



# Simulace zkoušky prokalitelnosti

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály  
*Autor práce:* **Bc. Antonín Bláha**  
*Vedoucí práce:* doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechanical Engineering ■

# Simulation test of hardenability

## Master thesis

*Study programme:* N2301 – Mechanical Engineering  
*Study branch:* 2301T048 – Engineering Technology and Materials  
*Author:* **Bc. Antonín Bláha**  
*Supervisor:* doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Antonín Bláha**  
Osobní číslo: **S16000017**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**  
Název tématu: **Simulace zkoušky prokalitelnosti**  
Zadávací katedra: **Katedra materiálu**

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

1. Seznamte se s různými zkouškami prokalitelnosti ocelí a se simulačním programem TT-Steel.
2. Navrhněte a vypracujte postup simulace zkoušek prokalitelnosti v programu TTSteel.
3. Porovnejte výsledky simulace s normovanými literárními hodnotami, případně s experimentem.
4. Zhodnoťte výsledky z hlediska použitelnosti programu TTSteel k určování prokalitelnosti ocelí.

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 40 - 50 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

- [1] *Program TTSteel 2.1. Tepelné zpracování ocelí. Uživatelská příručka.* Ostrava: ITA spol.s r.o. 2006.
- [2] *Steel Casting Handbook, Suppl. 11,* SFSA New York. 1980.
- [3] *ASM Metals Handbook Heat Treating, Vol.4,* ASM New York. 2005.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.  
Katedra materiálu

Datum zadání diplomové práce: 12. října 2016  
Termín odevzdání diplomové práce: 12. ledna 2018

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
prof. Ing. Petr Louda, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 12. října 2016

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc. za vstřícný přístup a odborné vedení.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu, která mi byla poskytována během celého mého studia.

A také bych chtěl poděkovat za možnost vypracovat mou diplomovou práci za podpory výzkumu v rámci projektu „Studium a hodnocení struktury materiálů a jejich vlastností“ na Technické univerzitě v Liberci v rámci podpory specifického vysokoškolského výzkumu, prostřednictvím finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2017.

V Liberci dne 16.05.2017

.....

Bc. Antonín Bláha

*„Bolest je jen slabost opouštějící tělo“*

(Bear Grylls)

## **Simulace zkoušky prokalitelnosti**

### **ANOTACE:**

Diplomová práce se zabývá použitelností programu TTSteel v praxi na simulaci zkoušek prokalitelnosti. V teoretické části je popsán simulační program TTSteel a jednotlivé zkoušky prokalitelnosti. Dále se práce v experimentální části zaměřuje na vytvoření návrhu a pracovního postupu simulace jednotlivých zkoušek prokalitelnosti v programu TTSteel. V rámci ověření bylo provedeno několik simulací prokalitelnosti různých druhů ocelí. Pro každou simulaci konkrétního druhu oceli bylo vytvořeno porovnání s normovanými literárními hodnotami a následně správnost vybrané simulace byla porovnána s experimentem. V této práci je celý postup podrobně popsán. V závěru jsou zhodnoceny a porovnány výsledky, kde je uvedena použitelnost a omezení programu TTSteel v praxi na simulaci zkoušek prokalitelnosti.

Klíčová slova: Zkouška prokalitelnosti, program TTSteel, simulace zkoušek.

## **Simulation test of hardenability**

### **ANNOTATION:**

*The thesis deals with the applicability of the TTSteel program in practice for the hardenability test simulation. The theoretical part describes the TTSteel simulation program and the individual hardenability tests. Further, this thesis focuses in the experimental part on a design creation and a workflow simulation of individual hardenability tests in the TTSteel program. Multiple hardenability simulations of various kinds of steel were carried out within the verification. For each simulation of a particular type of steel a comparison with standard literature values was created, and consequently the correctness of the selected simulation was compared with the experiment. In this work, the complete procedure is described in detail. In conclusion, the results are evaluated and compared, where the applicability and limitation of the TTSteel program in practice for the hardenability test simulation is indicated.*

Key words: Test hardenability, program TT Steel, tests simulation

Počet stran: 76

Počet tabulek: 5

Počet grafů: 13

Počet příloh: 34

Počet obrázků: 14

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Seznam obrázků .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>Seznam tabulek a grafů.....</b>                                     | <b>10</b> |
| <b>Seznam symbolů a zkratek.....</b>                                   | <b>11</b> |
| <b>1 Úvod .....</b>  | <b>13</b> |
| <b>2 Cíle práce.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>3 Teoretická část.....</b>  | <b>15</b> |
| 3.1 Program TTSteel.....   | 15        |
| 3.2 Vymezení použitelnosti programu TTSteel .....                      | 16        |
| 3.3 Popis procesu transformace austenitu.....                          | 16        |
| 3.4 Model hybridního rozpadového diagramu.....                         | 18        |
| 3.5 Přísadové prvky a jejich vliv na vlastnosti oceli.....             | 20        |
| 3.6 Výpočet ochlazovacích křivek.....                                  | 22        |
| 3.7 Výpočet mechanických vlastností .....                              | 22        |
| 3.8 Základní pojmy .....   | 23        |
| 3.9 Tepelné zpracování ocelí .....                                     | 25        |
| 3.9.1 Základní pojmy tepelného zpracování .....                        | 25        |
| 3.9.2 Zkoušky prokalitelnosti .....                                    | 26        |
| <b>4 Experimentální část.....</b>                                      | <b>31</b> |
| 4.1 Tvorba postupu simulace zkoušky prokalitelnosti v programu TTSteel | 31        |
| <b>5 Výsledky .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>6 Závěr .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>7 Seznam použité literatury.....</b>                                | <b>46</b> |
| <b>Seznam příloh.....</b>  | <b>48</b> |



## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 – IRA diagram pro blíže neurčenou ocel [3] .....                                       | 17 |
| Obr. 2 – ARA diagram pro blíže neurčenou ocel [3].....  | 17 |
| Obr. 3 – Vliv slitinových prvků na polohu a tvar křivek diagramů IRA [4] .....                | 19 |
| Obr. 4 – Tvrdost struktury obsahující 50 [%] martenzitu při daném C [%] v oceli [9]..         | 25 |
| Obr. 5 – Schéma čelní zkoušky prokalitelnosti – Jominyho zkouška [10] [12].....               | 28 |
| Obr. 6 – Schéma čelní zkoušky prokalitelnosti – Jominyho zkouška [13].....                    | 29 |
| Obr. 7 – Nastavení skupiny a chemického složení pro ocel 12 040 .....                         | 31 |
| Obr. 8 – Nastavení rozměrů, teploty a způsobu ochlazování tepelně zpracovávaného tělesa ..... | 32 |
| Obr. 9 – Nastavení rozměrů, teploty a způsobu ochlazování tepelně zpracovávaného tělesa ..... | 33 |
| Obr. 10 – Způsob ochlazování.....   | 34 |
| Obr. 11 – Varianta A) Strukturní podíly po průřezu tělesa válcové tyče .....                  | 40 |
| Obr. 12 – Varianta B) Strukturní podíly po průřezu tělesa obdélníkové deska.....              | 40 |
| Obr. 13 – Mechanické vlastnosti po průřezu tělesa .....                                       | 41 |
| Obr. 14 – detail: 50 [%] martenzitu pro variantu A a B .....                                  | 42 |

## Seznam tabulek a grafů

|   |    |
|---|----|
| Tabulka 1 – Rozdělení skupiny oceli dle [%] obsahu C [1] .....  | 16 |
| Tabulka 2 – Směrné chemické složení oceli 18CrNi Mo7-6 [17] .....   | 35 |
| Tabulka 3 – Základní chemická báze složení oceli 18CrNi Mo7-6 [16].....   | 35 |
| Tabulka 4 – Zjištěné chemické složení vzorku [16] .....   | 36 |
| Tabulka 5 – Označení simulovaných ocelí [17] .....  | 43 |
| <br>  |    |
| Graf 1 – Zkouška prokalitelnosti na válcích [5] .....   | 27 |
| Graf 2 – Jominyho čelní zkouška prokalitelnosti [5].....  | 27 |
| Graf 3 – Závislost tvrdosti struktury na obsahu uhlíku při různém podílu martenzitu na výsledné struktuře pro uhlíkové oceli [14] ..... | 30 |
| Graf 4 – Teplotní závislost součinitele přestupu tepla při ochlazování za pomoci vodní sprchy [15] .....                                | 34 |
| Graf 5 – Mezní křivky prokalitelnosti oceli 18CrNiMo7-6 (dle Jominyho zk.) [17].....  | 36 |
| Graf 6 – Výsledky Jominyho čelní zkoušky prokalitelnosti pro různé teploty [16].....  | 37 |
| Graf 7 – Srovnání (Jominy x TTSteel – varianta A; 800 [°C]).....  | 37 |
| Graf 8 – Srovnání (Jominy x TTSteel – varianta A; 820 [°C]).....  | 38 |
| Graf 9 – Srovnání (Jominy x TTSteel – varianta A; 840 [°C]).....  | 38 |
| Graf 10 – Srovnání (Jominy x TTSteel – varianta A; 860 [°C]).....   | 39 |
| Graf 11 – ocel 12 040 (varianta A – TYČ) .....  | 41 |
| Graf 12 – ocel 12 040 (varianta B – DESKA) .....  | 41 |
| Graf 13 – Ocel 12 040 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A) .....  | 42 |

## Seznam symbolů a zkratk

|                     |  |
|---------------------|--|
| 2D                  | dvoudimenzionální/ dvourozměrný  |
| A [mm]              | délka strany A   |
| A(i)                | regresní koeficient  |
| Alfa [Wm-2K-1]      | součinitel přestupu tepla  |
| Ao                  | regresní konstanta   |
| ARA                 | anizotermický rozpadový diagram  |
| B [mm]              | délka strany B   |
| B(i)                | regresní koeficient  |
| Bo                  | regresní konstanta   |
| c(i)                | obsahy legujících prvků  |
| CR [K/s]            | rychlost ochlazování   |
| D [mm]              | vzdálenost bodu měření tvrdosti (HRC) od kaleného čela   |
| D <sub>α</sub> [μm] | velikost počátečního austenitického zrna   |
| HRC                 | zkouška tvrdosti podle Rockwella   |
| HV                  | zkouška tvrdosti podle Vickerse  |
| IRA                 | izotermický rozpadový diagram  |
| ITA                 | společnost založená v roce 1991 výzkumnými a vědeckými pracovníky Výzkumného ústavu strojírenského a metalurgického<br>VÍTKOVICE |
| L [mm]              | délka zkušební tyče  |
| m [kg]              | hmotnost   |
| MKP                 | metoda konečných prvků   |
| Ms [°C]             | teplota vzniku martenzitu  |
| ØD [mm]             | průměr zkušební tyče   |
| Re [MPa]            | mez kluzu  |
| Rm [MPa]            | mez pevnosti   |
| S [s]               | čas  |
| T [°C]              | teplota  |
| T8/5                | anizotermický rozpadový diagram (diagram je sestaven pro konstantní rychlost ochlazování mezi teplotami 800 až 500 [°C])         |
| TBF, SBF            | teplota a čas nosu konce bainitu   |
| TBS, SBS            | teplota a čas nosu vzniku bainitu  |

|                        |   |
|------------------------|---|
| TFS, SFS               | teplota a čas nosu vzniku feritu  |
| To [°C]                | teplota vzduchu   |
| T <sub>ochl.</sub> [s] | čas ochlazování   |
| TPF, SPF               | teplota a čas nosu konce perlitu  |
| TPS, SPS               | teplota a čas nosu vzniku perlitu   |
| TSteel                 | simulační program navržený firmou ITA, který slouží především k výpočtu mechanických vlastností ocelí po jejich tepelném zpracování |
| Tv [°C]                | teplota vody  |

# 1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá rozšířením programu TTSteel o simulaci různých zkoušek prokalitelnosti oceli a navržení postupu simulace zkoušky prokalitelnosti v programu TTSteel. V kapitole 3.1 byl tento program společnosti ITA vysvětlen a popsán. Jsou zde shrnuty základní poznatky k seznámení se s uživatelským prostředím programu TTSteel, který primárně slouží k výpočtu mechanických vlastností ocelí po jejich tepelném zpracování.

Na základě získaných znalostí a zkušeností z praxe byl za pomoci simulačního programu TTSteel vytvořen postup k určení prokalitelnosti jednotlivých druhů oceli. V rámci této diplomové práce bylo provedeno několik simulací prokalitelnosti pro různé druhy oceli. Pro každou simulaci konkrétního druhu oceli bylo vytvořeno porovnání s normovanými literárními hodnotami a následně vybrána jedna simulace, porovnána s experimentem. Dále bylo za potřebí popsat jednotlivé zkoušky prokalitelnosti (viz kapitola 3.9.2) a uvést použité materiálové listy jednotlivých druhů oceli (viz přílohy číslo 3 až 17).

Celý postup simulace zkoušky prokalitelnosti v programu TTSteel byl podrobně popsán v kapitole 4.1. V závěru práce byly zhodnoceny a porovnány výsledky diplomové práce, včetně shrnutí použitelnosti a omezení programu TTSteel.

V rámci zpracování se hodnotila tato kritéria – spolehlivost, přesnost a časová náročnost experimentu.

Výsledky jednotlivých měření pro konkrétní druhy oceli, včetně jejich porovnání s normovanými hodnoty jsou uvedeny v přílohách 18 až 31.

V této diplomové práci byla použita česká a zahraniční literatura a internetové zdroje.

## 2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je navržení, vypracování a ověření postupu jednotlivých zkoušek simulace a následné zhodnocení výsledků z hlediska použitelnosti programu TTSteel k určování prokalitelnosti ocelí a tím rozšířit použitelnost programu TTSteel v praxi.

Program TTSteel nám dává možnost zjednodušit a zároveň zrychlit postup k určení prokalitelnosti.

Proto bylo v této práci pro každou simulaci konkrétního druhu oceli vytvořeno porovnání s normovanými literárními hodnotami a následně byla jedna vybraná simulace porovnána s experimentem.

K úspěšnému splnění výše uvedených cílů diplomové práce je zapotřebí využití znalostí a principů materiálového inženýrství a dále je nutné znát detailně uživatelské prostředí programu TTSteel.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Program TTSteel

Program TTSteel je určen k výpočtu struktury a mechanických vlastností ocelí po jejich tepelném zpracování (kalení, popouštění/žihání). [doc. Ing. Karel Daďourek, CSc., IV. 2017, in verb] Tento program je schopen na základě chemického složení oceli a vlastností počáteční austenitické struktury vytvořit hybridní diagram rozpadu rekrystalizovaného austenitu na sekundární strukturu pro uhlíkové, konstrukční, mikrolegované a nástrojové legované oceli. [1]

Vzniklý diagram je dále využit pro simulaci anizotermické transformace oceli podle předem definované ochlazovací křivky. Program provede nejprve rozdělení ochlazovací křivky na úseky s konstantní rychlostí ochlazování a pro tyto úseky určí podíly sekundární rozpadové struktury feritu, perlitu, bainitu nebo martenzitu. Následně vypočítá tvrdost HV, na základě které určí mez pevnosti  $R_m$  a tvrdost v ostatních jednotkách. Mez kluzu  $R_e$  je počítána speciálním algoritmem. Výpočtová simulace rozpadu austenitu na sekundární strukturu může být dále doplněna o popouštění, které v závislosti na podmínkách popouštění stanoví konečné mechanické vlastnosti oceli. [1]

Kromě základního studia klasického rozpadu rekrystalizovaného austenitu umožňuje tento program také studium rozpadu deformovaného austenitu při termomechanickém zpracování tvářených výrobků. [1]

Program TTSteel dále umožňuje výpočet ochlazovacích křivek speciálních těles 2D (tyč kruhového nebo obdélníkového průřezu, válec, prstenec, trubka) a umožňuje vložení teplot obecných 2D – těles vypočítaných v MKP programech. [2]

Výsledné mechanické vlastnosti oceli lze získat buď pouze pro jednu vybranou ochlazovací křivku s případným následným popouštěním/žiháním, nebo ve formě vrstevnic rozložení mechanických vlastností po průřezu 2D – tělesa nebo jako grafy průběhu mechanických vlastností pod povrchem tělesa. [1]

### 3.2 Vymezení použitelnosti programu TTSteel

Program je určen k simulaci klasického tepelného zpracování případně termomechanického zpracování z dotvářecí teploty ocelových výrobků z:

Tabulka 1 – Rozdělení skupiny oceli dle [%] obsahu C [1]

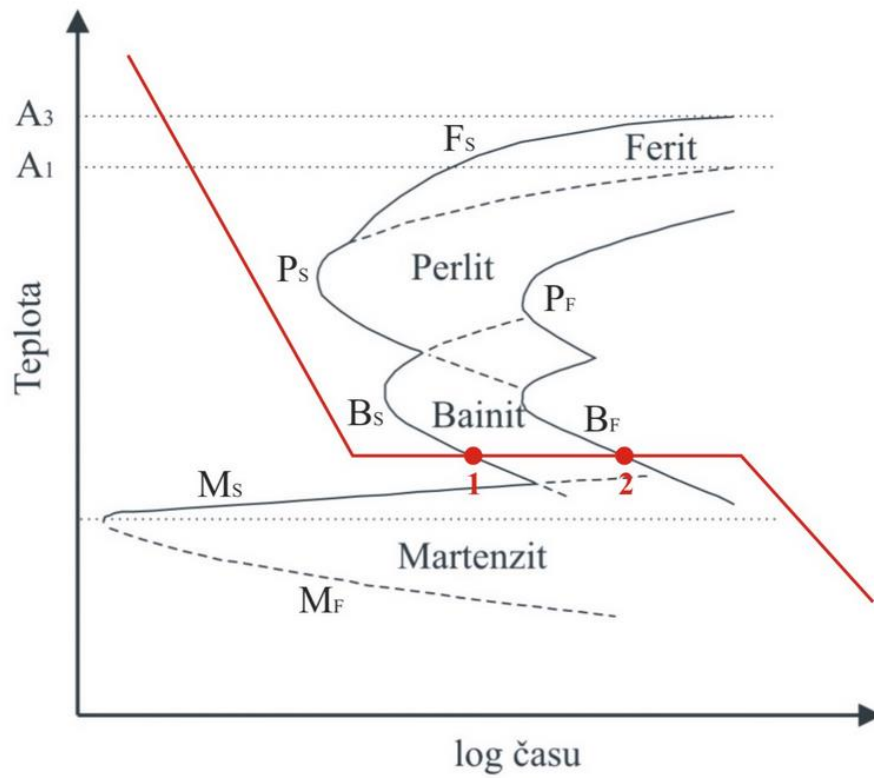
| Číslo skupiny | Skupina oceli                               | Obsah C            | Celkový obsah legujících prvků  |
|---------------|---|--------------------|---|
| 1. skupina    | uhlíkových a konstrukčních legovaných ocelí | od 0,08 % do 0,5 % | do 10 %   |
| 2. skupina    | nástrojových ocelí                          | od 0,5 % do 1,8 %  | do 5 % pro obsah C menší než 1,2 %<br>a nebo do 3 % pro obsah C větší než 1,2 % |
| 3. skupina    | mikrolegovaných ocelí                       | od 0,05 % do 0,4 % | příčemž součet legur Nb + Ti musí<br>být větší než 0                            |

### 3.3 Popis procesu transformace austenitu

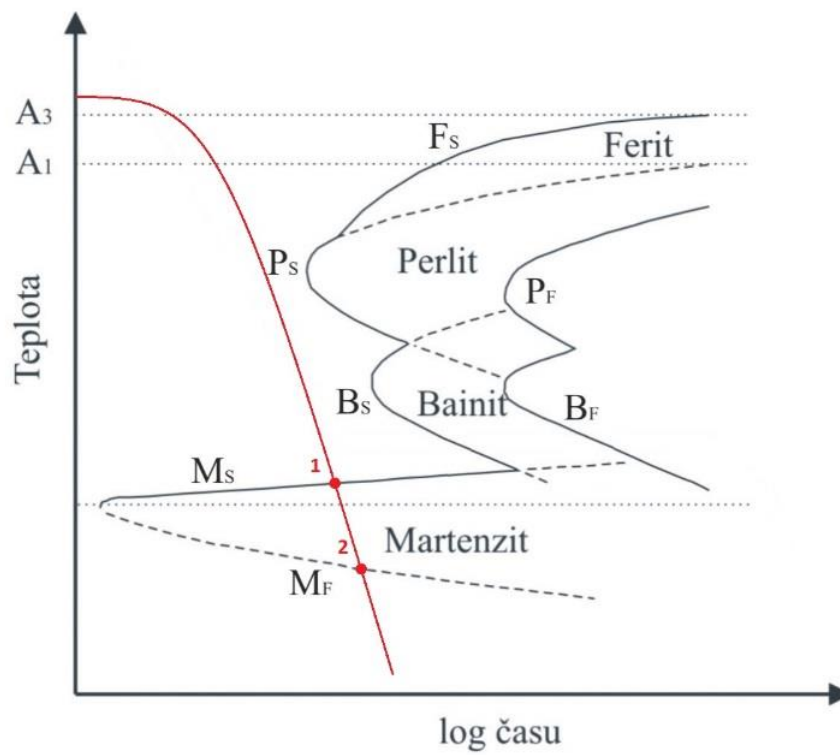
V současné době slouží k popisu procesu transformace austenitu následující typy experimentálně určených rozpadových diagramů:

