,011   | 0,158   | 0,147  |
| "D1"       | 332,171 | 331,768 | -0,403 | 332,168 | 331,812 | -0,356 | 332,174 | 331,977 | -0,197 | 332,182 | 332,012 | -0,17  | 332,214 | 332,02  | -0,194 |
| "D2"       | 332,124 | 331,573 | -0,551 | 332,148 | 331,672 | -0,476 | 332,143 | 331,85  | -0,293 | 332,152 | 331,968 | -0,184 | 332,157 | 331,971 | -0,186 |
| "H"        | 56,436  | 56,427  | -0,009 | 56,473  | 56,45   | -0,023 | 56,448  | 56,452  | 0,004  | 56,448  | 56,454  | 0,006  | 56,411  | 56,452  | 0,041  |
| W1max      | 91,97   | 91,97   | -0,1   | 91,99   | 91,9    | -0,09  | 91,99   | 91,97   | -0,02  | 91,96   | 91,94   | -0,02  | 91,91   | 91,93   | 0,02   |
| W2min      | 91,97   | 91,96   | -0,11  | 91,99   | 91,9    | -0,09  | 91,99   | 91,94   | -0,05  | 91,96   | 91,9    | -0,06  | 91,91   | 91,91   | 0      |
| "D1"oval.  | 0,018   | 0,049   | 0,021  | 0,016   | 0,049   | 0,033  | 0,01    | 0,024   | 0,014  | 0,023   | 0,027   | 0,004  | 0,012   | 0,037   | 0,025  |
| "D2"oval.  | 0,018   | 0,04    | 0,022  | 0,015   | 0,072   | 0,057  | 0,009   | 0,016   | 0,007  | 0,014   | 0,028   | 0,014  | 0,007   | 0,041   | 0,034  |

řada č.5

řada č.4

řada č.3

řada č.2

řada č.1

Tab. 8-4: Naměřené hodnoty k experimentu č. 3 položek ve výrobním příkazu V1303406 [24]

Naměřené hodnoty k experimentu č. 4

Příkaz: V1305626 Rychlost: 3 Teplota oleje: 60°C Velká lázeň Tavba: 1211505

| poř.číslo | 533     |         | rozdíl | 534     |         | rozdíl | 535     |         | rozdíl | 536     |         | rozdíl | 537     |         | rozdíl |
|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|           | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| "R"       | 0,007   | 0,16    | 0,153  | 0,011   | 0,091   | 0,08   | 0,01    | 0,112   | 0,102  | 0,009   | 0,041   | 0,032  | 0,013   | 0,039   | 0,026  |
| "D1"      | 332,155 | 331,925 | -0,23  | 332,147 | 331,906 | -0,241 | 332,153 | 331,924 | -0,229 | 332,15  | 331,911 | -0,239 | 332,152 | 331,913 | -0,239 |
| "D2"      | 332,13  | 331,803 | -0,327 | 332,131 | 331,816 | -0,315 | 332,13  | 331,794 | -0,336 | 332,121 | 331,771 | -0,35  | 332,127 | 331,718 | -0,409 |
| "H"       | 56,48   | 56,475  | -0,005 | 56,474  | 56,496  | 0,022  | 56,494  | 56,479  | -0,015 | 56,49   | 56,515  | 0,025  | 56,487  | 56,518  | 0,031  |
| W1max     | 91,9    | 91,87   | -0,03  | 91,91   | 91,89   | -0,02  | 91,97   | 91,99   | 0,02   | 91,9    | 91,95   | 0,05   | 91,99   | 91,97   | -0,02  |
| W2min     | 91,9    | 91,83   | -0,07  | 91,91   | 91,84   | -0,07  | 91,97   | 91,96   | -0,01  | 91,9    | 91,93   | 0,03   | 91,99   | 91,94   | -0,05  |
| "D1"oval. | 0,017   | 0,069   | 0,052  | 0,014   | 0,04    | 0,026  | 0,014   | 0,033   | 0,019  | 0,02    | 0,061   | 0,041  | 0,015   | 0,051   | 0,036  |
| "D2"oval. | 0,017   | 0,109   | 0,092  | 0,023   | 0,086   | 0,063  | 0,015   | 0,059   | 0,044  | 0,02    | 0,068   | 0,048  | 0,011   | 0,046   | 0,035  |

| poř.číslo | 538     |         | rozdíl | 539     |         | rozdíl | 540     |         | rozdíl | 541     |         | rozdíl | 542     |         | rozdíl |
|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|           | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| "R"       | 0,008   | 0,208   | 0,2    | 0,016   | 0,114   | 0,098  | 0,012   | 0,061   | 0,049  | 0,007   | 0,068   | 0,061  | 0,006   | 0,083   | 0,077  |
| "D1"      | 332,153 | 331,916 | -0,237 | 332,151 | 331,894 | -0,257 | 332,158 | 331,937 | -0,221 | 332,158 | 331,912 | -0,246 | 332,156 | 331,917 | -0,239 |
| "D2"      | 332,126 | 331,82  | -0,306 | 332,125 | 331,793 | -0,332 | 332,13  | 331,808 | -0,322 | 332,132 | 331,795 | -0,337 | 332,128 | 331,723 | -0,405 |
| "H"       | 56,47   | 56,461  | -0,009 | 56,47   | 56,462  | -0,008 | 56,492  | 56,526  | 0,034  | 56,465  | 56,49   | 0,025  | 56,47   | 56,49   | 0,02   |
| W1max     | 92,01   | 91,99   | -0,02  | 91,97   | 91,94   | -0,03  | 91,96   | 91,96   | 0      | 91,96   | 91,94   | -0,02  | 91,95   | 91,92   | -0,03  |
| W2min     | 92,01   | 91,95   | -0,06  | 91,97   | 91,92   | -0,05  | 91,96   | 91,94   | -0,02  | 91,96   | 91,91   | -0,05  | 91,95   | 91,89   | -0,06  |
| "D1"oval. | 0,013   | 0,054   | 0,041  | 0,018   | 0,05    | 0,032  | 0,017   | 0,074   | 0,057  | 0,018   | 0,064   | 0,046  | 0,018   | 0,059   | 0,041  |
| "D2"oval. | 0,012   | 0,118   | 0,106  | 0,018   | 0,113   | 0,095  | 0,017   | 0,106   | 0,089  | 0,011   | 0,092   | 0,081  | 0,017   | 0,082   | 0,065  |

| poř.číslo | 543     |         | rozdíl | 544     |         | rozdíl | 545     |         | rozdíl | 546     |         | rozdíl | 547     |         | rozdíl |
|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|           | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| "R"       | 0,009   | 0,192   | 0,183  | 0,01    | 0,131   | 0,121  | 0,021   | 0,148   | 0,127  | 0,013   | 0,062   | 0,049  | 0,007   | 0,04    | 0,033  |
| "D1"      | 332,16  | 331,913 | -0,247 | 332,16  | 331,869 | -0,291 | 332,158 | 331,925 | -0,233 | 332,162 | 331,912 | -0,25  | 332,169 | 331,917 | -0,252 |
| "D2"      | 332,128 | 331,799 | -0,329 | 332,128 | 331,832 | -0,296 | 332,131 | 331,818 | -0,313 | 332,133 | 331,756 | -0,377 | 332,132 | 331,711 | -0,421 |
| "H"       | 56,489  | 56,481  | -0,008 | 56,484  | 56,526  | 0,042  | 56,517  | 56,515  | -0,002 | 56,477  | 56,503  | 0,026  | 56,525  | 56,545  | 0,02   |
| W1max     | 91,94   | 91,9    | -0,04  | 91,92   | 91,87   | -0,05  | 91,94   | 91,89   | -0,05  | 91,92   | 91,88   | -0,04  | 91,92   | 91,87   | -0,05  |
| W2min     | 91,93   | 91,87   | -0,06  | 91,92   | 91,87   | -0,05  | 91,94   | 91,88   | -0,06  | 91,92   | 91,84   | -0,08  | 91,9    | 91,82   | -0,08  |
| "D1"oval. | 0,018   | 0,066   | 0,048  | 0,017   | 0,06    | 0,043  | 0,015   | 0,051   | 0,036  | 0,014   | 0,058   | 0,044  | 0,031   | 0,053   | 0,042  |
| "D2"oval. | 0,015   | 0,087   | 0,072  | 0,016   | 0,094   | 0,078  | 0,018   | 0,065   | 0,047  | 0,018   | 0,07    | 0,052  | 0,017   | 0,058   | 0,041  |

| poř.číslo | 548     |         | rozdíl | 549     |         | rozdíl | 550     |         | rozdíl | 551     |         | rozdíl | 552     |         | rozdíl |
|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
|           | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        | před TZ | po TZ   |        |
| "R"       | 0,01    | 0,31    | 0,3    | 0,008   | 0,134   | 0,126  | 0,008   | 0,107   | 0,099  | 0,011   | 0,082   | 0,071  | 0,008   | 0,082   | 0,074  |
| "D1"      | 332,166 | 331,911 | -0,255 | 332,174 | 331,917 | -0,257 | 332,174 | 331,918 | -0,256 | 332,14  | 331,895 | -0,245 | 332,205 | 331,943 | -0,262 |
| "D2"      | 332,128 | 331,763 | -0,365 | 332,136 | 331,798 | -0,338 | 332,133 | 331,773 | -0,36  | 332,134 | 331,757 | -0,377 | 332,135 | 331,723 | -0,412 |
| "H"       | 56,527  | 56,531  | 0,004  | 56,553  | 56,571  | 0,018  | 56,544  | 56,562  | 0,018  | 56,411  | 56,416  | 0,005  | 56,523  | 56,556  | 0,033  |
| W1max     | 92,03   | 91,91   | -0,12  | 91,9    | 91,88   | -0,02  | 91,92   | 91,87   | -0,05  | 91,92   | 91,88   | -0,04  | 91,9    | 91,86   | -0,04  |
| W2min     | 92,03   | 91,85   | -0,18  | 91,99   | 91,86   | -0,13  | 91,92   | 91,83   | -0,09  | 91,92   | 91,85   | -0,07  | 91,88   | 91,83   | -0,05  |
| "D1"oval. | 0,011   | 0,097   | 0,086  | 0,012   | 0,091   | 0,079  | 0,014   | 0,046   | 0,032  | 0,018   | 0,049   | 0,031  | 0,019   | 0,05    | 0,031  |
| "D2"oval. | 0,014   | 0,081   | 0,067  | 0,012   | 0,09    | 0,078  | 0,016   | 0,052   | 0,036  | 0,013   | 0,056   | 0,043  | 0,011   | 0,053   | 0,042  |

řada č.1

řada č.2

řada č.3

řada č.4

řada č.5

Tab. 8-5: Naměřené hodnoty k experimentu č. 4 položek ve výrobním příkazu V1305626 [24]



Naměřené hodnoty k experimentu č. 5  
Příkaz: V130562Z

| poř. číslo | Rychlost: 2 |         | Teplota oleje: 60°C |         | Velká lázeň |         | Tavba: 1211505 |         |
|------------|-------------|---------|---------------------|---------|-------------|---------|----------------|---------|
|            | 488         | 489     | 489                 | 490     | 490         | 491     | 492            |         |
|            | před TZ     | po TZ   | před TZ             | po TZ   | před TZ     | po TZ   | před TZ        | po TZ   |
|            | 0,014       | 0,184   | 0,014               | 0,113   | 0,013       | 0,095   | 0,026          | 0,048   |
| „R“        | 0,17        | 0,113   | 0,099               | 0,148   | 0,082       | 0,082   | 0,022          | 0,019   |
| „D1“       | 332,137     | 331,873 | 332,142             | 331,896 | -0,246      | 331,855 | 332,167        | 331,947 |
| „D2“       | 332,165     | 331,879 | -0,286              | 331,844 | -0,321      | 331,875 | 332,177        | 331,825 |
| „H“        | 56,53       | 56,599  | 0,009               | 56,587  | -0,005      | 56,586  | 56,583         | 56,568  |
| W1max      | 91,93       | 91,88   | 0,005               | 91,92   | -0,04       | 91,93   | 91,97          | 91,92   |
| W2min      | 91,99       | 91,85   | -0,08               | 91,92   | -0,09       | 91,85   | 92,03          | 91,97   |
| „D1“oval.  | 0,015       | 0,064   | 0,049               | 0,033   | 0,029       | 0,04    | 0,009          | 0,041   |
| „D2“oval.  | 0,016       | 0,123   | 0,107               | 0,068   | 0,052       | 0,064   | 0,016          | 0,064   |
|            | rozdlil     | rozdlil | rozdlil             | rozdlil | rozdlil     | rozdlil | rozdlil        | rozdlil |
|            | 0,366       | 0,208   | 0,191               | 0,148   | 0,134       | 0,111   | 0,03           | 0,111   |
| „R“        | 0,256       | 0,208   | -0,239              | 0,148   | -0,243      | 0,111   | 0,03           | 0,111   |
| „D1“       | 332,171     | 331,914 | 332,171             | 331,932 | -0,239      | 331,935 | 332,155        | 331,883 |
| „D2“       | 332,171     | 331,9   | -0,271              | 331,842 | -0,329      | 331,835 | 332,165        | 331,782 |
| „H“        | 56,53       | 56,582  | 0,052               | 56,555  | -0,001      | 56,563  | 56,564         | 56,555  |
| W1max      | 91,94       | 91,94   | 0                   | 91,98   | -0,06       | 91,97   | 91,91          | 91,95   |
| W2min      | 91,94       | 91,88   | -0,06               | 91,98   | -0,1        | 91,88   | 91,91          | 91,9    |
| „D1“oval.  | 0,015       | 0,045   | 0,03                | 0,037   | -0,013      | 0,04    | 0,007          | 0,042   |
| „D2“oval.  | 0,011       | 0,158   | 0,147               | 0,101   | 0,069       | 0,074   | 0,015          | 0,039   |
|            | rozdlil     | rozdlil | rozdlil             | rozdlil | rozdlil     | rozdlil | rozdlil        | rozdlil |
|            | 0,118       | 0,096   | 0,081               | 0,088   | 0,051       | 0,093   | 0,014          | 0,093   |
| „R“        | 0,249       | 0,249   | -0,244              | 0,068   | -0,235      | 0,093   | 0,014          | 0,093   |
| „D1“       | 332,155     | 331,906 | 332,194             | 331,931 | -0,235      | 331,957 | 332,167        | 331,906 |
| „D2“       | 332,166     | 331,886 | -0,28               | 331,839 | -0,288      | 331,864 | 332,165        | 331,807 |
| „H“        | 56,537      | 56,538  | 0,001               | 56,596  | 0,009       | 56,591  | 56,551         | 56,59   |
| W1max      | 91,97       | 91,9    | -0,07               | 91,92   | -0,01       | 91,89   | 91,92          | 91,96   |
| W2min      | 91,97       | 91,87   | -0,1                | 91,97   | -0,05       | 91,88   | 91,96          | 91,89   |
| „D1“oval.  | 0,021       | 0,057   | 0,036               | 0,045   | 0,032       | 0,042   | 0,022          | 0,042   |
| „D2“oval.  | 0,017       | 0,089   | 0,072               | 0,033   | 0,017       | 0,065   | 0,013          | 0,045   |
|            | rozdlil     | rozdlil | rozdlil             | rozdlil | rozdlil     | rozdlil | rozdlil        | rozdlil |
|            | 0,27        | 0,11    | 0,097               | 0,078   | 0,061       | 0,044   | 0,014          | 0,067   |
| „R“        | 0,259       | 0,11    | -0,244              | 0,078   | -0,205      | 0,044   | 0,014          | 0,067   |
| „D1“       | 332,174     | 331,915 | 332,197             | 331,953 | -0,244      | 331,978 | 332,183        | 331,928 |
| „D2“       | 332,167     | 331,908 | -0,259              | 331,837 | -0,278      | 331,824 | 332,165        | 331,817 |
| „H“        | 56,504      | 56,537  | 0,033               | 56,546  | 0,001       | 56,572  | 56,552         | 56,573  |
| W1max      | 91,92       | 91,92   | 0                   | 91,92   | 0,03        | 91,92   | 92             | 91,97   |
| W2min      | 91,92       | 91,86   | -0,06               | 91,98   | -0,09       | 91,9    | 91,97          | 91,93   |
| „D1“oval.  | 0,021       | 0,059   | 0,038               | 0,053   | 0,019       | 0,065   | 0,028          | 0,035   |
| „D2“oval.  | 0,017       | 0,106   | 0,089               | 0,051   | 0,031       | 0,065   | 0,017          | 0,057   |
|            | rozdlil     | rozdlil | rozdlil             | rozdlil | rozdlil     | rozdlil | rozdlil        | rozdlil |
|            | 0,296       | 0,126   | 0,108               | 0,118   | 0,101       | 0,071   | 0,016          | 0,085   |
| „R“        | 0,223       | 0,126   | -0,196              | 0,118   | -0,218      | 0,071   | 0,016          | 0,085   |
| „D1“       | 332,172     | 331,949 | 332,159             | 331,963 | -0,196      | 332,005 | 332,214        | 331,958 |
| „D2“       | 332,155     | 331,864 | -0,291              | 331,756 | -0,386      | 331,81  | 332,157        | 331,761 |
| „H“        | 56,535      | 56,54   | 0,005               | 56,544  | -0,006      | 56,54   | 56,551         | 56,609  |
| W1max      | 91,98       | 91,99   | 0,01                | 91,95   | -0,03       | 91,97   | 92             | 91,94   |
| W2min      | 91,98       | 91,95   | -0,03               | 91,91   | -0,04       | 91,92   | 92             | 91,91   |
| „D1“oval.  | 0,006       | 0,064   | 0,058               | 0,068   | 0,056       | 0,042   | 0,009          | 0,065   |
| „D2“oval.  | 0,015       | 0,128   | 0,113               | 0,029   | 0,036       | 0,076   | 0,031          | 0,051   |

řada č.5

řada č.4

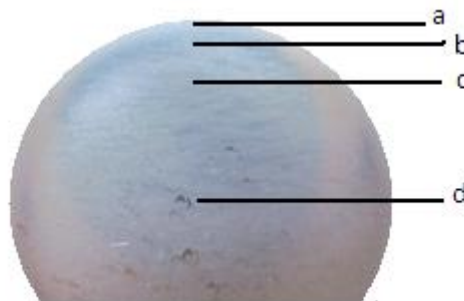
řada č.3

řada č.2

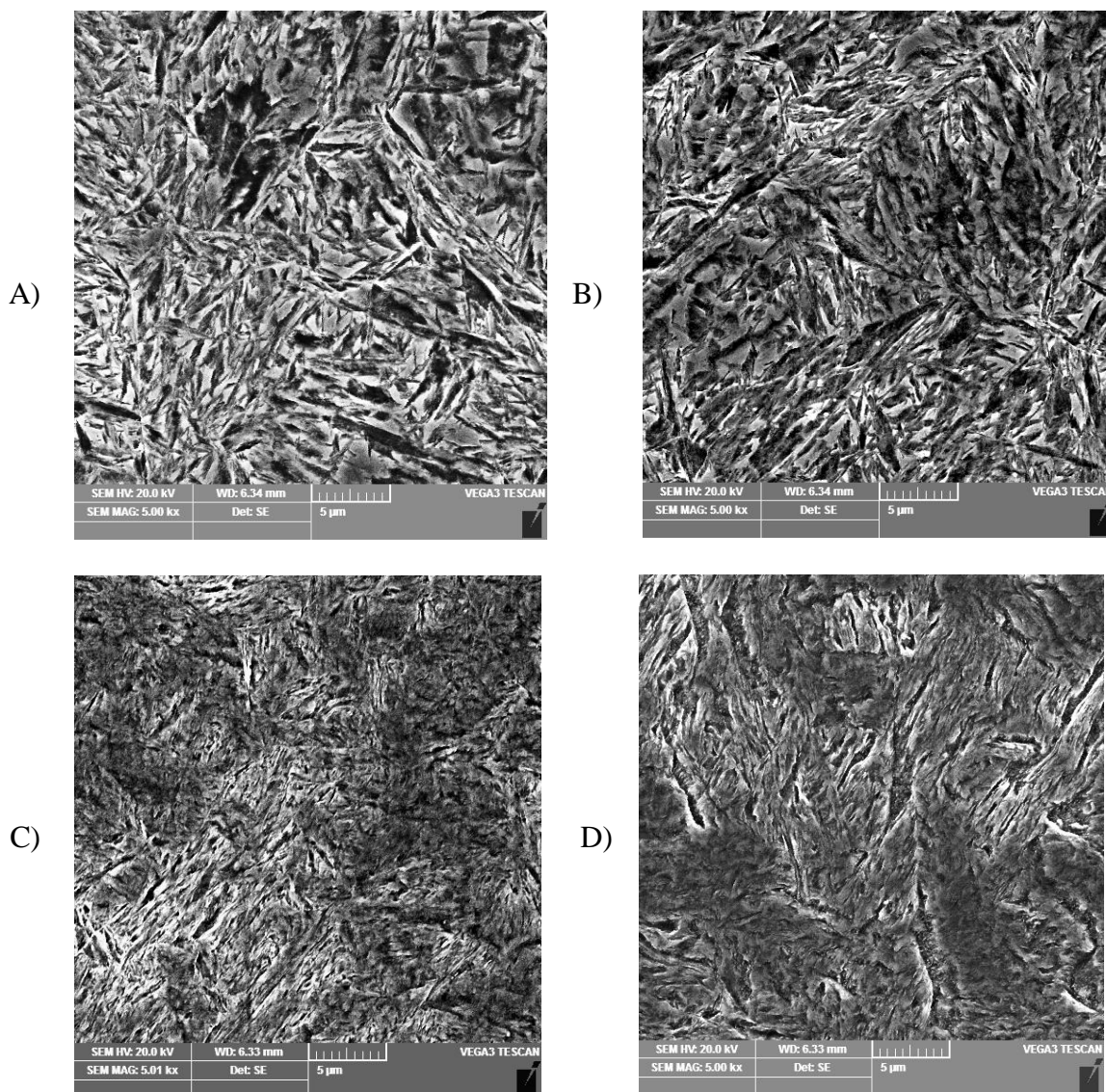
řada č.1

Tab. 8-6: Naměřené hodnoty k experimentu č. 5 položek ve výrobním příkazu V130562Z [24]

Jeden vzorek byl vyhodnocen i na řádkovacím elektronovém mikroskopu ve firmě Fortech - Výzkumné centrum tvářecích technologií při zvětšení 5000x pro přesnější určení strukturních fází, které vznikly po kompletním procesu CHTZ. Konkrétně se jednalo o vzorek z experimentu č. 2, kde bylo dosaženo nejmenších deformací.



*Obr. 8-3: Pozice pořízených fotografií na ŘEM na vzorku z experimentu č. 2*



*Obr. 8-4: Fotografie struktury kontrolního vzorku ze vsázky experimentu č.2 (V1216328) pořízené na řádkovacím elektronovém mikroskopu (zvětšeno 5000x)*

Dle fotografií na obr 8-4 pořízených na řádkovacím elektronovém mikroskopu směrem od kraje je pravděpodobně ve struktuře jemnozrný martenzit s malým podílem jemných karbidů. Na další fotografii (B) je již podíl martenzitu menší a vyskytuje se zde i bainit. U třetí (více přiblížena k jádru) a čtvrté (z jádra vzorku) fotografie je již bainit a malý podíl martenzitu. V porovnání s fotografiemi ze světelného mikroskopu jsou ve vyhodnocení nepatrné rozdíly. Vše je ale velmi ovlivněno záznamovým zařízením, jeho kvalitou, přípravou vzorků a zkušenostmi personálu.

### 8.3. Vyhodnocení výsledků

V běžné výrobě se jako vyhovující považují kola, u kterých deformace nepřesahuje 0,2 mm jak u kruhovitosti hlavového průměru ozubeného kola, tak u rovinnosti čela s ryskou. Protože u všech sledovaných kol byly pouze 4 kusy horší jak 0,2 mm a toto hodnocení nepřineslo žádný výsledek ohledně vlivu proudění na deformace při CHTZ, tak bylo rozhodnuto, že se musí zpřísnit kritéria. Už jako nevyhovující byly označeny kusy, u kterých byla kruhovitost hlavového průměru horší jak 0,10 mm nebo rovinnost čela s ryskou byla horší jak 0,1 mm. Toto zpřísnění přineslo již žádané výsledky.