- IRA izotermický rozpadový diagram – rozpad probíhá během časové prodlevy při konstantní teplotě
- ARA anizotermický rozpadový diagram – rozpad probíhá při konstantní rychlosti ochlazování
- T8/5 anizotermický rozpadový diagram – rozpad probíhá při konstantní rychlosti ochlazování, (diagram je sestaven pro konstantní rychlost ochlazování mezi teplotami 800 až 500 [°C]) [1]





Obr. 1 – IRA diagram pro blížie neurčenou ocel [3]



Obr. 2 – ARA diagram pro blížie neurčenou ocel [3]

Jak vyplývá z popisu těchto klasických diagramů, nelze žádný z nich přímo využít pro predikci kinetiky rozpadu austenitu při průmyslovém ochlazování. Průmyslová ochlazovací křivka totiž většinou neodpovídá žádnému způsobu ochlazování, použitému při konstrukci výše uvedených diagramů. Průmyslové ochlazování bývá většinou kombinováno z ochlazování na vzduchu, ochlazování pod sprchou nebo v jiném ochlazovacím médiu s následujícím ukončením ochlazování většinou opět na vzduchu (přerušované ochlazování). Přitom teploty přechodu ochlazování z jednoho media do dalšího nebývají konstantní, takže není možno ani využít diagram T8/5. Při ochlazování rozměrných těles nebo při velmi intenzivním ochlazování těles i menších rozměrů může dojít k lokálním ohřevům některých oblastí tělesa v důsledku vyrovnávání teplot mezi teplejším jádrem a chladnějším povrchem. [1]

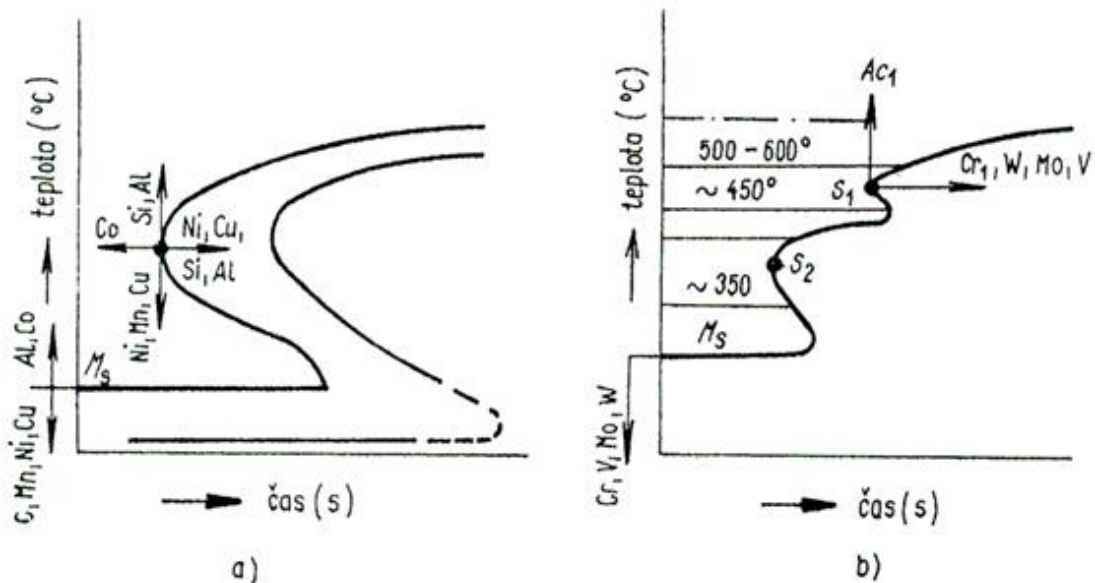
Pro program TTSteel, určený pro simulaci průmyslového ochlazování ocelových výrobků, byl na základě informací ze všech typů výše uvedených rozpadových diagramů vytvořen model hybridního rozpadového diagramu. Důvod, který k tomuto řešení vedl, byl ten, aby bylo možné k výpočtu časů a teplot počátku a konce přeměny austenitu na jednotlivé strukturní fáze použít jakýkoliv tvar ochlazovací křivky. [1]

### **3.4 Model hybridního rozpadového diagramu**

K sestavení rozpadového diagramu bylo použito velké množství publikovaných rozpadových diagramů, a to jak IRA, tak ARA a pro popis vlivu zpevnění austenitu na rozpad mikrolegovaných ocelí zejména diagramů T8/5. [1]

Byl sledován vliv chemického složení základních legujících prvků C, Mn, Si, Cr, Ni, Mo, V, W na souřadnice kritických bodů rozpadového diagramu:

- TFS, SFS – teplota a čas nosu vzniku feritu
- TPS, SPS – teplota a čas nosu vzniku perlitu
- TBS, SBS – teplota a čas nosu vzniku bainitu
- TPF, SPF – teplota a čas nosu konce perlitu
- TBF, SBF – teplota a čas nosu konce bainitu
- Ms – teplota vzniku martenzitu [1]



Obr. 3 – Vliv slitinových prvků na polohu a tvar křivek diagramů IRA [4]

Uvedené hodnoty byly získány pomocí vícenásobných regresních analýz údajů publikovaných diagramů. Analýzy byly založeny na rovnicích typu:

$$T(i) = A_0 + \sum (A(i) * c(i))$$

$$S(i) = \exp ( B_0 + \sum ( B(i) * c(i) ) )$$

Kde T, S jsou teplota a čas nosu; A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub> jsou regresní konstanty; A(i), B(i) jsou regresní koeficienty; c(i) jsou obsahy legujícího prvku. [1]

Vzhledem k tomu, že pro přímé zahrnutí vlivu dalších faktorů na tvar rozpadového diagramu (velikost počáteční austenitického zrna D<sub>a</sub>, jeho zpevnění a vliv mikrolegujících prvků Ti, Nb, B) do regresní analýzy nebyl dostatek podkladů, byly tyto vlivy řešeny vytvořením samostatných funkcí, které posouvají časy nosů přeměn jednotlivých strukturních složek. [1]

### 3.5 Přísadové prvky a jejich vliv na vlastnosti oceli

Přísadové prvky zajišťují ocelím na jedné straně požadované vlastnosti (mechanické, fyzikální, technologické) a na druhé straně potlačují negativní vliv některých přímíšenin, které se do oceli dostávají ze surovin a přísad v průběhu výroby. Přísady působí na vlastnosti tím, že ovlivňují druh a morfologii struktury oceli a podmínky, za kterých dochází ke strukturním přeměnám.

Pro kvalitativní posouzení vlastností nástrojových ocelí podle chemického složení je zapotřebí znát základní vlivy používaných přísadových prvků i přímíšenin [5]:

**Uhlík:** zvyšuje tvrdost a pevnost, snižuje plastické vlastnosti a houževnatost, zvyšuje odolnost proti otěru i řezivost, při vyšším obsahu zhoršuje obrobiteľnosť, obrobiteľnosť broušením a leštiteľnosť; rozširuje oblasť gama-Fe, v porovnaní s ostatnými prísadami najviac znižuje teplotu Ms; s železem tvorí cementit; s chromem, wolframem, molybdenem, vanadem a některými dalšími prvky tvorí speciální karbidy; obsah uhlíku se u nástrojových ocelí pohybuje v širokém rozmezí asi od 0,2 až do 2 [%].

**Mangan:** při výrobě oceli se převážně používá k dezoxidaci a k vázání síry; tvorí nestálé karbidy, rozširuje oblasť gama-Fe, zvyšuje prokalitelnost; (podporuje však hrubnutí zrna, zhoršuje svařitelnost); obsah manganu jako legura nepřekračuje v běžných nástrojových ocelích 2 [%].

**Křemík:** při výrobě ocelí se rovněž používá jako dezoxidovadlo. Netvoří karbidy, mírně zvyšuje prokalitelnost a odolnost proti popouštění, zlepšuje mez pružnosti a mez únavy; zhoršuje svařitelnost; u nástrojových ocelí legovaných křemíkem nepřesahuje jeho obsah 2 [%].

**Nikl:** rozširuje oblasť gama-Fe, netvoří karbidy, zvyšuje pevnost, houževnatost a prokalitelnost ocelí, zlepšuje leštiteľnosť. U běžných typů nástrojových ocelí nepřekračuje obsah niklu 5 [%]. Některé speciální typy nástrojových ocelí obsahují až 13 [%] niklu.

**Chrom:** zužuje oblasť gama-Fe, tvorí speciální karbidy, zvyšuje tvrdost, prokalitelnost a odolnost proti popouštění; účinně působí na odolnost proti korozi; u nástrojových ocelí se jeho obsah běžně pohybuje v rozmezí 0,5 až 13 [%], některé speciální typy ocelí však obsahují až 16 [%] chromu.

**Wolfram:** zužuje oblast gama-Fe, tvoří značně stabilní karbidy, velmi účinně působí na odolnost proti popuštění, zvyšuje prokalitelnost, podporuje tvorbu bainitické struktury, při nižších obsazích potlačuje popouštěcí křehkost, při vyšším obsahu však snižuje houževnatost; obsah wolframu se v nástrojových ocelích pohybuje v rozmezí 0,2 až 19 [%], přičemž nejvyšší obsahy se vyskytují zejména u ocelí rychlořezných.

**Molybden:** tvoří speciální karbidy; zvyšuje prokalitelnost a odolnost proti popuštění, potlačuje popouštěcí křehkost; při vyšších obsazích však snižuje houževnatost oceli. Oceli s molybdenem jsou náchylnější k okujení i k oduhličení při tepelném zpracování; u nástrojových ocelí se pohybuje v rozmezí cca 0,2 až 9 [%], přičemž nejvyšší obsahy se vyskytují zejména u ocelí rychlořezných.

**Vanad:** tvoří speciální karbidy; výrazně zvyšuje odolnost proti popuštění i proti otěru, a to mnohem více, než molybden a wolfram; zvyšuje i prokalitelnost; malé přísady vanadu zjemňují zrna a zlepšují houževnatost, při vyšších obsazích houževnatost silně snižuje; velmi příznivě působí na řezivost, avšak oceli s vyššími obsahy vanadu mají zhoršenou obrobitelnost i obrobitelnost broušením; jeho obsah se v nástrojových ocelích pohybuje v rozmezí 0,1 až 5 [%].

**Kobalt:** rozpouští se v základní hmotě, netvoří karbidy; zvyšuje odolnost ocelí proti popuštění, zmenšuje však prokalitelnost a zvyšuje náchylnost k oduhličení; jeho obsah se pohybuje v rozmezí 2 až 12 [%], přičemž nejvyšší obsahy se vyskytují zejména u ocelí rychlořezných.

**Hliník:** snadno se slučuje s kyslíkem a také s dusíkem, se kterým tvoří tvrdé a stabilní nitridy; při výrobě ocelí se běžně používá jako dezoxidovadlo, jako legura se vyskytuje u nitridačních ocelí, kde se jeho obsah pohybuje kolem 1 [%].

**Fosfor:** přímíšenina, která tvoří tvrdý fosfid  $Fe_3P$ , zvyšuje tvrdost a prokalitelnost, zhoršuje plastické vlastnosti a houževnatost za studena, vyvolává popouštěcí křehkost, zlepšuje obrobitelnost, zhoršuje tvářitelnost; u většiny nástrojových ocelí by obsah fosforu neměl překračovat hranici 0,030 [%].

**Síra:** přímíšenina, která tvoří především siričky  $FeS$  a  $MnS$  (vměstky), zhoršuje plastické vlastnosti a houževnatost za tepla, zlepšuje obrobitelnost; u většiny ocelí je

žádoucí co nejnížší obsah síry s výjimkou případů, kdy se pomocí vyšších obsahů síry zlepšuje obrobitelnost.

**Měď:** přimíšenina, která do obsahu 0,3 [%] nemá významnější vliv na mechanické vlastnosti. Do oceli se dostává především prosazováním kovového odpadu a bývá doprovázena cínem, jehož přítomnost v oceli je nežádoucí. Měď do jisté míry zvyšuje prokalitelnost a zlepšuje obrobitelnost.

### 3.6 Výpočet ochlazovacích křivek

Průběh ochlazovacích křivek je důležitý pro výpočet mechanických vlastností tepelně zpracovávaného tělesa. Protože se u těles větších rozměrů nebo při intenzivním ochlazování těles i menších rozměrů mohou ochlazovací křivky na povrchu a ve středu tělesa výrazně lišit, obsahuje program TTSteel modul pro výpočet ochlazovacích křivek po příčném průřezu standardních 2D – těles (tyče kruhového nebo obdélníkového průřezu, válec, prstenec, trubka) pomocí metody konečných prvků. Úloha přestupu a vedení tepla pro rovinné nebo rotačně symetrické těleso je řešena jako symetrická, tedy výpočet probíhá pouze na části průřezu tělesa vymezené osami symetrie. Řešená oblast určená typem 2D – tělesa, jeho rozměry a symetrií, je automaticky pokryta sítí konečných prvků s rovnoměrnou počáteční teplotou. Přestup tepla vybranými částmi povrchu tělesa je popsán okrajovou podmínkou 3. druhu, kdy je tepelný tok definován pomocí teplot povrchu tělesa, ochlazovacího média a součinitelem přestupu tepla. Výpočet ochlazovacích křivek probíhá v časových krocích, jejichž délka se počítá automaticky. Automaticky se z chemického složení dané oceli počítají také termomechanické vlastnosti oceli (měrné teplo, hustota a tepelná vodivost) v závislosti na teplotě. [1]

### 3.7 Výpočet mechanických vlastností

Na stejném principu, který byl použit pro určení kritických bodů rozpadového diagramu, jsou založeny regresní analýzy pro predikci tvrdosti mechanických vlastností. [1]

Predikce tvrdosti HV je řešena vztahem:

$$HV = Co + \sum (C1(i) * c(i) * \%Fe) + \sum (C2(i) * c(i) * \%Pe) + \sum (C3(i) * c(i) * \%Ba) + \\ + \sum (C4(i) * c(i) * \%Ma)$$

V rovnici značí Co, C1, C2, C3, C4 regresní koeficienty, c(i) jsou obsahy jednotlivých prvků v oceli, Fe, Pe, Ba, Ma jsou % obsahy feritu, perlitu, bainitu a martenzitu ve struktuře. [1]

Výpočet meze pevnosti Rm je založen na přímé vazbě meze pevnosti Rm na tvrdosti HV:

$$Rm = f [HV]$$

Výpočet meze kluzu Re je založen na obecné rovnici:

$$Re = f ( D\alpha, CR, \Sigma (Fe, Pe, Ba, Ma) )$$

kde D $\alpha$  je velikost feritického zrna, CR je rychlost ochlazování [K/s], Fe, Pe, Ba, Ma jsou podíly feritu, perlitu, bainitu a martenzitu. [1]

Přechodová teplota FATT počítaná pro mikrolegované oceli je zpracována z omezeného souboru podkladů, a proto jsou její hodnoty pouze informativní! [1]

### **3.8 Základní pojmy**

#### **Režim tepelného zpracování**

Jedná se o technologický proces, který se skládá z nejvýše jedné ochlazovací křivky popisující proces kalení a nejvýše jednoho teplotního režimu popouštění/žihání. Mohou tedy existovat i režimy tepelného zpracování, které obsahují pouze kalení bez následného popouštění/žihání nebo pouze popouštění/žihání bez předcházejícího kalení.

## **Standardní 2D – těleso**

Je tepelně zpracovávané těleso, jehož teploty v průběhu ochlazování byly vypočítány programem TTSteel. Jedná se o tělesa jednoduchých tvarů. Mezi ně patří tyče kruhového nebo obdélníkového průřezu, válec, prstenec nebo trubka. [1]

## **Obecné 2D – těleso**

Je tepelně zpracovávané těleso, jehož teploty v průběhu ochlazování byly vypočítány některým z obecných MKP programů, jejichž napojení program TTSteel podporuje (FLUX2D, FormFEM) a vloženy do programu TTSteel. Jedná se o tělesa obecných tvarů. [1]

## **Technická zpráva**

Je textový dokument, který obsahuje souhrnný přehled vstupních dat a výsledků výpočtů tepelného zpracování oceli provedených pro daný Projekt. Technická zpráva je vytvořena na příkaz uživatele a uložena ve formátu RFT do souboru se jménem projektu a s koncovkou .DOC. [1]

## **Zbytková Deformace**

Program TTSteel předpokládá, že struktura oceli před kalením obsahuje pouze austenit. Jestliže kalení předcházelo nějaký proces tváření (kování, válcování) může být deformovaný austenit buď úplně, nebo částečně rekrystalizovaný. Pokud ve struktuře oceli zůstane do počátku kalení významná část nerekrystalizovaného, tedy zpevněného, austenitu, ovlivní tato skutečnost výsledné mechanické vlastnosti oceli. Pro popis počátečního zpevnění austenitu je v programu TTSteel používána tzv. zbytková deformace. Tato veličina odpovídá intenzitě logaritmického přetvoření, které zůstane v austenitické struktuře po ukončení její plastické deformace v okamžiku zahájení procesu kalení. [6]



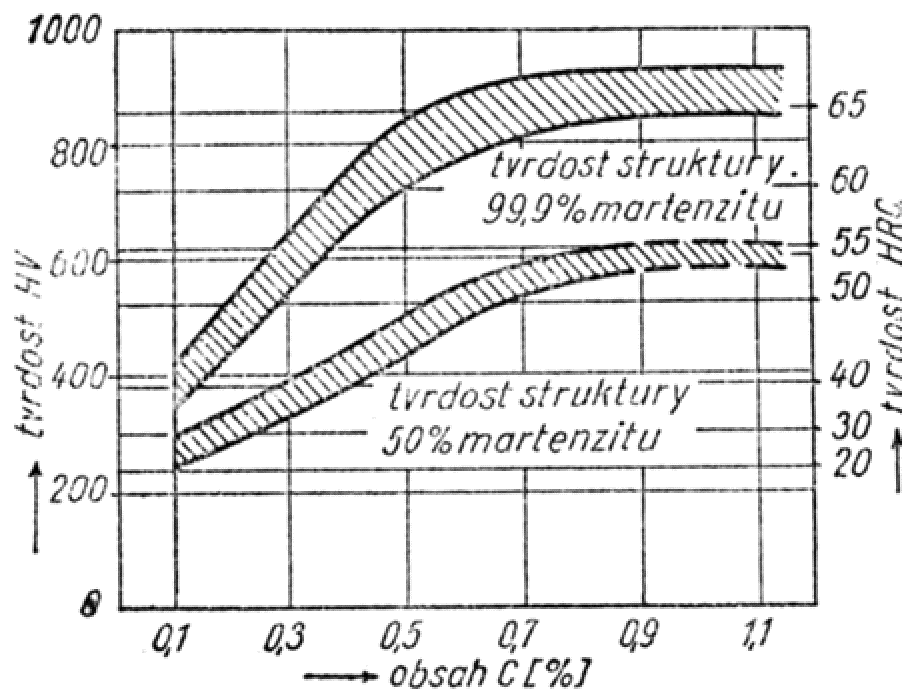
### 3.9 Tepelné zpracování ocelí

#### 3.9.1 Základní pojmy tepelného zpracování

**Kalitelnost** je schopnost oceli získat martenzitickou strukturu. Pokud ocel dosáhne této struktury, můžeme jí nazvat kalitelnou. Nekalitelné oceli tvoří především vysokolegované nepolymorfnní oceli s feritickou nebo austenitickou strukturou. [7]

**Zakalitelnost** je schopnost materiálu dosáhnout zakalené struktury. Hodnotí se tvrdostí oceli po jejím zakalení, její maximální dosažitelná hodnota je určená tvrdostí martenzitu, která závisí na obsahu uhlíku v austenitu. Určuje se na vzorcích, které byly ochlazovány nadkritickou rychlostí. Dále zakalitelnost velmi ovlivňuje velikost austenitického zrna a chemické složení oceli. [8]

**Prokalitelnost** je schopnost oceli prokalit se do určité hloubky při maximální dosažitelné rychlosti ochlazování povrchu. Většinou se za prokalenou považuje vrstva, která dosáhne tvrdosti odpovídající struktuře s 50 [%] martenzitu v jádře. Splnění tohoto požadavku se určuje pomocí měření tvrdosti, která se předem určuje v závislosti na obsahu uhlíku. [doc. Ing. Karel Daďourek, CSc., IV. 2017, in verb]



Obr. 4 – Tvrdost struktury obsahující 50 [%] martenzitu při daném C [%] v oceli [9]

### 3.9.2 Zkoušky prokalitelnosti

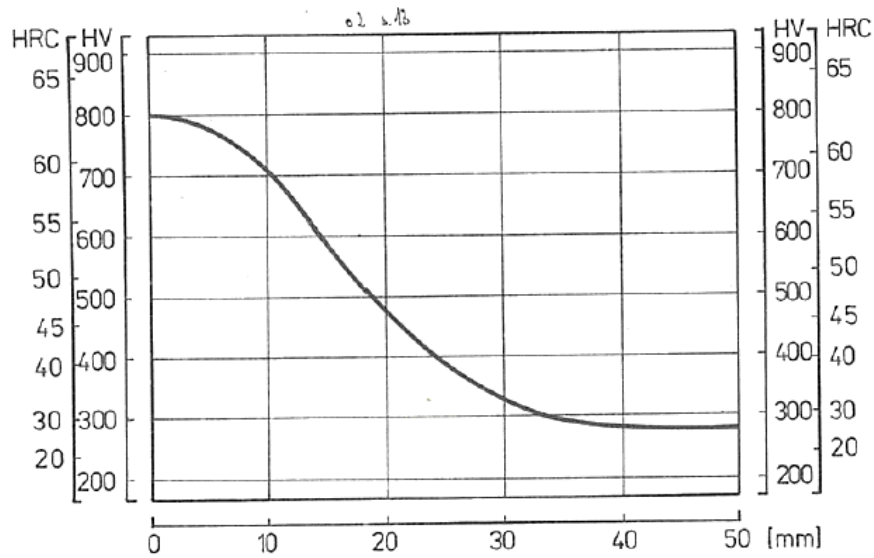
Zkoušky prokalitelnosti se řadí mezi technologické zkoušky vlastností materiálu. Tyto zkoušky slouží ke zjištění vhodnosti materiálu k určitému technologickému zpracování [7], kterým má být dosaženo bezvadného výrobku z hlediska jeho užitných vlastností. Technologickými zkouškami se nezjišťují vlastnosti materiálu vyjádřené fyzikálními veličinami, ale napodobuje se proces výroby a určují se podmínky, za kterých může být zvolená technologie úspěšná. Pouze v některých případech jsou technologické zkoušky doplňovány zkouškami mechanickými např. měřením tvrdosti nebo vrubové houževnatosti (zkoušky prokalitelnosti nebo zkoušky svařitelnosti) a zkouškami defektoskopickými (např. zkoušky svařitelnosti nebo slévateľnosti). [10]

Zkoušky prokalitelnosti se podle způsobu ochlazování a podle tvaru zkušebního tělesa dělí na:

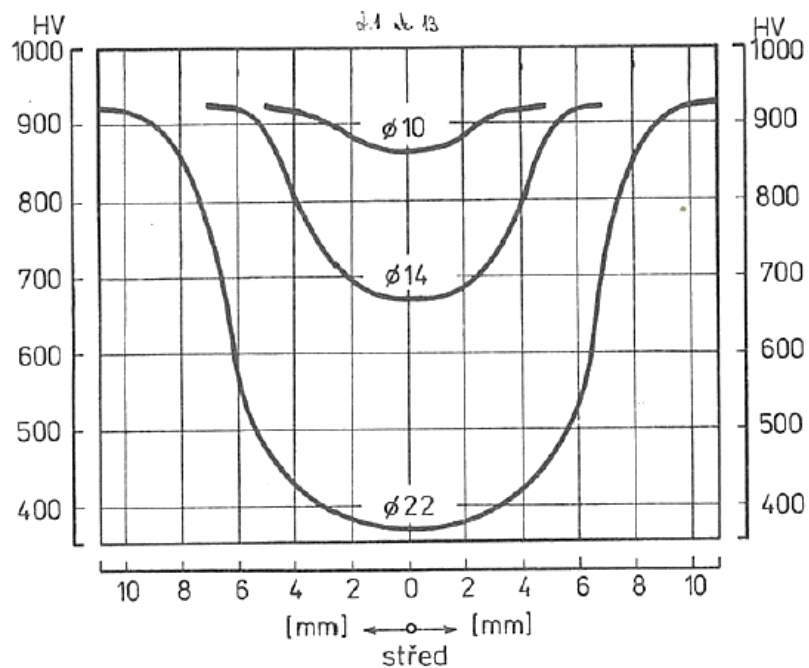
- a) **čelní** (podle Jominyho – ČSN EN ISO 642), při této zkoušce se zjišťuje průběh tvrdosti od čela kaleného vzorku (viz graf 1) a kritériem prokalitelnosti je obvykle tvrdost ve zvolené vzdálenosti od tohoto čela. Tuto zkoušku provádíme u většiny nízkolegovaných a některých uhlíkových nástrojových ocelí. [doc. Ing. Karel Daďourek, CSc., IV. 2017, in verb]
- b) **příčné** (podle Grossmanna), při této zkoušce se válcové těleso ponoří do ochlazovacího prostředí celým svým objemem, [10]
- c) **klínové** (podle Shepherd), při ní se válcové těleso ochlazuje na klínovém čele. Tuto zkoušku provádíme u legovaných nástrojových ocelí včetně ocelí rychlořezných a některých uhlíkových ocelí. Tyto druhy oceli je možno hodnotit zkouškou prokalitelnosti na válcích s odstupňovaným průřezem o délce, která odpovídá trojnásobnému průměru. Udává se průběh tvrdosti HRC od povrchu do jádra zkušebních válců při daných podmínkách kalících parametrů (viz graf 2). Kritériem prokalitelnosti je hloubka zakalené vrstvy s minimálním obsahem 50 [%] martenzitu. [doc. Ing. Karel Daďourek, CSc., IV. 2017, in verb]

Hloubka prokalení se určuje nejčastěji měřením tvrdosti, jako vzdálenost od ochlazovaného povrchu zkušebního tělesa, kde byla změřena smluvní hodnota tvrdosti. Smluvní hodnota pro oceli je tvrdost struktury s 50 [%] martenzitu při daném obsahu uhlíku. Charakteristikou prokalitelnosti je podle ČSN EN ISO (a) křivka

prokalitelnosti získaná měřením tvrdosti na jednom zkušebním tělese, (b) pás prokalitelnosti, který tvoří více křivek prokalitelnosti, (c) index prokalitelnosti, který je smluvním vyjádřením hloubky prokalení na základě křivky nebo pásu prokalitelnosti. [10]



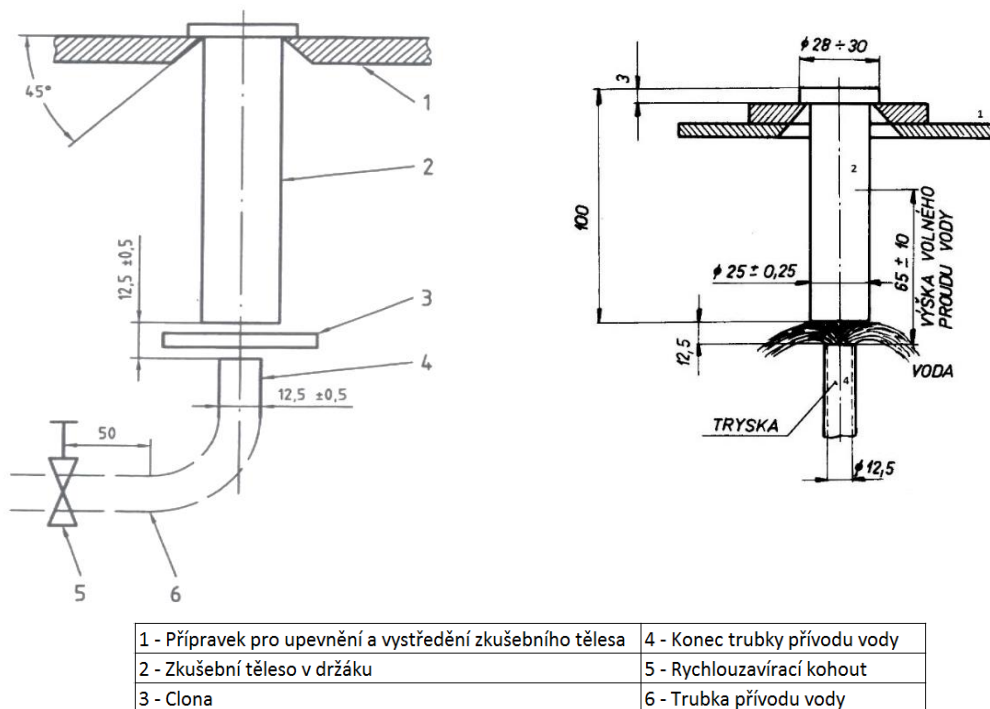
Graf 1 – Jominyho čelní zkouška prokalitelnosti [5]



Graf 2 – Zkouška prokalitelnosti na válcích [5]

## Jominyho zkouška prokalitelnosti

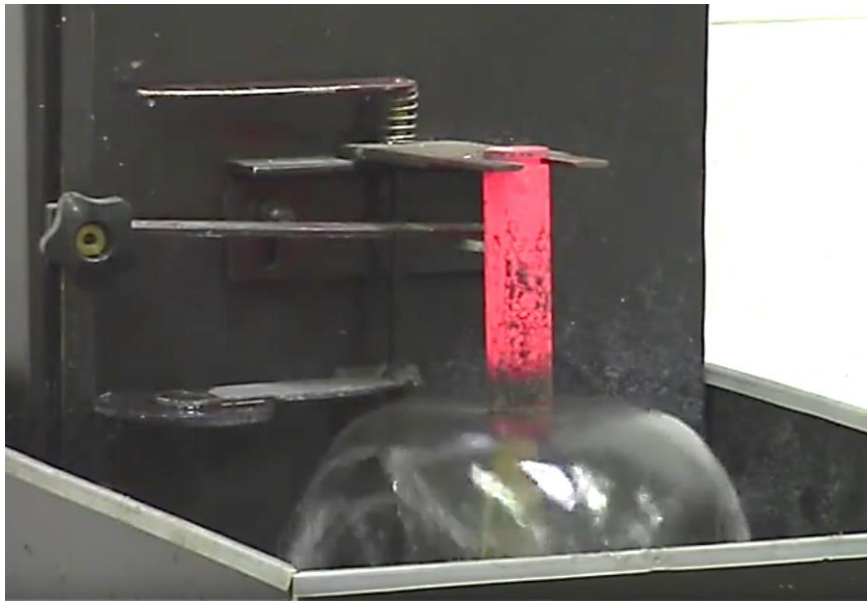
Čelní zkouška prokalitelnosti nazývaná také zkouška podle Jominyho je normovaná zkouškou pro stanovení prokalitelnosti oceli na zkušebních tělesech o průměru 25 [mm] a délce 100 [mm] s přírubou na čelní ploše, která není kalena (ČSN EN ISO 642). Zařízení pro kalení se skládá z přípravku pro upevnění a vystředění zkušebního tělesa, trubky přívodu vody s koncem o průměru 12,5 [mm] a clony. Výška proudu vody bez clony a upevněného zkušebního tělesa musí být  $65 \pm 10$  [mm] a teplota vody v trubce  $20 \pm 5$  [°C]. Zkušební těleso se obvykle ukládá do pouzdra z měkké oceli, na jehož dno se nasype grafit nebo litinová drť jako redukční činidlo, aby nedošlo k oduhlíčení zkušebního tělesa nebo k jeho výrazné oxidaci s tvorbou okují. [11]



Obr. 5 – Schéma čelní zkoušky prokalitelnosti – Jominyho zkouška [10] [12]

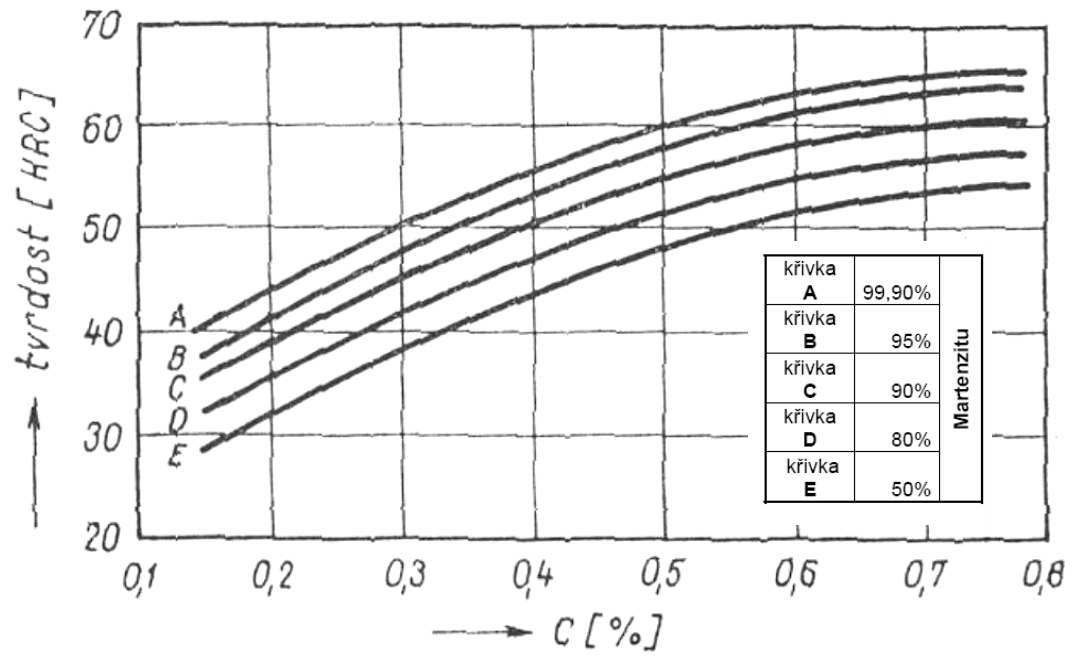
Zkouška se skládá z ohřevu válcového tělesa na stanovenou teplotu v oblasti austenitu po příslušnou dobu a rychlého zakalení zkušebního tělesa proudem vody z jedné čelní plochy za stanovených podmínek. Ohřev zkušebního tělesa musí být rovnoměrný na teplotu odpovídající materiálové normě minimálně 20 [min] a poté udržován na stanovené teplotě po dobu 30 [min]. Po ohřevu zkušebního tělesa a jeho výdrži na teplotě se těleso vyjme z pece a vloží se do zařízení pro kalení. Kalení zkušebního tělesa je zahájeno po otevření clony nad trubkou přívodu vody. Doba mezi vyjmutím zkušebního tělesa z pece a počátkem kalení nesmí přesáhnout 5 [s] a samotná doba kalení

musí být minimálně 10 [min]. Poté může být úplné ochlazení zkušebního tělesa dokončeno ponořením do studené vody. [11]



Obr. 6 – Schéma čelní zkoušky prokalitelnosti – Jominyho zkouška [13]

Po tepelném zpracování následuje měření tvrdosti. Pro měření tvrdosti musí být na povrchu zkušebního tělesa vybroušeny dvě protilehlé plochy rovnoběžné s jeho osou. Hloubka broušení musí být 0,4 [mm] až 0,5 [mm]. Měření tvrdosti se provádí podle Rockwela HRC nebo podle Vickerse HV30 v definovaných vzdálenostech od zakalené čelní plochy podle normovaného předpisu. U ocelí, které mají nízkou prokalitelnost musí být první měřený bod 1 [mm] od zakalené čelní plochy a následující body od sebe vzdáleny 1 [mm] do vzdálenosti 11 [mm]. Měření tvrdosti se provádí na obou protilehlých stranách. Pro každou vzdálenost  $D$  se vypočítá průměrná tvrdost z obou měření. Prokalitelnost se stanovuje na základě rozdílných tvrdostí podél zkušebního tělesa. Výsledkem čelní zkoušky prokalitelnosti je graf, na jehož vodorovné ose je vzdálenost  $d$  od zakalené čelní plochy v mm a svislé ose odpovídající hodnoty tvrdosti. Tato závislost je definována jako křivka prokalitelnosti. Zápis výsledků zkoušky může být vyjádřen formou  $J 40 - 6,1$  to znamená, že tvrdost 40 HRC byla naměřena ve vzdálenosti 6,1 [mm] od zakalené čelní plochy. [11]



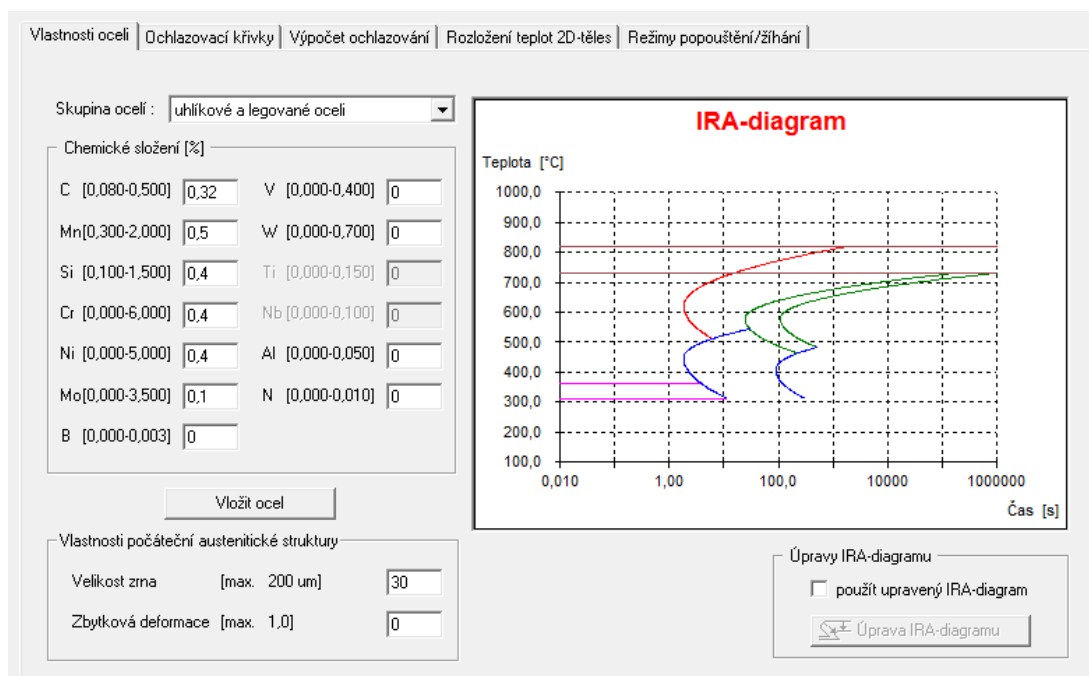
Graf 3 – Závislost tvrdosti struktury na obsahu uhlíku při různém podílu martenzitu na výsledné struktuře pro uhlíkové oceli [14]

## 4 Experimentální část

### 4.1 Tvorba postupu simulace zkoušky prokalitelnosti v programu TTSteel

Mnou navržený postup simulace prokalitelnosti tzv. metoda přímé simulace prokalitelnosti oceli v programu TTSteel probíhala v několika bodech a vzhledem k velkému rozsahu postupu je níže uveden pouze postup pro materiál 12 040:

Za prvé bylo zapotřebí do programu TTSteel zadat konkrétní skupinu a chemické složení dané oceli. Požadované hodnoty byly vyhledány z tabulky 1 a přesné chemické složení pro ocel 12 040 bylo zvoleno z materiálového listu, viz příloha číslo 4. Vyhledané hodnoty byly dle obrázku 7 vloženy do záložky vlastnosti oceli, kde maximální hodnoty pásu prokalitelnosti byly vytvořeny z maximálních dovolených hodnot chemického složení a minimální hodnoty pásu prokalitelnost z minimálních hodnot chemického složení. Z obrázku 7 je patrné, že nastavené hodnoty chemického složení pro ocel 12 040 byly zadány pro simulaci minimálních hodnot pásu prokalitelnosti.



Obr. 7 – Nastavení skupiny a chemického složení pro ocel 12 040

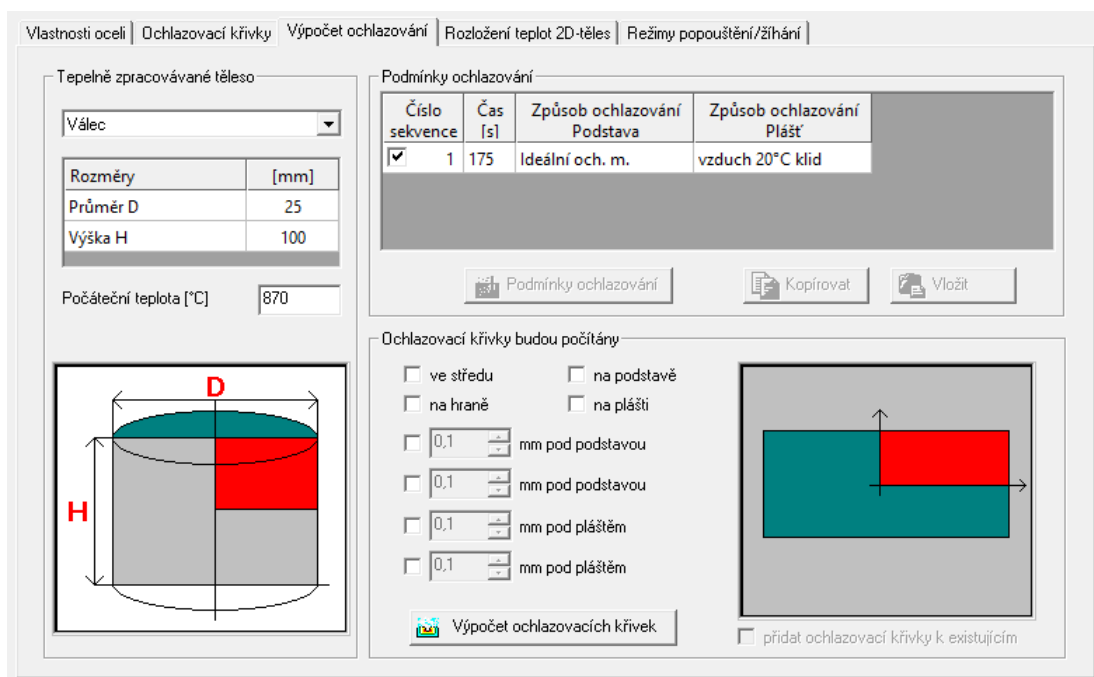
V záložce vlastnosti oceli byla také možnost nastavení velikosti zrna a zbytkové deformace. Z důvodu neznámé velikosti zrna a zbytkové deformace pro mnou

simulované vzorky byly hodnoty nechány na původním nastavení tzn. velikost zrna = 30 [μm] a zbytková deformace = 0.