- U všech pěti experimentů kruhovitost sledovaných ozubených kol nebyla horší jak 0,15 mm, ze 105 kusů bylo pouze u 11 kusů, u kterých byla kruhovitost horší jak 0,1 mm. Z toho vyplývá, že rychlost proudění oleje v kalici lázni nemá příliš velký vliv na kruhovitost ozubených kol.
- U experimentu č. 1 bylo 8 kol, u kterých byla rovinnost do 0,15 mm a 1 kolo do 0,2 mm. Podmínce rovinnosti do 0,1 mm vyhovělo 55 % ozubených kol.
- U experimentu č. 2 byla 4 kola, u kterých byla rovinnost do 0,15 mm. Podmínce rovinnosti do 0,1 mm vyhovělo 80 % ozubených kol.
- U experimentu č. 3 byla 2 kola, u kterých byla rovinnost do 0,15 mm, 1 kolo do 0,2 mm a 1 kolo do 0,25 mm. Podmínce rovinnosti do 0,1 mm vyhovělo 75 % ozubených kol.
- U experimentu č. 4 bylo 6 kol, u kterých byla rovinnost do 0,15 mm a 3 kola do 0,2 mm a u 1 kola byla rovinnost horší jak 0,3 mm. Podmínce rovinnosti do 0,1 mm vyhovělo 50 % ozubených kol.
- U experimentu č. 5 bylo 7 kol, u kterých byla rovinnost do 0,15 mm, 2 kola do 0,2 mm, 1 kolo do 0,3 mm a u 2 kol byla rovinnost horší jak 0,3 mm. Podmínce rovinnosti do 0,1 mm vyhovělo 52 % ozubených kol.

Kola se vždy smršťovala cca o 0,2 mm až 0,4 mm. Vliv rychlosti proudění oleje na rovinnost kol se také jednoznačně neprokázal. Rovinnost kola spíše ovlivňuje poloha a rovinnost podložky, většina kol se zhoršenou rovinností je uložena v první řadě.

Rychlost proudění ovlivnila dosaženou tvrdost. Když je rychlost proudění nižší než stupeň 3 u malé olejové lázně, potom poklesne výsledná tvrdost asi o 1 HRC, jak vyplývalo z měření povrchové tvrdosti u ozubených kol (příloha č. 3).

Z protokolů v příloze č. 5 je patrné, že vliv různých parametrů olejových lázní na výslednou strukturu u ozubených kol je minimální.

### 8.4. Závěr

Nejmenších deformací bylo dosaženo u experimentu č. 2, kde bylo pouze 20 % ozubených kol, u kterých byla rovinnost horší jak 0,1 mm. Podmínky experimentu č. 2 byly následující: byla použita malá olejová lázeň o objemu 35 000 l oleje DURIXOL W72 a rychlost proudění byla nastavena na číslo 4. Dobrého výsledku dosáhl také experiment č. 1, který se běžně používá v praxi, i když bylo pouze 55% ozubených kol, u kterých byla



rovinnost do 0,1 mm a u zbytku kol deformace nepřesáhla 0,15 mm. U experimentu č. 3 bylo sice dosaženo většího procenta kol, u kterých byla rovinnost do 0,1 mm, ale zbylá kola vykazovala větší deformaci a především všechna kola vykazovala nižší tvrdost cca o 1 HRC. Z těchto důvodů u malé olejové lázně bylo zavedeno používání rychlosti proudění oleje č. 4 a u velké olejové lázně č. 2. Důležité je kola ukládat na rovné podložky a bylo by vhodnější dávat na sebe maximálně 3 kola místo 5.

## 9. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO ZAŘÍZENÍ

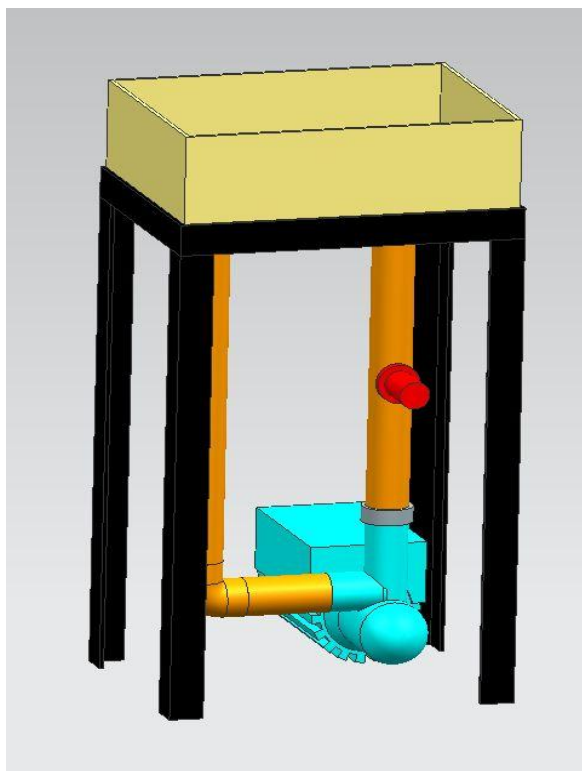
Návrh experimentálního zařízení prošel poměrně dlouhým vývojem. Bylo třeba zvážit konstrukční řešení zařízení dle požadované povahy proudění (tab 9-1), vhodného materiálu pro konstrukci zařízení a vybrat vhodnou měřicí techniku. Nejvýznamnější vliv na volbu materiálů a zařízení měla teplota oleje, při které mělo proběhnout měření. Předpokládaný rozsah teplot oleje při měření byl od začátku návrhu zařízení 40 – 80 °C. Při této podmínce nešlo použít klasické instalatérské materiály. Požadavek na zařízení byla i jeho mobilita, a proto se nezvolilo celokovové řešení, ale i řešení pomocí trubek a hadic z polymerů.

| Požadavky na experimentální zařízení       |                    |
|--|--------------------|
| Teplota lázně                              | 40 – 80 °C (100°C) |
| Rychlost proudění                          | 0 – 1,5 m/s        |
| Chemická odolnost                          | Olej (Durixol W72) |
| Regulace rychlosti proudění                | plynulá            |
| Světlá výška potrubí                       | min. 50 mm         |
| Minimální doba chodu zařízení pro 1 měření | 5 min              |

Tab. 9-1: Požadavky na zařízení [21]

### 9.2. První návrh zařízení

Po návrhu z mnoha různých konstrukčních řešení, která měla své výhody a nevýhody, byla jako nejlepší řešení vybrána sestava zařízení dle obr. 9-1. Zařízení se mělo skládat z čerpadla umístěného v nejnižší pozici zařízení, vany (prostor pro samotné měření) a soustavu potrubí umožňující oběh oleje. Funkcí čerpadla bylo vytváření proudění oleje v celém zařízení. Regulace proudění měla proběhnout pomocí kulového ventilu umístěného hned nad čerpadlem. Měření proudění bylo zajištěno snímacím zařízením ve tvaru lopatkového kola se snímačem otáček (na obr. 9-1 červeně). Stojan pro zařízení byl zhotoven z L-profilů 30 x 30 mm. Výška zařízení se předpokládala 600 mm po výšku dna nádoby a výška samotné nádoby 400 mm. Nádoba měla být svařena z plechů tloušťky 2 mm o rozměrech půdorysu 400 x 300 mm. Ohřev oleje byl předpokládán pomocí ponorného vaříče napojeného na regulaci. Regulace se měla řídit dle termočlánku ponořeného do lázně.



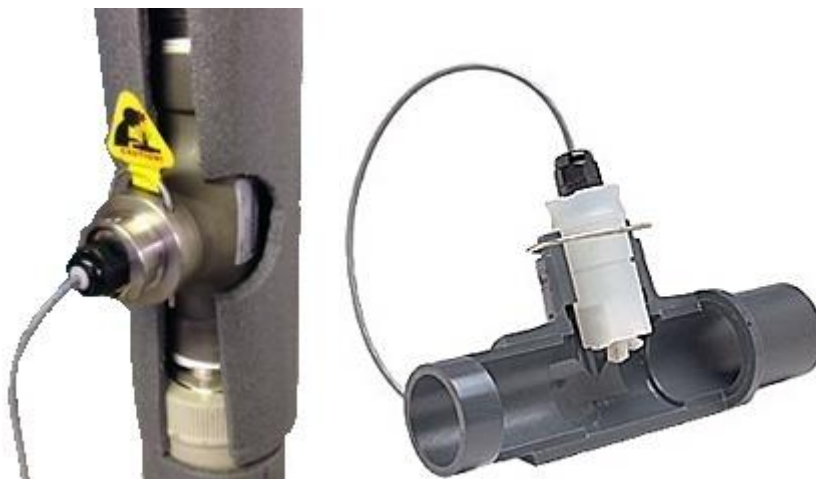
*Obr. 9-1: Návrh experimentálního zařízení – prototyp [21]*

### 9.3. Druhý návrh zařízení

Po prvotním návrhu zařízení se řešily praktické otázky samotné konstrukce a stavby experimentálního zařízení. Začaly se hledat vhodné materiály pro konstrukci a řešily se technické problémy, se kterými se u prototypu nepočítalo, nebo nebyly pro funkci zařízení nezbytně nutnými.

Změnami prošly rozměry zařízení, kdy byla změněna výška dna zařízení z původních 600 mm na 1200 mm. Dále sestupné potrubí do čerpadla bylo nahrazeno hadicí s odpovídajícím průměrem a odolností proti vysokým teplotám. Hadice zjednodušila manipulaci se zařízením. Materiál trubek byl zvolen polypropylen (PP-R) pro horkou vodu, který svými vlastnostmi dostatečně vyhovoval. Změnami prošla i nádoba na olej, u které se změnily rozměry půdorysu na 350 x 350 mm. Výška nádoby zůstala 400 mm. Výška nádoby měla zajistit ochranu proti rozstříku oleje při použití vysokých teplot oleje. Dále se ustoupilo od vlastního řešení zástavbového prostoru měřicího zařízení rychlosti proudění v soustavě a byl nakoupen originální mezikus (obr. 9-2), který byl pro měřidlo vyroben a zajistil tak těsnost soustavy.





**Obr. 9-2:** Detail zástavbového prostoru pro sondu měřící průtok potrubím

Při výběru čerpadla byly důležitými parametry především objemový průtok čerpadla, odolnost proti vysokým teplotám a možnost čerpat kapaliny i s malým podílem nečistot. Z toho důvodu padla volba na odstředivé čerpadlo s jiným uspořádáním vstupů a výstupů oproti původnímu návrhu. Vybrané čerpadlo má vstup kapaliny v ose otáčení oběžného kola a výstup směrem vzhůru kolmo na osu otáčení. Díky použití hadice, jako sestupné větve, nebyla tato změna problémem.

Regulace rychlosti proudění byla změněna z původního plánu regulace pomocí kulového ventilu na regulaci pomocí frekvenčního měniče (obr. 9-3). Změna měla zajistit plynulejší změnu průtoku v potrubí a přesnější nastavení hodnot rychlostí proudění.



**Obr. 9-3:** Frekvenční měnič (vlevo) a měřící jednotka průtokoměru (vpravo)

Pro ohřev olejové lázně byl vybrán ponorný ohříváč s výkonem 1000 W (obr. 10-4), který udržoval lázeň na konstantní teplotě pomocí regulace řídicí jednotky (obr. 9-5), ke které byl připojen termočlánek vložený do olejové lázně, která je na obr. 9-4.



*Obr. 9-4: Ustavení laboratorního stojanu s ponorným ohřivačem a termočlánkem pro regulaci teploty oleje v nádrži a stojan určený pro ponořování quench sondy do lázně a fotografie zaplavené nádrže s funkčním vířením*



*Obr. 9-5: Regulátor teploty olejové lázně*

#### **9.4. Kompletace experimentálního zařízení**

Kompletace experimentálního zařízení proběhla v dílnách KMM, ZČU v Plzni. Finální sestavení a připojení všech měřicích zařízení proběhlo ve společnosti Ecosond s.r.o. v Čerčanech.

Celá sestava zařízení (obr. 9-6) se ve finále lišila oproti původnímu plánu v několika málo detailech. Především to byla instalace kulového ventilu pro zajištění případného protitlaku pro čerpadlo při nízkých rychlostech proudění. Soustava byla doplněna o převlečnou matici na vzestupné větvi, která zjednodušila montáž a manipulaci se zařízením. Instalace topného zařízení a jeho regulace proběhla až při finálním sestrojení na místě měření. Pro tento účel byly použity laboratorní stojany patrné na obr. 9-4.



*Obr. 9-6: Kompletní sestava experimentálního zařízení se zapojenými měřicími a regulačními přístroji (regulace teploty, měřič průtoku, frekvenční měnič)*

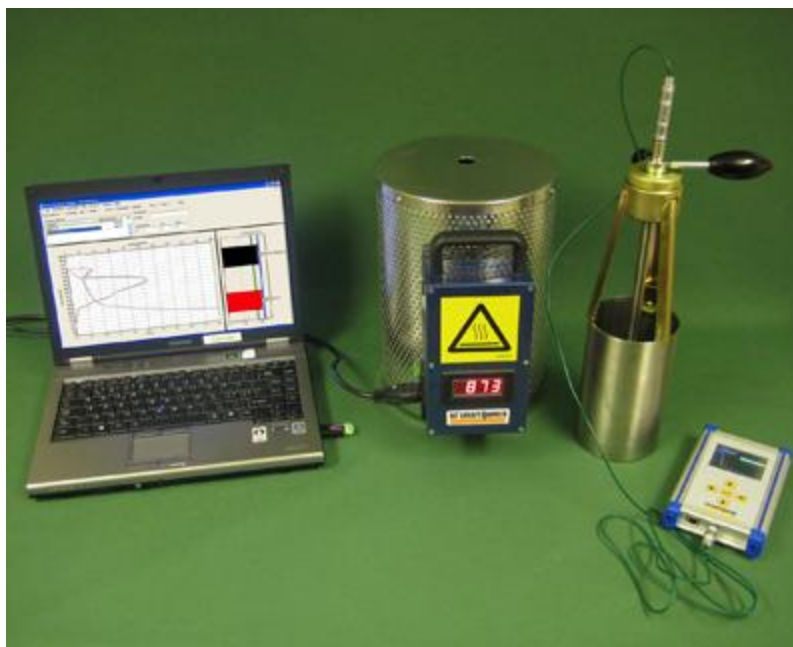
## 10. MĚŘENÍ OCHLAZOVACÍCH KŘIVEK PŘI RŮZNÝCH REŽIMECH A PARAMETRECH OLEJE POMOCÍ QUENCH TESTU

### 10.1. Způsob měření ochlazovacích křivek

Měření intenzity ochlazovací schopnosti lázně proběhlo za pomoci sondy z inconelu, která je součástí zařízení ivf Smart Quench. Zařízení dokáže vytvořit přesnou ochlazovací křivku sondy a tak určit ochlazovací schopnost kalícího média. Zařízení ivf Smart Quench se skládá z inconelové sondy s vysoce citlivým termočlánkem umístěným na konci nosné tyče. Nosná tyč je opatřena objímkou kuželového tvaru a držadlem. Kuželová objímka slouží k přesnému dorazu a vystředění sondy do protikusu s negativním kuželovým vybráním, který byl umístěn v olejové lázni. Nosnou tyčí je veden propojovací kabel termočlánku k měřicí jednotce, která zaznamenává měření a následně ho zobrazuje na osobní počítač. Měřicí jednotka zaznamenává ochlazování od teploty 850°C. Před měřením pokusů byla tedy sonda ohřata v peci na teplotu 855°C, kvůli teplotním ztrátám při přesunu sondy z pece do lázně. [22]

Ivf SmartQuench se skládá z následujících komponentů (obr. 10-1):

- testovací sonda s držákem,
- pírka na ohřev sondy,
- nádoba na testování v laboratoři,
- nádoba s referenčním olejem,
- ruční snímač (hand unit),
- přijímač pro bezdrátovou komunikaci jednotky a pc,
- adaptér pro nabíjení baterií + kabely. [22]



*Obr. 10-1: Zařízení ivf SmartQuench [22]*

V tomto případě se místo nádoby na testování v laboratoři vkládala přehřátá sonda na teplotu 855°C z pece (obr. 10-2) do nově zkonstruovaného zařízení určeného pro měření



daných charakteristik. Použit byl pouze stojan, který byl umístěn nad ústí přívodního potrubí kalícího média (obr. 9-4).



*Obr. 10-2: Detail pece pro ohřev Quench sondy na danou teplotu*

Protože měření ochlazovacích křivek pro různé teploty lázní je celkem časově náročné, byl experiment navržen tak, aby se pokryl co největší rozptyl hodnot při co nejmenším počtu měření. Vzhledem k tomu, že experiment má co nejvíce navázat na reálné podmínky v lázni, byla nejnižší teplota olejové lázně určena na hodnotu 40°C a nejvyšší na 80°C. Rychlosti proudění kalící lázně byly voleny v rozsahu 0 – 1,5 m/s. Pro všechna měření byly zvoleny stejné rychlosti, aby bylo možné nenaměřené hodnoty vzájemně porovnávat.

| Návrh experimentu  |   |           |           |           |           |           |
|--------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Teplota lázně [°C] | Rychlost proudění oleje [m/s] a jejich označení |           |           |           |           |           |
| 40                 | 0 (40A)   | 0,1 (40B) | 0,4 (40C) | 0,8 (40D) | 1,2 (40E) | 1,5 (40F) |
| 60                 | 0 (60A)   | 0,1 (60B) | 0,4 (60C) | 0,8 (60D) | 1,2 (60E) | 1,5 (60F) |
| 80                 | 0 (80A)   | 0,1 (80B) | 0,4 (80C) | 0,8 (80D) | 1,2 (80E) | 1,5 (80F) |

**Tab. 10-1:** Návrh podmínek proudění a teplot oleje pro měření ochlazovacích schopností oleje, v závorkách označení měření ve výsledných ochlazovacích křivkách

## 10.2. Měření rychlosti proudění

Měření rychlosti proudění bylo zajištěno stejnou sondou SEAMETRICS 81, která je na obr. 10-3 a byla také použita při měření rychlostí proudění v reálných lázních firmy Wikov a.s. Sonda byla umístěna v mezikusu potrubí tvaru T, do kterého se zasunovala z boku (obr. 10-3). Těsnost mezi sondou a T-kusem byla zajištěna pryžovým o-kroužkem. Protože sonda byla kalibrována pro tento mezikus, bylo možné zjistit průtočný objem oleje za jednotku času a ze známého průměru potrubí tak dopočítat rychlost proudění. A tedy i zpětně zjistit nutný průtočný objem oleje pro dosažení určité rychlosti proudění v potrubí. Sonda funguje na principu lopatkového kola, jehož otáčky jsou snímány a přepočítávány

na průtočný objem, který se zobrazuje na připojené obrazovce (obr. 9-3 vpravo). Pro dosažení co nejmenšího třecího odporu jsou použita rubínová ložiska.



*Obr. 10-3: Sonda měřící rychlost průtoku (vlevo), T-kus pro vložení sondy (vpravo) [21]*

### **10.2.2. Regulace rychlosti proudění**

Regulace rychlosti proudění probíhala pomocí frekvenčního měniče (obr. 9-3 vlevo), který měnil frekvenci proudu, který procházel elektromotorem a reguloval tak jeho otáčky. To umožňovalo plynule regulovat rychlost proudění od téměř nulové až po maximální rychlost, kterou dovozovala bezpečnost provozu zařízení.

### **10.3. Regulace teploty olejové lázně**

Teplota lázně byla udržována při konstantní teplotě pomocí ponorného ohříváče Rommelsbacher TS 1001 s výkonem 1000W (obr. 10-4) a s řídicí jednotkou (obr. 9-5), která byla opatřena termočlánkem. Termočlánek snímal teplotu v lázni a podle naměřené teploty regulátor zapínal a vypínal ponorný ohříváč, který dohříval lázeň na předem nastavenou teplotu. Teplota lázně díky vysokému výkonu vařiče a přesnosti termočlánku byla velmi stabilní a kolísala pouze v řádech desetin stupňů Celsia.



*Obr. 10-4: Ponorný ohříváč s výkonem 1000 W [21]*

### **10.4. Postup měření**

Nejdříve se pomocí ponorného ohříváče s regulací zahřála olejová lázeň na provozní teplotu, při které mělo proběhnout měření. Následně se nastavila rychlost proudění a proudění se nechalo ustálit. Během ustalování proudění a ohřevu olejové lázně se nahřívala inconelová sonda v peci. V momentě, kdy byla zahřáta na zvolenou teplotu 855°C, byla vyjmuta z pece a zasunuta do připraveného kuželového vybrání, které se nacházelo v ose proudu oleje. Jakmile dosáhla sonda teploty 850°C započalo měření a záznam měřící jed-

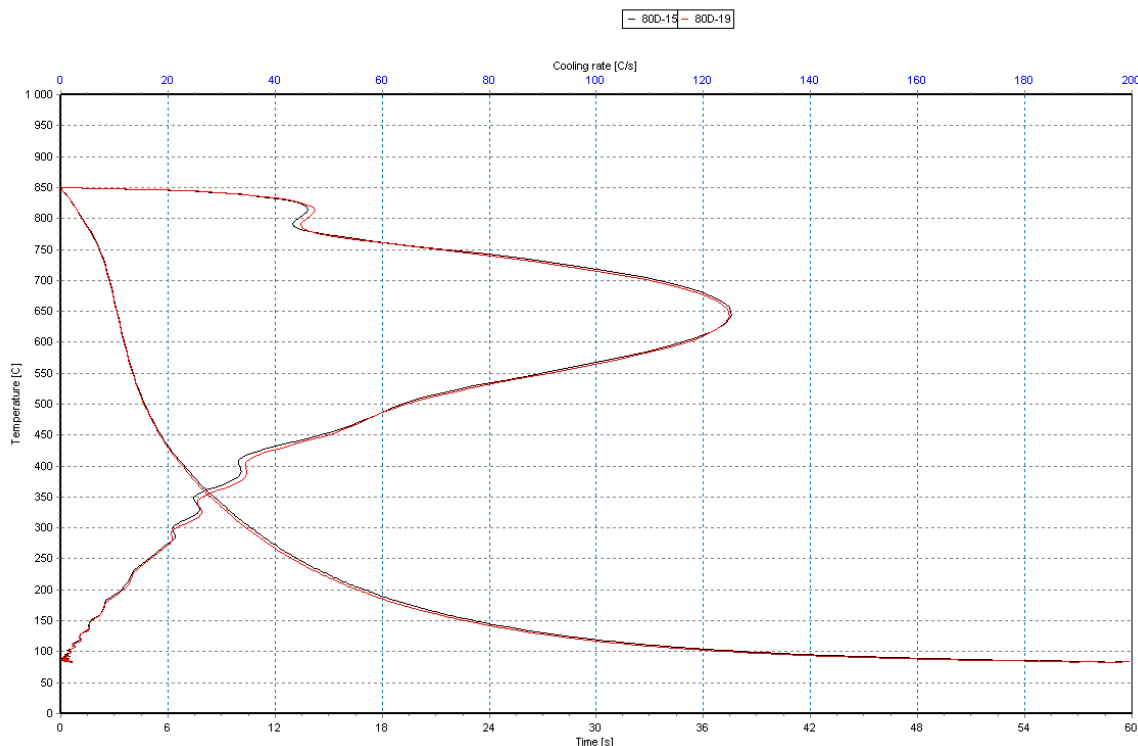
notky Quench testu. Následně byly naměřené křivky přesunuty do osobního počítače, kde se dále zpracovaly.

## 10.5. Výsledky měření

Výsledky měření jsou křivky intenzity ochlazování proudícího oleje. Jednotlivé křivky byly umístěné do společných diagramů, aby je šlo snáze porovnávat mezi sebou. Vznikly tak diagramy pro porovnání různých rychlostí proudění při konstantní teplotě lázně a digramy pro porovnání při konstantních rychlostech proudění za různých teplot. Pro věrohodnost výsledků bylo provedeno jedno kontrolní měření, které mělo za úkol ověřit reprodukovatelnost výsledků. Z naměřených křivek bylo na závěr vyhodnoceno několik významných hodnot popisujících ochlazovací schopnost lázně.

### 10.5.1. Kontrolní měření

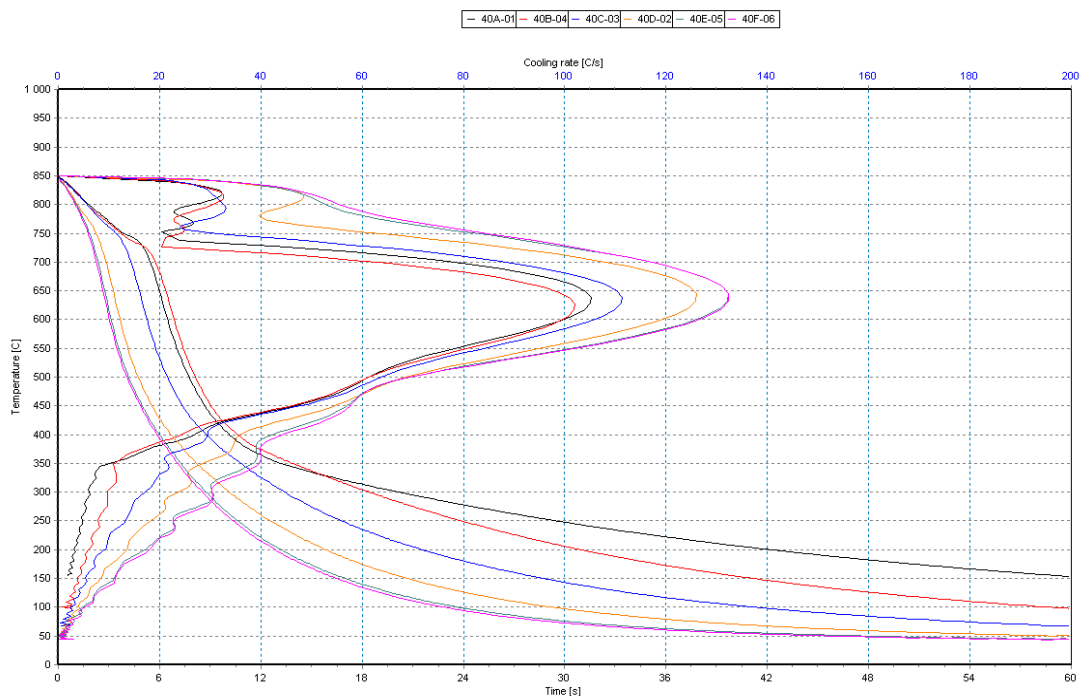
Kontrolní měření proběhlo za teploty 80°C a rychlosti proudění 0,8 m/s. Záměrem kontrolního měření bylo ověřit, zdali dvakrát provedené měření vykazuje stejné nebo velmi podobné výsledky. Z uvedeného grafu je patrné, že rozdíly mezi oběma křivkami jsou minimální a zanedbatelné a je tedy možné výsledky považovat za reprodukovatelné.