Za druhé bylo potřeba v záložce výpočet ochlazování zadat rozměry a tvar tepelně zpracovávaného zkušební 2D – tělesa a počáteční teplotu, ze které se zkušební těleso ochlazovalo. Počáteční teplota byla zvolena dle materiálového listu, viz příloha číslo 4.

Rozměry a tvary zkušebních 2D – těles byly zvoleny pro dvě varianty (varianta A a B). Na těchto dvou variantách byly porovnány křivky prokalitelnosti v závislosti na tvaru zkušebních těles (viz graf 11 a graf 12).

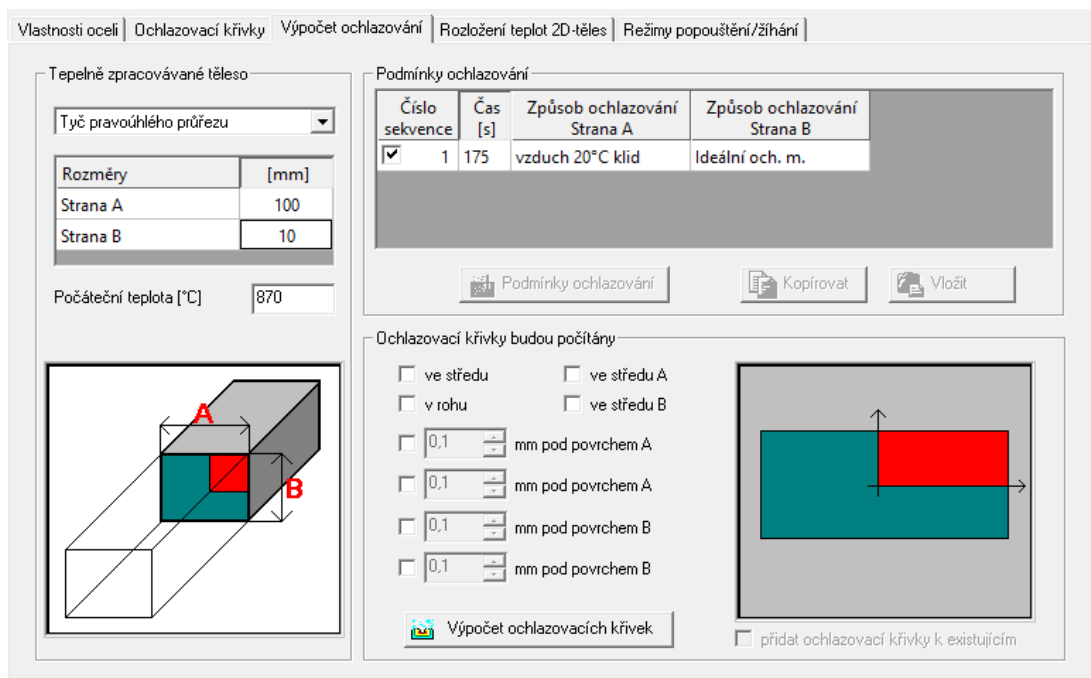
**Varianta A** – zvolený tvar zkušební 2D – tělesa: Tyč. Pro tuto variantu byl průměr tyče zvolen  $D = 25$  [mm] a délku  $L = 100$  [mm]. V tomto případě byly hodnoty voleny tak, aby zkušební vzorek svými rozměry a tvarem odpovídal zkušebnímu tělesu normovaného tvaru použitého pro Jominyho čelní zkoušku prokalitelnosti (ČSN EN ISO 642).



Obr. 8 – Nastavení rozměrů, teploty a způsobu ochlazování tepelně zpracovávaného tělesa



**Varianta B** – zvolený tvar zkušební 2D – tělesa: Tyč pravoúhlého průřezu (viz obrázek 9), kde rozměry byly voleny tak, aby plocha pláště/šířka-A byla alespoň o řád větší než podstava/tloušťka-B. Strana A = 100 [mm] a stranu B = 10 [mm].

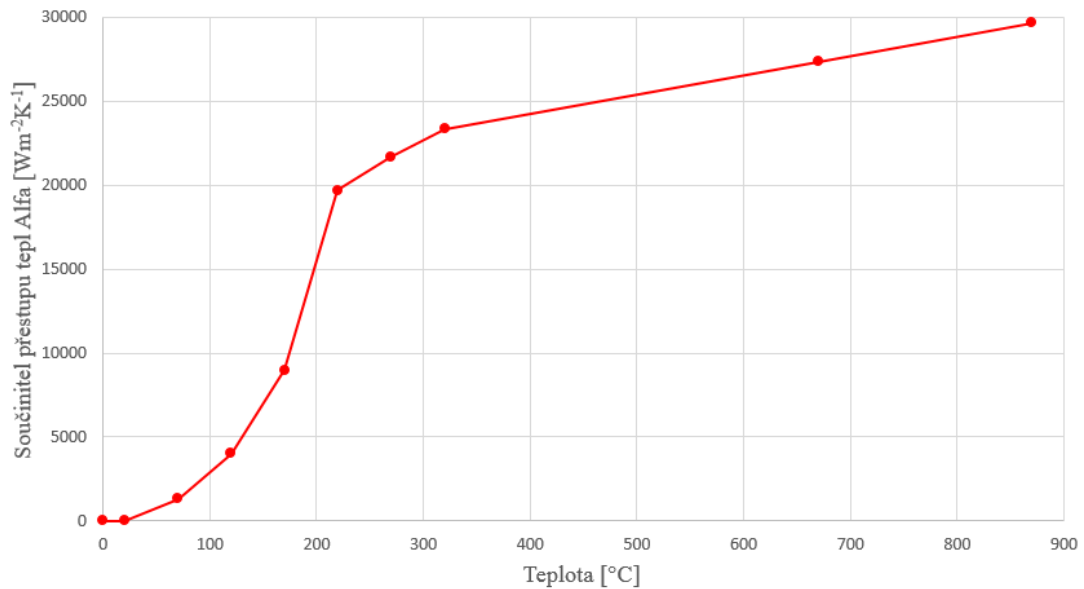


Obr. 9 – Nastavení rozměrů, teploty a způsobu ochlazování tepelně zpracovávaného tělesa

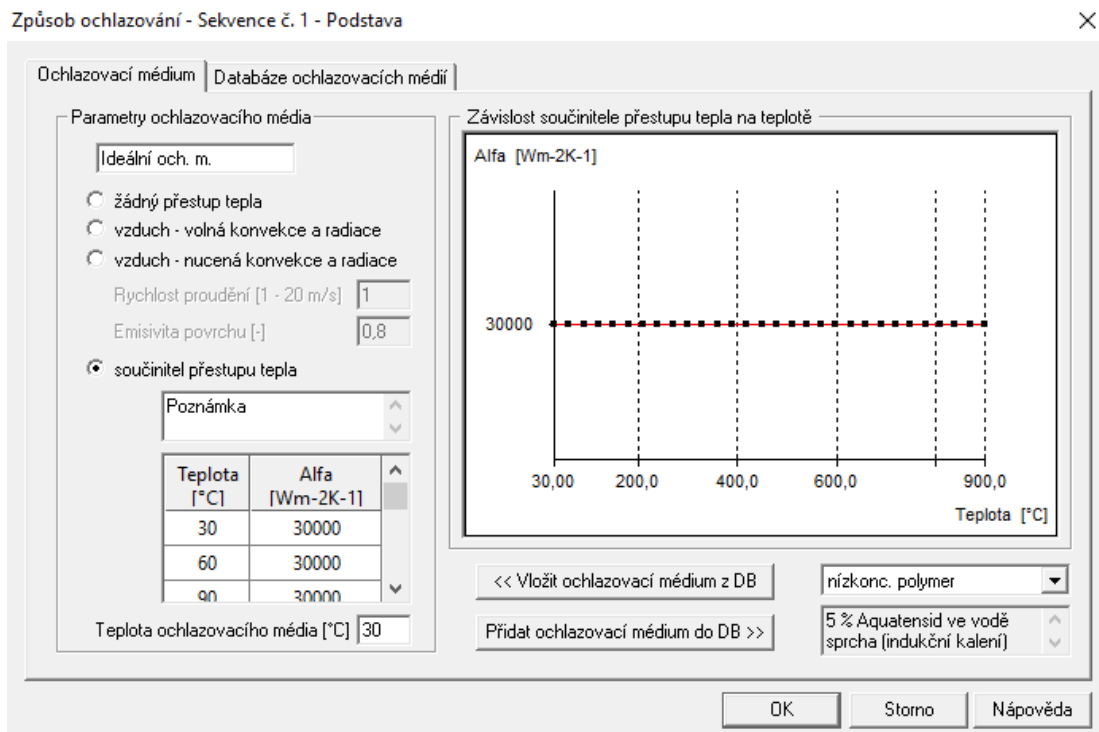
Za třetí byly nastaveny podmínky ochlazování a čas po jakou dobu ochlazování probíhalo. Samotné ochlazovací médium bylo zapotřebí nejdříve nadefinovat dle požadovaného druhu ochlazování a vložit do databáze ochlazovacích médií (viz obrázek 9).

Ochlazovací médium a čas byli zvoleni tak, aby simulace prokalitelnosti oceli byla co nejideálnější, tzn. čas ochlazování  $T_{ochl.} = 175$  [s]. Tato doba ochlazování zajišťuje nejkratší možnou dobu ochlazování, kdy při uplynutí této doby ochlazování se ve struktuře nenachází žádný zbytkový austenit. A jako ochlazovací médium podstavy a strany-B bylo použito ideální ochlazovací médium o teplotě 20 [°C], které zajistilo konstantní součinitel přestupu tepla. Tato hodnota byla zvolena na základě grafu 4, kde byl součinitel přestupu tepla zvolen  $\text{Alfa} = 30\,000$  [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ] (viz obrázek 10). Tento graf 4 zobrazuje reálnou teplotní závislost součinitele přestupu tepla při použití vodní sprchy, kde na čelo vzorku ze spodní části stále proudí voda o tlaku asi  $65 \pm 10$  [mm] vodního sloupce o teplotě vody  $T_v = 17$  [°C] (tzn. obdobný stav jako při ochlazování u Jominyho čelní zkoušky prokalitelnosti). Ochlazování pláště (platí pro variantu A)

a strany-A (platí pro variantu B) bylo zvoleno z databáze ochlazovacích médií (viz obrázek 10), tzn. teplota ochlazování pláště a strany-A byla zvolena  $T_o = 20$  [°C] (klidný vzduch).



Graf 4 – Teplotní závislost součinitele přestupu tepla při ochlazování za pomoci vodní sprchy [15]



Obr. 10 – Způsob ochlazování

Za páté. Po nastavení potřebných parametrů a vlastností byly přes ikonu režimy popouštění/kalení spuštěny výpočty strukturních podílů a mechanických vlastností.

Výsledky byly zpracovány pro obě varianty (varianta A, varianta B), které byly porovnány v kapitole 5.

### Porovnání s experimentem

V této diplomové práci byla také mnou navržená metoda přímé simulace prokalitelnosti oceli v programu TTSteel prověřena srovnáním s experimentem, prováděným ve starší diplomové práci (viz zdroj [16]). Jako experimentální materiál byla použita ocel 18CrNiMo7-6. Jedná se o středně legovanou podeutektoidní chrom-nikl-molybdenovou ocel určenou k cementování. Podrobné vlastnosti zvolené oceli jsou uvedeny v materiálovém listu, viz příloha číslo 16.

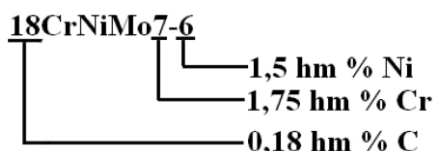
Tabulka 2 – Směrné chemické složení oceli 18CrNi Mo7-6 [17]

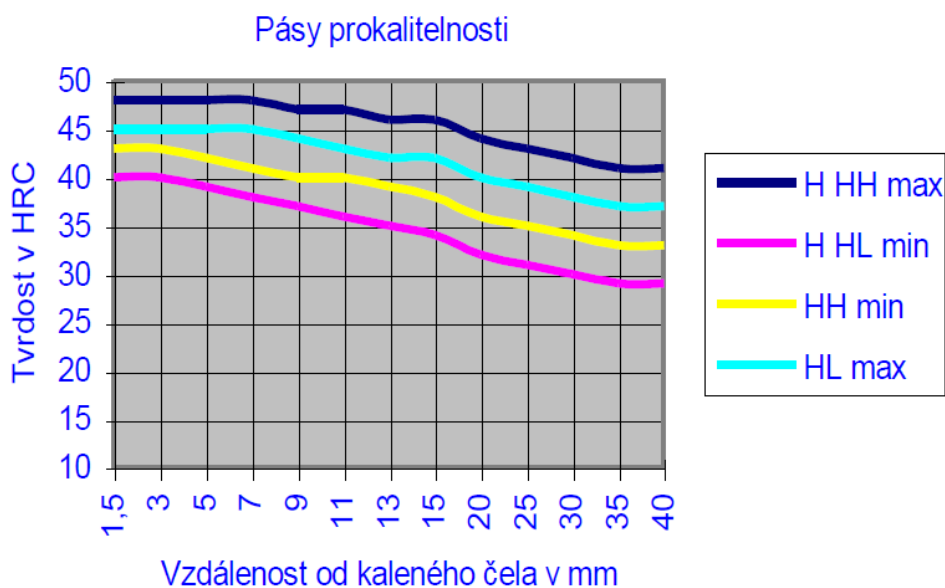
|  | C              | Si<br>max. | Mn             | P<br>max. | S<br>max. | Cr             | Mo             | Ni             | Al   |
|--|----------------|------------|----------------|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------|--|
| Chemické složení v % hmot.<br>(rozbor tavby)                   | 0,15 -<br>0,21 | 0,40       | 0,50 -<br>0,90 | 0,035     | 0,035     | 1,50 -<br>1,80 | 0,25 -<br>0,35 | 1,40 -<br>1,70 | Při kontrolované velikosti<br>austenického zrna 0,015-0,050<br>(informativně, není uvedeno v normě). |
| Dovolené odchylky ve výrobku<br>od rozboru tavby <sup>1)</sup> | ± 0,02         | + 0,03     | ± 0,04         | + 0,005   | + 0,005   | ± 0,05         | ± 0,03<br>3)   | ± 0,05         |  |

Tabulka 3 – Základní chemická báze složení oceli 18CrNi Mo7-6 [16]

|    |       |
|----|-------|
| C  | 0,18% |
| Cr | 1,75% |
| Ni | 1,50% |
| Mo | 0,28% |

Chemické vyjádření zápisu oceli:





Graf 5 – Mezní křivky prokalitelnosti oceli 18CrNiMo7-6 (dle Jominyho zk.) [17]

Pro tento experiment byl vybrán vzorek dodaný firmou Wikow MGI. Vzorek byl ofrézován a osoustružen do požadovaného tvaru, tak aby odpovídal normě pro Jominyho čelní zkoušku prokalitelnosti. [16]

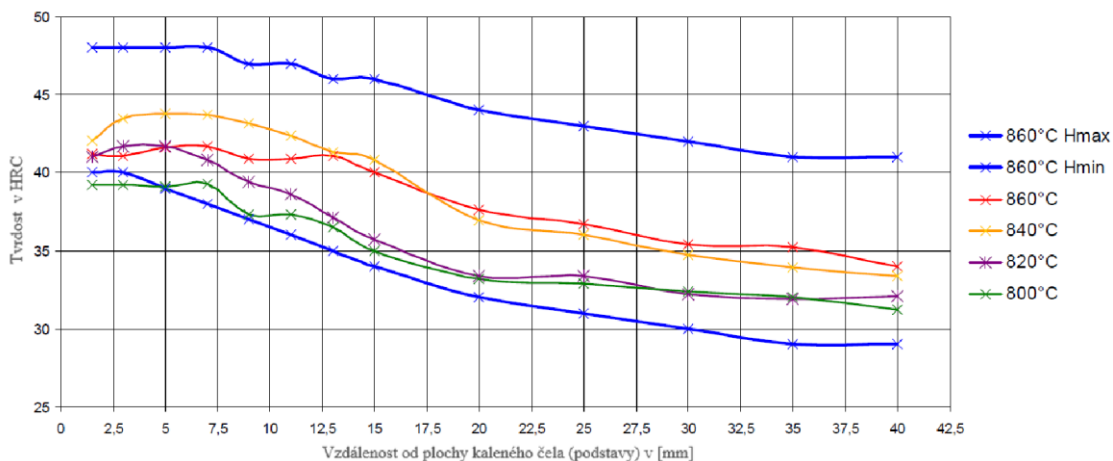
U použitého vzorku bylo zjištěno za pomoci optické spektroskopie z jiskrového výboje na Spectrotestu TXC02 přesné chemické složení oceli (viz tabulka 4). Zjištěné chemické složení odpovídá směrnému chemickému složení (viz tabulka 2). [16]

Tabulka 4 – Zjištěné chemické složení vzorku [16]

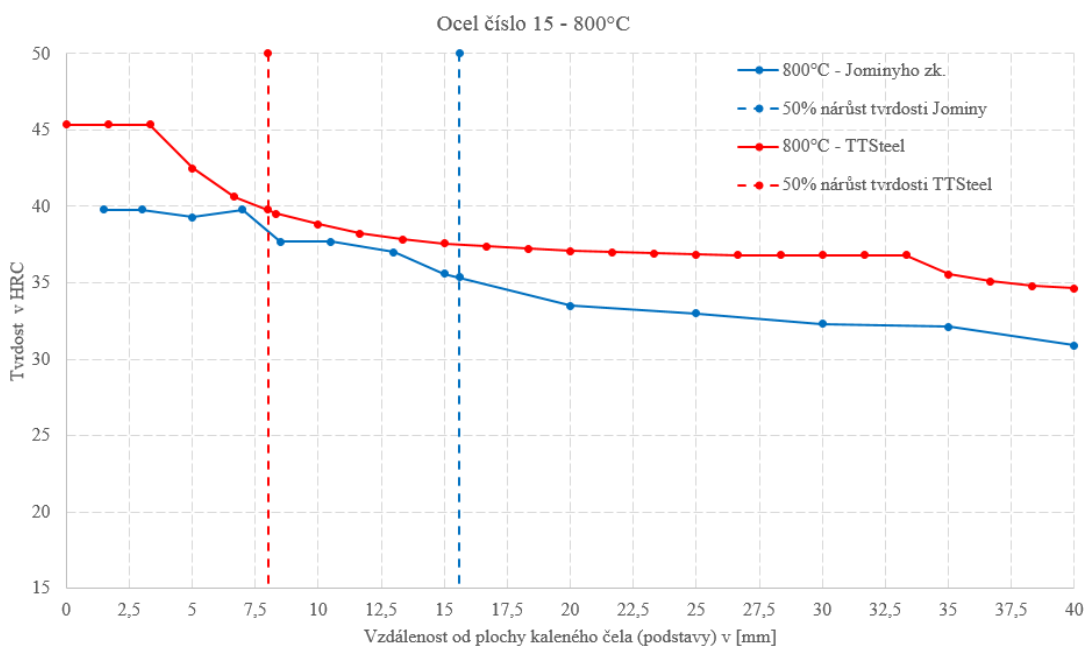
| Prvek        | C    | Si   | Mn   | P    | S      | Cr   | Mo   | Ni   |
|--------------|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| Obsah [hm %] | 0,19 | 0,21 | 0,57 | 0,01 | 0,0045 | 1,49 | 0,28 | 1,49 |

Na základě tohoto experimentu byl stanoven a porovnán vliv austenitizační teploty na prokalitelnost materiálu, který byl proveden podle Jominyho zkoušky a za pomoci simulačního programu TTSteel dle metody přímé simulace. Pro normovanou teplotu (860 [°C]) (viz příloha číslo 30) Jominyho čelní zkoušky prokalitelnosti byly stanoveny dvě mezní křivky tvrdosti, které byly zaneseny do grafu 6. Austenitizační teploty pro Jominyho zkoušku a simulaci za pomoci programu TTSteel byly zvoleny (800, 820, 840, 860) [°C].

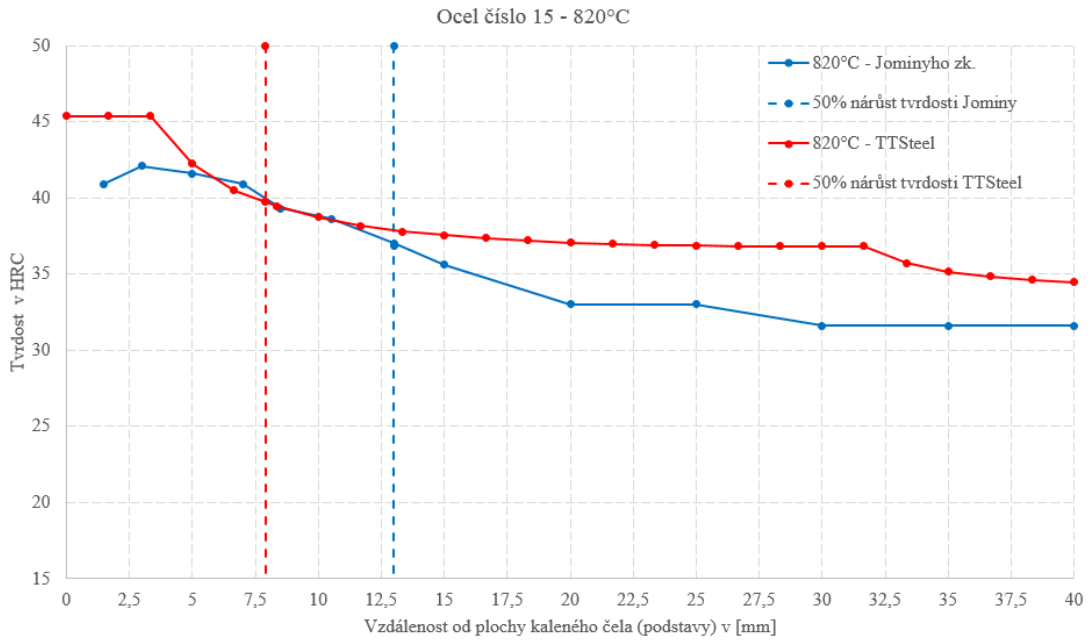
Výsledné hodnoty měření byly zobrazeny a porovnány v grafech 6 až 10.



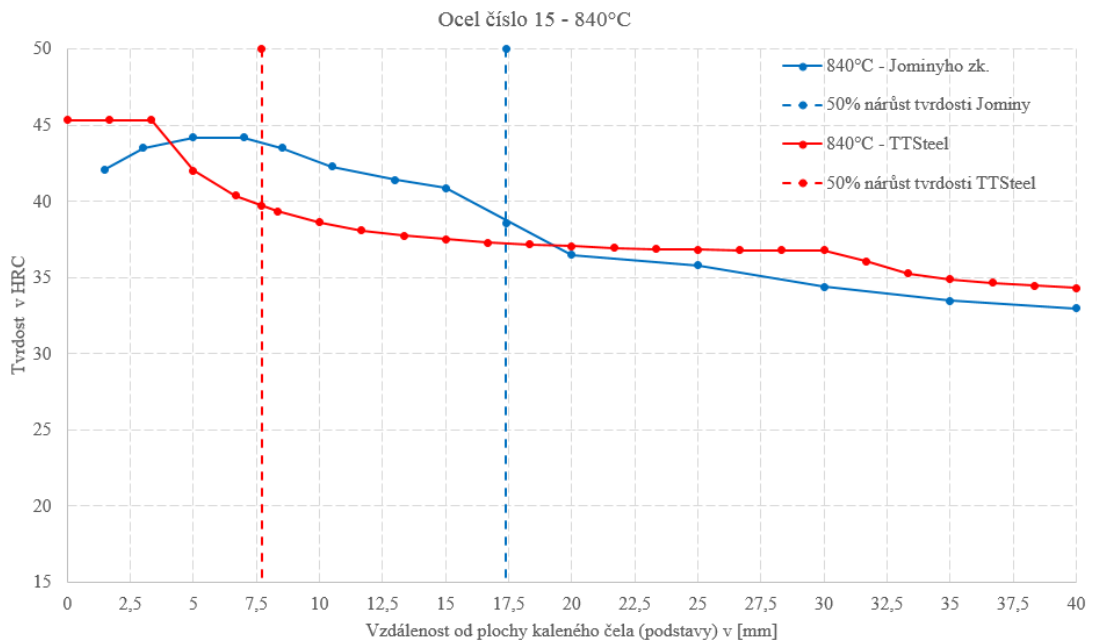
Graf 6 – Výsledky Jominyho čelní zkoušky prokalitelnosti pro různé teploty [16]



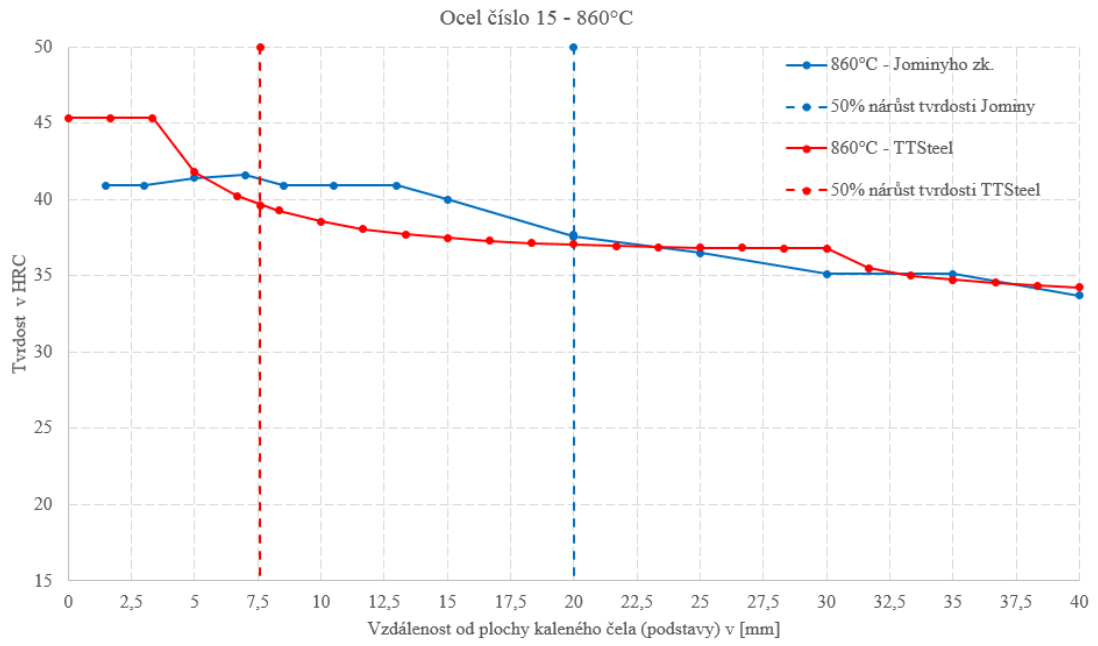
Graf 7 – Srovnání (Jominy x TTSteel – varianta A; 800 [°C])



Graf 8 – Srovnání (Jominy x TTSteel – varianta A; 820 [°C])



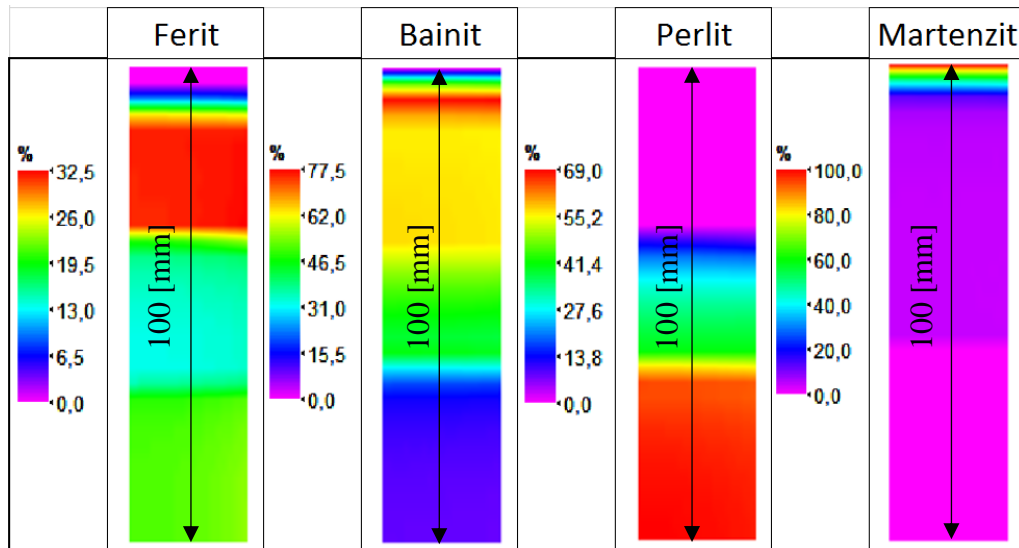
Graf 9 – Srovnání (Jominy x TTSteel – varianta A; 840 [°C])



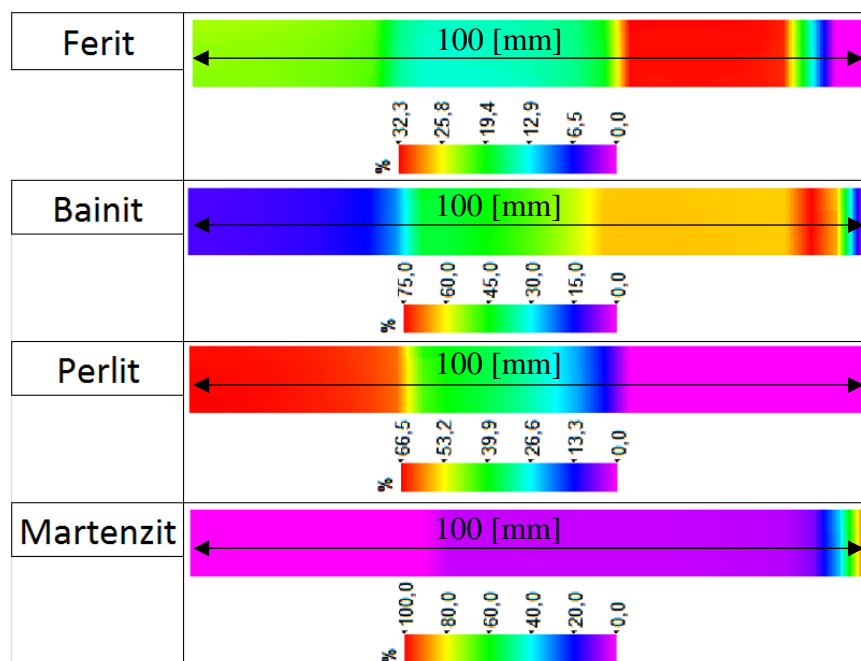
Graf 10 – Srovnání (Jominy x TTSteel – varianta A; 860 [°C])

## 5 Výsledky

V této kapitole byly pro ocel 12 040 pomocí simulačního programu TTSteel graficky zpracovány a porovnány strukturní podíly po průřezu tělesa, a to pro variantu A i B (viz obrázek 11 a obrázek 12).



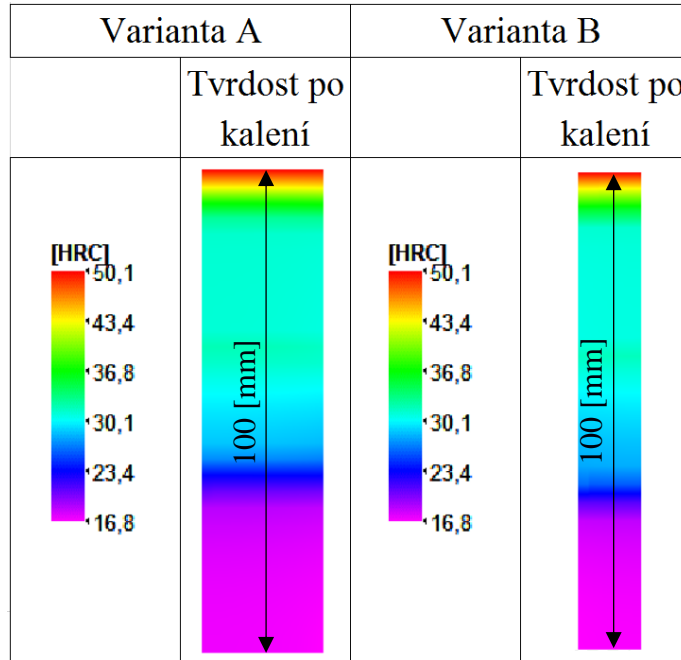
Obr. 11 – Varianta A) Strukturní podíly po průřezu tělesa válcové tyče



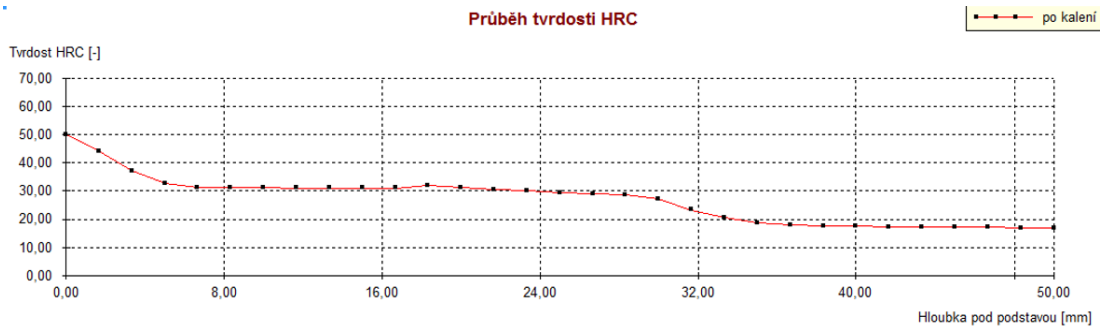
Obr. 12 – Varianta B) Strukturní podíly po průřezu tělesa obdélníkové deska



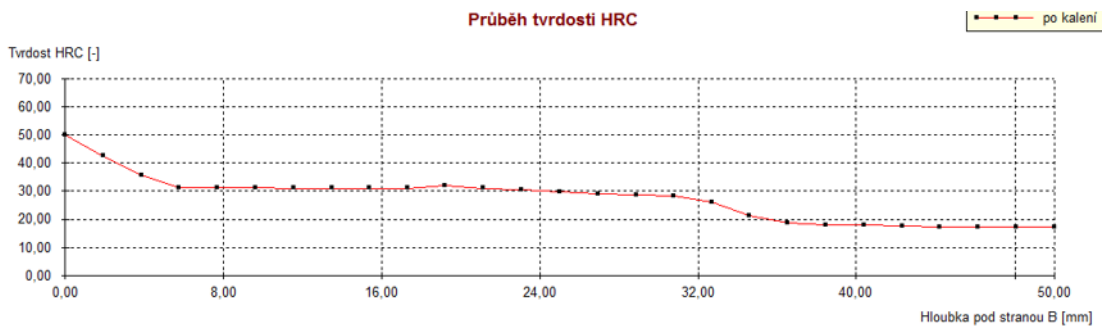
Následně byly graficky vyhodnoceny mechanické vlastnosti pod povrchem tělesa. Výsledné hodnoty tvrdosti podle Rockwella (HRC) byly zaneseny do grafu 11 a grafu 12. Tvrdost byla měřena od kaleného čela (podstavy).



Obr. 13 – Mechanické vlastnosti po průřezu tělesa

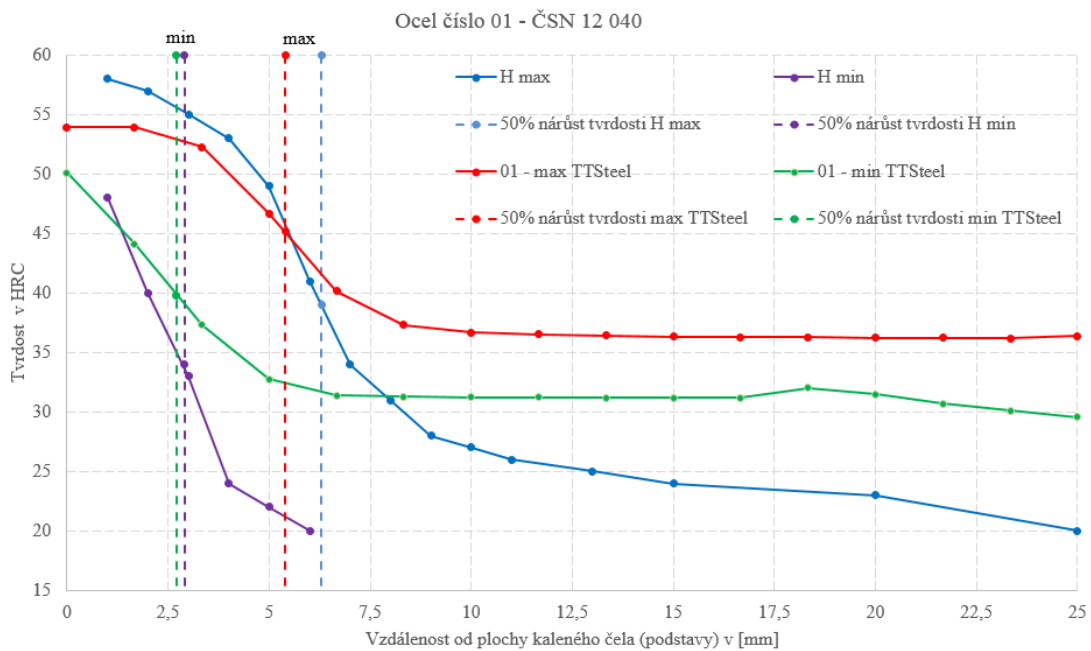


Graf 11 – ocel 12 040 (varianta A)

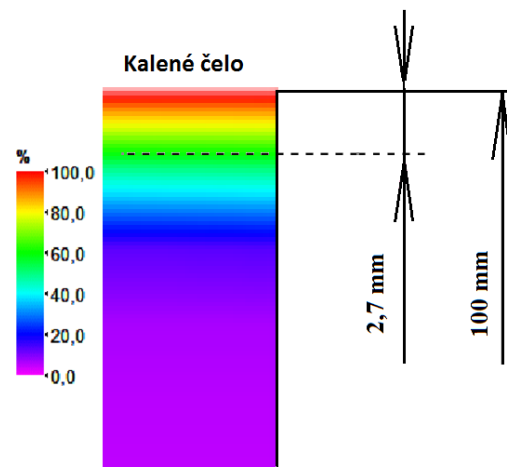


Graf 12 – ocel 12 040 (varianta B)

Na závěr byly grafy průběhu tvrdosti HRC (viz graf 11 a graf 12) porovnány s normovanými literárními hodnotami (viz graf 13). Ve výsledných grafech byl také vyznačen 50-ti [%] nárůst tvrdosti pro maximální a minimální hodnoty pásů prokalitelnosti, kde například z grafu 13 je patrné, že pro ocel 12 040 (min TTSteel) vyšel 50 [%] nárůst tvrdosti ve vzdálenosti 2,7 [mm] od plochy kaleného čela. Tato hodnota byla porovnána s grafickým výsledkem (viz obrázek 14), kde bylo graficky vyobrazeno 50 [%] martenzitu. Tato hodnota po odečtení z obrázků 11 a 12 vyšla také ve vzdálenosti 2,7 [mm] od kaleného čela (viz obrázek 14).



Graf 13 – Ocel 12 040 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



Obr. 14 – detail: 50 [%] martenzitu pro variantu A a B

Výsledky nasimulovaných grafů průběhu tvrdosti HRC v simulačním programu TTSteel a jejich porovnání s normovanými literárními hodnotami pro mnou vybrané druhy ocelí (viz tabulka 5) jsou uvedeny v přílohách číslo 18 až 31.

Tabulka 5 – Označení simulovaných ocelí [17]

| Ocel<br>číslo | Oceli<br>k zušlechťování dle<br>EN 10083 | SROVNATELNÁ OCEL  |                     |
|---------------|--|-------------------|---------------------|
|               |  | Ekvivalent<br>ČSN | Čís. ozn.<br>W. Nr. |
| 1             | C35E                                     | 12040             | 1.1181              |
| 2             | C45E                                     | 12050             | 1.1191              |
| 3             | C60E                                     | 12061             | 1.1221              |
| 4             | 41Cr4                                    | 14140             | 1.7035              |
| 5             | 25CrMo4                                  | 15130             | 1.7218              |
| 6             | 42CrMo4                                  | 15142             | 1.7225              |
| 7             | 51CrV4                                   | 15260             | 1.8159              |
| 8             | 34CrNiMo6                                | 16343             | 1.6582              |
| X             | 30CrNiMo8                                | nemá ekv.         | 1.6580              |
|               | Oceli<br>k cementování dle<br>EN 10084   | SROVNATELNÁ OCEL  |                     |
|               |  | Ekvivalent<br>ČSN | Čís. ozn.<br>W. Nr. |
| X             | C15E                                     | 12023             | 1.1141              |
| 9             | 16MnCr5                                  | 14220             | 1.7131              |
| 10            | 20MnCr5                                  | 14221             | 1.7147              |
| 11            | 17CrNi6-6                                | 16220             | 1.5918              |
| 12            | 15NiCr13                                 | 16420             | 1.5752              |
| 13            | 18CrNiMo7-6                              | 16326             | 1.6587              |
|               | Oceli k nitřidování<br>dle EN 10085      | SROVNATELNÁ OCEL  |                     |
|               |  | Ekvivalent<br>ČSN | Čís. ozn.<br>W. Nr. |
| 14            | 31CrMoV9                                 | 15330             | 1.8519              |
| X             | 34CrAlNi7-10                             | 16347             | 1.8550              |

Veškeré výsledné grafy byly vytvořeny z nasimulovaných hodnot, které jsou uvedeny pro mnou vybrané druhy ocelí v přílohách číslo 18 až 31 a z normovaných literárních hodnot uvedených v přílohách číslo 4 až 17. V těchto přílohách jsou uvedeny materiálové listy pro konkrétní druhy ocelí, ve kterých je uvedeno podrobné chemické složení dané oceli a teplota potřebná k vykonání Jominyho čelní zkoušky prokalitelnosti. Tyto hodnoty byly potřeba pro správné nastavení programu TTSteel, které je uvedeno v kapitole 4.1.

## 6 Závěr

V této diplomové práci bylo provedeno a vyhodnoceno několik simulací v programu TTSteel v 2.0, které mají napodobit Jominyho čelní zkoušku prokalitelnosti oceli a ověřit použitelnost simulačního programu v praxi na simulaci zkoušek prokalitelnosti. Z tohoto důvodu bylo ověření simulačního programu TTSteel rozděleno do tří fází:

V první fázi byla prokalitelnost za pomoci programu TTSteel určena pro daný druh oceli za pomoci dvou metod. Metoda podle varianty A a metoda podle varianty B. Tyto dvě metody se lišily tvarem použitého materiálu a směrem ochlazování (viz kapitola 4.1). Na základě výsledků uvedených v kapitole 5 lze říci, že na simulaci prokalitelnosti v programu TTSteel nemá vliv tvar simulovaného vzorku (viz graf 11 a 12 a obrázek 14) za předpokladu, že budou dodrženy podmínky uvedené v kapitole 4.1. Z výše uvedených důvodů, přehlednosti a podobnosti s Jominyho čelní zkouškou prokalitelnosti byla zvolena metoda dle varianty A.