**Graf 10-1:** Kontrolní měření při teplotě 80°C a rychlosti proudění 0,8 m/s

### 10.5.2. Diagramy s konstantní teplotou (T = konst.)

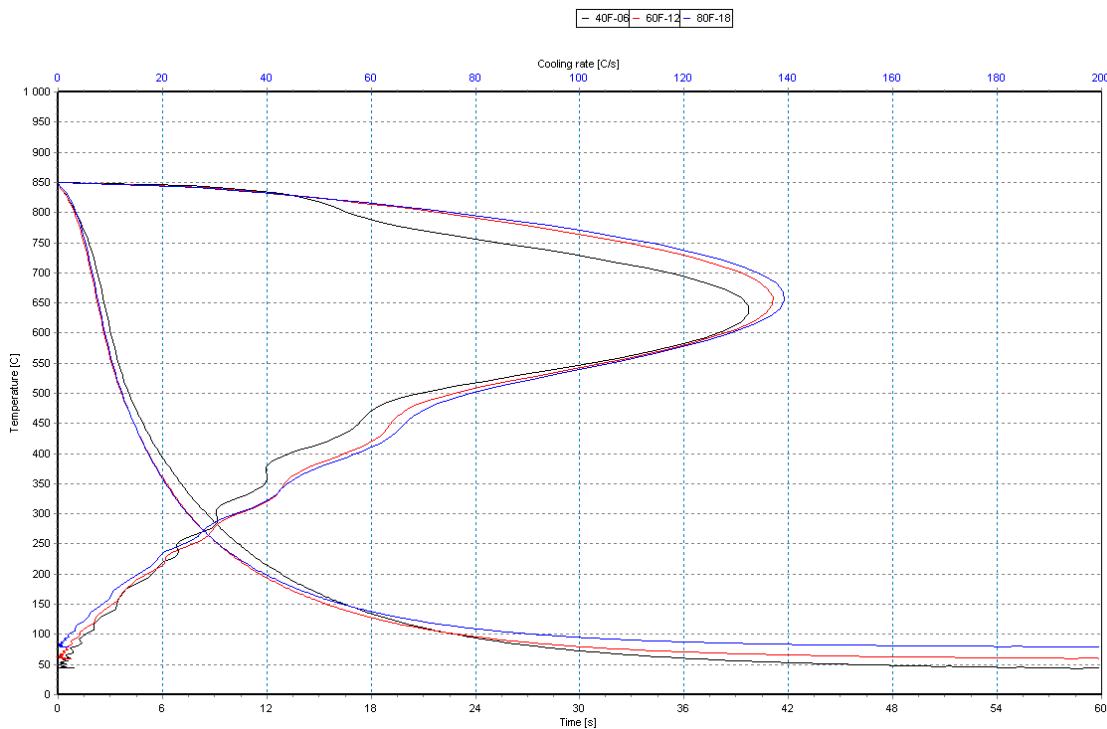
Příklad výsledného diagramu po měření, kde byla konstantní teplota (40°C) a různé rychlosti proudění (graf 10-2). Je zde patrný vliv odlišné rychlosti proudění kalicího oleje na ochlazovací křivku a výslednou rychlost ochlazování. Ostatní křivky ochlazování jsou v příloze č. 8. Značení rychlostí proudění je v tab. 10-1.



**Graf 10-2:** Ochlazovací křivky při teplotě oleje 40°C a různých rychlostech proudění

### 10.5.3. Diagramy s konstantní rychlostí proudění ( $v = \text{konst.}$ )

Příklad výsledného diagramu po měření, kde byla konstantní rychlost (1,5 m/s) a měnila se teplota kalicího oleje (graf 10-3). Je zde patrný menší vliv odlišné teploty než-li tomu bylo u rozdílných rychlostí proudění kalicího oleje na ochlazovací křivku a výslednou rychlost ochlazování. Ostatní křivky ochlazování jsou v příloze č. 8. Značení rychlostí proudění je v tab. 10-1.



**Graf 10-3:** Ochlazovací křivky pro rychlost 1,5 m/s a teplotou lázně 40, 60 a 80°C



| Křivka | Ochl. Rychlost na 300 °C [°C/s] | Ochl. Rychlost na 550 °C [°C/s] | Max. ochl. Rychlost [°C/s] | Čas ochlazení na 200°C [s] | Čas ochlazení na 400°C [s] | Čas ochlazení na 600°C [s] | Teplota konce přechodové fáze [°C] | Teplota konce parního polštáře [°C] |
|--------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 40A    | 6.22                            | 78.44                           | 105.14                     | 42.17                      | 10.14                      | 6.47                       | 345.29                             | 744.83                              |
| 40B    | 9.95                            | 80.9                            | 101.87                     | 30.95                      | 10.61                      | 6.86                       | 371.18                             | 732.55                              |
| 40C    | 18.1                            | 84.02                           | 111.32                     | 21.53                      | 8.78                       | 5.26                       | 357.98                             | 760.97                              |
| 40D    | 23.76                           | 95.38                           | 126.14                     | 15.82                      | 6.7                        | 3.66                       | 332.61                             | 779.96                              |
| 40E    | 30.52                           | 101.24                          | 132.38                     | 13.17                      | 5.99                       | 3.14                       | 377.95                             | 849.84                              |
| 40F    | 30.3                            | 101.98                          | 132.48                     | 12.83                      | 5.85                       | 3.05                       | 372.82                             | 849.71                              |
|        |                                 |                                 |                            |                            |                            |                            |                                    |                                     |
| 60A    | 5.57                            | 70.57                           | 105.7                      | 46.42                      | 10.4                       | 6.02                       | 365.86                             | 752.05                              |
| 60B    | 12.73                           | 76.49                           | 106.83                     | 27.06                      | 9.72                       | 5.71                       | 380.15                             | 752.12                              |
| 60C    | 14.65                           | 78.9                            | 109.09                     | 24.03                      | 9.18                       | 5.28                       | 375.71                             | 762.63                              |
| 60D    | 22.54                           | 89.78                           | 122.77                     | 16.15                      | 6.94                       | 3.64                       | 402.4                              | 785.47                              |
| 60E    | 29.6                            | 98.89                           | 132.57                     | 13.17                      | 5.79                       | 2.91                       | 304.7                              | 849.97                              |
| 60F    | 34.56                           | 104.38                          | 137.15                     | 11.58                      | 5.2                        | 2.65                       | 187.95                             | 849.74                              |
|        |                                 |                                 |                            |                            |                            |                            |                                    |                                     |
| 80A    | 5.53                            | 70.54                           | 105.79                     | 49.98                      | 10.37                      | 5.95                       | 366.63                             | 750.06                              |
| 80B    | 11.04                           | 75.81                           | 107.06                     | 28.95                      | 9.74                       | 5.69                       | 380.71                             | 752.26                              |
| 80C    | 14.11                           | 77.92                           | 109.61                     | 25.73                      | 9.33                       | 5.35                       | 377.4                              | 760.07                              |
| 80D    | 20.89                           | 89.54                           | 125.22                     | 17                         | 6.92                       | 3.56                       | 405.48                             | 791.11                              |
| 80D    | 21.49                           | 91                              | 124.89                     | 16.59                      | 6.82                       | 3.54                       | 400.52                             | 789.46                              |
| 80E    | 28.32                           | 99.97                           | 133.93                     | 13.29                      | 5.62                       | 2.91                       | 247.59                             | 849.91                              |
| 80F    | 34.1                            | 105.75                          | 139.21                     | 11.86                      | 5.18                       | 2.71                       | 169.22                             | 849.86                              |

**Tab. 10-2:** Tabulkové hodnoty vyhodnocené z ochlazovacích křivek

## 10.6. Vyhodnocení výsledků

Stavba a konstrukce experimentálního zařízení se snažila co nejvíce zajistit uniformní proudění v místě měření tak, aby výsledky jednotlivých měření byly porovnatelné. Tento záměr s ohledem na výsledky byl naplněn. Vzhledem ke kolísavosti dějů v reálných kalicích lázních, nelze nikdy zcela přesně na experimentálním zařízení navodit stejné podmínky jako v reálné lázni. Návrh experimentálního zařízení se o tento záměr ani nepokoušel.

Smyslem experimentu bylo proměřit závislosti rychlosti proudění a teplot oleje ve vazbě na rychlost ochlazování a přiřadit těmto závislostem, které se zdají být zřejmé, reálnou podobu ve formě čísel, se kterými lze dále pracovat.

Naměřené ochlazovací křivky poskytly mnoho zajímavých dat ke zpracování. Z výsledků je jednoznačně patrný významný vliv rychlosti proudění kalicího média (v tomto případě oleje) na ochlazovací schopnost lázně. Méně patrný, přesto nezanedbatelný, vliv na ochlazovací schopnost lázně má i teplota lázně.

Z naměřených křivek jednoznačně vyplývá závislost rychlosti proudění olejové lázně na rychlost ochlazování a to tak, že s rostoucí rychlostí proudění se zvyšuje rychlost ochlazování materiálu ve všech fázích ochlazování. Dále z naměřených křivek vyplývá, že existuje jistá hraniční rychlost, kde při jejím zvýšení dochází k téměř úplné eliminaci fáze parního polštáře při ochlazování. Tato rychlost je významná pro efektivnější ochlazování a tedy zvýšení prokalitelnosti. Je nutné podotknout, že hraniční rychlost, jež je možné dopočítat z naměřených hodnot, je hraniční rychlostí v podmínkách experimentálního zařízení a její přenositelnost na podmínky průmyslové praxe je velmi obtížná.

Patrný vliv na ochlazovací schopnost lázně měla také teplota lázně. Z trendu křivek lze vyzorovat, že zatímco pro nízké rychlosti proudění je vliv teploty lázně na ochlazovací schopnost lázně minimální, tak při zvyšující se rychlosti proudění a zvyšující se teplotě lázně dochází k nárůstu rychlosti ochlazování.

Celkově lze shrnout výsledky tak, že s rostoucí teplotou kalící lázně (olej, Durixol W72) a rostoucí rychlosti proudění (v rámci měřeného rozsahu) oleje dochází ke zvyšování ochlazovací schopnosti kalící lázně. Naměřené výsledky z experimentu se v zásadě shodují s myšlenkami používaných v průmyslové praxi tepelného zpracování.

## 11. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PO ZAKALENÍ V EXPERIMENTÁLNÍM ZAŘÍZENÍ NA VZORCÍCH

V této kapitole bude vyhodnoceno měření na vzorcích vyrobených speciálně pro tento účel. Bude se zde porovnávat vliv parametrů a režimů kalicího média na tvrdost a strukturu po zakalení v experimentálním zařízení.

### 11.1. Použité zařízení a přípravky

Vzorky byly vyhotoveny z materiálu ČSN 41 2040 (C35) do požadovaného tvaru o  $\varnothing$  25 mm a délky 60 mm (příloha č. 6). Byla provedena na jiskrovém spektrometru analýza chemického složení pro ověření, zda daná ocel odpovídá chemickému složení oceli ČSN 41 2040. Výsledky jsou uvedeny v tab. 11-1.

| Vzorek: |        | Jakost: 1.0501 |         |         |        |        |         |        |
|---------|--------|----------------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|
| Ne      | C      | Si             | Mn      | P       | S      | Cr     | Mo      | Ni     |
|         | %      | %              | %       | %       | %      | %      | %       | %      |
| 3       | 0.3480 | 0.3450         | 0.670   | 0.0052  | 0.0037 | 0.0581 | 0.0048  | 0.0234 |
| 4       | 0.3469 | 0.3425         | 0.665   | 0.0048  | 0.0039 | 0.0556 | 0.0050  | 0.0161 |
| 5       | 0.3722 | 0.4170         | 0.666   | 0.0049  | 0.0037 | 0.0548 | 0.0055  | 0.0145 |
| 6       | 0.3386 | 0.3369         | 0.669   | 0.0063  | 0.0055 | 0.0549 | 0.0057  | 0.0143 |
| 7       | 0.3343 | 0.3327         | 0.668   | 0.0053  | 0.0028 | 0.0547 | 0.0066  | 0.0154 |
| 8       | 0.3296 | 0.3400         | 0.672   | 0.0063  | 0.0046 | 0.0552 | 0.0060  | 0.0159 |
| Ne      | Al     | Co             | Cu      | Nb      | Ti     | V      | W       | Pb     |
|         | %      | %              | %       | %       | %      | %      | %       | %      |
| 3       | 0.0293 | 0.0129         | 0.0745  | <0.0050 | 0.0019 | 0.0047 | <0.0400 | 0.0122 |
| 4       | 0.0298 | 0.0139         | 0.0730  | <0.0050 | 0.0018 | 0.0046 | <0.0400 | 0.0125 |
| 5       | 0.0290 | 0.0136         | 0.0738  | <0.0050 | 0.0019 | 0.0047 | <0.0400 | 0.0133 |
| 6       | 0.0288 | 0.0143         | 0.0737  | <0.0050 | 0.0019 | 0.0045 | <0.0400 | 0.0140 |
| 7       | 0.0296 | 0.0159         | 0.0734  | <0.0050 | 0.0018 | 0.0045 | <0.0400 | 0.0156 |
| 8       | 0.0298 | 0.0153         | 0.0752  | <0.0050 | 0.0019 | 0.0049 | <0.0400 | 0.0154 |
| Ne      | Sn     | As             | Zr      | B       | Fe     |        |         |        |
|         | %      | %              | %       | %       | %      |        |         |        |
| 3       | 0.0121 | 0.0321         | <0.0030 | 0.0024  | 98.4   |        |         |        |
| 4       | 0.0117 | 0.0308         | <0.0030 | 0.0023  | 98.4   |        |         |        |
| 5       | 0.0118 | 0.0315         | <0.0030 | 0.0023  | 98.3   |        |         |        |
| 6       | 0.0121 | 0.0312         | <0.0030 | 0.0024  | 98.4   |        |         |        |
| 7       | 0.0118 | 0.0304         | <0.0030 | 0.0024  | 98.4   |        |         |        |
| 8       | 0.0125 | 0.0326         | <0.0030 | 0.0025  | 98.4   |        |         |        |

**Tab. 11-1:** Výsledky po ověření chemického složení materiálu

Pro co nejsnazší a nejrychlejší transport ohřátých vzorků z prostoru pece do kalicí lázně byl zkonstruován přípravek (obr. 11-1). Přípravek se skládal ze závitové tyče o délce 50 cm, na které byl našroubován protikus dna stojanu, který byl zajištěn maticí M10, a madla přivařena kolmo na hlavní závitovou tyč. Tvar použitého stojanu, který byl vyroben také jen pro tento účel, je v příloze č.7. Stojan byl zhotoven z důvodu co nejpřesnějšího a nejrychlejšího vložení zahřátého vzorku do lázně tak, aby byl co nejlépe vycentrován s osou hlavní přívodní trubky kalicího oleje do lázně experimentálního zařízení.



**Obr. 11-1:** Přípravek s připevněným vzorkem

K experimentálnímu zařízení byla připojena všechna měřicí, regulační a provozní zařízení jako při měření rychlosti proudění kalického média pomocí Quench testu, popsané v kapitole 3.

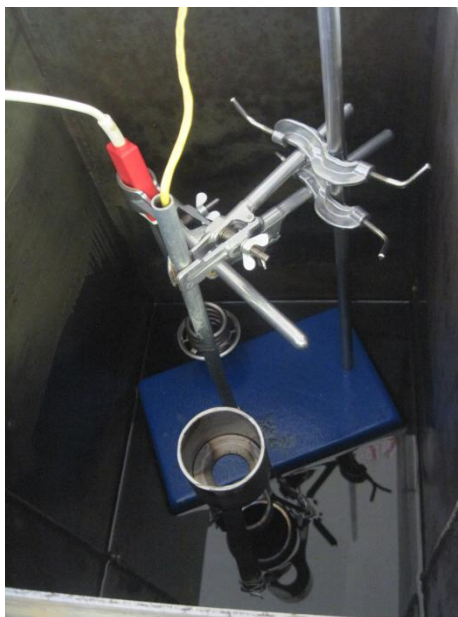
Použité měřicí a regulační zařízení a přípravky:

- frekvenční měnič, pomocí kterého byly regulovány otáčky elektromotoru,
- rychlostní sonda s ukazatelem,
- ponorný ohřívač,
- termočlánek napojen na regulátor teploty – dle nastavené teploty vypínal a zapínal ponorný ohřívač,
- laboratorní pec,
- termočlánek pro zjištění přesné hodnoty teploty v peci v blízkosti vzorků,
- nádoba s vodou pro dochlazení vzorků,
- nádoba s „jarovou“ vodou, která sloužila pro praní vzorků po ochlazení.

Jelikož byly vzorky připevněny na dlouhých tyčích, které se nevešly do lázně, musela být dvířka pece stále otevřena. Pro tento účel byla vyhotovena krycí deska ze žáruvzdorného materiálu GRENAMAT AS používaného v kamnářství jako náhražka šamotu, která se snadno opracovala a vyhovovala pro tento účel. Zbýlý prostor byl dotěsněn izolační vatou z materiálu SIBREX®. Kompletní sestavu experimentálního zařízení s veškerým měřicím a regulačním zařízením vč. pece je názorně zobrazeno na obr. 11-2. Vyrobený stojan pro usnadnění vkládání vzorků do lázně a uspořádání dalších prvků (ponorný ohřívač, termočlánek připojený k regulátoru a laboratorní stojan) je zobrazen na obr. 11-3. Na obr. 11-4 je zobrazeno utěsnění pece s vloženými vzorky.



*Obr. 11-2: Kompletní sestava experimentálního zařízení s veškerým měřicím a regulačním zařízením vč. laboratorní pece*



*Obr. 11-3: Uspořádání zařízení a přípravků v lázni experimentálního zařízení*



*Obr. 11-4: Pec s utěsněným otvorem (deskou ze žáruvzdorného materiálu GRENAMAT AS a izolační vatou z materiálu SIBREX) a vloženými vzorky do pecního prostoru*

## 11.2. Postup měření

### 11.2.1. Kalení vzorků v experimentálním zařízení

Všechny vzorky připevněné k přípravku byly jednotlivě vloženy do předehřáté pece na 850°C na dobu 25 minut, která byla dostatečná pro ohřev celého průřezu vzorků. Než-li se vzorky prohřály, tak byly nastaveny parametry kalicí lázně na požadovanou teplotu pomocí regulátoru teploty a ponorného ohříváče a rychlost proudění pomocí frekvenčního měniče, který reguloval otáčky elektromotoru.

Teploty kalicí lázně byly zvoleny 40°C a 60°C. Použité rychlosti byly stanoveny dle předešlého měření pomocí Quench sondy (min. hodnota tj. 0 m/s a max. hodnota 1,2 m/s). Dle zjištěných rychlostí v reálných lázních byly zvoleny další dvě hodnoty rychlostí a to 0,3 a 0,5 m/s. Značení vzorků dle teploty a rychlosti proudění kalicí lázně jsou v tab. 11-2. Každé jednotlivé nastavení měření se provedlo na dvou vzorcích.

| Teplota [°C]            | 40     | 60     |
|-------------------------|--------|--------|
| Rychlost proudění [m/s] |        |        |
| 0                       | 40_A_1 | 60_A_1 |
|                         | 40_A_2 | 60_A_2 |
| 0,3                     | 40_B_1 | 60_B_1 |
|                         | 40_B_2 | 60_B_2 |
| 0,5                     | 40_C_1 | 60_C_1 |
|                         | 40_C_2 | 60_C_2 |
| 1,2                     | 40_D_1 | 60_D_1 |
|                         | 40_D_2 | 60_D_2 |

**Tab. 11-2:** Označování vzorků, dle parametrů kalící lázně  
[teplota\_ rychlost proudění\_poř. vzorku]

Po zakalení do dostatečné teploty po dobu 2-3 minut byly dochlazeny v nádobě s vodou a následně oprány v nádobě s „jarovou“ vodou. Po vyprání se osušily a označily dle značení v tab. 11-2.

Celá tato část experimentu byla provedena v laboratořích firmy Ecosond s.r.o.

### 11.2.2. Zpracování a vyhodnocení vzorků

Dále byly vzorky převezeny do firmy Wikov MGI a.s., kde byly zpracovány a vyhodnoceny v metalografické laboratoři.

Nejprve bylo na vzorky vyraženo značení odpovídající tab. 6-1. Poté byly jednotlivě otryskány v ručním tryskacím zařízení.

#### Měření povrchové tvrdosti

Následně se pneumatickou bruskou určenou k tomuto účelu obrousila ploška pro měření povrchové tvrdosti. Ta byla měřena na stacionárním tvrdoměru metodou dle Rockwella (HRC) zatížením 150 kg. Výsledné hodnoty jsou v tab. 6-3.

| Vzorek | HRC na povrchu | průměr | Vzorek | HRC na povrchu | průměr |
|--------|----------------|--------|--------|----------------|--------|
| 40_A_1 | 21, 24, 23     | 53     | 60_A_1 | 21, 25, 25     | 54     |
| 40_A_2 | 25, 24, 21     | 56     | 60_A_2 | 21, 21, 19     | 48     |
| 40_B_1 | 26, 27, 27     | 62     | 60_B_1 | 29, 28, 27     | 66     |
| 40_B_2 | 19, 21, 19     | 46     | 60_B_2 | 21, 19, 23     | 48     |
| 40_C_1 | 20, 19, 20     | 46     | 60_C_1 | 27, 26, 28     | 62     |
| 40_C_2 | 24, 26, 25     | 58     | 60_C_2 | 30, 28, 30     | 68     |
| 40_D_1 | 24, 24, 24     | 56     | 60_D_1 | 31, 33, 28     | 73     |
| 40_D_2 | 23, 32, 29     | 65     | 60_D_2 | 28, 31, 30     | 69     |

**Tab. 11-3:** Výsledné hodnoty povrchového měření tvrdosti dle HRC

#### Příprava vzorků a měření průběhu tvrdosti

Dále byly vzorky rozřezány v délce jednoho průměru od předního čela vzorku na úkopy, zality do laboratorních forem pro lepší a vhodnou manipulaci na brusce a leštičce a následné měření mikrotvrdosti.

Po kompletní přípravě všech vzorků byl změřen u jednotlivých vzorků průběh tvrdosti dle Vickerse (HV 0,5) od povrchu směrem k jádru a v jádru pomocí mikrotvrdoměru

LECO LM300AT připojeného k PC. Z každého měření byl vyhotoven protokol viz. přílohy. Zatížení tvrdoměru bylo zvoleno 0,5 kg.

Pro ukázkou rozdílu výsledků tvrdosti po kalení při teplotě kalicího oleje 40°C a nulové rychlosti proudění proti teplotě kalicího oleje 60°C a max. rychlosti proudění 1,2 m/s je v tab. 11-4 a tab. 11-5.

Rozdíly v tvrdostech sice jsou, ale minimální v porovnání s původním předpokladem.