V druhé fázi byla mnou zvolená metoda přímé simulace podle varianty A aplikována pro čtrnáct druhů oceli (viz tabulka 5). Výsledné křivky byly zaneseny do grafu, a zároveň do stejného grafu byly zaneseny normované hodnoty křivek prokalitelnosti simulované oceli. Následně byly křivky porovnány a zhodnoceny. Například z grafu 13 je jasně patrné, že křivky jsou si velice podobné, a je tedy možné program TTSteel využít i k určení rozptylu hodnot prokalitelnosti v závislosti na rozptylu složení oceli (pás prokalitelnosti). Viditelné jsou také rozdíly v tvrdosti pro konkrétní vzdálenosti od kaleného čela, které byly způsobeny s nejvyšší pravděpodobností použitým ochlazovacím režimem (viz kapitola 4.1). Na odchylky tvrdosti má také vliv neznámé přesné chemické složení simulované oceli, velikost zrna a zbytková deformace (přesnou hodnotu zná pouze výrobce daného druhu oceli), při kterém byla provedena normovaná Jominyho čelní zkouška prokalitelnosti. Výsledné grafy a jejich porovnání s normovanými literárními grafy pásů prokalitelnosti jsou uvedeny v přílohách číslo 18 až 31. Poté byla určena a vypočítána procentuální hodnota odchylky (jako absolutní hodnota) prokalitelnosti mezi normovanými hodnoty a hodnoty určené programem TTSteel. Výsledky jsou uvedeny v přílohách číslo 32 až 34. Z těchto výsledků vyplývá, že oceli s nižší hloubkou prokalitelnosti mají nižší odchylku prokalitelnosti. Například

oceli číslo: 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 12 a 13 mají odchylku do 10 [%]. A naopak oceli s vyšší hloubkou prokalitelnosti mají odchylku vyšší. Například oceli číslo: 6, 7, 8, 11 a 14.

V poslední třetí fázi byl mnou navržený postup tzv. metoda přímé simulace prokalitelnosti oceli podle varianty A v programu TTSteel také porovnána s experimentem (viz kapitola 4.1). Výsledky Jominyho čelní zkoušky prokalitelnosti pro různé austenitizační teploty jsou uvedeny v grafu 6. Z tohoto grafu je jasně patrné, že ve vzdálenosti 1,5 [mm] došlo k mírnému oduhličení povrchu, které snížilo tvrdost povrchu o 1 – 2 [HRC]. Z tohoto důvodu byl 50 [%] nárůst tvrdosti počítán s nejvyšší naměřenou hodnotou tvrdosti HRC. Výsledky simulace pro různé austenitizační teploty v programu TTSteel a jeho následné porovnání s experimentem je uvedeno v grafech 7 až 10.

Na základě výše uvedených zhodnocení jednotlivých fází simulace lze říci, že v této diplomové práci byla ověřena správnost funkce programu TTSteel. Simulační program je tedy možné využít k určení prokalitelnosti oceli, a tím rozšířit jeho možnost využití v praxi. Dále lze také říci, že program TTSteel je velice uživatelsky přívětivý, bez problému lze měnit nastavení chemického složení, kalící teploty, velikost zrna, velikost zbytkové deformace, tvar zkušebního tělesa a podmínky ochlazování. Díky těmto možnostem jsme schopni v krátkém časovém úseku nastavit simulační program TTSteel na námi požadované podmínky, a tím vyhodnotit prokalitelnost, strukturní podmínky a mechanické vlastnosti po podélném průřezu tělesa, které by byli v praxi velice časově náročné, popřípadě by nebyly proveditelné.

## 7 Seznam použité literatury

- [1] *Program TTSteel 2.1: Tepelné zpracování ocelí - Uživatelská příručka* [CD-ROM]. 1. Ostrava, 2006 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://konference.tanger.cz/data/metal2004/sbornik/index.htm>
- [2] ITA technology & software. *Program QTSteel* [online]. Ostrava: ITA spol., 2007 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.ita-tech.cz/cs/produkty-a-sluzby/tepelne-zpracovani/qtsteel>
- [3] *Izotermické přeměny v kovových materiálech* [online]. Bratislava: Vladimír Girman, 2009 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://www.materialing.com/izotermicke\\_premeny](http://www.materialing.com/izotermicke_premeny)
- [4] *Tepelné zpracování* [online]. Liberec: TU Liberec, 2010 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_bakalari/NOM1/NOM%20I.htm](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM1/NOM%20I.htm)
- [5] PŘIBIL, Erich. *Nástrojové oceli poldi a jejich použití I. díl*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986. ISBN SIP-41144/04918.
- [6] FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994. ISBN TK-0254.789.
- [7] *Kalení ocelí* [online]. Opava: SŠPU Opava, 2012 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/\\_sablon/y/KOM\\_III/VY\\_52\\_INOVACE\\_J-05-30.pdf](http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablon/y/KOM_III/VY_52_INOVACE_J-05-30.pdf)
- [8] ZUNA, P., JANOVEC J., MACEK K., *Tepelné úpravy kovových materiálů. I. vyd.* Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01-002-3..
- [9] SVATOPLUK a ČERNOCH. *Strojně technická příručka II. díl*. 12. prepr. vyd. Praha: SNTL, 1968. ISBN cnb000448789.
- [10] *Technologické vlastnosti: Prokalitelnost* [online]. Praha: ČVUT, 2014 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3-5\\_technologicke-vlastnosti.pdf](http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3-5_technologicke-vlastnosti.pdf)
- [11] *Čelní zkouška prokalitelnosti* [online]. Ostrava: VŠB, 2012 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=nQibXnXI7PY>
- [12] *Měření prokalitelnosti: Jominyho zkouška prokalitelnosti* [online]. Olomouc: ELUC, 2014 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1574>

- [13] *Jominyho zkouška prokalitelnosti* [online]. Olomouc: REGIOPOPULÁR, 2014 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=sGj6PRWgd4w>
- [14] *Jominyho zkouška prokalitelnosti* [online]. Liberec: TU Liberec, 2010 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_bakalari/TZZ/cv%20jomini.PDF](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/TZZ/cv%20jomini.PDF)
- [15] ŽÁČEK, Ondřej, Jiří KLIBER a Zdeněk VAŠEK. Počítačová simulace zrychleného ochlazování plochých tyčí po válcování. *METAL* [online]. 2004, 2004, 11 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://konference.tanger.cz/data/metal2004/sbornik/papers/142.pdf>
- [16] ROUBALOVÁ, Jana. *Optimalizace tepelného zpracování cementační oceli* [online]. Brno, 2013 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=66989](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=66989). Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce DOC. ING. VÍT Jan, PH.D.
- [17] Bohdan Bolzano s.r.o. *Materiálové listy* [online]. Kladno: Bolzano, 2017 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/>
- [18] *Ušlechtilé konstrukční oceli poldi: K zušlechtování*. I. vydání. Kladno: Tiskařské závody, národní podnik, provoz 61, 1984.

## Seznam příloh

|  |    |
|--|----|
| Příloha 1 – Char. prokalitelnosti při zušlechťování [18].....            | 50 |
| Příloha 2 – Char. prokalitelnosti při zušlechťování [18].....            | 51 |
| Příloha 3 – Oceli a jejich rozdělení [17].....                           | 52 |
| Příloha 4 – Materiálový list pro ocel 12 040 [17].....                   | 53 |
| Příloha 5 – Materiálový list pro ocel 12 050 [17].....                   | 54 |
| Příloha 6 – Materiálový list pro ocel 12 061 [17].....                   | 55 |
| Příloha 7 – Materiálový list pro ocel 14 140 [17].....                   | 56 |
| Příloha 8 – Materiálový list pro ocel 15 130 [17].....                   | 57 |
| Příloha 9 – Materiálový list pro ocel 15 142 [17].....                   | 58 |
| Příloha 10 – Materiálový list pro ocel 15 260 [17] .....                 | 59 |
| Příloha 11 – Materiálový list pro ocel 16 343 [17] .....                 | 60 |
| Příloha 12 – Materiálový list pro ocel 14 220 [17] .....                 | 61 |
| Příloha 13 – Materiálový list pro ocel 14 221 [17] .....                 | 62 |
| Příloha 14 – Materiálový list pro ocel 16 220 [17] .....                 | 63 |
| Příloha 15 – Materiálový list pro ocel 16 420 [17] .....                 | 64 |
| Příloha 16 – Materiálový list pro ocel 18CrNiMo7-6 [17].....             | 65 |
| Příloha 17 – Materiálový list pro ocel 31CrMoV9 [17].....                | 66 |
| Příloha 18 – Ocel 12 040 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 67 |
| Příloha 19 – Ocel 12 050 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 67 |
| Příloha 20 – Ocel 12 061 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 68 |
| Příloha 21 – Ocel 14 140 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 68 |
| Příloha 22 – Ocel 15 130 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 69 |
| Příloha 23 – Ocel 15 142 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 69 |
| Příloha 24 – Ocel 15 260 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 70 |
| Příloha 25 – Ocel 16 343 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 70 |
| Příloha 26 – Ocel 14 220 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 71 |
| Příloha 27 – Ocel 14 221 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 71 |
| Příloha 28 – Ocel 16 220 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 72 |
| Příloha 29 – Ocel 16 420 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 72 |
| Příloha 30 – Ocel 16 326 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 73 |
| Příloha 31 – Ocel 15 330 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)..... | 73 |



|  |    |
|--|----|
| Příloha 32 – 50-ti [%] nárůst tvrdosti a odchylky prokalitelnosti (normované hodnoty x TTSteel – varianta A) ..... | 74 |
| Příloha 33 – 50-ti [%] nárůst tvrdosti a odchylky prokalitelnosti (normované hodnoty x TTSteel – varianta A) ..... | 75 |
| Příloha 34 – 50-ti [%] nárůst tvrdosti a odchylky prokalitelnosti (normované hodnoty x TTSteel – varianta A) ..... | 76 |

Příloha 1 – Char. prokalitelnosti při zušlechťování [18]

**CHARAKTERISTIKA PROKALITELNOSTI  
PŘI ZUŠLECHŤOVÁNÍ**

| Ocel     |        | Přibližný rozměr, který lze ještě v celém průřezu zušlechtit. Po kalení se dosáhne struktury s 50 % martenzitu v jádře |                          |
|----------|--------|--|--------------------------|
| ČSN      | POLDI  | chlazení ve vodě<br>Ø mm   | chlazení v oleji<br>Ø mm |
| 12040    | W6W    | 17   | 7                        |
| 12050    | W6H    | 21   | 10                       |
| 12060    | W5     | 26   | 13                       |
| 12061    | W5H    | 28   | 14                       |
| 13240    | 2518   | 45   | 23                       |
| 13242    | MV4    | 60   | 35                       |
| 14140    | AUTOR  | 55   | 30                       |
| PN 14141 | AUTO C | 50   | 30                       |
| 14230    | B 43   | 95   | 65                       |
| 14240    | 2526   | 55   | 35                       |
| 14331    | ROL    | —  | 70                       |
| 14341    | TOR    | 90   | 65                       |
| 15130    | CM3    | 75   | 50                       |
| NN 15141 | CM4    | 90   | 60                       |
| 15142    | CM5    | 120  | 90                       |
| 15230    | CVX    | 95   | 65                       |
| 15240    | CV3    | 60   | 35                       |
| 15260    | CV4    | —  | 55                       |
| 16240    | BO4    | 60   | 40                       |
| 16243    | BOZR   | —  | 105                      |
| 16341    | BOZ    | —  | 115                      |
| 16342    | BOZD   | —  | > 120                    |
| NN 16350 | LDHT   | —  | > 120                    |
| 16532    | ROL    | —  | 120                      |
| 16720    | HOR    | —  | > 120 na vzduchu         |

### VÝROBNÍ HRANICE TYČOVÉ OCELI VÁLCOVANÉ A KOVANÉ

#### Ocel válcovaná

|              |            |
|--------------|------------|
| kruhová      | 5,5—180 mm |
| čtvercová    | 6— 70 mm   |
| plochá šířka | 8—200 mm   |
| tloušťka     | 2— 50 mm   |

#### Ocel kovaná — maximální rozměry

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| kruhová   | oceli uhlíkové, POLDI AUTO R,<br>POLDI AUTO C | 500 mm  |
|           | ostatní                                       | 320 mm  |
| čtvercová | oceli uhlíkové, POLDI AUTO R,<br>POLDI AUTO C | 500 mm  |
|           | ostatní                                       | 280 mm  |
| plochá    | oceli uhlíkové, POLDI AUTO R,<br>POLDI AUTO C | šířka 500<br>max. průřez<br>250 000 mm <sup>2</sup> |
|           | ostatní                                       | šířka 500<br>max. průřez<br>80 000 mm <sup>2</sup>  |
|           | pro šířku 8—250 mm                            | $t = \dot{s} \cdot 10^{-1}$ (min. 5 mm)             |
|           | 250—400 mm                                    | $t = \dot{s} \cdot 8^{-1}$                          |
|           | 400—500 mm                                    | $t = \text{min. } 80 \text{ mm}$                    |
|           |   | $\dot{s} = \text{šířka}$                            |
|           |   | $t = \text{tloušťka}$                               |

Poznámka: Odstupňování uvnitř uvedených rozměrových hranic odpovídá výrobnímu programu POLDI-SONP.

### Příloha 3 – Oceli a jejich rozdělení [17]

| Nelegované konstrukční oceli dle EN 10025 | SROVNATELNÁ OCEL |                  | CHARAKTERISTIKA, ÚČEL POUŽITÍ, VLASTNOSTI  |
|---|------------------|------------------|--|
|   | Ekvivalent ČSN   | Čís. ozn. W. Nr. |  |
| S235JR                                    | 11375            | 1.0038           | Skupina svařitelných nelegovaných konstrukčních ocelí. Oceli jsou určeny pro méně namáhané strojní díly a nosné konstrukce strojů.<br>Jsou využívány i pro stavbu ocelových konstrukcí, např. hal, mostů, budov, jeřábů apod.<br>Nejsou určeny k tepelnému zpracování s výjimkou normalizačního žíhání.<br>Rozhodující vlastností je mez kluzu, pro některé účely použití i hodnoty vrubové houževnatosti.<br>Např. ocel S355NL zaručuje hodnoty pro zkoušku rázem při -50 °C a je využívána třeba pro výrobu armatur nebo lodní a těžářský průmysl. |
| S235J0                                    | 11378            | 1.0116           |  |
| S275JR                                    | 11443            | 1.0044           |  |
| S275J2                                    | 11448            | 1.0145           |  |
| S355J0                                    | 11523            | 1.0553           |  |
| S355J2                                    | 11503            | 1.0570           |  |
| S355NL                                    | 11503            | 1.0546           |  |
| E295                                      | 11500            | 1.0050           | Nelegované konstrukční oceli, které mají vyšší obsah uhlíku než oceli typu S235.<br>Svařitelnost se u nich nezaručuje.<br>Používají se na málo namáhané strojní dílce, např. čepy.   |
| E335                                      | 11600            | 1.0060           |  |
| E360                                      | 11700            | 1.0070           |  |
| Oceli k zúšlechťování dle EN 10083        | SROVNATELNÁ OCEL |                  |  |
|   | Ekvivalent ČSN   | Čís. ozn. W. Nr. |  |
| C35E                                      | 12040            | 1.1181           | Uhlíkové nelegované oceli k zúšlechťování. Jsou určeny k výrobě méně namáhaných strojních součástí, např. čepů a hřídel. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje.  |
| C45E                                      | 12050            | 1.1191           |  |
| C60E                                      | 12061            | 1.1221           |  |
| 41Cr4                                     | 14140            | 1.7035           | Nizkolegované oceli k zúšlechťování používané pro středně namáhané strojní díly, zejména hřídele. Vyznačují lepší prokalitelnost než uhlíkové oceli a nejsou tak náchylné k popouštění křehkosti. Ocel 42CrMo4 patří k nejčastěji používaným ocelím k zúšlechťování. V kaleném stavu dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC, dobře odolává opotřebení.   |
| 25CrMo4                                   | 15130            | 1.7218           |  |
| 42CrMo4                                   | 15142            | 1.7225           |  |
| 51CrY4                                    | 15260            | 1.8159           | Středně legované oceli k zúšlechťování. Díky vysoké prokalitelnosti se používají pro výrobu vysoce namáhaných strojních dílů např. v automobilovém nebo leteckém průmyslu. Vyznačují se vysokými hodnotami meze únavy při střídavém způsobu namáhání. CrNiMo oceli vykazují v zúšlechťovaném stavu příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu a vysokou houževnatost.  |
| 34CrNiMo6                                 | 16343            | 1.6582           |  |
| 30CrNiMo8                                 | nemá ekv.        | 1.6580           |  |
|   |                  |                  |  |
| Oceli k cementování dle EN 10084          | SROVNATELNÁ OCEL |                  |  |
|   | Ekvivalent ČSN   | Čís. ozn. W. Nr. |  |
| C15E                                      | 12023            | 1.1141           | Nelegovaná ocel k cementování. Používá se na výrobu méně namáhaných strojních dílů menších rozměrů se střední pevností v jádře. Např. méně namáhaná ozubená kola a řetězová kola, vačkové hřídele, vodítka.  |
| 16MnCr5                                   | 14220            | 1.7131           |  |
| 20MnCr5                                   | 14221            | 1.7147           | Nizkolegované cementační oceli pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel, zejména ozubená kola s vyšší pevností v jádře. Jakost 16MnCr5 patří k nejčastěji používaným cementačním ocelím.  |
| 17CrNi6-6                                 | 16220            | 1.5918           |  |
| 15NiCr13                                  | 16420            | 1.5752           |  |
| 18CrNiMo7-6                               | 16326            | 1.6587           | Středně legované oceli k cementování určené na velmi namáhané strojní součásti, např. masivní ozubená kola a pastorky velkých převodovek. Cementovaná povrchová vrstva vykazuje po tepelném zpracování značnou tvrdost (u oceli 18CrNiMo7-6 až 64 HRC), přitom jádro cementované součásti je i při relativně vysoké pevnosti značně houževnaté.  |
| Oceli k nitrídování dle EN 10085          | SROVNATELNÁ OCEL |                  |  |
|   | Ekvivalent ČSN   | Čís. ozn. W. Nr. |  |
| 31CrMoV9                                  | 15330            | 1.8519           | Středně legované oceli pro strojní díly určené k nitrídaci. Např. hřídele, kde je vyžadována vysoká tvrdost povrchové vrstvy. U oceli 31CrMoV9 dosahuje nitrídovaná vrstva tvrdosti asi 800 HV1, u oceli 34CrAlNi7-10 pak 950 až 1000 HV1. Nitrídovaný povrch je vysoce odolný proti opotřebení a také korozi v méně agresivních prostředích. Dobrá prokalitelnost dovoluje použít ocel i na rozměrnější díly.   |
| 34CrAlNi7-10                              | 16347            | 1.8550           |  |

Příloha 4 – Materiálový list pro ocel 12 040 [17]

| Přehled vlastností oceli C35E ( C35 R )   |   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               | 1.1181 (1.1180) |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|---|---|--------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------|---------------|-----------------|----|----------------------------|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|
| Druh oceli  | Nelegovaná ušlechtilá ocel k zušlechťování  |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| TDP   | ČSN EN 10083-1  |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Dřívejší označení   | Ck 35 ( Cm 35 ) podle DIN 17200, 12 040 podle ČSN   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Charakteristika   | Méně namáhané strojní díly, které nemusí být při zušlechťování prokaleny v celém průřezu. V těchto případech se mnohdy vystačí i s ferritiko-perlitickou strukturou vzniklou po normalizaci nebo řízeném vychlazováním po tváření za tepla. |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)   | C   | Si max.            | Mn                        | P max.            | S max. <sup>1)</sup> | Cr                                | Mo                      | Ni        | Cu+Mo+Ni max. |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | 0,32 – 0,39   | 0,40               | 0,50 - 0,80               | 0,035             | 0,035                | max. 0,40                         | max. 0,10               | max. 0,40 | 0,63          |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Dovolené odchylky od složení tavby ve výrobku <sup>4)</sup>   | ± 0,02  | + 0,03             | ± 0,04                    | + 0,005           | + 0,005              | + 0,05                            | + 0,03                  | + 0,05    |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>2)</sup>   | Průměr mm   | Re min. MPa        |                           | Rm MPa            |                      | A min. %                          |                         | Z min. %  |               | KV min. J       |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | d ≤ 16  | 430                |                           | 630 – 780         |                      | 17                                |                         | 40        |               | 35              |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | 16 < d ≤ 40   | 380                |                           | 600 – 750         |                      | 19                                |                         | 45        |               | 35              |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | 40 < d ≤ 100  | 320                |                           | 550 – 700         |                      | 20                                |                         | 50        |               | 35              |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném <sup>2)</sup>   | d ≤ 16  | 300                |                           | min. 550          |                      | 18                                |                         | -         |               | -               |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | 16 < d ≤ 100  | 270                |                           | min. 520          |                      | 19                                |                         | -         |               | -               |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | 100 < d ≤ 250   | 245                |                           | min. 500          |                      | 19                                |                         | -         |               | -               |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Tvrdość   | Stav měkce žíhaný : HB max. 207   |                    |                           |                   |                      | Stav po tváření za tepla : HB 220 |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Prokalitelnost <sup>3)</sup>  | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkoušebního tělesa v mm.   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | Tvrdość v HRC   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | +H  | Mez                | 1                         | 2                 | 3                    | 4                                 | 5                       | 6         | 7             | 8               | 9  | 10                         | 11 | 13 | 15 | 20 | 25 | 30 |  |  |  |  |  |
|   | max   | 58                 | 57                        | 55                | 53                   | 49                                | 41                      | 34        | 31            | 28              | 27 | 26                         | 25 | 24 | 23 | 20 | 20 | 30 |  |  |  |  |  |
|   | min   | 48                 | 40                        | 33                | 24                   | 22                                | 20                      | -         | -             | -               | -  | -                          | -  | -  | -  | -  | -  | -  |  |  |  |  |  |
| <p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)</p>   |   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    | <p>Pás prokalitelnosti</p> |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Technologické vlastnosti  |   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Tváření za tepla  | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Tepelné zpracování  | Normalizační žíhání °C  | Žíhání na měkko °C | Isotermické žíhání        | Teplota kalení °C | Kalici prostředí     | Teplota popouštění °C             | Zkouška kalením čela °C |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
|   | 860 až 900  | 640 až 690         | 840 až 950<br>650- 1 hod. | 840 až 880        | voda nebo olej       | 550 až 660                        | 870 ± 5                 |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Uvedené podmínky jsou doporučené vyjma zkoušky kalením čela (zkouška prokalitelnosti.)  |   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při horní hranici při kalení do oleje. Jako kalici prostředí lze použít i emulze ze syntetických polymerů.   |   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Obrobitelnost   | Obrobitelnost triskovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížená vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhaný na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel C35R se zvýšeným obsahem S.                        |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| Sřítatelnost  | Přichází v úvahu např. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápusťkové kování. Ocel C35 je sřítatelná za studena i ve stavu po válcování.  |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |
| <sup>1)</sup> Obsah síry u oceli C35R je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.<br><sup>2)</sup> Uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru.<br>Zkoušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.<br>Re – mez kluzu, Rm – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční měřená délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkoušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).<br><sup>3)</sup> Pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.<br><sup>4)</sup> ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně. |   |                    |                           |                   |                      |                                   |                         |           |               |                 |    |                            |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |

Příloha 5 – Materiálový list pro ocel 12 050 [17]

| Přehled vlastností oceli C45E ( C45 R )   |  |                         |                           |                      |                      |                       | 1.1191 ( 1.1201 )                  |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|---|--|-------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------------|----------|-----------|-----------|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Druh oceli  | Nelegovaná ušlechtilá ocel k zušlechťování   |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| TDP   | CSN EN 10083-2: 2007. Tato norma obsahuje též ocel C45, klasifikovanou jako jakostní ocel k zušlechťování. Oceli C45 nelze nahradit ušlechtilé oceli C45E popř. C45R. C45 však lze nahradit ocelmi C45E resp. C45R.  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Dřívější označení   | C45E (C45R) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; Ck 45 ( Cm 45 ) podle DIN 17200; 12 050 podle ČSN.  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Použití   | Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechťeném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná i k povrchovému kalení plamenem nebo indukci. |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )   | C  | Si max.                 | Mn                        | P max.               | S max. <sup>1)</sup> | Cr max.               | Mo max.                            | Ni max.  | Cr+Mo+Ni  |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 0,42-0,50  | 0,40                    | 0,50-0,80                 | 0,030                | 0,035                | 0,40                  | 0,10                               | 0,40     | max. 0,63 |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>  | 0,40-0,52  | 0,43                    | 0,46-0,84                 | 0,035                | 0,040                | 0,45                  | 0,13                               | 0,45     |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup>   | Průměr mm  | R <sub>e</sub> min. MPa |                           | R <sub>m</sub> MPa   |                      | A min. %              |                                    | Z min. % |           | KV min. J |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | d ≤ 16   | 490                     |                           | 700-850              |                      | 14                    |                                    | 35       |           | -         |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 16 < d ≤ 40  | 430                     |                           | 650-800              |                      | 16                    |                                    | 40       |           | 25        |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 40 < d ≤ 100   | 370                     |                           | 630-780              |                      | 17                    |                                    | 45       |           | 25        |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném <sup>3)</sup>   | d ≤ 16   | 340                     |                           | min. 620             |                      | 14                    |                                    | -        |           | -         |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 16 < d ≤ 100   | 305                     |                           | 580                  |                      | 16                    |                                    | -        |           | -         |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 100 < d ≤ 250  | 275                     |                           | 560                  |                      | 16                    |                                    | -        |           | -         |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :   | Zpracováno na stříhatelnost (+S)   |                         |                           | Žíháno na měkko (+A) |                      |                       | Povrchově kaleno (tvrdost povrchu) |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | HB max. 255  |                         |                           | HB max. 207          |                      |                       | HRC min. 55                        |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Prokalitelnost <sup>4)</sup>  | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Tvrdost v HRC  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | +H   | Mez                     | 1                         | 2                    | 3                    | 4                     | 5                                  | 6        | 7         | 8         | 9                             | 10 | 11 | 13 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|   | max  | 62                      | 61                        | 61                   | 60                   | 57                    | 51                                 | 44       | 37        | 34        | 33                            | 32 | 31 | 30 | -  | -  | -  | -  |
|   | min  | 55                      | 51                        | 37                   | 30                   | 28                    | 27                                 | 26       | 25        | 24        | 23                            | 22 | 21 | 20 | -  | -  | -  | -  |
| <p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)</p>   |  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           | <p>Křivky prokalitelnosti</p> |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>Technologické vlastnosti</b>   |  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Tváření za tepla  | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Tepelné zpracování  | Normalizační žíhání °C   | Žíhání na měkko °C      | Isotermické žíhání °C     | Teplota kalení °C    | Kalicí prostředí     | Teplota popouštění °C | Zkouška kalením čela °C            |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 840 až 880   | 650 až 700              | 800 až 950<br>660 -1 hod. | 820 až 860           | voda nebo olej       | 550 až 660            | 850 ± 5                            |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokalitelnosti.)<br>Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při horní hranici při kalení do oleje. Jako kalicí prostředí lze použít i syntetické kapaliny-emulze.  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Obrobitelnost   | Obrobitelnost třískovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížená vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhaný na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel C45R se zvýšeným obsahem S.   |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| Stříhatelnost   | Přichází v úvahu např. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápusťkové kování. Ocel C45 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování u průměrů nad 80 mm.  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |
| <sup>1)</sup> obsah síry u oceli C45R je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.<br><sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.<br><sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení popř. normalizačním žíhání) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.<br>R <sub>e</sub> –mez kluzu, R <sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).<br><sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní. |  |                         |                           |                      |                      |                       |                                    |          |           |           |                               |    |    |    |    |    |    |    |

Příloha 6 – Materiálový list pro ocel 12 061 [17]

| Přehled vlastností oceli C60E ( C60R )   |  |                         |                           |                    |                      |                      |                         | 1.1221 (1.1223) |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|--|--|-------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Druh oceli   | Nelegovaná ušlechtilá ocel k zušlechťování   |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| TDP  | CSN EN 10083-2: 2007. Tato norma obsahuje též ocel C60, klasifikovanou jako jakostní ocel k zušlechťování. Ocelí C60 nelze nahradit ušlechtilé oceli C60E popř. C60R. C60 však lze nahradit ocelmi C60E resp. C60R.  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Dřívější označení  | C60E (C60R) podle ČSN EN 10083-1: 1991 +A1: 1996; Ck 60 ( Cm 60 ) podle DIN 17200; 12 061 podle ČSN  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Použití  | Nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů s vyšší pevností ve stavu zušlechťeném nebo normalizačně žíhaném a s vyšší odolností proti opotřebení ve stavu kaleném a nízko popuštěném (povrchové kalení). Optimálních mechanických hodnot se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu (viz doporučené teploty popuštění). U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )  | C  | Si max                  | Mn                        | P max.             | S max. <sup>1)</sup> | Cr max.              | Mo max.                 | Ni max.         | Cr+Mo+Ni |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | 0,57-0,65  | 0,40                    | 0,60-0,90                 | 0,030              | 0,035                | 0,40                 | 0,10                    | 0,40            | 0,63     |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>   | 0,54-0,68  | 0,43                    | 0,56-0,94                 | 0,035              | 0,040                | 0,45                 | 0,13                    | 0,45            |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup>  | Průměr mm  | R <sub>e</sub> min. MPa |                           | R <sub>m</sub> MPa |                      | A min. %             |                         | Z min. %        |          | KV min. J |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | d ≤ 16   | 580                     |                           | 850-1000           |                      | 11                   |                         | 25              |          | -         |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | 16 ≤ d ≤ 40  | 520                     |                           | 800-950            |                      | 13                   |                         | 30              |          | -         |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | 40 ≤ d ≤ 100   | 450                     |                           | 750-900            |                      | 14                   |                         | 35              |          | -         |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Mechanické hodnoty ve stavu normalizačně žíhaném <sup>3)</sup>   | d ≤ 16   | 380                     |                           | min. 710           |                      | 10                   |                         | -               |          | -         |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | 16 ≤ d ≤ 100   | 340                     |                           | min. 670           |                      | 11                   |                         | -               |          | -         |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | 100 ≤ d ≤ 250  | 310                     |                           | min. 650           |                      | 11                   |                         | -               |          | -         |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :  | Zpracováno na stříhatelnost (+S)   |                         |                           |                    |                      | Žíhaný na měkko (+A) |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | HB max. 255  |                         |                           |                    |                      | HB max. 241          |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Prokalitelnost <sup>4)</sup>   | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | Tvrdost v HRC  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | + H  | Mez                     | 1                         | 2                  | 3                    | 4                    | 5                       | 6               | 7        | 8         | 9  | 10 | 11 | 13 | 15 | 20 | 25 | 30 |  |
|  | max  | 67                      | 66                        | 65                 | 63                   | 62                   | 59                      | 54              | 47       | 39        | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 31 | 30 | 30 |  |
|  | min  | 60                      | 57                        | 50                 | 39                   | 35                   | 33                      | 32              | 31       | 30        | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 23 | 21 | 21 |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Křivky prokalitelnosti</p> </div> </div>   |  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Technologické vlastnosti   |  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Tváření za tepla   | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Tepelné zpracování   | Normaizační. žíhání °C   | Žíhání na měkko °C      | Isotermické žíhání °C     | Teplota kalení °C  | Kalící prostředí     | Teplota popuštění °C | Zkouška kalením čela °C |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | 820 až 860   | 600 až 680              | 850 až 900<br>595- 1 hod. | 800 až 840         | olej nebo voda       | 550 až 660           | 830 ± 5                 |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|  | Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.) Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při horní hranici při kalení do oleje. Jako kalící prostředí lze použít i syntetické kapaliny-emulze.  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Obrobitelnost  | Obrobitelnost třískovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížena vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhaný na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel C60R se zvýšeným obsahem S.   |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Stříhatelnost  | Přichází v úvahu na př. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápuštěkové kování. Pro dosažení tvrdosti vhodné ke stříhání se ocel žíhá nebo řízeně vychlazuje.  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| <p><sup>1)</sup> obsah síry u oceli C60R je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.</p> <p><sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.</p> <p><sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení popř. normalizačním žíhání) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP. R<sub>e</sub> –mez kluzu, R<sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L<sub>0</sub> = 5,65√S<sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem ( průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).</p> <p><sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.</p> |  |                         |                           |                    |                      |                      |                         |                 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

Příloha 7 – Materiálový list pro ocel 14 140 [17]

| Přehled vlastností oceli 41Cr4 ( 41CrS4 )  |   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    | 1.7035 (1.7039) |           |  |  |  |  |
|--|---|------------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----|------------------------------------|-----------------|-----------|--|--|--|--|
| Druh oceli   | Nizkolegovaná ušlechtilá chromová ocel k zušlechťování  |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| TDP  | CSN EN 10083-3: 2007  |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| Dřívější označení  | 41Cr4 (41Cr4 ) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 41Cr4 ( 41CrS4 ) podle DIN 17200; 14 140 podle ČSN  |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| Použití  | Středně namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti 53 až 57 HRC.V zušlechťeném stavu se vyznačuje dobrou odolností proti opotřebení a vyšší prokalitelností. Při pomalém ochlazení z teploty popouštění je náchylná k popouštěcí křehkosti. Proto se doporučuje z popouštěcí teploty ochlazovat v oleji nebo ve vodě.             |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )  | C   | Si max.                | Mn                        | P max.            | S max.                | Cr                    | Mo                      | Ni | V                                  |                 |           |  |  |  |  |
| Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>   | 0,38 –0,45  | max. 0,40              | 0,60 –0,90                | max. 0,025        | max. 0,035            | 0,90 –1,20            | -                       | -  | -                                  |                 |           |  |  |  |  |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup>  | Průměr mm   | R <sub>e</sub> min MPa |                           |                   | R <sub>m</sub> MPa    |                       | A min %                 |    | Z min %                            |                 | KV min. J |  |  |  |  |
|  | d ≤ 16  | 800                    |                           |                   | 1000 - 1200           |                       | 11                      |    | 30                                 |                 | 30        |  |  |  |  |
|  | 16 < d ≤ 40   | 660                    |                           |                   | 900 - 1100            |                       | 12                      |    | 35                                 |                 | 35        |  |  |  |  |
|  | 40 < d ≤ 100  | 560                    |                           |                   | 800 - 900             |                       | 14                      |    | 40                                 |                 | 35        |  |  |  |  |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :  | Zpracováno na stříhatelnost (+S)  |                        |                           |                   | Žhánáno na měkko (+A) |                       |                         |    | Povrchově kaleno (tvrdost povrchu) |                 |           |  |  |  |  |
|  | HB max. 255   |                        |                           |                   | HB max. 241           |                       |                         |    | HRC min. 53                        |                 |           |  |  |  |  |
| Prokalitelnost <sup>4)</sup>   | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
|  | Tvrdost v HRC   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
|  | <sup>4)</sup> Mez   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
|  | +H  |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
|  | +HH   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
|  | +HL   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
|  |   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
|  |   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| <b>Technologické vlastnosti</b>  |   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| Tepelné zpracování   | Normalizační žhánání °C   | Žhánání na měkko °C    | Isotermické žhánání °C    | Teplota kalení °C | Kalící prostředí      | Teplota popouštění °C | Zkouška kalením čela °C |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
|  | 860 až 900  | 680 až 720             | 830 až 860<br>675- 6 hod. | 840 až 880        | olej nebo voda        | 550 až 660            | 870 ± 5                 |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.).<br>Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při střední nebo horní hranici při kalení do oleje. Jako kalící prostředí lze použít i syntetické polymery. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žhánání před zušlechťením.<br>Body přeměny : A <sub>c1</sub> = 750 °C, A <sub>c2</sub> = 790°C, M <sub>s</sub> = 310°C.   |   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| Obrobitelnost  | Obrobitelnost tržkovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížená vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žhánání na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 41CrS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které mají být zušlechťeny na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žhánaném a dokončí po zušlechťení. |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| Stříhatelnost  | Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žháná nebo řízeně vychlazuje.   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |
| <sup>1)</sup> obsah síry u oceli 41CrS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.<br><sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.<br><sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žhánané. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.<br>R <sub>e</sub> –mez kluzu, R <sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem ( průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% střední hodnoty).<br><sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.<br><sup>5)</sup> +H – normální hodnoty - celý pás prokalitelnosti, +HH - zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici. |   |                        |                           |                   |                       |                       |                         |    |                                    |                 |           |  |  |  |  |



Příloha 8 – Materiálový list pro ocel 15 130 [17]

| Přehled vlastností oceli 25CrMo4 ( 25CrMoS4 )   |   |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                | 1.7218 (1.7213) |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|---|-------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Druh oceli  | Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování   |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TDP   | ČSN EN 10083-3: 2007  |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Dřívější označení   | 25CrMo4 ( 25CrMoS4 ) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 25CrMo4 (25CrMoS4) podle DIN 17200: 15 130 podle ČSN  |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Použití   | Ocel s nižší prokalitelností pro středně namáhané strojní díly. Je svařitelná a vhodná pro výrobu bezešvých trub. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 48 HRC. V zušlechťeném stavu dosahuje středních hodnot pevnosti a meze kluzu při relativně vysoké houževnatosti. Není náchylná k popouštěcí křehkosti.  |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Chemické složení v % hmot. ( rozběr tavby )   | C   | Si max.           | Mn                        | P max.             | S max. <sup>1)</sup> | Cr                    | Mo                      | Ni             | V               |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 0,22-0,29   | 0,40              | 0,60-0,90                 | 0,025              | 0,035                | 0,90-1,20             | 0,15-0,30               | -              | -               |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>  | 0,20-0,31   | 0,43              | 0,56-0,94                 | 0,030              | 0,040                | 0,85-1,25             | 0,12-0,33               | -              | -               |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup>   | Průměr mm   |                   | R <sub>e</sub> min. MPa   | R <sub>m</sub> MPa |                      | A min. %              | Z min. %                | KV min. J      |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | d ≤ 16  |                   | 700                       | 900 - 1100         |                      | 12                    | 50                      |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 16 < d ≤ 40   |                   | 600                       | 800 - 950          |                      | 14                    | 55                      |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 40 < d ≤ 100  |                   | 450                       | 700 - 850          |                      | 15                    | 50                      |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 100 < d ≤ 160   |   | 400               | 650 - 800                 |                    | 16                   | 60                    |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :   | Zpracováno na stříhatelnost   |                   |                           |                    |                      |                       |                         | Žhaný na měkko |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | HB max. 255   |                   |                           |                    |                      |                       |                         | HB max. 212    |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Prokalitelnost <sup>4)</sup>  | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm   |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Tvrdost v HRC   |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   | Mez               | 1,5                       | 3                  | 5                    | 7                     | 9                       | 11             | 13              | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|   | +H  | max.              | 52                        | 52                 | 51                   | 50                    | 48                      | 46             | 43              | 41 | 37 | 35 | 33 | 32 | 31 | 31 | 31 |
|   |   | min.              | 44                        | 43                 | 40                   | 37                    | 34                      | 32             | 29              | 27 | 23 | 21 | 20 | -  | -  | -  | -  |
|   | +HH   | max.              | 52                        | 52                 | 51                   | 50                    | 48                      | 46             | 43              | 41 | 37 | 35 | 33 | 32 | 31 | 31 | 31 |
| min.  |   | 47                | 46                        | 44                 | 41                   | 39                    | 37                      | 34             | 32              | 28 | 26 | 24 | 23 | 22 | 22 | 22 |    |
| +HL   | max.  | 49                | 49                        | 47                 | 46                   | 43                    | 41                      | 38             | 36              | 32 | 30 | 29 | 28 | 27 | 27 | 27 |    |
|   | min.  | 44                | 43                        | 40                 | 37                   | 34                    | 32                      | 29             | 27              | 23 | 21 | 20 | -  | -  | -  | -  |    |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Křivky prokalitelnosti</b></p> </div> </div>  |   |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>Technologické vlastnosti</b>   |   |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Tváření za tepla  | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla: 1100 až 850 °C  |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Tepelné zpracování  | Normalizační žhání °C   | Žhání na měkko °C | Isotermické žhání °C      | Teplota kalení °C  | Kalící prostředí     | Teplota popouštění °C | Zkouška kalením čela °C |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 860 až 890  | 680 až 720        | 850 až 920<br>670 -1 hod. | 840 až 880         | voda nebo olej       | 540 až 680            | 850 ± 5                 |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.). Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při střední a horní hranici při kalení do oleje. Jako kalící prostředí lze použít i syntetické polymery. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovových) přispívá normalizační žhání před zušlechťením.<br>Body přeměny : A <sub>c1</sub> = 745° C, A <sub>c3</sub> = 830° C, M <sub>s</sub> = 370° C |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Obrobitelnost   | Obrábí se ve stavu žháněném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechťeném. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 25CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které mají být zušlechťeny na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žháněném a dokončí po zušlechťení.  |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Stříhatelnost   | Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žihá nebo řízeně vychlazuje.  |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| <sup>1)</sup> obsah síry u oceli 25CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.<br><sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.<br><sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žháněném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru.<br>Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.<br>R <sub>e</sub> –mez kluzu, R <sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V- vrubem ( průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).<br><sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.<br><sup>5)</sup> +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH - zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici. |   |                   |                           |                    |                      |                       |                         |                |                 |    |    |    |    |    |    |    |    |