## RECORD



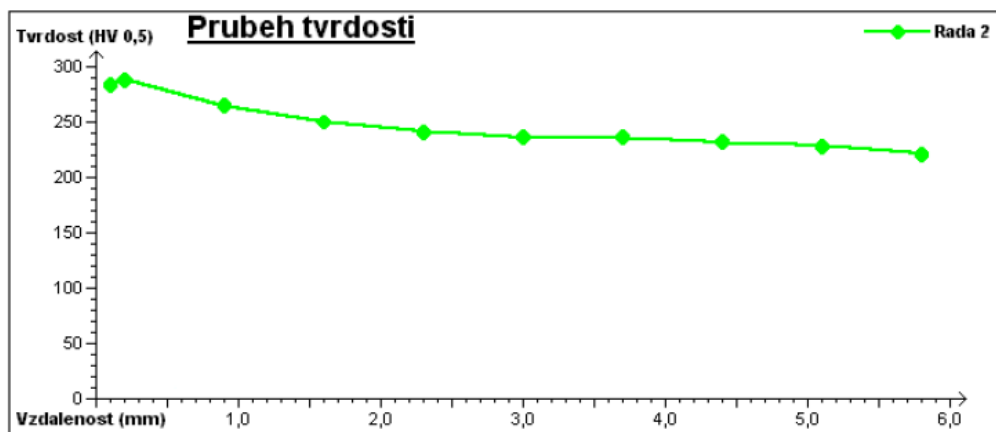
**WIKOU MGI**

**Wikov MGI a.s.**  
Zbecnik 356  
54931 Hronov  
metal@wikov.com

**Sample:** 40\_A\_2  
**Date:** 9.4.2014  
**Material:** 12040  
**Operator:** Kaizr  
**Indentor :** VICKERS **Objective:** X50  
**Time:** 10 **Loading:** 0,5

**Part name:** vzorek po kalení  
**Item:** olej 40°C, rychl. A  
**Drawing number :**  
**Order:** ohrev 850°C, 25 min  
**Charge:**  
**Test Program :** C:\Hardtest\TestPrg\Cementace.Tpr

**Melting:**  
**Surf. hardness:** stac.(150kg) 25,24,21 HRC  
**Contr. hardness:**  
**CHD tech. layer:**  
**CHD draw. layer:**



### Results:

Tvrdost jadra = 239 HV 0,5

Hloubka vrstvy: Eht 0 HV 0,5 = 0,00 mm

| Line 1 |          |            |                |
|--------|----------|------------|----------------|
| Point  | Distance | Hardnes    | Re-count hard. |
| 1      | 0.000    | 200 HV 0,5 | -              |
| 2      | 0.000    | 228 HV 0,5 | -              |
| 3      | 0.000    | 282 HV 0,5 | 27,4 HRC       |

| Line 2 |          |            |                |
|--------|----------|------------|----------------|
| Point  | Distance | Hardnes    | Re-count hard. |
| 1      | 0.100    | 284 HV 0,5 | 27,7 HRC       |
| 2      | 0.200    | 288 HV 0,5 | 28,3 HRC       |
| 3      | 0.900    | 265 HV 0,5 | 24,8 HRC       |
| 4      | 1.600    | 250 HV 0,5 | 22,3 HRC       |
| 5      | 2.300    | 241 HV 0,5 | 20,6 HRC       |
| 6      | 3.000    | 236 HV 0,5 | -              |
| 7      | 3.700    | 236 HV 0,5 | -              |
| 8      | 4.400    | 232 HV 0,5 | -              |
| 9      | 5.100    | 228 HV 0,5 | -              |
| 10     | 5.800    | 221 HV 0,5 | -              |

**Tab. 11-4:** Výsledek měření průběhu tvrdosti dle HV na vzorku 40\_A\_2



## RECORD

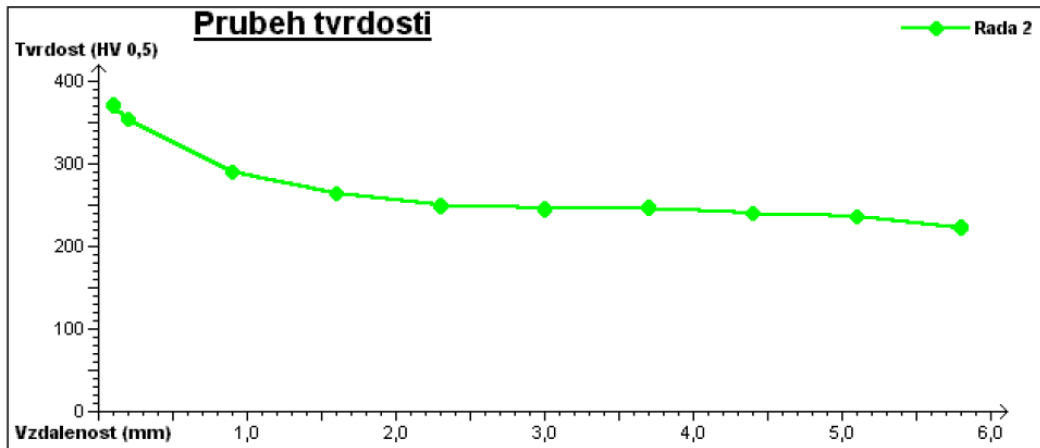


**WIKOU MGI**

**Wikov MGI a.s.**  
Zbecnik 356  
54931 Hronov  
metal@wikov.com

Sample: **60\_D\_2**  
Date: 10.4.2014  
Material: 12040  
Operator: Kaizr  
Indenter : VICKERS Objective: X50  
Time: 10 Loading: 0,5

Part name: vzorek po kaleni  
Item: olej 60°C, rychl. D  
Drawing number :  
Order: ohrev 850°C, 25 min  
Charge:  
Test Program : C:\Hardtest\TestPrg\Cementace.Tpr  
Melting:  
Surf. hardness: stac.(150kg) 28,31,30 HRC  
Contr. hardness:  
CHD tech. layer:  
CHD draw. layer:



### Results:

Tvrdost jadra = 238 HV 0,5

Hloubka vrstvy: Eht 0 HV 0,5 = 0,00 mm

#### Line 1

| Point | Distance | Hardnes    | Re-count hard. |
|-------|----------|------------|----------------|
| 1     | 0.000    | 229 HV 0,5 | -              |
| 2     | 0.000    | 232 HV 0,5 | -              |
| 3     | 0.000    | 253 HV 0,5 | 22,8 HRC       |

#### Line 2

| Point | Distance | Hardnes    | Re-count hard. |
|-------|----------|------------|----------------|
| 1     | 0.100    | 371 HV 0,5 | 37,9 HRC       |
| 2     | 0.200    | 354 HV 0,5 | 36,0 HRC       |
| 3     | 0.900    | 290 HV 0,5 | 28,5 HRC       |
| 4     | 1.600    | 264 HV 0,5 | 24,7 HRC       |
| 5     | 2.300    | 249 HV 0,5 | 22,2 HRC       |
| 6     | 3.000    | 245 HV 0,5 | 21,4 HRC       |
| 7     | 3.700    | 247 HV 0,5 | 21,8 HRC       |
| 8     | 4.400    | 240 HV 0,5 | 20,4 HRC       |
| 9     | 5.100    | 236 HV 0,5 | -              |
| 10    | 5.800    | 223 HV 0,5 | -              |

**Tab. 11-5:** Výsledek měření průběhu tvrdosti dle HV na vzorku 60\_D\_2

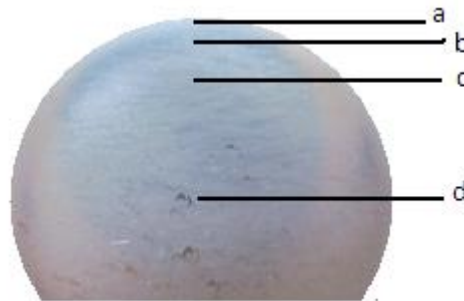


### Zaznamenávání výsledných struktur po kalení

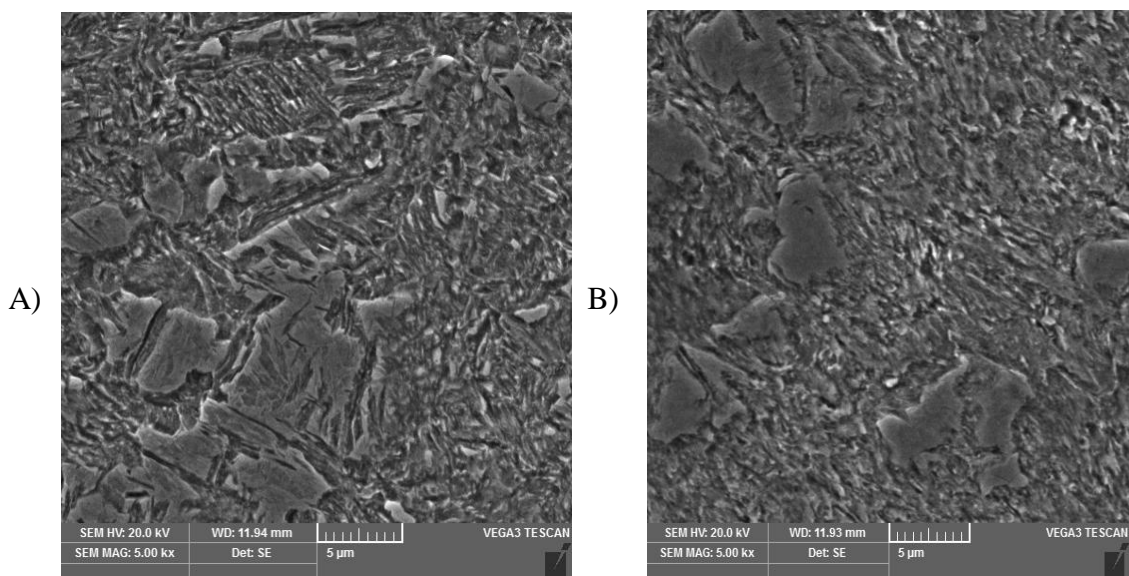
Po vyhodnocení průběhu tvrdostí na jednotlivých vzorcích byly vzorky naleptány Nitalem (3%) a nafoceny na mikroskopickém zařízení NEOPHOT 21.

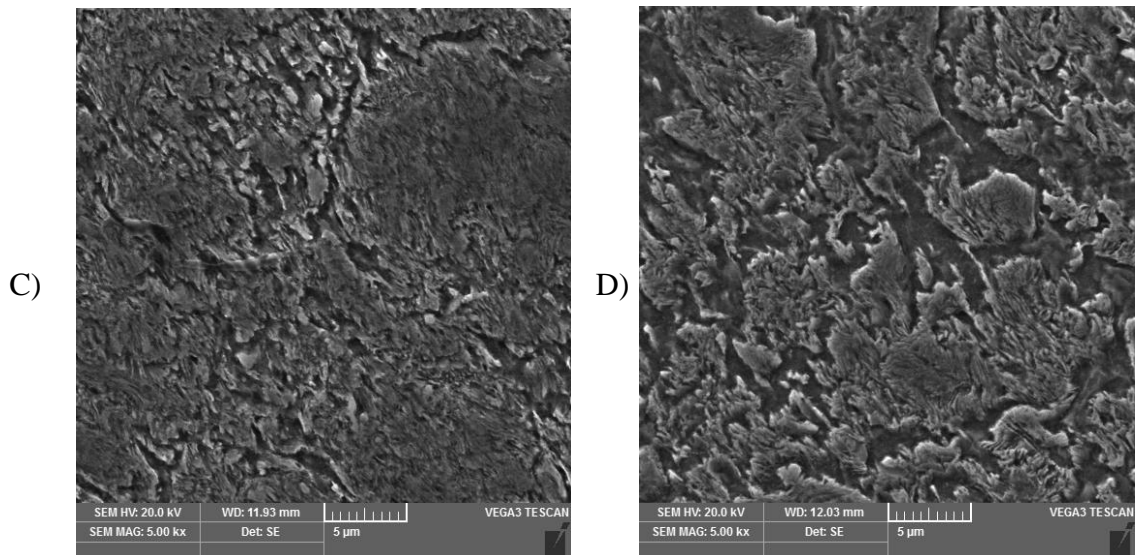
U každého vzorku byly vyfotografovány vždy 3 snímky a to okraj vzorku, 0,2 mm od kraje a jádro. Bylo použito celkové zvětšení 400x. Všechny fotografie jsou uvedeny v příloze č.9.

Rozdíly ve struktuře byly minimální. Převládala perliticko-feritická struktura. Pouze po kalení při maximální rychlosti proudění (1,2 m/s) a teploty oleje 60°C se vyskytl u okraje vzorku malý podíl martenzitické a bainitické struktury (obr. 11-6). Při druhé nejnížší rychlosti (0,3 m/s – B) u obou teplot kalicího oleje (40°C a 60°C) byl dokonce mírně oduhličený povrch. Ostatní fotografie struktur pořízené na světelném mikroskopu jednotlivých pokusů jsou uvedeny v příloze č. 9.



*Obr. 11-5: Pozice pořízených fotografií na ŘEM na vzorku 60\_D\_1*





*Obr. 11-6: Fotografie struktury vzorku 60\_D\_1 zakaleného při max. rychlosti proudění (1,2 m/s) a nejvyšší teplotě oleje (60°C) pořízené na řádkovacím elektronovém mikroskopu (zvětšeno 5000x)*

### 11.3. Vyhodnocení výsledků

V této kapitole se měl zjistit vliv rozdílných parametrů kalicího média na reálné vzorky. Dle zjištěných hodnot byly rozdíly jak u povrchové tvrdosti, tak průběhu mikro-tvrdosti a výsledných struktur minimální. Přesto lze říci, že vliv jak teploty, tak rychlosti kalicího média byl potvrzen. Byl potvrzen předpoklad z měření rychlostí pomocí ivf Quench testu, kde nejrychlejší ochlazovací schopnosti vykazovala lázeň s nejvyšší teplotou a nejvyšší rychlostí proudění, protože má nejvyšší schopnost narušit nebo potlačit tvorbu parního polštáře.

Bylo by vhodné další měření provést na vzorcích s ještě menším průměrem. Materiál se ale musí volit vzhledem k jeho prokalitelnosti, což bylo obtížné odhadnout i u tohoto měření. U zvoleného materiálu dle ČSN 41-2040 se předpokládala větší schopnost prokalení.

## 12. Diskuze

Na vzniklé deformace při tepelném zpracování má vliv větší počet faktorů. Nejvýraznějším je vlastní konstrukce výrobku, v tomto případě ozubených kol. V první řadě je důležité chemické složení oceli, resp. dodržení chemického složení v co nejúžším pásmu rozptylu. Dále je důležitá výchozí struktura materiálu, která by měla být co nejvíce homogenní, bez vyřádkování, co nejvyšší možná čistota materiálu (bez vměstků a nečistot), dále pak jemnozrnnost a vyrovnanost velikosti zrn po průřezu. Z dalších (ovlivnitelných) vlivů lze jmenovat prokalitelnost, proces tepelného a chemicko-tepelného zpracování a kalicí prostředí.

Pro minimalizaci deformací je základem dodržení materiálových vlastností v určitých, předem definovaných mezích. Pokud nebude dodržena tato vstupní podmínka, nelze pak účinně odstranit vznikající deformace při chemicko-tepelném zpracování.

Nejprve je nutné přesně definovat materiálové požadavky na dodavatele oceli a především vyžadovat (a kontrolovat) jejich dodržení. Základem je dostávat od dodavatelů materiál s co nejvíce vyrovnanými vlastnostmi. Optimální by bylo odebrat materiál najednou z jedné tavby na co největší počet vyráběných ozubených kol právě z důvodu zajištění stejných vstupních podmínek.

Generální popis deformace je složitý komplexní problém a závisí na konkrétní geometrii a konkrétních okolnostech procesu. Existuje celá řada závislostí mezi parametry výroby, tepelného zpracování a deformacemi. Zkušenosti v této oblasti jsou v mnoha případech obtížně přenositelné. Výsledky vyšetřování deformací je vždy nutno důkladně ověřovat praxí.

V této diplomové práci byly proměřeny rychlosti v reálných lázních různými způsoby a vyhodnoceny jejich výsledky. Vše sloužilo pro lepší orientaci, jak se daná lázeň chová při které rychlosti a ve kterých místech má nejintenzivnější ochlazovací schopnost na vloženou vsázku.

V dalším bodě bylo provedeno a vyhodnoceno měření na reálných kusech ozubených kol, které prošly kompletním procesem CHTZ a následně byly kaleny v lázních o různých rychlostech proudění v reálných lázních. Byly porovnány hodnoty rozměrů před a po CHTZ a následně vyhodnoceny v daných tabulkách. Dle zjištěných dat je patrné, že nejvhodnější bylo použití malé kalicí lázně při dvou rychlejších rychlostech 3 a 4 a u velké jako nejvhodnější rychlost lázně 2. Následně byl zjištěn veliký vliv ustavení kol na stojany. Musí být maximálně vyrovnané na opracovaných podložkách. Každá nerovnost a odchylka se projevila na rozměrových deformacích. Proto je také velmi důležitý vliv lidského faktoru proškoleného personálu.

Dále byl popsán postup při konstrukci experimentálního zařízení a problematika této práce. Jeho kompletace proběhla bez zásadních problémů a zařízení pracovalo dle předpokladů.

V experimentu byly zjištěny hodnoty ochlazovacích rychlostí kalicí lázně ve zkonstruovaném experimentálním zařízení, které potvrzovaly předpoklad, že při zvětšené rychlosti proudění bude mít kalicí lázeň nejvyšší ochlazovací schopnost.

V posledním bodě této práce byl proveden a vyhodnocen proces kalení daných vzorků v laboratorních podmínkách na sestaveném experimentálním zařízení, kde se měnily parametry kalicí lázně. I zde se projevil rozdíl u tvrdostí a struktur při rozdílných podmínkách kalení.

Původně byl předpoklad na experimentálním zařízení vyhodnotit vzorky, u kterých by bylo možno zjistit vliv deformací a následně tyto poznatky aproximovat na reálné kusy

ozubených kol, které prošly kompletním procesem CHTZ a byly kaleny v reálných lázních. Bohužel zkušební zařízení neumožňovalo použít jiný tvar vzorků, jež by bylo vhodné pro měření deformací. A to z důvodu požadovaného tvaru vzorků, který je normovaný, má tvar kroužků se zářezem, kde je jejich průměr větší, nežli je průměr hlavní trubky experimentálního zařízení.

Díky spolupráci jak v akademickém, tak hlavně aplikačním prostředí je hlavní ceností proškolený, vzdělaný a zkušený personál. Většina výsledků týkající se TZ vychází nejvíce ze zkušeností personálu a vedoucích pracovníků. Jak bylo i v této práci viditelné, jakékoliv předpoklady se musí nejdříve potvrdit a až poté se s nimi může dále pracovat a rozvíjet je.

### **13. Závěr**

V této diplomové práci bylo z měření na reálných ozubených kolech zjištěno, že vliv parametrů kalicího média po chemicko-tepelném zpracování má minimální vliv na změnu struktury. Pouze se měnila nepatrně tvrdost. Tento poznatek byl potvrzen i při měření laboratorních vzorků, které byly kaleny v experimentálním zařízení.

Jeden z nejdůležitějších vlivů na deformace ozubených kol při chemicko-tepelném zpracování byl způsob uložení a sestavení vsázky. Při takovémto rozměru kol by bylo více výhodné pokládat maximálně 3 kola na sebe. Velký důraz by měl být kladen na obsluhu a na přesnost podložek, jimiž jsou kola prokládána.

## Seznam použité literatury

- [1] P. Jurči, P. Stolař, L. Pavlů, H. Altena; *Pokrokové trendy ve zpracování ozubených součástí s ohledem na minimalizaci deformací*; článek pro konferenci METAL 2005, Hradec nad Moravicí
- [2] Rakhit, A. K.; *Heat treatment of gears, a practical guide for engineers*; ASM international 2000, ISBN 0-87170-694-6
- [3] Pánek, J.; *Vliv struktury materiálu a chemicko-tepelného zpracování na deformace talířových kol*; diplomová práce, TUL, 1999
- [4] Stolař, P.; *Pedagogické materiály – VŠCHT*, Praha, 2011
- [5] Jurči, P.; Low-pressure Carburising of Gear Wheels, *Proceedings of the 18th Int. Conf. On Heat Treatment*, (stránky 123 - 130). Brno, Česká Republika, 2000
- [6] Bergström, C. L.; *Reduction of Distortion in Case Hardening*. HTM, 43, (str. 36-40), 1988
- [7] Kraus, V.; *Tepelné zpracování a slinování*; ZČU, 1999
- [8] Slavík, Z.; *Vliv vybraných faktorů tepelného zpracování na deformaci ozubení a jeho hlučnost*; diplomová práce, TUL, 1997
- [9] Braun, R.; Influence of the Quenching Process on Microstructure and Distortion of Heat Treated Parts with Particular Emphasis on Quench Oils. *5th International Conference and European Conference on Heat Treatment 2007*, (str. 47-56). Berlín, Německo, 2007
- [10] Schüttenberg, S. K.; Quenching with fluid jets, *Proceedings of 2nd International Conference on Distortion Engineering*, (str. 277-284), Brémy, Německo, 2008
- [11] Volkmuth, J.; Verzug – Grundlagen und allgemeine Gesetzmäßigkeiten, Möglichkeiten zur Verzugsreduzierung, Praxisbeispiele, *FVA – Tagungsband „Werkstoffe und Wärmebehandlung“*. Heppenheim, Německo, 1999
- [12] Stolař, P.; *Vlastní měření*, Praha, 2000
- [13] Minck, F.; Analyse der Abkühlbedingungen großer Werkstücke während der Abkühlung in flüssigen Medien vom Typ Öl bzw. Polymer, um eine Beziehung zwischen theoretischer und experimenteller Ausbildung der Gefüge zu ermitteln: Einfluss der Abschreckparameter und... *Proc. ATTT – AWT- Tagung Maßänderungen und Deformationen bei Wärmebehandlungen*, (str. 31-40). Belfort, Francie, duben 1997

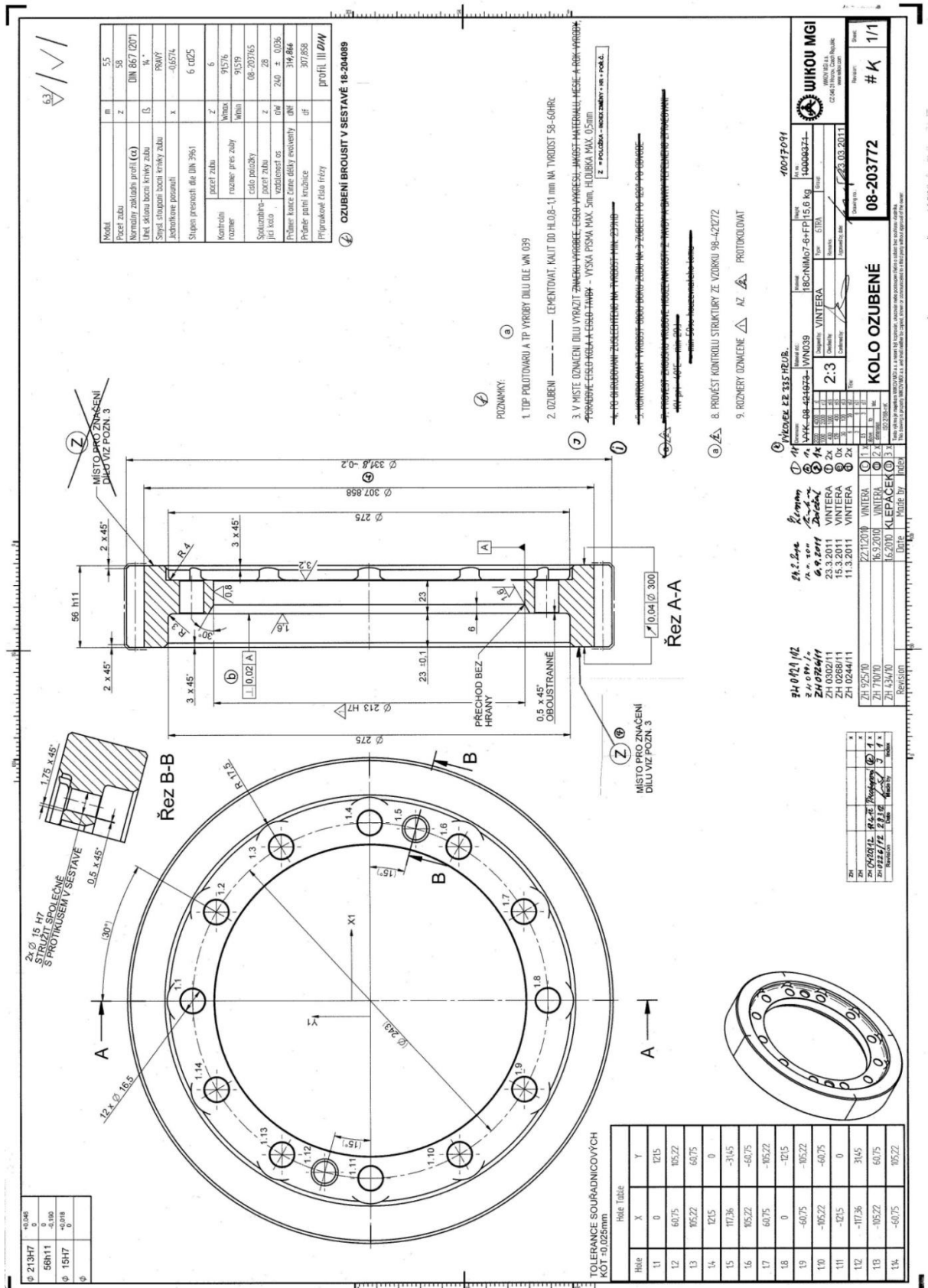
- [14] Schmindt, G. H.; Getaktete Vakuum-Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage mit Hochdruck-Gasabschreckung, *Härtereitechnische Mitteilungen* 54, (str. 39-44), 1999
- [15] Troell, E. S.; Cold chamber gas cooling for low-pollution hardening, *Proc. 4th ASM Heat Treatment and Surface Engineering Conference in Europe*, (str. 181-190). Associazione Italiana di Metallurgia, Florencie, Itálie: říjen 1998
- [16] Hájek Ph.D., Ing. Jiří. KMM, ZČU. Přednáška: *Vlastnosti kalících olejů*, Studijní materiály. Plzeň
- [17] Asada, S. O.; Reduced Pressure Quenching Oil and Distortion, *Proc. 2nd International Conference on Quenching and Control of Distortion*, ASM International, Cleveland, USA, 1996
- [18] Altena, H. J.; Einfluß der Gas – oder Ölabschreckung auf den Verzug von einsatzgehärteten Zahnrädern, *Vortrag gehalten anl. Europäischen Tagung „Das Einsatzhärten“*, Zurich, 2003
- [19] Katedra materiálu, TUL, Studijní materiály: *Měření ochlazovací rychlosti kalících médií – Quench test*, Liberec, 2009. Dostupné z: [www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_bakalari/TZZ/cv%20quench.PDF](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/TZZ/cv%20quench.PDF)
- [20] Růžička, Ing. Petr; *Podklady pro výběr kalícího*, Hronov, 2011
- [21] Fiedler, Bc. Lukáš. *FR-TI3/503 VI. ETAPA Zpráva č. 12/2013 Experimentální ověření navržených variant: Měření ochlazovací schopnosti oleje při různých rychlostech proudění oleje*. Plzeň, 2013
- [22] Katedra materiálu, TUL, Studijní materiály: *Měření ochlazovací rychlosti kalících médií – Quench test*, Liberec, 2009. Dostupné z: [www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_bakalari/TZZ/cv%20quench.PDF](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/TZZ/cv%20quench.PDF)
- [23] Čížkovský, Ing. Juda. ECOSOND S.R.O. Zakázka technické pomoci: *Měření rychlosti kalícího oleje v kalících lázních*. Čerčany, 2014
- [24] Vít, Ing. Jiří. WIKOV MGI A.S. *Zpráva č.16/2013/FR-TI3/503 VII. Etapa, Popis vlivu proudění kalícího média na deformace během CHTZ*. Hronov, 2014

## Seznam příloh

- Příloha č. 1 Výrobní výkres ozubených kol
- Příloha č. 2 Parametry procesu CHTZ ozubených kol
- Příloha č. 3 Výsledné hodnoty povrchových tvrdostí jednotlivých ozubených kol po CHTZ
- Příloha č. 4 Výsledné hodnoty průběhů tvrdostí a dosažených necementovaných hloubek u jednotlivých vsázek ozubených kol po CHTZ
- Příloha č. 5 Dosažené struktury u jednotlivých vsázek ozubených kol po CHTZ
- Příloha č. 6 Výkres vzorků použitých pro měření v experimentálním zařízení
- Příloha č. 7 Výkres stojanu pro kalení vzorků v experimentálním zařízení
- Příloha č. 8 Výsledné ochlazovací křivky a rychlosti ochlazování změřené pomocí ivf Quench testu v experimentálním zařízení
- Příloha č. 9 Výsledné struktury po kalení u vybraných vzorků



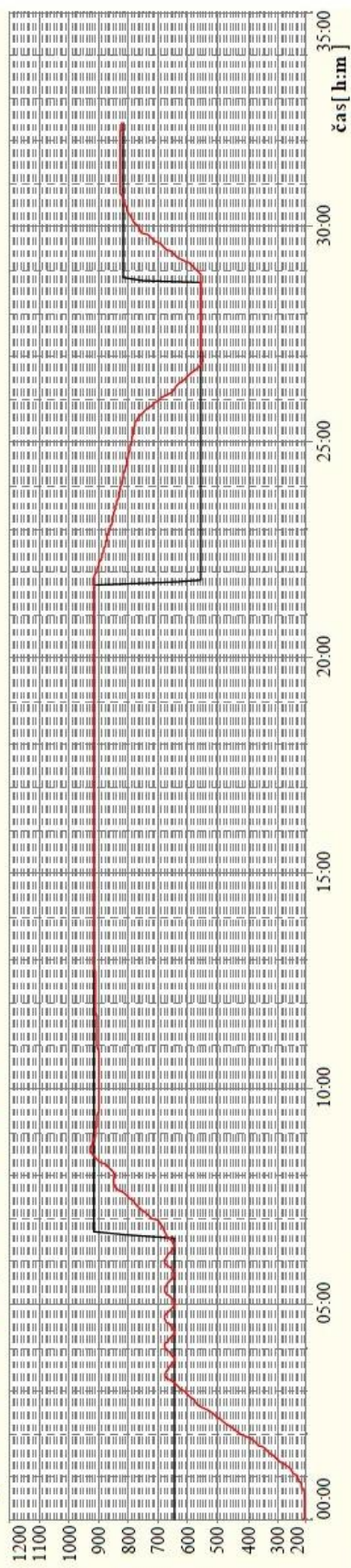
**Příloha č. 1 Výrobní výkres ozubených kol**



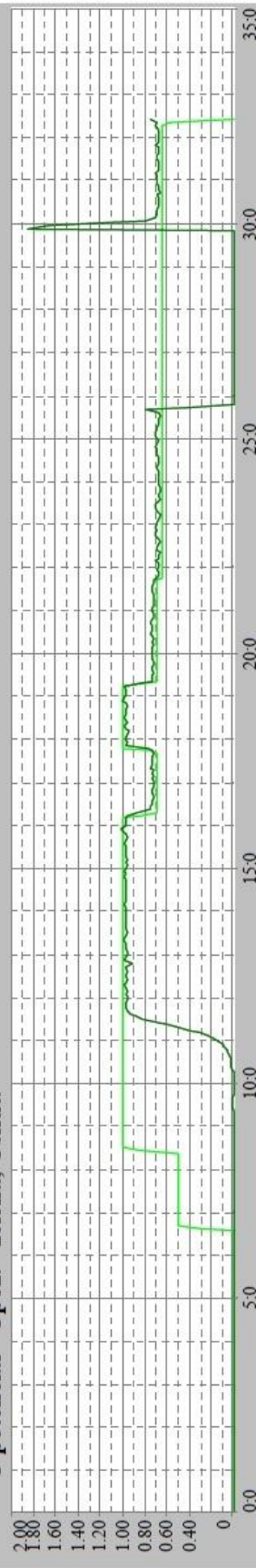
**Příloha č. 2 Parametry procesu CHTZ ozubených kol**

|                               |                |                        |                |                                     |                       |
|-------------------------------|----------------|------------------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------|
| <b>WIKOV MGI</b>              |                | <b>WIKOV MGI a. s.</b> |                | <b>Zbečník 356 CZ 549 31 Hronov</b> |                       |
| <b>Pec (C2) IVA T 12/15 E</b> |                | Číslo vsázky           | 00885/13       | Technologie                         | CK cementace a kalení |
| Prog. ohřevu                  | O3             | Program cementace      | C30            | Program stápnění                    | DI13                  |
| Číslo položky:                | 08-203772      | Materiál:              | 18CrNiMo7-6+FP | Výrobní příkaz:                     | V1216328              |
| Zakazník:                     | a.s. Wikov-MGI | Počet kusů:            | 20             | Hmotnost kusu:                      | 16.1 Kg               |
| Změř. tvrdost:                |                | Změřená vrstva:        |                | Celkem                              | 322 Kg                |
| Popis struktury               |                | Měření provedl:        |                | min                                 |                       |
| Datum OD :                    | 3. 4. 13       | Datum DO:              | 5. 4. 13       | Čas OD :                            | 17:40                 |
| Operátor:                     |                | Poznámka :             |                | Čas DO:                             | 2:06                  |

°C Tpožadovaná - černá, Tskutečná - červená



°C C potenciál - Cpož. - zelená, Cskut. -



**Příloha č. 3 Výsledné hodnoty povrchových tvrdostí jednotl. ozubených kol po  
CHTZ**

Seřazeno dle pořadí výrobních příkazů uvedených v kapitole 5 tab. 5-2 až 5-6.



Page / Strana: 1.../...1

Datum: 2.4.13

Měřicí protokol č. / Measuring Report No. : 0483 / 13

Vystavil: Holeček

| Drawing / Č. výkresu         | 08-203772              | Customer / Zákazník                  | OOO TORGOVYI                |                      |
|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Part name / Název výrobku    | KOLO OZUBENÉ           | Order No./Příkaz                     | V1216326                    |                      |
| Article No. / Číslo. položky | 08-203772              | Product char. / Č.zakázky            | P120079-23                  |                      |
| Material / Materiál          | 18CrNiMo7-6            | No.of pcs / Počet kusů               | 20                          |                      |
| Továr / hevt                 | Prof.čís.<br>Piece No. | Předeps. tvrdost<br>Nominal hardness | Naměřeno<br>Actual hardness | Poznámka<br>comments |
| 21447                        | 397                    | 58-60 HRC                            | 60 HRC                      |                      |
|                              | 398                    |                                      | 60 HRC                      |                      |
|                              | 399                    | 58-60 HRC                            | 59 HRC                      |                      |
|                              | 400                    |                                      | 59 HRC                      |                      |
|                              | 401                    | 58-60 HRC                            | 60 HRC                      |                      |
|                              | 402                    |                                      | 60 HRC                      |                      |
|                              | 403                    | 58-60 HRC                            | 59 HRC                      |                      |
|                              | 404                    |                                      | 60 HRC                      |                      |
|                              | 405                    | 58-60 HRC                            | 60 HRC                      |                      |
|                              | 406                    |                                      | 60 HRC                      |                      |
|                              | 407                    | 58-60 HRC                            | 60 HRC                      |                      |
|                              | 408                    |                                      | 59 HRC                      |                      |
|                              | 409                    | 58-60 HRC                            | 60 HRC                      |                      |
|                              | 410                    |                                      | 60 HRC                      |                      |
|                              | 411                    | 58-60 HRC                            | 60 HRC                      |                      |
|                              | 412                    |                                      | 60 HRC                      |                      |
|                              | 413                    | 58-60 HRC                            | 60 HRC                      |                      |
|                              | 414                    |                                      | 59 HRC                      |                      |
|                              | 415                    | 58-60 HRC                            | 60 HRC                      |                      |
|                              | 416                    |                                      | 60 HRC                      |                      |



Page / Strana: 1.../...1

Datum: 6.4.2013

Měřicí protokol č. / Measuring Report No. : 0509 / 13

Vystavil: CHMELÁŘ

| Drawing / Č. výkresu         | 08-203772              | Customer / Zákazník                  | OOO                         |                      |
|------------------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Part name / Název výrobku    | KOLO OZUBENÉ           | Order No./Příkaz                     | V1216328                    |                      |
| Article No. / Číslo. položky | 08-203772              | Product char. / Č.zakázky            | P120079-27                  |                      |
| Material / Materiál          | 18CrNiMo7-6+FP         | No.of pcs / Počet kusů               | 20                          |                      |
| Továr / hevt                 | Prof.čís.<br>Piece No. | Předeps. tvrdost<br>Nominal hardness | Naměřeno<br>Actual hardness | Poznámka<br>comments |
| 21447                        | 437                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 438                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 439                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 440                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 441                    | 58 - 60 HRC                          | 59 HRC                      |                      |
|                              | 442                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 443                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 444                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 445                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 446                    | 58 - 60 HRC                          | 59 HRC                      |                      |
|                              | 447                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 448                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 449                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 450                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 451                    | 58 - 60 HRC                          | 59 HRC                      |                      |
|                              | 452                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 453                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 454                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 455                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |
|                              | 456                    | 58 - 60 HRC                          | 60 HRC                      |                      |





Měřicí protokol č. / Measuring Report No. : **1007 / 13**

Page / Strana: 1.../...1

Vystavil: Maršík

Datum: 1.7.2013

| Drawing / Č. výkresu        |                      | Customer / Zákazník                 |                            | Customer / Zákazník       |  |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| Part name / Název výrobku   |                      | Order No. / Příkaz                  |                            | Order No. / Příkaz        |  |
| Article No. / Číslo položky |                      | Product char. / Č.zakázky           |                            | Product char. / Č.zakázky |  |
| Material / Materiál         |                      | No.of pcs / Počet kusů              |                            | No.of pcs / Počet kusů    |  |
| Tavba / heat                | Por.čís. / Piece No. | Předeps. Tvrdost / Nominal hardness | Naměřeno / Actual hardness | Poznámka / comments       |  |
|                             |                      |                                     |                            | 000 TORGOVYI              |  |
|                             |                      |                                     |                            | V1305626                  |  |
|                             |                      |                                     |                            | P120079-29                |  |
|                             |                      |                                     |                            | 20                        |  |
| 1211505                     | 533                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 534                  |                                     | 60 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 535                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 536                  |                                     | 60 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 537                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 538                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 539                  | 58 – 60 HRC                         | 60 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 540                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 541                  | 58 – 60 HRC                         | 60 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 542                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 543                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 544                  |                                     | 60 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 545                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 546                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 547                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 548                  |                                     | 60 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 549                  | 58 – 60 HRC                         | 60 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 550                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 1211505                     | 551                  | 58 – 60 HRC                         | 60 HRC                     | ZK 3555                   |  |
|                             | 552                  |                                     | 60 HRC                     |                           |  |



Měřicí protokol č. / Measuring Report No. : **0678 / 13**

Page / Strana: 1.../...1

Vystavil: Maršík

Datum: 10.5.2013

| Drawing / Č. výkresu        |                      | Customer / Zákazník                 |                            | Customer / Zákazník       |  |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| Part name / Název výrobku   |                      | Order No. / Příkaz                  |                            | Order No. / Příkaz        |  |
| Article No. / Číslo položky |                      | Product char. / Č.zakázky           |                            | Product char. / Č.zakázky |  |
| Material / Materiál         |                      | No.of pcs / Počet kusů              |                            | No.of pcs / Počet kusů    |  |
| Tavba / heat                | Por.čís. / Piece No. | Předeps. Tvrdost / Nominal hardness | Naměřeno / Actual hardness | Poznámka / comments       |  |
|                             |                      |                                     |                            | UST KATAV                 |  |
|                             |                      |                                     |                            | V1303406                  |  |
|                             |                      |                                     |                            | P130128-05                |  |
|                             |                      |                                     |                            | 20                        |  |
| 08050682                    | 468                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3392                   |  |
|                             | 469                  |                                     | 58 HRC                     |                           |  |
| 08050682                    | 470                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3392                   |  |
|                             | 471                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 08050682                    | 472                  | 58 – 60 HRC                         | 58 HRC                     | ZK 3392                   |  |
|                             | 473                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 08050682                    | 474                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3392                   |  |
|                             | 475                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 08050682                    | 476                  | 58 – 60 HRC                         | 58 HRC                     | ZK 3392                   |  |
|                             | 477                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 21447                       | 478                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3393                   |  |
|                             | 479                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 21447                       | 480                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3393                   |  |
|                             | 481                  |                                     | 58 HRC                     |                           |  |
| 21447                       | 482                  | 58 – 60 HRC                         | 59 HRC                     | ZK 3393                   |  |
|                             | 483                  |                                     | 58 HRC                     |                           |  |
| 21447                       | 484                  | 58 – 60 HRC                         | 58 HRC                     | ZK 3393                   |  |
|                             | 485                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |
| 21447                       | 486                  | 58 – 60 HRC                         | 58 HRC                     | ZK 3393                   |  |
|                             | 487                  |                                     | 59 HRC                     |                           |  |



## Příloha č. 4 Výsledné hodnoty průběhů tvrdostí a dosažených necementovaných hloubek u jednotlivých vsázek ozubených kol po CHTZ

Seřazeno dle pořadí výrobních příkazů uvedených v kapitole 8 v tab. 8-2 až 8-6.

**ZKUSEBNÍ PROTOKOL**

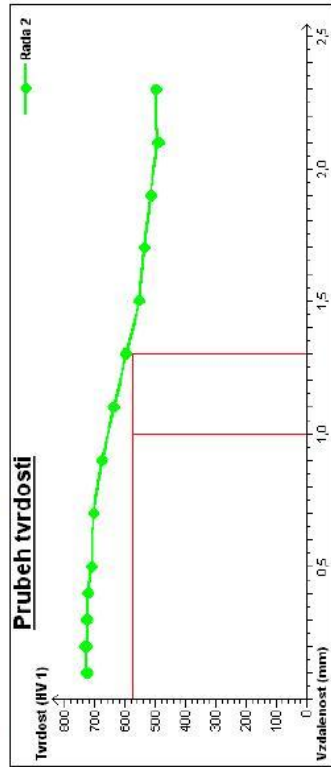
Vzorek: 6243c A vz.2939  
Datum: 1.4.2013  
Material: 18CrNiMo7-6  
Meril: Marsik  
Indentor: VICKERS  
Objektiv: X50  
Cas: 10  
Zatizeni: 1

WIKOV MGI  
Zbecnik 356  
54931 Hronov  
metal@wikov.com

WIKOV MGI a.s.  
Zbecnik 356  
54931 Hronov  
metal@wikov.com

Nazev dilce: KOLO OZUBENÉ 000  
Polozka: 08-203722  
Cislo vykrusu: 08-203722  
Vyrobní prikaz: V1216326  
Vsazka: 855/13  
Test Program: C:\Hardtest\TstPrg\Cementace.Tpr

Tavba: 21447  
Povrch. tvrdost: 58±60 HRC  
Smluvní tvrdost: 575 HV 1  
CHD vrstva tech.: 1,00±1,30 mm  
CHD vrstva vykr.: 0,80±1,10 mm



Vysledky:  
Tvrdost jadra = 493 HV 1  
Hloubka vrstvy: Eht 575 HV 1 = 1,40 mm

| Rada 1 |            |          |                |
|--------|------------|----------|----------------|
| Bod    | Vzdelanost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti |
| 1      | 0.000      | 507 HV 1 | 49,6 HRC       |
| 2      | 0.000      | 495 HV 1 | 48,8 HRC       |
| 3      | 0.000      | 478 HV 1 | 47,5 HRC       |

| Rada 2 |            |          |                |
|--------|------------|----------|----------------|
| Bod    | Vzdelanost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti |
| 1      | 0.100      | 727 HV 1 | 61,3 HRC       |
| 2      | 0.200      | 729 HV 1 | 61,3 HRC       |
| 3      | 0.300      | 725 HV 1 | 61,2 HRC       |
| 4      | 0.400      | 723 HV 1 | 61,1 HRC       |
| 5      | 0.500      | 711 HV 1 | 60,3 HRC       |
| 6      | 0.700      | 704 HV 1 | 60,3 HRC       |
| 7      | 0.900      | 676 HV 1 | 59,1 HRC       |
| 8      | 1.100      | 637 HV 1 | 57,2 HRC       |
| 9      | 1.300      | 598 HV 1 | 55,2 HRC       |
| 10     | 1.500      | 553 HV 1 | 52,6 HRC       |
| 11     | 1.700      | 536 HV 1 | 51,5 HRC       |
| 12     | 1.900      | 514 HV 1 | 50,1 HRC       |
| 13     | 2.100      | 490 HV 1 | 48,4 HRC       |
| 14     | 2.300      | 499 HV 1 | 49,1 HRC       |

**ZKUSEBNÍ PROTOKOL**

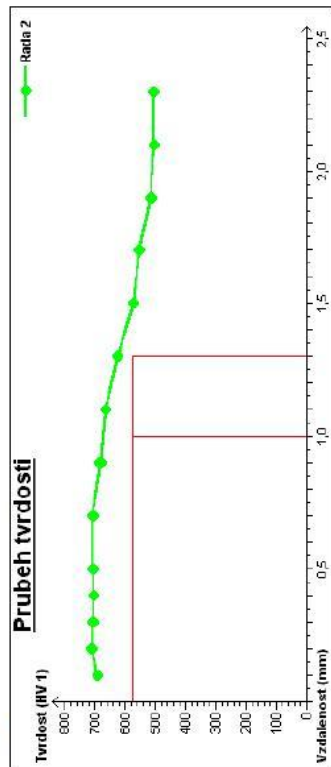
Vzorek: 6256c vz.2996  
Datum: 5.4.2013  
Material: 18CrNiMo7-6  
Meril: Janecek  
Indentor: VICKERS  
Objektiv: X50  
Cas: 10  
Zatizeni: 1

WIKOV MGI  
Zbecnik 356  
54931 Hronov  
metal@wikov.com

WIKOV MGI a.s.  
Zbecnik 356  
54931 Hronov  
metal@wikov.com

Nazev dilce: KOLO OZUBENÉ 000  
Polozka: 08-203722  
Cislo vykrusu: 08-203722  
Vyrobní prikaz: V1216328  
Vsazka: 855/13  
Test Program: C:\Hardtest\TstPrg\Cementace.Tpr

Tavba: 21447  
Povrch. tvrdost: 58±60 HRC  
Smluvní tvrdost: 575 HV 1  
CHD vrstva tech.: 1,00±1,30 mm  
CHD vrstva vykr.: 0,80±1,10 mm



Vysledky:  
Tvrdost jadra = 467 HV 1  
Hloubka vrstvy: Eht 575 HV 1 = 1,49 mm

| Rada 1 |            |          |                |
|--------|------------|----------|----------------|
| Bod    | Vzdelanost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti |
| 1      | 0.000      | 438 HV 1 | 44,3 HRC       |
| 2      | 0.000      | 489 HV 1 | 48,4 HRC       |
| 3      | 0.000      | 476 HV 1 | 47,4 HRC       |

| Rada 2 |            |          |                |
|--------|------------|----------|----------------|
| Bod    | Vzdelanost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti |
| 1      | 0.100      | 692 HV 1 | 59,8 HRC       |
| 2      | 0.200      | 709 HV 1 | 60,5 HRC       |
| 3      | 0.300      | 706 HV 1 | 60,4 HRC       |
| 4      | 0.400      | 704 HV 1 | 60,3 HRC       |
| 5      | 0.500      | 707 HV 1 | 60,4 HRC       |
| 6      | 0.700      | 707 HV 1 | 60,4 HRC       |
| 7      | 0.900      | 681 HV 1 | 59,3 HRC       |
| 8      | 1.100      | 664 HV 1 | 58,5 HRC       |
| 9      | 1.300      | 624 HV 1 | 56,5 HRC       |
| 10     | 1.500      | 572 HV 1 | 53,7 HRC       |
| 11     | 1.700      | 553 HV 1 | 52,6 HRC       |
| 12     | 1.900      | 514 HV 1 | 50,1 HRC       |
| 13     | 2.100      | 504 HV 1 | 49,4 HRC       |
| 14     | 2.300      | 505 HV 1 | 49,5 HRC       |



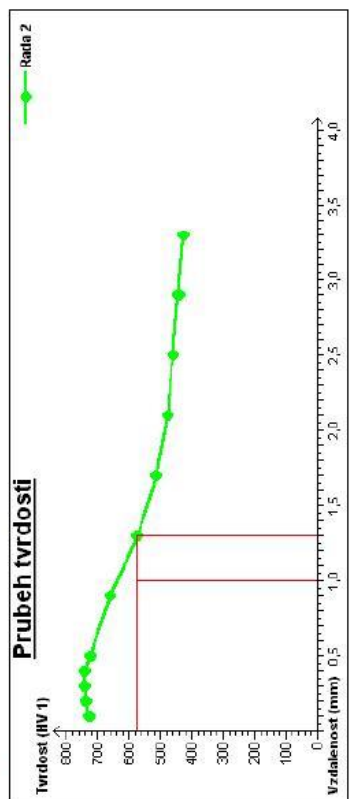
**ZKUSEBNÍ PROTOKOL**  
**WIKOV MGI**  
 Wikov MGI a.s.  
 Zbečník 356  
 54931 Hronov  
 metal@wikov.com

Vzorek: 6492c vz. 3555  
 Datum: 29.6.2013  
 Material: 18CrNiMo7-6  
 Merit: Janeček  
 Indentor: VICKERS  
 Objekt: X50  
 Cas: 10  
 Zatizeni: 1

Nazev dilce: KOLO OZUBENE 000  
 Palacka: 08-203772  
 Cislo vykresu: 08-203772  
 Vyrobní prikaz: V1305626  
 Vsazka: 175313

Tavba: 1211505  
 Povrch. tvrdost: 58+60 HRC  
 Smluvní tvrdost: 550 HV 1  
 CHD vrstva tech.: 1,00+1,30 mm  
 CHD vrstva vykt.: 0,80+1,10 mm

Test Program : C:\Hardtest\TestPrg\Cementace.Tpr



**Vysledky:**  
**Tvrdost jadra = 464 HV 0,01**  
**Hloubka vrstvy Eht 575 HV 0,01 = 1,29 mm**

| Radka 1 |            |          | Radka 2          |     |            |          |                  |
|---------|------------|----------|------------------|-----|------------|----------|------------------|
| Bod     | Vzdálenost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti 1 | Bod | Vzdálenost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti 1 |
| 1       | 0,000      | 450 HV 1 | 45,3 HRC         | 1   | 0,100      | 727 HV 1 | 61,3 HRC         |
| 2       | 0,000      | 479 HV 1 | 47,6 HRC         | 2   | 0,200      | 737 HV 1 | 61,7 HRC         |
| 3       | 0,000      | 464 HV 1 | 46,5 HRC         | 3   | 0,300      | 741 HV 1 | 61,8 HRC         |
|         |            |          |                  | 4   | 0,400      | 741 HV 1 | 61,8 HRC         |
|         |            |          |                  | 5   | 0,500      | 722 HV 1 | 61,1 HRC         |
|         |            |          |                  | 6   | 0,900      | 660 HV 1 | 58,3 HRC         |
|         |            |          |                  | 7   | 1,300      | 573 HV 1 | 53,8 HRC         |
|         |            |          |                  | 8   | 1,700      | 513 HV 1 | 50,0 HRC         |
|         |            |          |                  | 9   | 2,100      | 476 HV 1 | 47,4 HRC         |
|         |            |          |                  | 10  | 2,500      | 460 HV 1 | 46,2 HRC         |
|         |            |          |                  | 11  | 2,900      | 443 HV 1 | 44,8 HRC         |
|         |            |          |                  | 12  | 3,300      | 427 HV 1 | 43,4 HRC         |

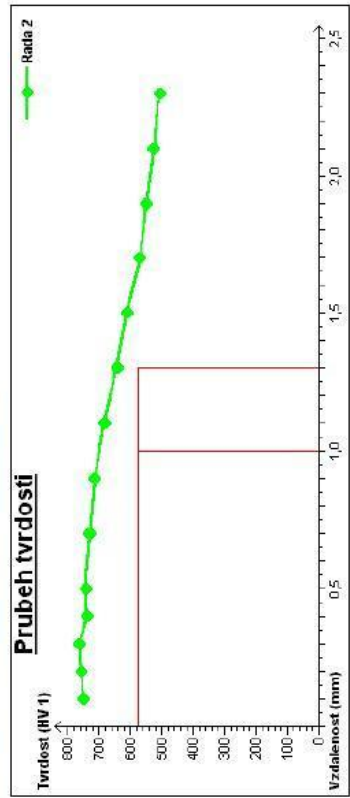
**ZKUSEBNÍ PROTOKOL**  
**WIKOV MGI**  
 Wikov MGI a.s.  
 Zbečník 356  
 54931 Hronov  
 metal@wikov.com

Vzorek: 6327c vz. 3392  
 Datum: 10.5.2013  
 Material: 18CrNiMo7-6  
 Merit: Marsik  
 Indentor: VICKERS  
 Objekt: X50  
 Cas: 10  
 Zatizeni: 1

Nazev dilce: KOLO OZUBENE 000  
 Palacka: 08-203722  
 Cislo vykresu: 08-203722  
 Vyrobní prikaz: V1303406  
 Vsazka: 123713

Tavba: 08050682  
 Povrch. tvrdost: 58+60 HRC  
 Smluvní tvrdost: 575 HV 1  
 CHD vrstva tech.: 1,00+1,30 mm  
 CHD vrstva vykt.: 0,80+1,10 mm

Test Program : C:\Hardtest\TestPrg\Cementace.Tpr



**Vysledky:**  
**Tvrdost jadra = 498 HV 1**  
**Hloubka vrstvy: Eht 575 HV 1 = 1,67 mm**

| Radka 1 |            |          | Radka 2          |     |            |          |                  |
|---------|------------|----------|------------------|-----|------------|----------|------------------|
| Bod     | Vzdálenost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti 1 | Bod | Vzdálenost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti 1 |
| 1       | 0,000      | 507 HV 1 | 49,6 HRC         | 1   | 0,100      | 749 HV 1 | 62,1 HRC         |
| 2       | 0,000      | 488 HV 1 | 48,3 HRC         | 2   | 0,200      | 756 HV 1 | 62,4 HRC         |
| 3       | 0,000      | 501 HV 1 | 49,2 HRC         | 3   | 0,300      | 762 HV 1 | 62,6 HRC         |
|         |            |          |                  | 4   | 0,400      | 737 HV 1 | 61,7 HRC         |
|         |            |          |                  | 5   | 0,500      | 743 HV 1 | 61,9 HRC         |
|         |            |          |                  | 6   | 0,700      | 729 HV 1 | 61,3 HRC         |
|         |            |          |                  | 7   | 0,900      | 713 HV 1 | 60,7 HRC         |
|         |            |          |                  | 8   | 1,100      | 683 HV 1 | 59,4 HRC         |
|         |            |          |                  | 9   | 1,300      | 643 HV 1 | 57,5 HRC         |
|         |            |          |                  | 10  | 1,500      | 610 HV 1 | 55,8 HRC         |
|         |            |          |                  | 11  | 1,700      | 569 HV 1 | 53,5 HRC         |
|         |            |          |                  | 12  | 1,900      | 549 HV 1 | 52,3 HRC         |
|         |            |          |                  | 13  | 2,100      | 525 HV 1 | 50,8 HRC         |
|         |            |          |                  | 14  | 2,300      | 507 HV 1 | 49,6 HRC         |



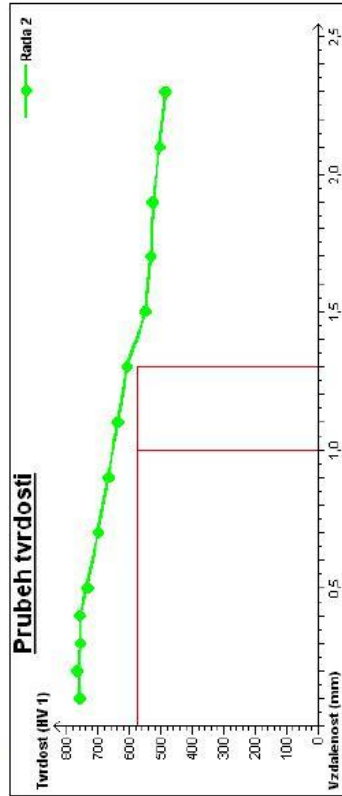
## ZKUSEBNÍ PROTOKOL



WIKOU MGI  
Závodník 356  
54931 Hronov  
metal@wikov.com

Vzorek: 6368c vz.3507  
Datum: 22.6.2013  
Material: 18CrNiMo7-6  
Meril: Janeček  
Indentor: VICKERS  
Cas: 10  
Objektiv: X50  
Zatřžení: 1

Název dílce: KOLO OZUBENÉ 000  
Polozka: 08-203722  
Císlo vykresu: 08-203722  
Výrobní příkaz: V1.305627  
Vsazka: 1679/13  
Tavba: 1211505  
Povrch, tvrdost: 58±60 HRC  
Smluvní tvrdost: 575 HV 1  
CHD vrstva tech.: 1,00±1,30 mm  
CHD vrstva vykt.: 0,80±1,10 mm  
Test Program : C:\Hardtest\TestPrg\Cementace.Tpr



Výsledky:

**Tvrdost jadra = 456 HV 1**

**Hloubka vrstvy: Eht 575 HV 1 = 1,41 mm**

### Radia 1

| Bod | Vzdálenost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti 1 |
|-----|------------|----------|------------------|
| 1   | 0.000      | 470 HV 1 | 46,9 HRC         |
| 2   | 0.000      | 450 HV 1 | 45,3 HRC         |
| 3   | 0.000      | 449 HV 1 | 45,3 HRC         |

### Radia 2

| Bod | Vzdálenost | Tvrdost  | Prep. tvrdosti 1 |
|-----|------------|----------|------------------|
| 1   | 0.100      | 758 HV 1 | 62,5 HRC         |
| 2   | 0.200      | 766 HV 1 | 62,8 HRC         |
| 3   | 0.300      | 756 HV 1 | 62,4 HRC         |
| 4   | 0.400      | 758 HV 1 | 62,5 HRC         |
| 5   | 0.500      | 735 HV 1 | 61,6 HRC         |
| 6   | 0.700      | 700 HV 1 | 60,1 HRC         |
| 7   | 0.900      | 666 HV 1 | 58,6 HRC         |
| 8   | 1.100      | 638 HV 1 | 57,3 HRC         |
| 9   | 1.300      | 608 HV 1 | 55,7 HRC         |
| 10  | 1.500      | 550 HV 1 | 52,4 HRC         |
| 11  | 1.700      | 532 HV 1 | 51,3 HRC         |
| 12  | 1.900      | 525 HV 1 | 50,8 HRC         |
| 13  | 2.100      | 504 HV 1 | 49,4 HRC         |
| 14  | 2.300      | 485 HV 1 | 48,1 HRC         |

## **Příloha č. 5 Dosažené struktury u jednotlivých vsázek ozubených kol po CHTZ**

Seřazeno dle pořadí experimentů s čísly výrobních příkazů uvedených v kapitole 8 a v tab.8-2 až 8-6.

Wikov MGI a.s.  
metalografická laboratoř  
Zbečnick 356, 54931 Hronov



tel.: 491 488 128  
fax: 491 488 227  
e-mail: metal@wikov.com

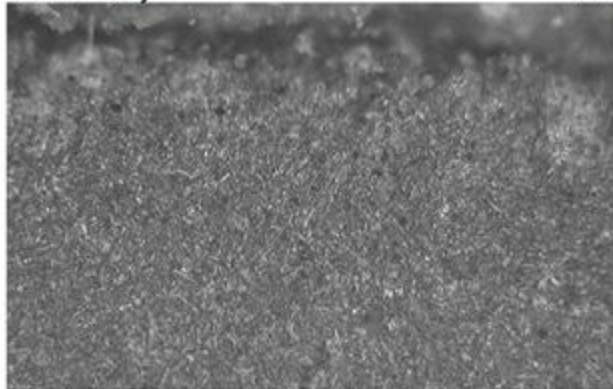
Str. 1/1

# METALOGRAFICKÝ PROTOKOL

Vzorek 2939

6243/c-met

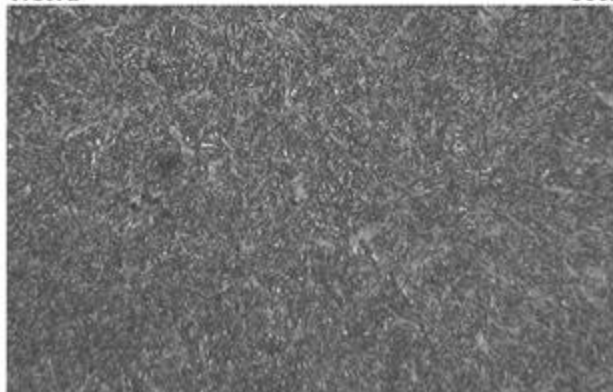
Název dílce: KOLO OZUBENÉ Typ: 000 Torgovj UST KATAV Hodnotil: Janeček  
Položka: 08-203722  
Číslo výkresu: 08-203722 Hronov, 2. 4. 2013  
Jakost materiálu: 18CrNiMo7-6  
Číslo tavby: 21447  
Výrobní příkaz: **V1216326**  
Vsázka č.: 855/13  
Vrstva – kraj 500x



obr. č. 04178/13 M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Mikrostruktura jemného nízce popuštěného martenzitu s obsahem velmi jemných karbidů rovnoměrně rozložených.

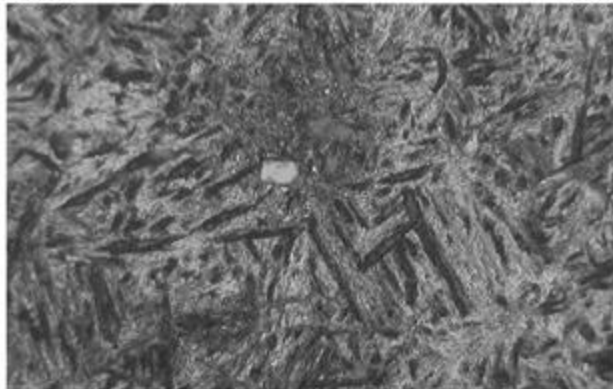
Vrstva 500x



obr. č. 04179/13 M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Méně jemný nízce popuštěný martenzit. Velmi jemné karbidy jsou rovnoměrně rozloženy.

Jádro 500x



obr.č. 04180/13 M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

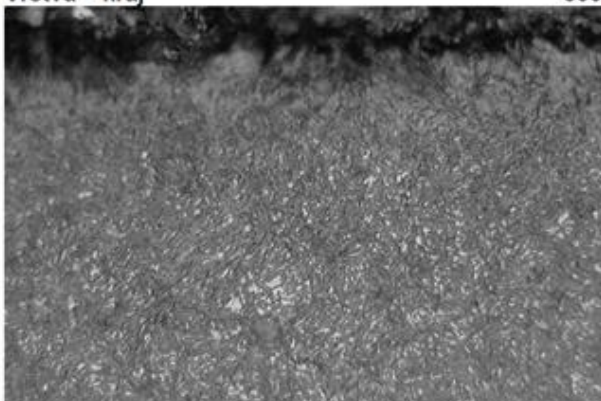
Méně jemný nízce popuštěný nízkouhlíkový bainit a martenzit. Volný ferit se nevyskytuje. Na vzorku je patrný zvýšený obsah vměstků ( uprostřed snímku).  
Struktura je celkově místy méně homogenní.

## METALOGRAFICKÝ PROTOKOL

Vzorek 2996

6256/c-met

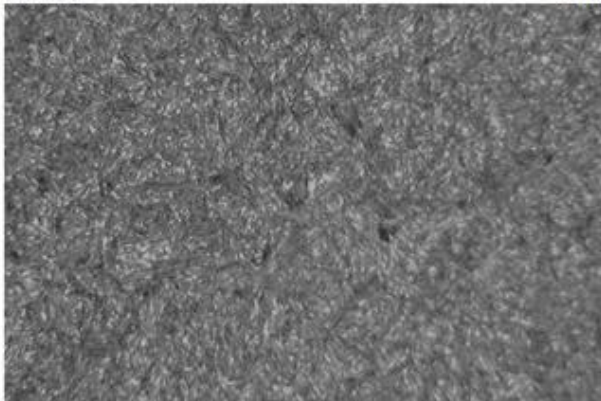
Název dílce: KOLO OZUBENÉ      Typ: 000 Torgovyj      Hodnotil: Janeček  
Položka: 08-203772  
Číslo výkresu: 08-203772      Hronov, 5. 4. 2013  
Jakost materiálu: 18CrNiMo7-6  
Číslo tavby: 21447  
Výrobní příkaz: V1216328  
Vsázka č.: 855/13  
Vrstva – kraj      500x



obr. č. 04247/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Mikrostruktura jemného nízce popuštěného martenzitu s obsahem jemných karbidů rovnoměrně rozložených.

Vrstva      500x



obr. č. 04278/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Jemný nízce popuštěný martenzit. Jemné karbidy jsou rovnoměrně rozloženy.

Jádro      500x



obr.č. 04279/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Méně jemný nízce popuštěný nízkouhlíkový bainit a martenzit. Volný ferit se nevyskytuje.



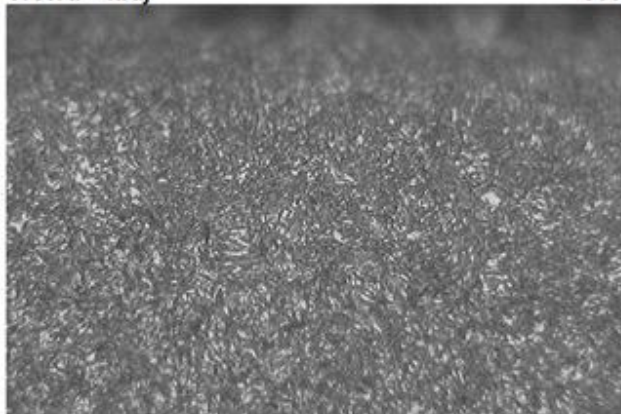
## METALOGRAFICKÝ PROTOKOL

Vzorek 3392

6327/c-met

Název dílce: KOLO OZUBENÉ      Typ: 000 Torgovj UST KATAV      Hodnotil: Janeček  
Položka: 08-203722  
Číslo výkresu: 08-203722      Hronov, 13. 5. 2013  
Jakost materiálu: 18CrNiMo7-6  
Číslo tavby: 08050682  
Výrobní příkaz: V1303406  
Vsázka č.: 1237/13

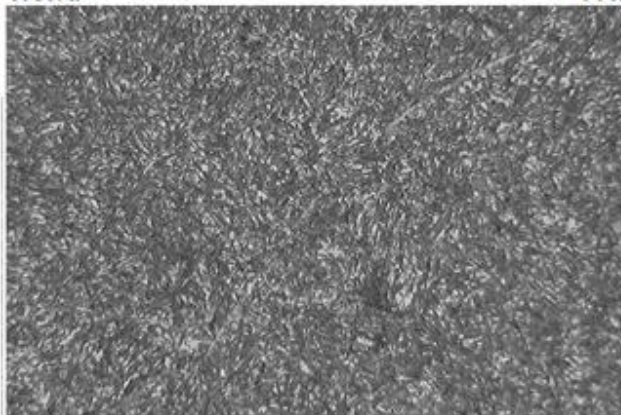
Vrstva – kraj      500x



obr. č. 04461/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Mikrostruktura jemného nízce popuštěného martenzitu s obsahem velmi jemných karbidů rovnoměrně rozložených.

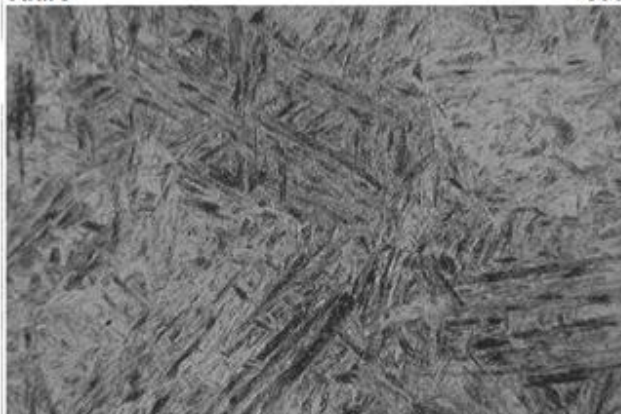
Vrstva      500x



obr. č. 04462/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Jemný nízce popuštěný martenzit. Velmi jemné karbidy jsou rovnoměrně rozloženy.

Jádro      500x



obr.č. 04463/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

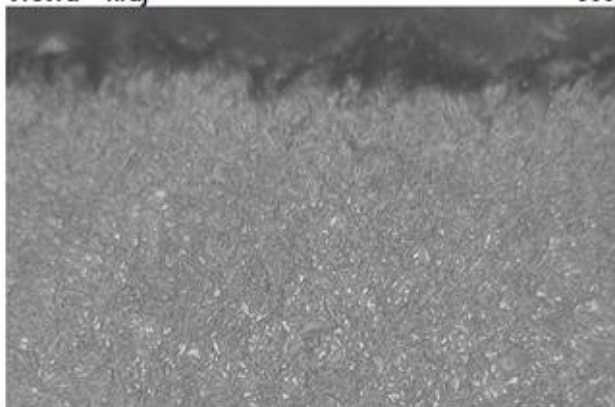
Méně jemný nízce popuštěný nízkouhlíkový bainit a martenzit. Volný ferit se nevyskytuje.

## METALOGRAFICKÝ PROTOKOL

Vzorek 3555

6492/c-met

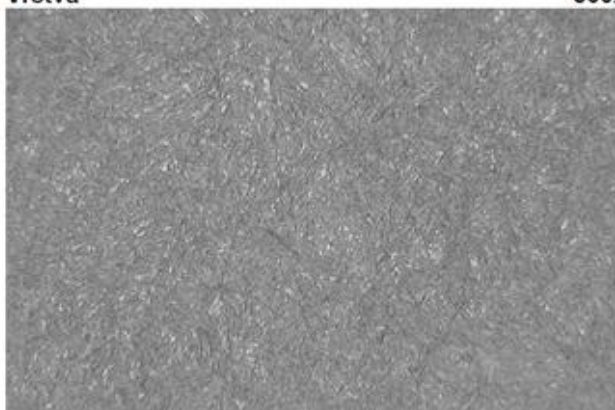
Název dílce: KOLO OZUBENÉ      Typ: 000 Torgovj      Hodnotil: Janeček  
Položka: 08-203772  
Číslo výkresu: 08-203772      Hronov, 28. 6. 2013  
Jakost materiálu: 18CrNiMo7-6  
Číslo tavby: 1211505  
Výrobní příkaz: V1305626  
Vsázka č.: 1753/13  
Vrstva – kraj      500x



obr. č. 04813/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Mikrostruktura jemného nízce popuštěného martenzitu s obsahem jemných karbidů rovnoměrně rozložených.

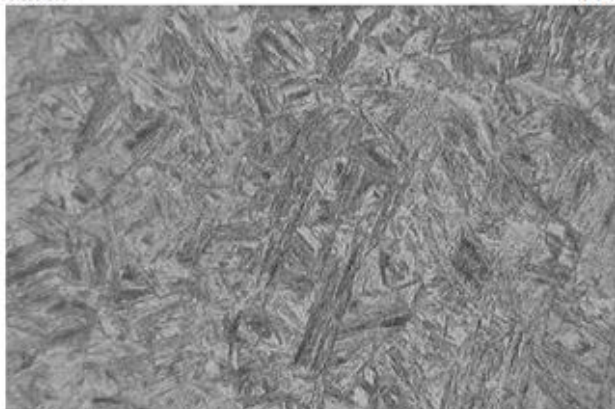
Vrstva      500x



obr. č. 04814/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Jemný nízce popuštěný martenzit. Jemné karbidy jsou rovnoměrně rozloženy.

Jádro      500x



obr.č. 04815/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Méně jemný nízce popuštěný nízkouhlíkový bainit a martenzit. Volný ferit se nevyskytuje.

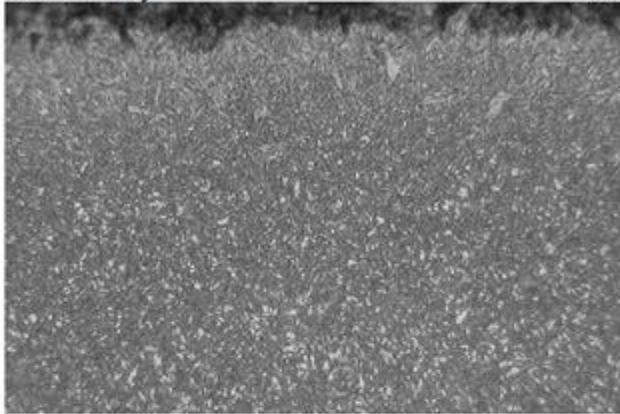


## METALOGRAFICKÝ PROTOKOL

Vzorek 3507

6468/c-met

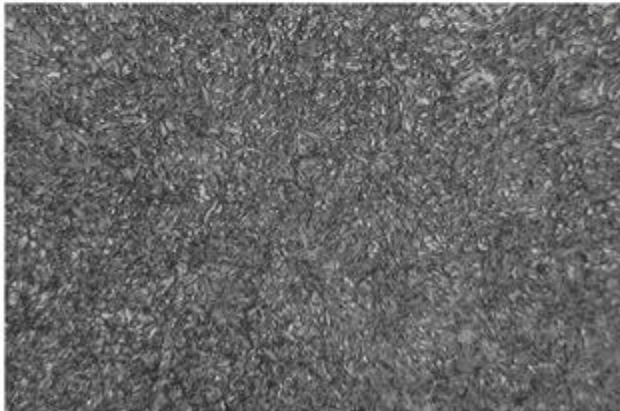
Název dílce: KOLO OZUBENÉ      Typ: 000 Torgovj      Hodnotil: Janeček  
Položka: 08-203772  
Číslo výkresu: 08-203772      Hronov, 24. 6. 2013  
Jakost materiálu: 18CrNiMo7-6  
Číslo tavby: 1211505  
Výrobní příkaz: V1305627  
Vsázka č.: 1679/13  
Vrstva – kraj      500x



obr. č. 04738/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Mikrostruktura jemného nízce popuštěného martenzitu s obsahem jemných karbidů rovnoměrně rozložených.

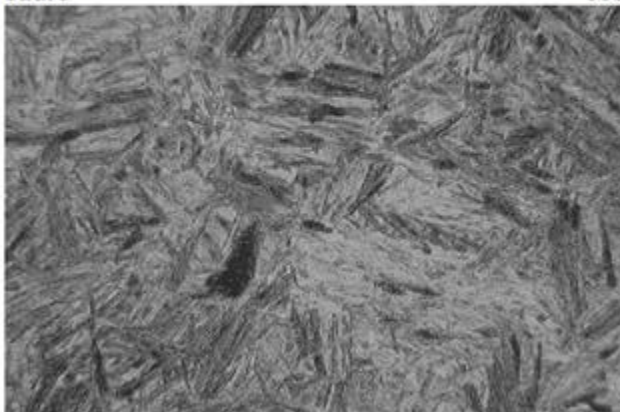
Vrstva      500x



obr. č. 04739/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Jemný nízce popuštěný martenzit. Jemné karbidy jsou rovnoměrně rozloženy.

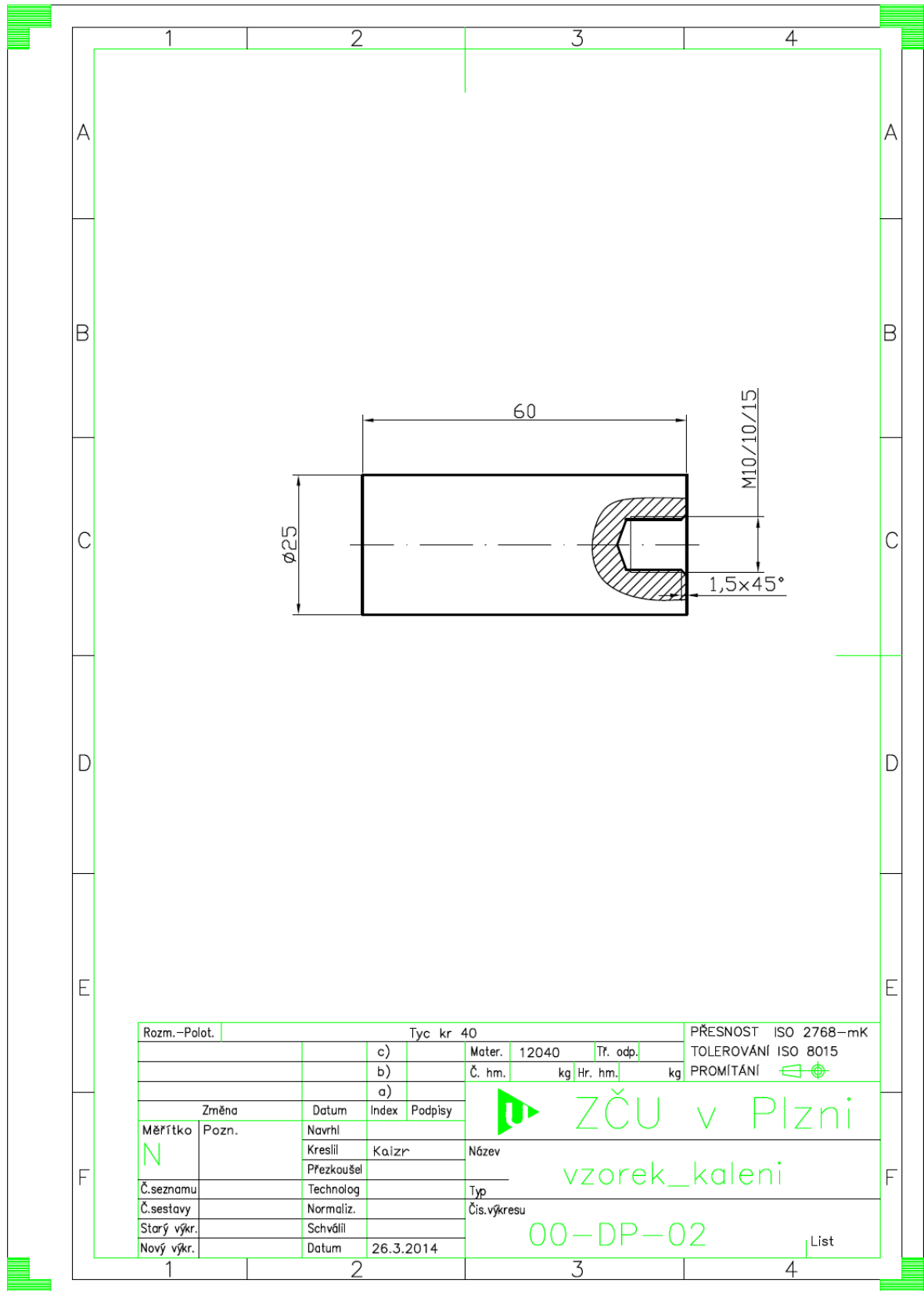
Jádro      500x



obr.č. 04740/13      M: 10 mm = 20 μm  
Leptáno 3% nitalem

Méně jemný nízce popuštěný nízkouhlíkový bainit a martenzit. Volný ferit se nevyskytuje.

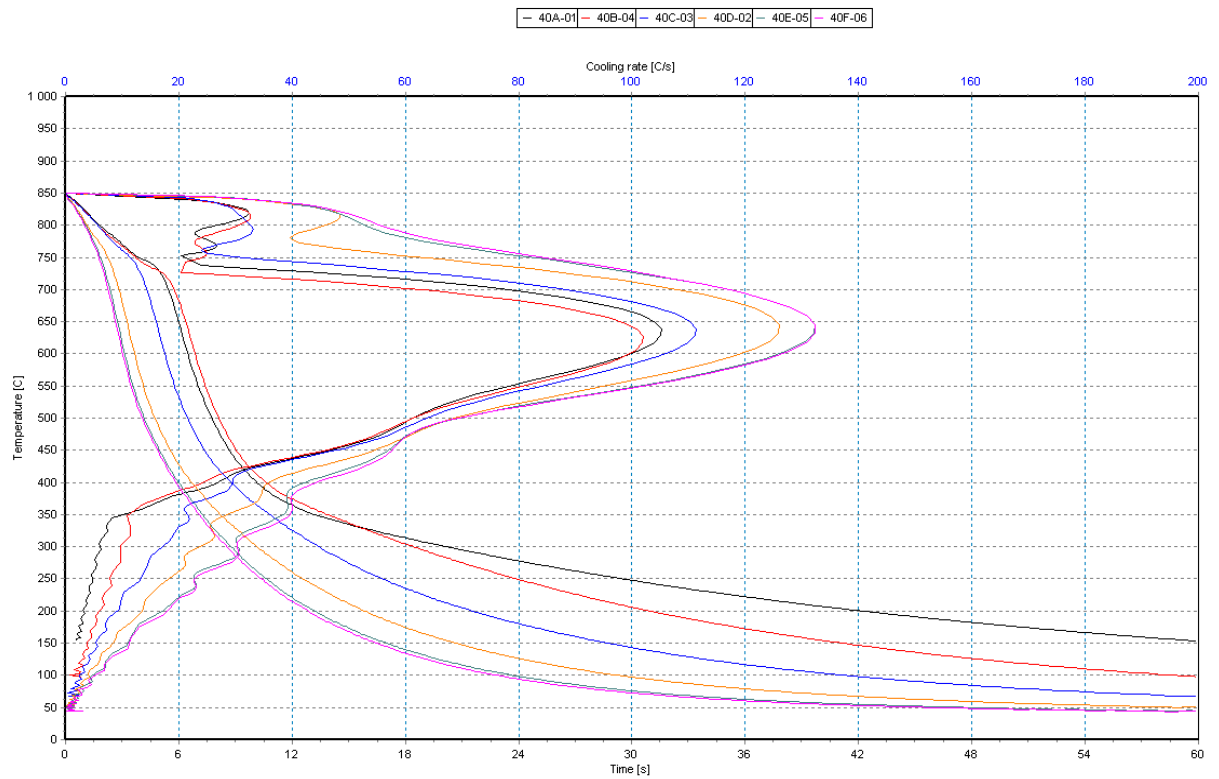
**Příloha č. 6** Výkres zkušebních vzorků použitých při měření v experimentálním zařízení



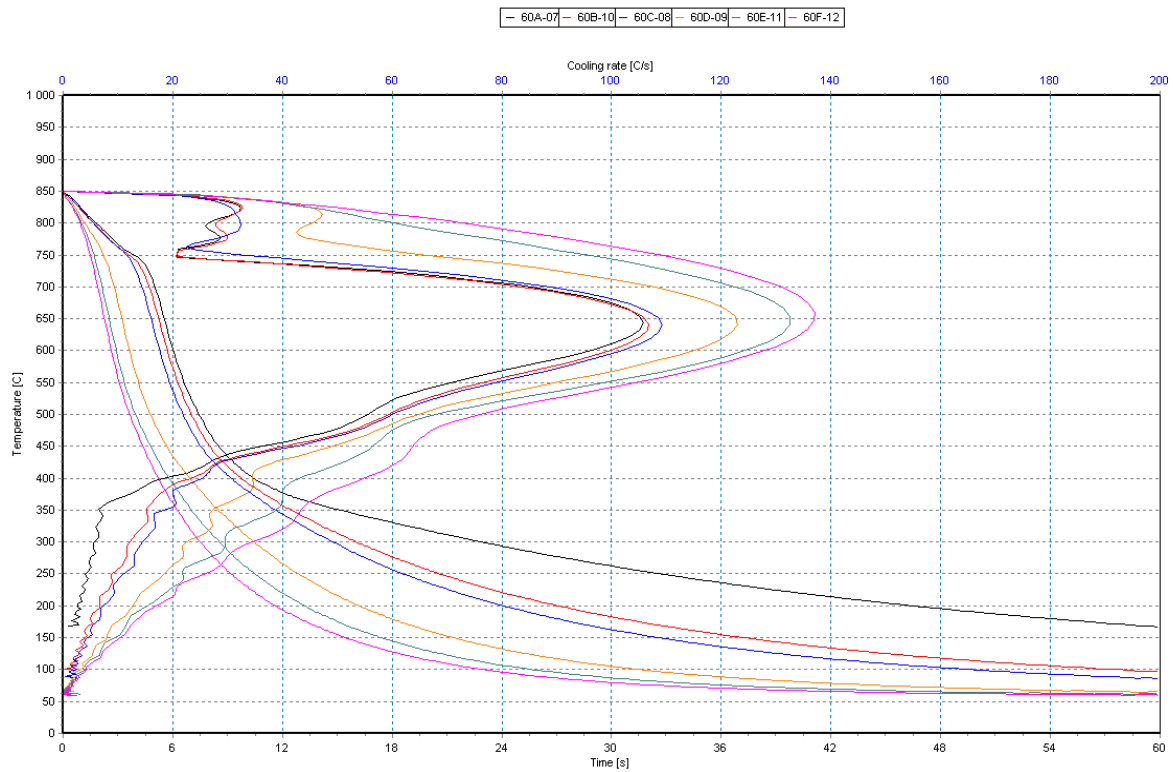




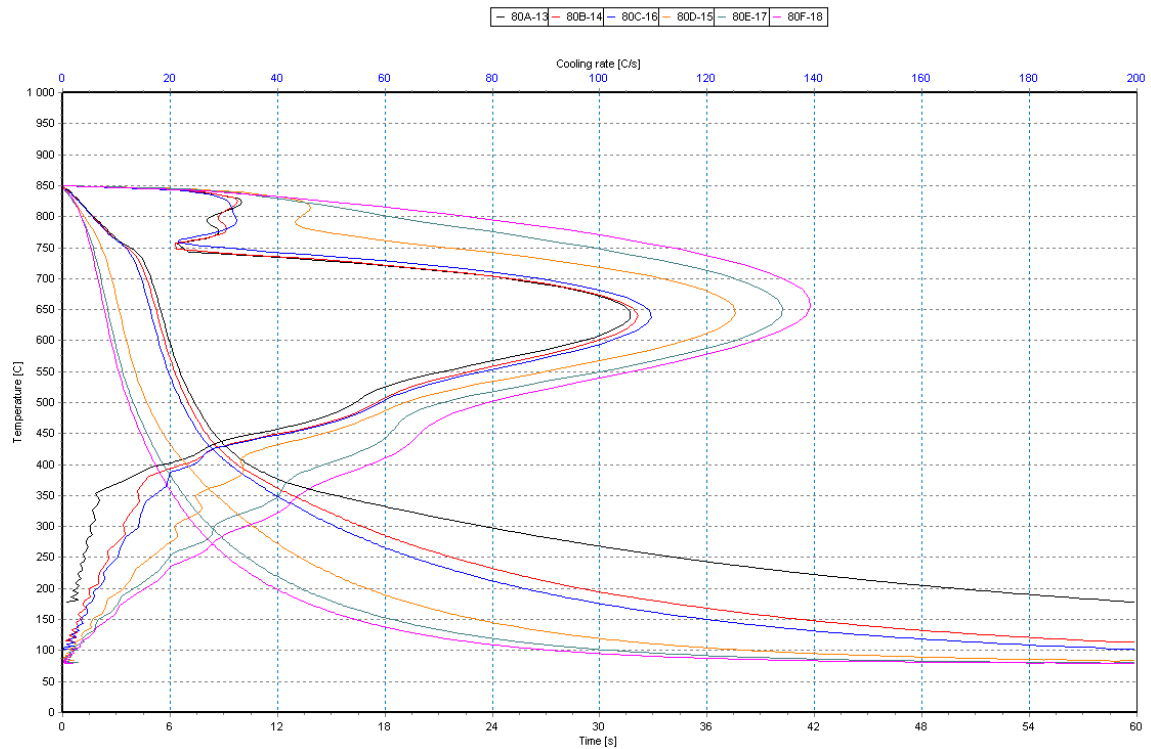
## **Příloha č. 8** Výsledné ochlazovací křivky z měření v experimentálním zařízení při konstantní teplotě a různých rychlostech ochlazování



*Ochlazovací křivky při teplotě oleje 40°C a různých rychlostech proudění*

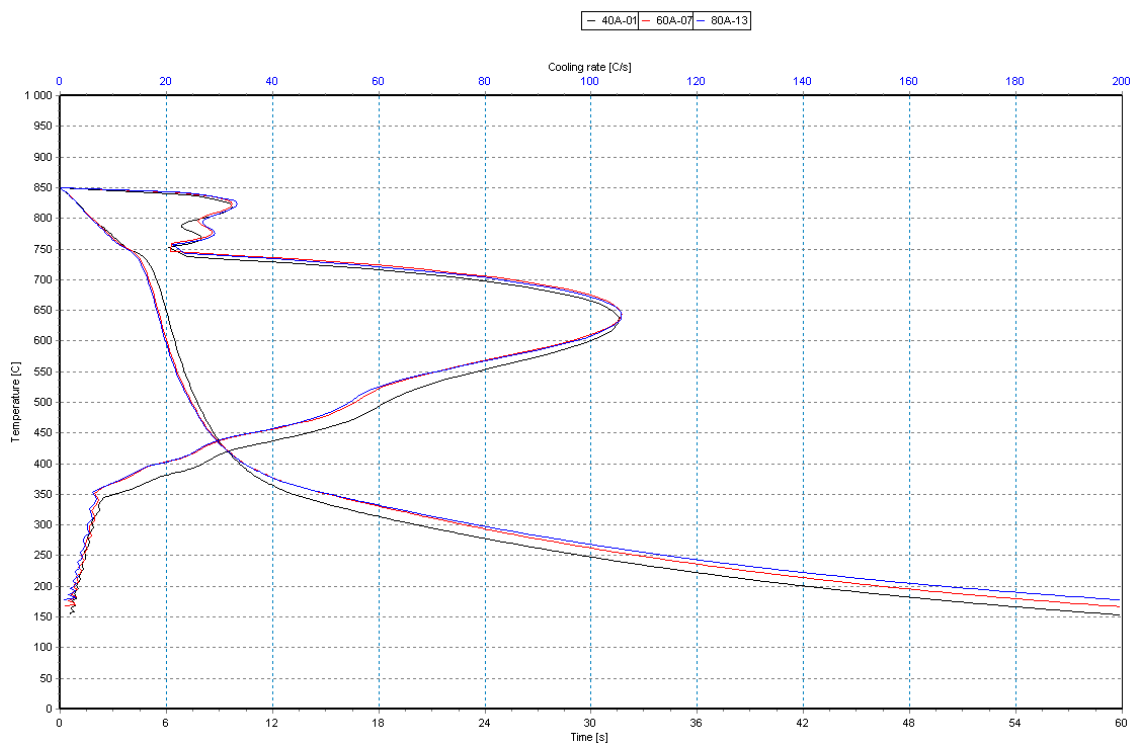


*Ochlazovací křivky při teplotě oleje 60°C a různých rychlostech proudění*

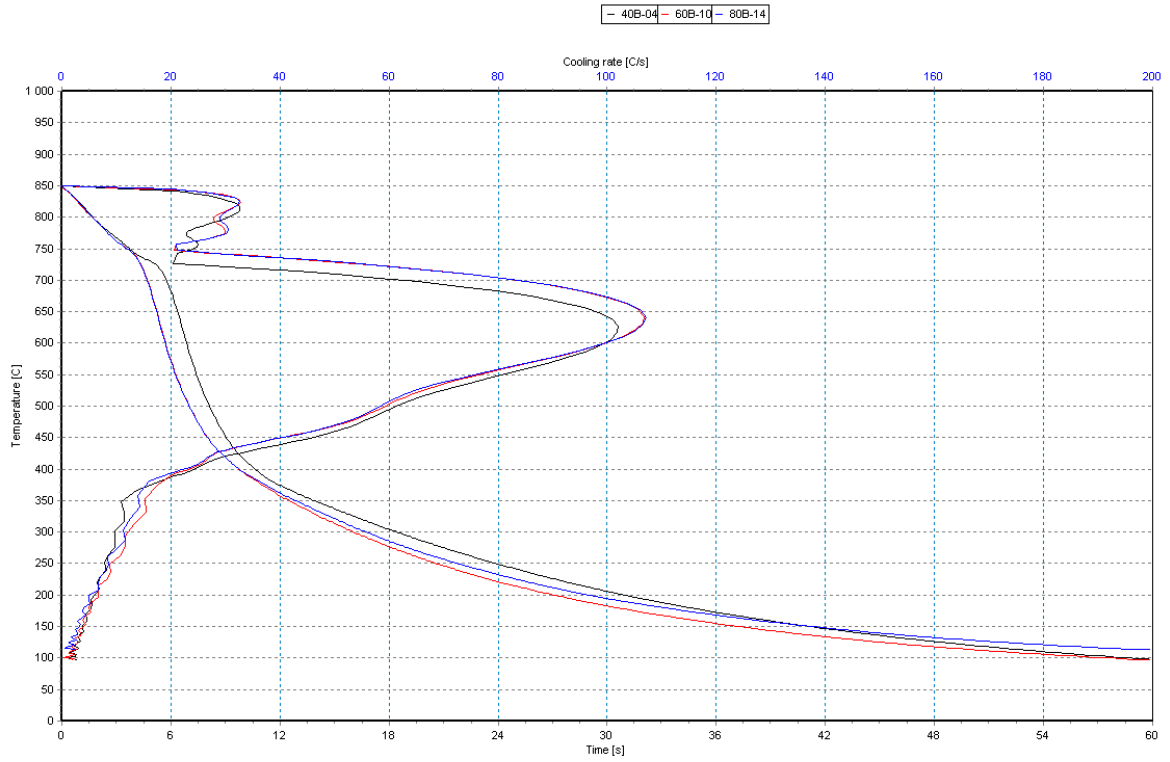


Ochlazovací křivky při teplotě oleje 80°C a různých rychlostech proudění

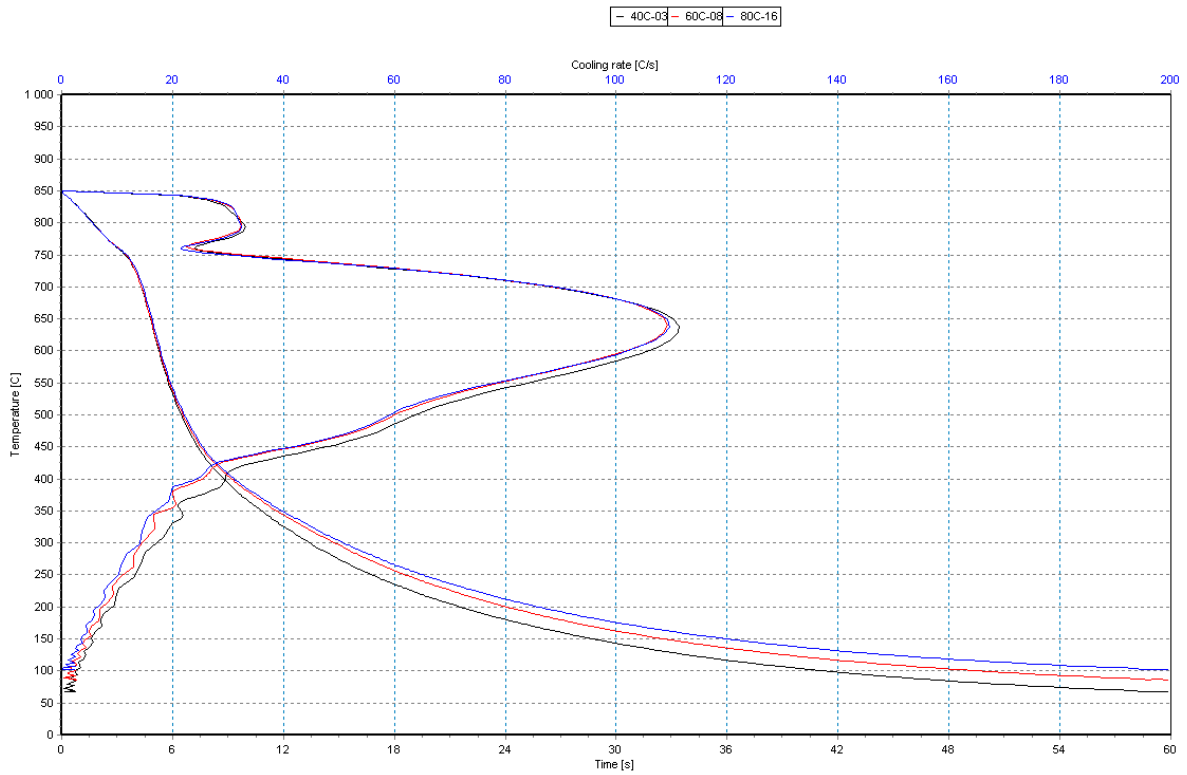
**Výsledné ochlazovací křivky z měření v experimentálním zařízení při konstantní rychlosti proudění a odlišných teplotách kalícího oleje**



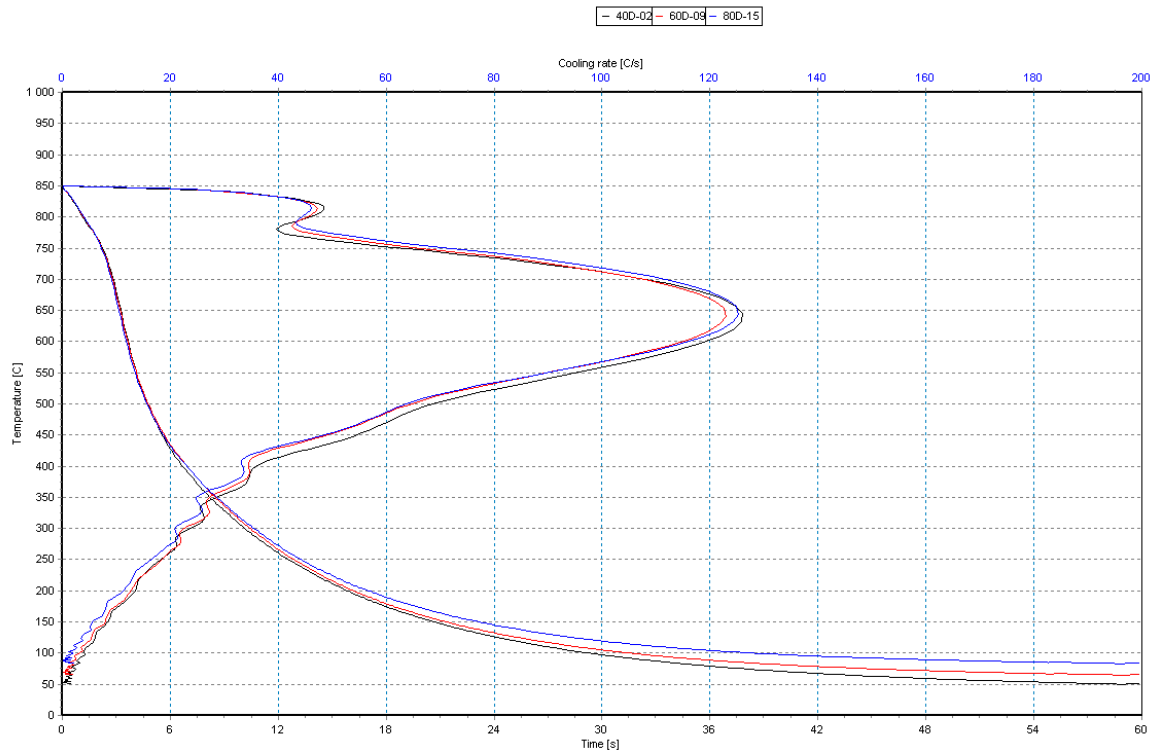
Ochlazovací křivky pro rychlost 0 m/s a teplotou lázně 40, 60 a 80°C



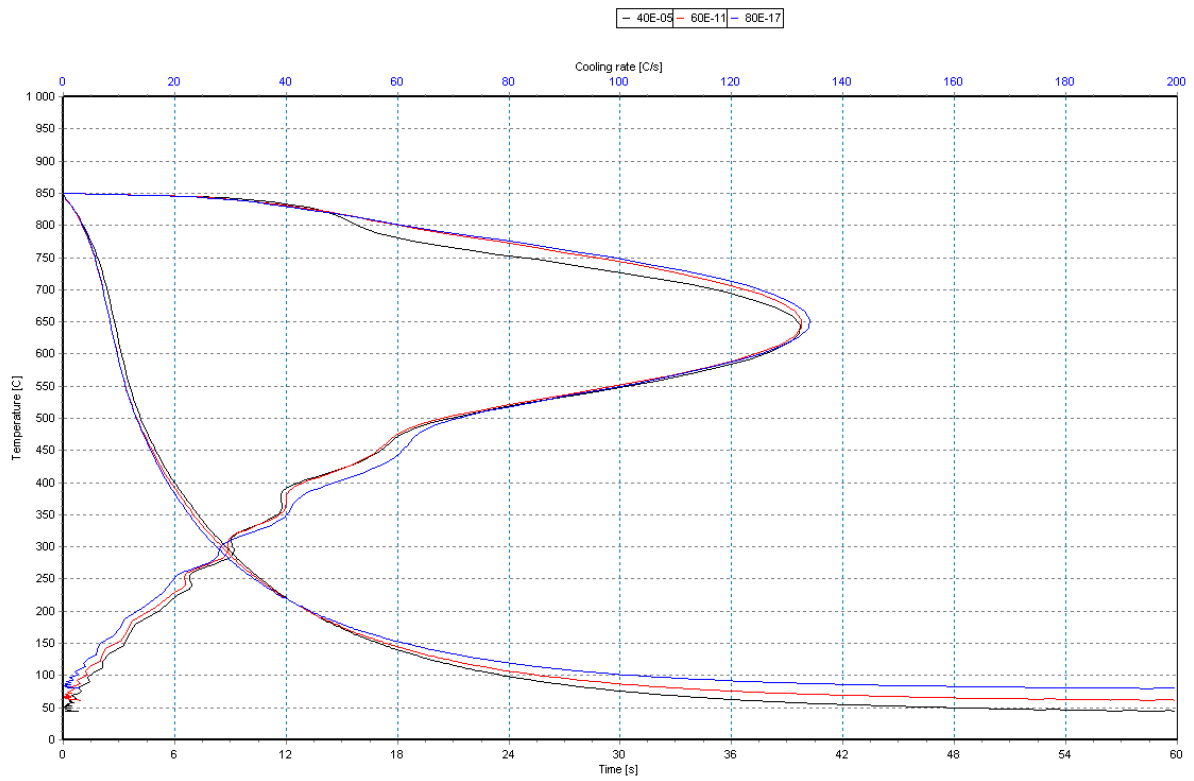
Ochlazovací křivky pro rychlost 0,1 m/s a teplotou lázně 40, 60 a 80°C



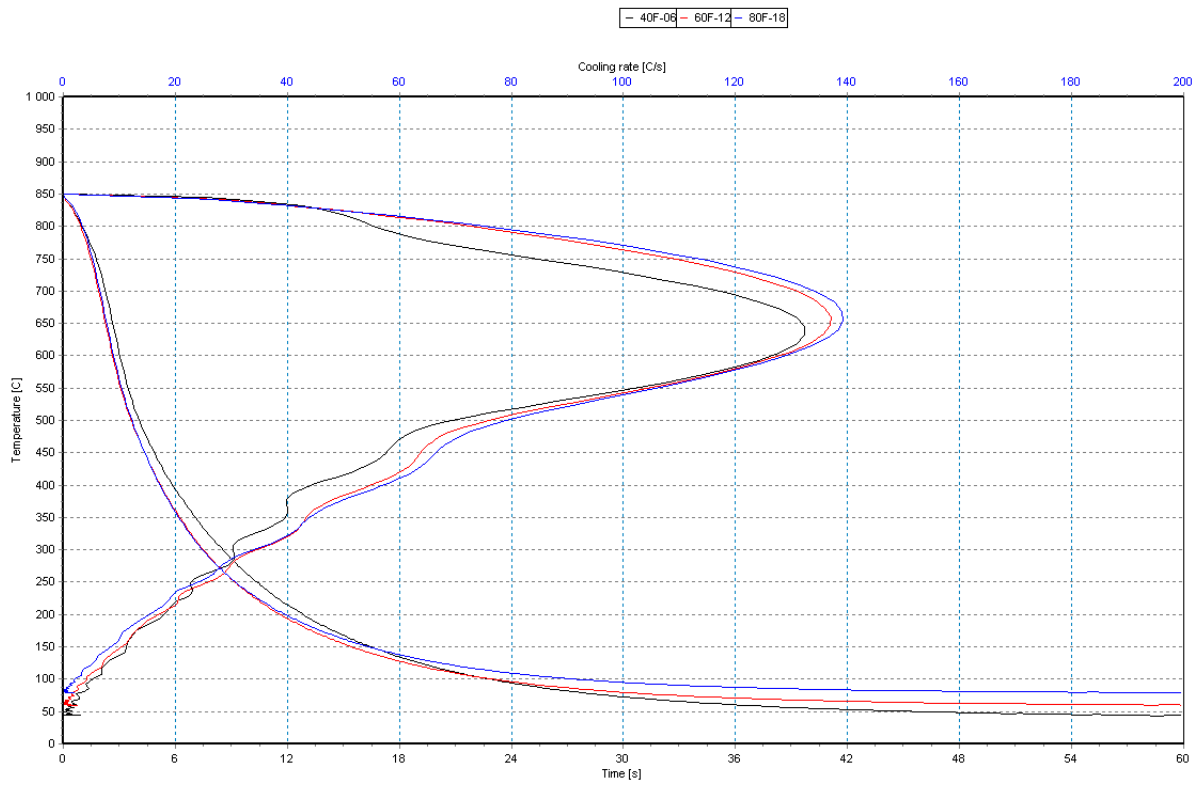
Ochlazovací křivky pro rychlost 0,4 m/s a teplotou lázně 40, 60 a 80°C



Ochlazovací křivky pro rychlost 0,8 m/s a teplotou lázně 40, 60 a 80°C



Ochlazovací křivky pro rychlost 1,2 m/s a teplotou lázně 40, 60 a 80°C

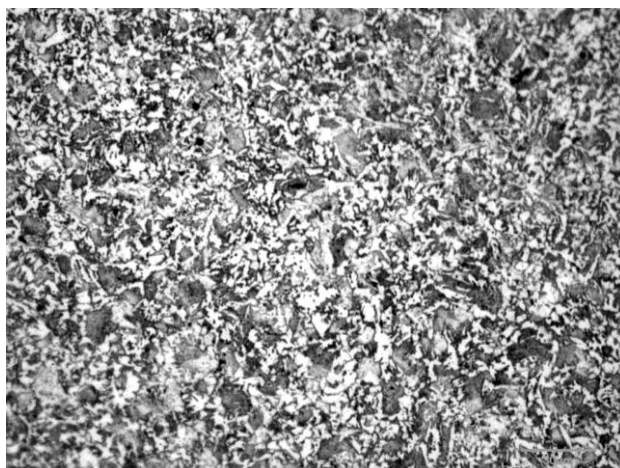
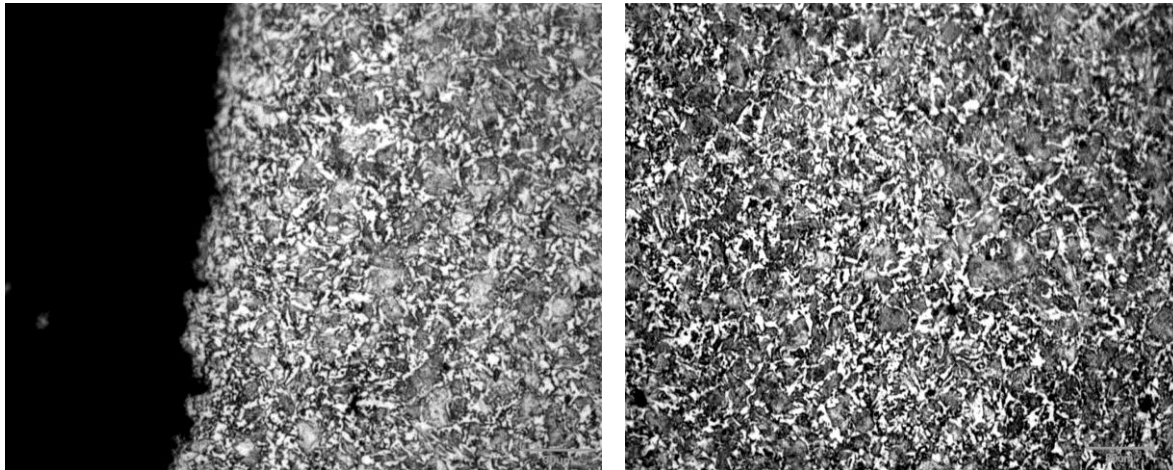


*Ochlazovací křivky pro rychlost 1,5 m/s a teplotou lázně 40, 60 a 80°C*

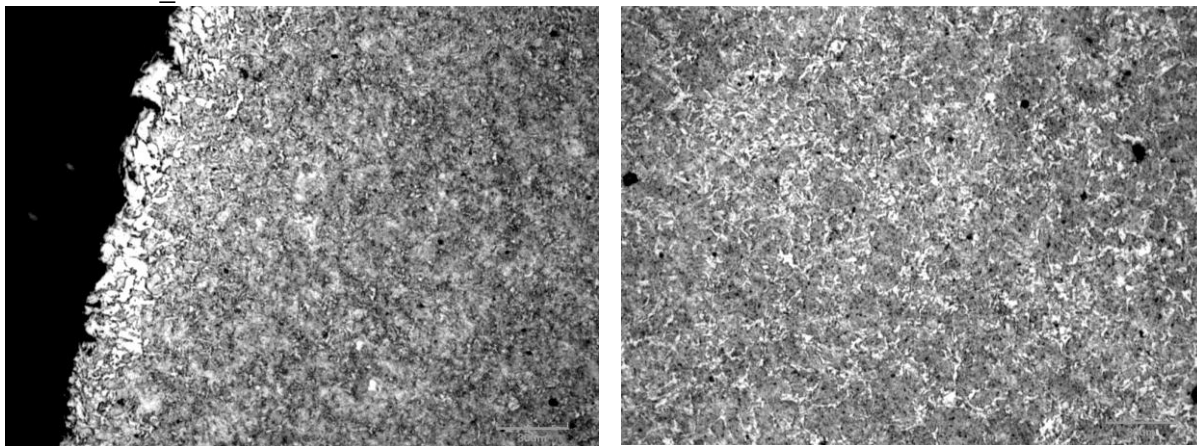
### **Příloha č. 9    Výsledné struktury po kalení u vybraných vzorků**

Seřazeno dle teplot a zvyšující se rychlosti proudění kalící lázně, značení viz. tab. 11-2. Fotografie byly pořízeny při 500x zvětšení. Vždy se fotil okraj vzorku, 0,2 mm od kraje a jádro.

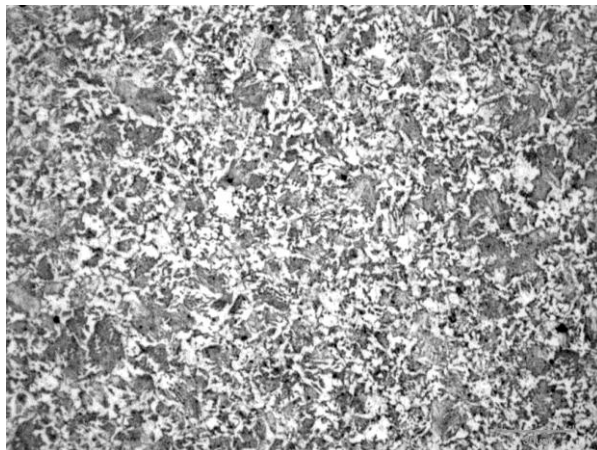
#### **Vzorek 40\_A**



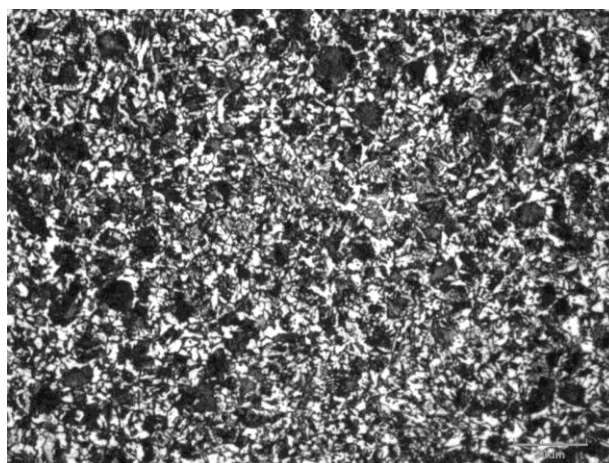
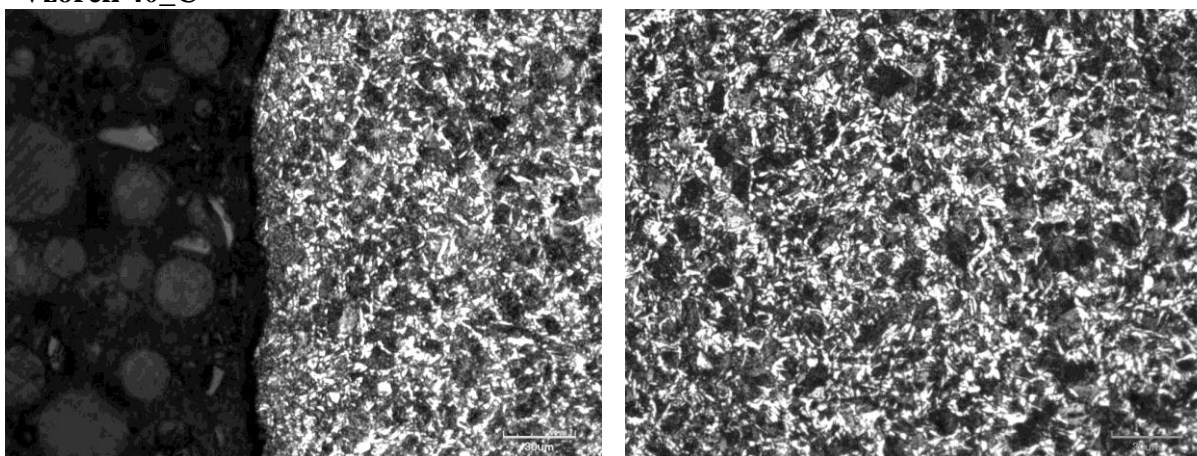
#### **Vzorek 40\_B**



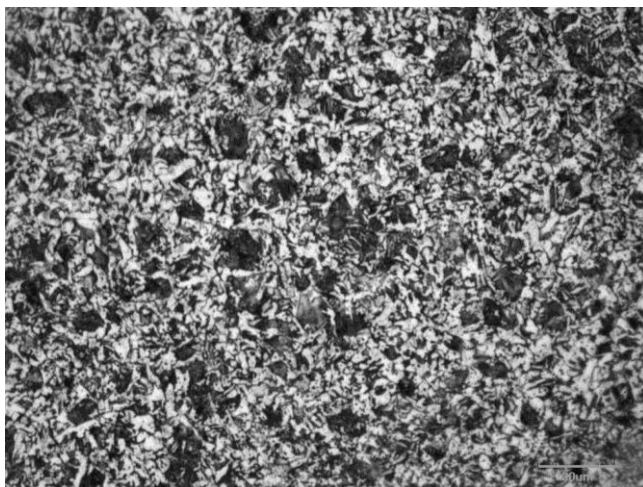
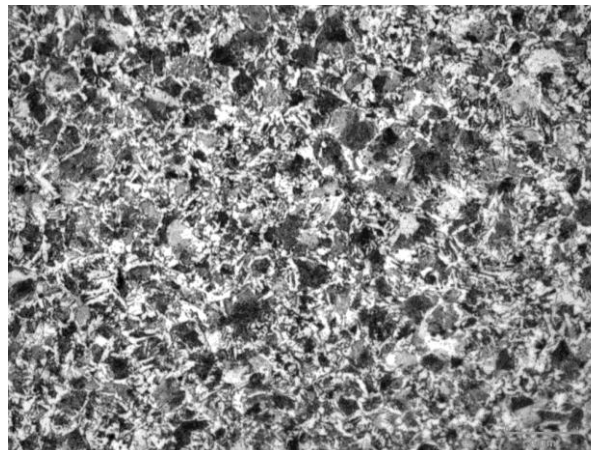
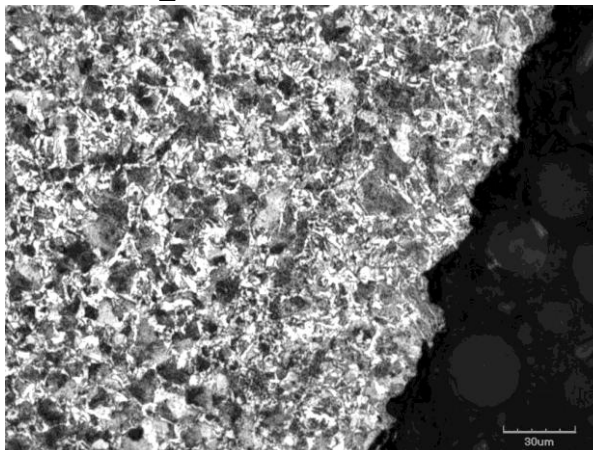




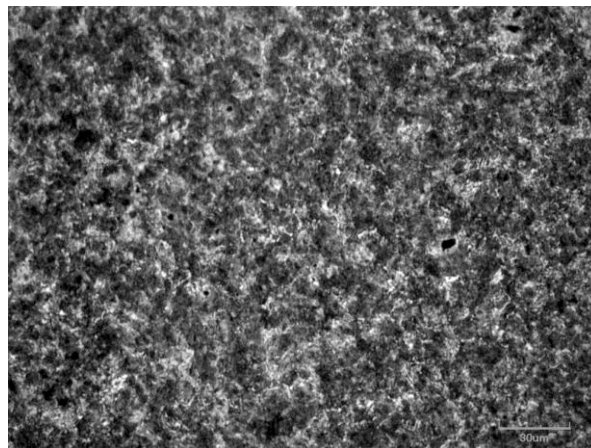
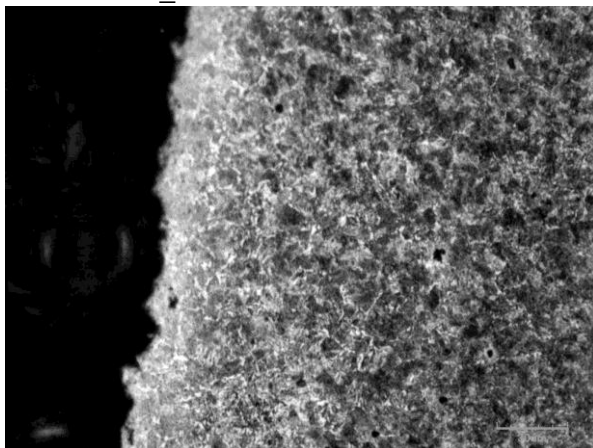
**Vzorek 40\_C**

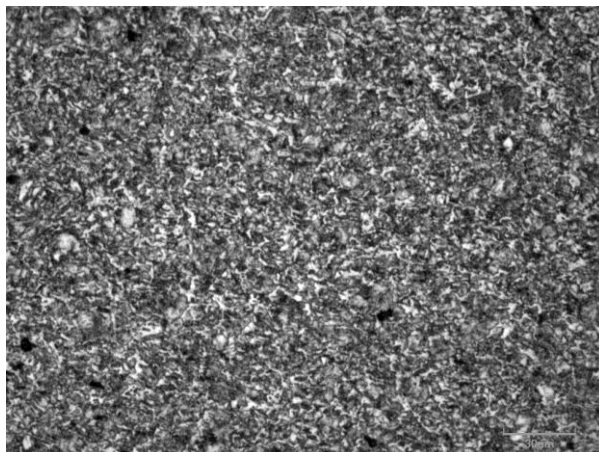


**Vzorek 40\_D**

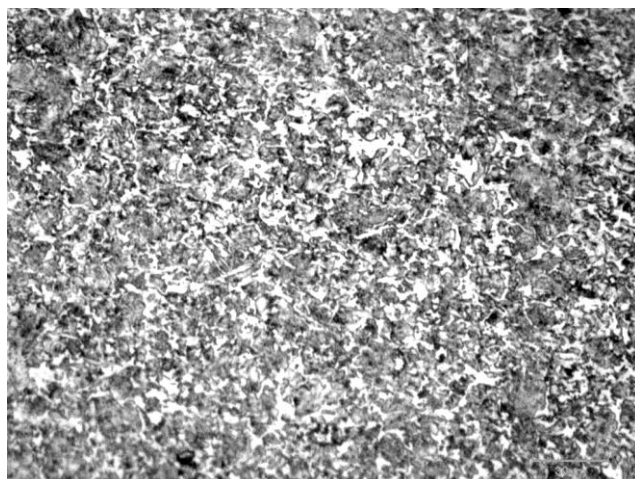
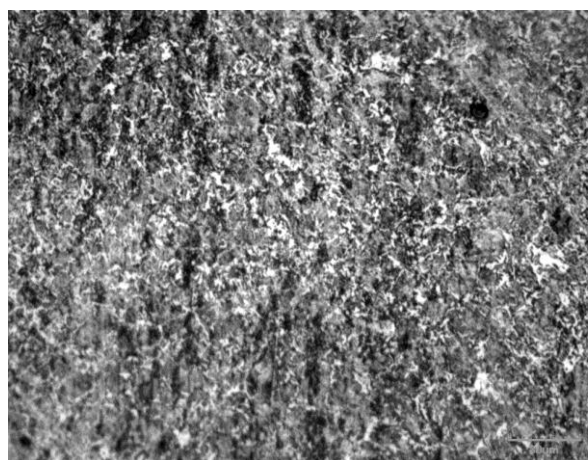


**Vzorek 60\_A**

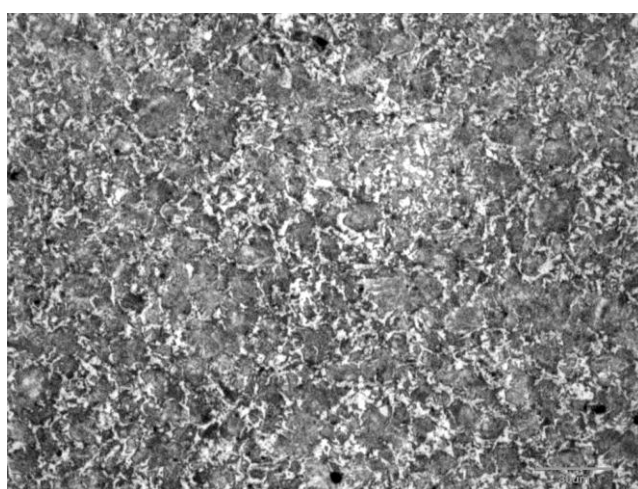
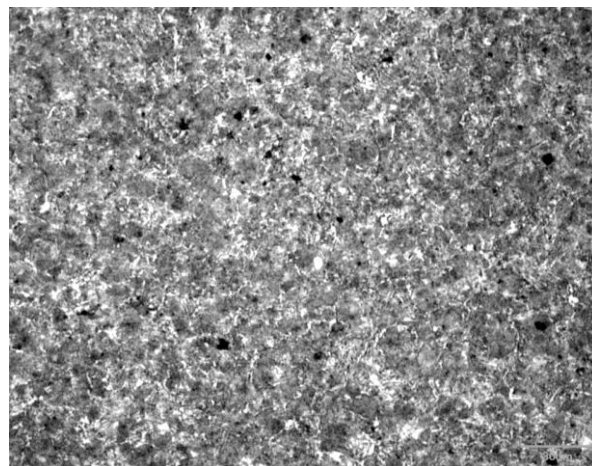
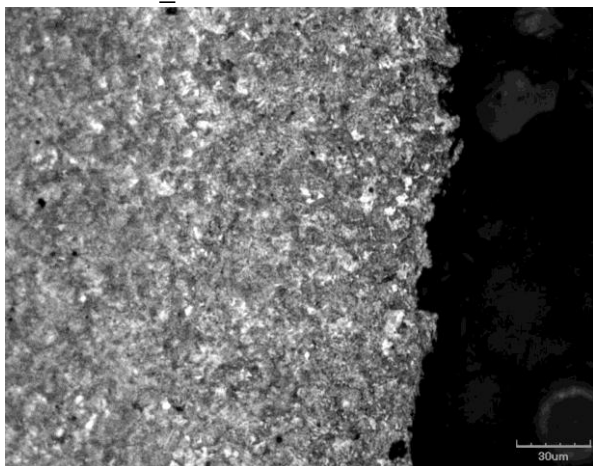




**Vzorek 60\_B**



**Vzorek 60\_C**



**Vzorek 60\_D**