Příloha 9 – Materiálový list pro ocel 15 142 [17]

| Přehled vlastností oceli 42CrMo4 ( 42CrMoS4 )             |  |           |                         |                    |                      |             |             |                                    |    | 1.7225 (1.7227) |    |               |    |    |    |    |    |
|---|--|-----------|-------------------------|--------------------|----------------------|-------------|-------------|------------------------------------|----|-----------------|----|---------------|----|----|----|----|----|
| Druh oceli  | Nizkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování  |           |                         |                    |                      |             |             |                                    |    |                 |    |               |    |    |    |    |    |
| TDP   | CSN EN 10083-3: 2007   |           |                         |                    |                      |             |             |                                    |    |                 |    |               |    |    |    |    |    |
| Dřívější označení   | 42CrMo4 ( 42CrMoS4 ) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 42CrMo4 ( 42CrMoS4 ) podle DIN 17200, 15 142 podle ČSN   |           |                         |                    |                      |             |             |                                    |    |                 |    |               |    |    |    |    |    |
| Použití   | Ocel s vyšší prokalitelností pro výše namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC. Do průměru 100 mm lze po zušlechťení docílit pevnosti nad 1000 MPa při ještě dostatečné houževnatosti. Není náchylná k popouštění křehkosti. Kalí se do méně razantního kalicího prostředí, poněvadž je náchylná ke vzniku kalicích trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení. Patří k nejčastěji používané oceli k zušlechťování. |           |                         |                    |                      |             |             |                                    |    |                 |    |               |    |    |    |    |    |
| Chemické složení v hmot. % ( rozbor tavby )               | C  | Si max.   | Mn                      | P max.             | S max. <sup>1)</sup> | Cr          | Mo          | Ni                                 | V  |                 |    |               |    |    |    |    |    |
|   | 0,38 – 0,45  | max. 0,40 | 0,60 – 0,90             | max. 0,025         | max. 0,035           | 0,90 – 1,20 | 0,15 – 0,30 | -                                  | -  |                 |    |               |    |    |    |    |    |
| Složení hotového výrobku <sup>2)</sup>                    | 0,36 – 0,47  | max. 0,43 | 0,56 – 0,94             | max. 0,030         | max. 0,040           | 0,85 – 1,25 | 0,12 – 0,33 | -                                  | -  |                 |    |               |    |    |    |    |    |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>3)</sup> | Průměr mm  |           | R <sub>e</sub> min. MPa | R <sub>m</sub> MPa |                      | A min. %    |             | Z min. %                           |    | KV min. J       |    |               |    |    |    |    |    |
|   | d ≤ 16   |           | 900                     | 1100 - 1300        |                      | 10          |             | 40                                 |    | -               |    |               |    |    |    |    |    |
|   | 16 < d ≤ 40  |           | 750                     | 1000 - 1200        |                      | 11          |             | 45                                 |    | 35              |    |               |    |    |    |    |    |
|   | 40 < d ≤ 100   |           | 650                     | 900 - 1100         |                      | 12          |             | 50                                 |    | 35              |    |               |    |    |    |    |    |
|   | 100 < d ≤ 160  |           | 550                     | 800 - 950          |                      | 13          |             | 50                                 |    | 35              |    |               |    |    |    |    |    |
| 160 < d ≤ 250   |  | 500       | 750 - 900               |                    | 14                   |             | 55          |                                    | 35 |                 |    |               |    |    |    |    |    |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :                     | Zpracováno na stříhatelnost  |           |                         | Žhánáno na měkko   |                      |             |             | Povrchově kaleno (tvrdost povrchu) |    |                 |    |               |    |    |    |    |    |
|   | HB max. 255  |           |                         | HB max. 241        |                      |             |             | HRC min. 53                        |    |                 |    |               |    |    |    |    |    |
| Prokalitelnost <sup>4)</sup>                              | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm  |           |                         |                    |                      |             |             |                                    |    |                 |    | Tvrdost v HRC |    |    |    |    |    |
|   | <sup>5)</sup> Mez  | 1,5       | 3                       | 5                  | 7                    | 9           | 11          | 13                                 | 15 | 20              | 25 | 30            | 35 | 40 | 45 | 50 |    |
|   | +H   | max.      | 61                      | 61                 | 61                   | 60          | 60          | 59                                 | 59 | 58              | 56 | 53            | 51 | 48 | 47 | 46 | 45 |
|   |  | min.      | 53                      | 53                 | 52                   | 51          | 49          | 43                                 | 40 | 37              | 34 | 32            | 31 | 30 | 30 | 29 | 29 |
|   | +HH  | max.      | 61                      | 61                 | 61                   | 60          | 60          | 59                                 | 59 | 58              | 56 | 53            | 51 | 48 | 47 | 46 | 45 |
|   |  | min.      | 56                      | 56                 | 55                   | 54          | 52          | 48                                 | 46 | 44              | 41 | 39            | 38 | 36 | 36 | 35 | 34 |
|   | +HL  | max.      | 58                      | 58                 | 58                   | 57          | 56          | 54                                 | 53 | 51              | 49 | 46            | 44 | 42 | 41 | 40 | 40 |
|   |  | min.      | 53                      | 53                 | 52                   | 51          | 49          | 43                                 | 40 | 37              | 34 | 32            | 31 | 30 | 30 | 29 | 29 |

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)

Křivky prokalitelnosti

| Technologické vlastnosti |  |                     |                            |                   |                  |                       |                         |
|--------------------------|--|---------------------|----------------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Tváření za tepla         | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 850 °C  |                     |                            |                   |                  |                       |                         |
| Teplotní zpracování      | Normalizační žhánání °C  | Žhánání na měkko °C | Isotermické žhánání °C     | Teplota kalení °C | Kalicí prostředí | Teplota popouštění °C | Zkouška kalením čela °C |
|                          | 850 až 880   | 680 až 720          | 800 až 900<br>670 - 3 hod. | 820 až 860        | olej nebo voda   | 540 až 680            | 850 ± 5                 |
|                          | Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.). Jako kalicí prostředí se s ohledem na náchylnost ke kalicím trhlinám doporučují syntetické polymery a olej. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žhánání před zušlechťením.<br>Body přeměny : Ac <sub>1</sub> = 745°C, Ac <sub>3</sub> = 790°C, Ms = 300°C |                     |                            |                   |                  |                       |                         |
| Obrobitelnost            | Obrábí se ve stavu žhánaném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechťeném. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 42CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které se zušlechťují na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žhánaném a dokončí po zušlechťení.   |                     |                            |                   |                  |                       |                         |
| Stříhatelnost            | Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žháná nebo řízeně vychlazuje.  |                     |                            |                   |                  |                       |                         |

<sup>1)</sup> obsah síry u oceli 42CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

<sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

<sup>3)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím teplotním zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žhánaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.  
R<sub>e</sub> –mez kluzu, R<sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L<sub>0</sub> = 5,65√S<sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

<sup>4)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

<sup>5)</sup> +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH - zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.

Příloha 10 – Materiálový list pro ocel 15 260 [17]

| Přehled vlastností oceli 51CrV4                           |   |         |                         |                    |        |                 | 1.8159 |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|---|---------|-------------------------|--------------------|--------|-----------------|--------|----------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Druh oceli  | Nizkolegovaná ušlechtilá chrom – vanadová ocel k zušlechťování  |         |                         |                    |        |                 |        |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TDP   | ČSN EN 10083-3: 2007  |         |                         |                    |        |                 |        |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Dřívější označení   | 51CrV4 (51CrV4) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 50CrV4 podle DIN 17200; 15260 podle ČSN  |         |                         |                    |        |                 |        |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Použití   | Ocel s vysokou prokalitelností pro velmi namáhané strojní díly. V zušlechťeném stavu má velmi příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu avšak oproti Cr-Mo ocelím nižší houževnatost. Vyznačuje se vysokými hodnotami meze únavy při střídavém namáhání. Je proto vhodná i pro výrobu zušlechťených pružin. Kalí se převážně do oleje nebo do roztoků syntetických polymerů. |         |                         |                    |        |                 |        |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)                 | C   | Si max. | Mn                      | P max.             | S max. | Cr              | Mo     | Ni       | V         |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 0,47 – 0,55   | 0,40    | 0,70-1,10               | 0,025              | 0,035  | 0,90-1,20       | -      | -        | 0,10-0,25 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Složení hotového výrobku <sup>1)</sup>                    | 0,45 – 0,57   | 0,43    | 0,66-1,15               | 0,030              | 0,040  | 0,85-1,25       | -      | -        | 0,08-0,27 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>2)</sup> | Průměr mm   |         | R <sub>e</sub> min. MPa | R <sub>m</sub> MPa |        | A min. %        |        | Z min. % | KV min. J |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | d ≤ 16  |         | 900                     | 1100 - 1300        |        | 9               |        | 40       | -         |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 16 < d ≤ 40   |         | 800                     | 1000 - 1200        |        | 10              |        | 45       | 30        |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 40 < d ≤ 100  |         | 700                     | 900 - 1100         |        | 12              |        | 50       | 30        |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | 100 < d ≤ 160   |         | 650                     | 850 - 1000         |        | 13              |        | 50       | 30        |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 160 < d ≤ 250   |   | 600     | 800 - 950               |                    | 13     |                 | 50     | 30       |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :                     | Zpracováno na stříhatelnost   |         |                         |                    |        | Žíhaný na měkko |        |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Doporučuje se stav žíhaný na měkko  |         |                         |                    |        | HB max. 248     |        |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Prokalitelnost <sup>3)</sup>                              | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm   |         |                         |                    |        |                 |        |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Tvrdost v HRC   |         |                         |                    |        |                 |        |          |           |    |    |    |    |    |    |    |    |
|   |   | Mez     | 1,5                     | 3                  | 5      | 7               | 9      | 11       | 13        | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|   | +H  | max.    | 65                      | 65                 | 64     | 64              | 63     | 63       | 63        | 62 | 62 | 62 | 61 | 60 | 60 | 59 | 58 |
|   |   | min.    | 57                      | 56                 | 56     | 55              | 53     | 52       | 50        | 48 | 44 | 41 | 37 | 35 | 34 | 33 | 32 |
|   | +HH   | max.    | 65                      | 65                 | 64     | 64              | 63     | 63       | 63        | 62 | 62 | 62 | 61 | 60 | 60 | 59 | 58 |
|   |   | min.    | 60                      | 59                 | 59     | 58              | 56     | 56       | 54        | 53 | 50 | 48 | 45 | 43 | 43 | 42 | 41 |
|   | +HL   | max.    | 62                      | 62                 | 61     | 61              | 60     | 59       | 59        | 57 | 56 | 55 | 53 | 52 | 51 | 50 | 49 |
|   |   | min.    | 57                      | 56                 | 56     | 55              | 53     | 52       | 50        | 48 | 44 | 41 | 37 | 35 | 34 | 33 | 32 |

**Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)**

Popouštěcí teplota v st.C

**Křivky prokalitelnosti**

Vzdálenost od kaleného čela v mm

| Technologické vlastnosti |   |                    |                       |                   |                  |                       |                         |
|--------------------------|---|--------------------|-----------------------|-------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Tváření za tepla         | Doporučené rozměry teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C   |                    |                       |                   |                  |                       |                         |
| Tepelné zpracování       | Normalizační žíhání °C  | Žíhání na měkko °C | Isotermické žíhání °C | Teplota kalení °C | Kalicí prostředí | Teplota popouštění °C | Zkouška kalením čela °C |
|                          | 850 až 890  | 680 až 720         | -                     | 820 až 860        | olej             | 540 až 680            | 850 +/- 5               |
|                          | Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.) K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žíhání před zušlechťením. Jako kalící prostředí lze použít i roztoky syntetických polymerů. |                    |                       |                   |                  |                       |                         |
|                          | Body přeměny : Ac <sub>1</sub> = 740°C, Ac <sub>3</sub> = 770°C, Ms = 260°C   |                    |                       |                   |                  |                       |                         |
| Obrobitelnost            | Obrábí se ve stavu žíhaném na měkko. Díly, které se zušlechťují se nejprve předhrubují ve stavu žíhaném a dokončí po zušlechťení.   |                    |                       |                   |                  |                       |                         |
| Stříhatelnost            | Pokud je požadována stříhatelnost za studena, měla by být ocel ve stavu žíhaném.  |                    |                       |                   |                  |                       |                         |

<sup>1)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.  
R<sub>e</sub> –mez kluzu, R<sub>m</sub> – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka L<sub>0</sub> = 5,65√S<sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem ( průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).  
<sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.  
<sup>3)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.  
<sup>4)</sup> +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH - zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.

Příloha 11 – Materiálový list pro ocel 16 343 [17]

| Přehled vlastností oceli 34CrNiMo6   |  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    | 1.6582   |    |           |    |    |    |    |
|--|--|-------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|-------------|----|----------|----|-----------|----|----|----|----|
| Druh oceli   | Středně legovaná ušlechtilá chrom – nikl - molybdenová ocel k zušlechťování  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| TDP  | CSN EN 10083-3: 2007   |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| Dřívější označení  | 34CrNiMo6 podle CSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 34CrNiMo6 podle DIN 17200; 16 343 podle CSN (vlastnostmi nahrazuje též 16 341)  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| Použití  | Ocel s vysokou prokalitelností pro vysoce namáhané strojní díly. V zušlechťeném stavu má velmi příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu a vysokou houževnatost. Vysoká houževnatost brzdí šíření únavových trhlin. Ocel se proto vyznačuje vysokými hodnotami meze únavy při střídavém a kombinovaném způsobu namáhání. Není náchylná k popouštění křehkosti. Kalí se převážně do oleje nebo do roztoků syntetických polymerů. |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)  | C  | Si max.                 | Mn                         | P max.            | S max.             | Cr                    | Mo                     | Ni          | V  |          |    |           |    |    |    |    |
| Složení hotového výrobku <sup>1)</sup>   | 0,30 – 0,38  | max. 0,40               | 0,50 – 0,80                | max. 0,025        | max. 0,035         | 1,30 – 1,70           | 0,15 – 0,30            | 1,30 – 1,70 | -  |          |    |           |    |    |    |    |
|  | 0,28 – 0,40  | max. 0,43               | 0,46 – 0,84                | max. 0,030        | max. 0,040         | 1,25 – 1,75           | 0,12 – 0,33            | 1,25 – 1,75 | -  |          |    |           |    |    |    |    |
| Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. <sup>2)</sup>  | Průměr mm  | R <sub>e</sub> min. MPa |                            |                   | R <sub>m</sub> MPa |                       |                        | A min. %    |    | Z min. % |    | KV min. J |    |    |    |    |
|  | d ≤ 16   | 1000                    |                            |                   | 1200 - 1400        |                       |                        | 9           |    | 40       |    | -         |    |    |    |    |
|  | 16 < d ≤ 40  | 900                     |                            |                   | 1100 - 1300        |                       |                        | 10          |    | 45       |    | 45        |    |    |    |    |
|  | 40 < d ≤ 100   | 800                     |                            |                   | 1000 - 1200        |                       |                        | 11          |    | 50       |    | 45        |    |    |    |    |
|  | 100 < d ≤ 160  | 700                     |                            |                   | 900 - 1100         |                       |                        | 12          |    | 55       |    | 45        |    |    |    |    |
| 160 < d ≤ 250  | 600  |                         |                            | 800 - 950         |                    |                       | 13                     |             | 55 |          | 45 |           |    |    |    |    |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :  | Zpracováno na stříhatelnost  |                         |                            |                   |                    |                       | Žháný na měkko         |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
|  | Doporučuje se stav žháný na měkko  |                         |                            |                   |                    |                       | HB max. 248            |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| Prokalitelnost <sup>3)</sup>   | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
|  | Tvrdost v HRC  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
|  | <sup>4)</sup> Mez  | 1,5                     | 3                          | 5                 | 7                  | 9                     | 11                     | 13          | 15 | 20       | 25 | 30        | 35 | 40 | 45 | 50 |
|  | +H   | max.                    | 58                         | 58                | 58                 | 58                    | 57                     | 57          | 57 | 57       | 57 | 57        | 57 | 57 | 57 | 57 |
|  |  | min.                    | 50                         | 50                | 50                 | 50                    | 49                     | 48          | 48 | 48       | 48 | 47        | 47 | 47 | 46 | 45 |
| +HH  | max.   | 58                      | 58                         | 58                | 58                 | 57                    | 57                     | 57          | 57 | 57       | 57 | 57        | 57 | 57 | 57 |    |
|  | min.   | 53                      | 53                         | 53                | 53                 | 52                    | 51                     | 51          | 51 | 51       | 50 | 50        | 50 | 50 | 49 |    |
| +HL  | max.   | 55                      | 55                         | 55                | 55                 | 54                    | 54                     | 54          | 54 | 54       | 54 | 54        | 54 | 53 | 53 |    |
|  | min.   | 50                      | 50                         | 50                | 50                 | 49                    | 48                     | 48          | 48 | 48       | 47 | 47        | 47 | 46 | 45 |    |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 60 mm)</p> <p>Popouštěcí teplota ve st.C</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Křivky prokalitelnosti</p> <p>Vzdálenost od kaleného čela v mm</p> </div> </div>   |  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| <b>Technologické vlastnosti</b>  |  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| Tváření za tepla   | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 900 °C  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| Tepelné zpracování   | Normalizační žhání °C  | Žhání na měkko °C       | Isotermické žhání °C       | Teplota kalení °C | Kalicí prostředí   | Teplota popouštění °C | Zkouška kalení čela °C |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
|  | 850 až 870   | 680 až 700              | 800 až 900<br>850 - 3 hod. | 830 až 860        | olej               | 540 až 660            | 850 ± 5                |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
|  | Uvedené podmínky jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalení čela (zkouška prokal.) K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žhání před zušlechťením. Jako kalicího prostředí lze použít i roztok syntetických polymerů<br>Body přeměny : A <sub>c1</sub> = 740°C, A <sub>c2</sub> = 790°C, M <sub>s</sub> = 330°C   |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| Obrobitelnost  | Obrábí se ve stavu žháném na měkko. Díly, které se zušlechťují se nejprve předhrubují ve stavu žháném a dokončí po zušlechťení. Vlivem vyšší houževnatosti je obrábění ztíženo.  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| Stříhatelnost  | Stříhatelnost je ztížena vlivem vysoké houževnatosti i ve stavu žháném.  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |
| <sup>1)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žháném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP. R <sub>e</sub> –mez kluzu, R <sub>m</sub> –pevnost v tahu, A –tažnost ( počáteční délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem ( průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% střední hodnoty).<br><sup>2)</sup> u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.<br><sup>3)</sup> pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.<br><sup>4)</sup> +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH - zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás směrem ke spodní hranici. |  |                         |                            |                   |                    |                       |                        |             |    |          |    |           |    |    |    |    |

Příloha 12 – Materiálový list pro ocel 14 220 [17]

| Přehled vlastností oceli 16MnCr5 ( 16MnCrS5 )   |  |         |   |                      |                      |             |  |    |  | 1.7131 (1.7139)                                    |                             |    |    |    |    |
|---|--|---------|---|----------------------|----------------------|-------------|--|----|--|--|-----------------------------|----|----|----|----|
| Druh oceli  | Nizkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel k cementování  |         |   |                      |                      |             |  |    |  |  |                             |    |    |    |    |
| TDP   | CSN EN 10084   |         |   |                      |                      |             |  |    |  |  |                             |    |    |    |    |
| Drívější označení   | 16MnCr5 ( 16MnCrS5 ) podle DIN 17210, 14 220 podle CSN   |         |   |                      |                      |             |  |    |  |  |                             |    |    |    |    |
| Charakteristika   | Nejčastěji používaná cementační ocel pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel. Prokaluje do hloubky ca 30 mm. Ve stavu kalení a popuštění je použitelná pro průměry do ca 35 mm. Je svařitelná a vhodně tepelně zpracovaná též dobře tvařitelná za studena. Přísadou bору (0,0008 až 0,0050%) se docílí zvýšené houževnatosti cementované vrstvy. |         |   |                      |                      |             |  |    |  |  |                             |    |    |    |    |
| Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)   | C  | Si max. | Mn                                      | P max.               | S <sup>1)</sup> max. | Cr          | Mo   | Ni | Al   |  |                             |    |    |    |    |
|   | 0,14-0,19  | 0,40    | 1,00 – 1,30                             | 0,035                | 0,035                | 0,80 – 1,10 | -  | -  | Při kontrované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně; není uvedeno v normě). |  |                             |    |    |    |    |
| Dovolené odchylky od složení tavby ve výrobku <sup>4)</sup>   | ± 0,02   | + 0,03  | ± 0,04                                  | + 0,005              | + 0,005              | ± 0,05      | -  | -  |  |  |                             |    |    |    |    |
| Mechanické vlastnosti v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) <sup>2)</sup> | Průměr v mm  |         | Re min. MPa                             |                      | Rm MPa               |             | A min %  |    | Z min %  |  | KCU min. J.cm <sup>-2</sup> |    |    |    |    |
|   | d ≤ 11   |         | 735                                     |                      | 1030 – 1375          |             | 8  |    | -  |  | 25                          |    |    |    |    |
|   | 11 < d ≤ 25  |         | 540                                     |                      | 785 – 1080           |             | 9  |    | -  |  | 30                          |    |    |    |    |
|   | 25 < d ≤ 40  |         | 490                                     |                      | 685 - 930            |             | 10   |    | -  |  | 30                          |    |    |    |    |
| Hodnoty tvrdosti HB pro stav :  | Zpracováno na stříhatelnost (S)  |         |   | Žháno na měkko (A)   |                      |             | Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)                        |    |  | Zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu (FP) |                             |    |    |    |    |
|   | max. 255   |         |   | max. 207             |                      |             | 156 - 207  |    |  | 140 - 187  |                             |    |    |    |    |
|   | Stav po válcování  |         |   | Stav po normalizaci  |                      |             | Žháno na globulární cement (vhodné pro tváření za studena) |    |  |  |                             |    |    |    |    |
|   | ca 250 <sup>5)</sup>   |         |   | ca 220 <sup>5)</sup> |                      |             | max. 178 <sup>5)</sup>                                     |    |  |  |                             |    |    |    |    |
| Prokalitelnost  | Druh   | Meze    | Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm |                      |                      |             |  |    |  |  |                             |    |    |    |    |
|   |  |         | Tvrdost v HRC                           |                      |                      |             |  |    |  |  |                             |    |    |    |    |
|   |  |         | 1,5                                     | 3                    | 5                    | 7           | 9  | 11 | 13   | 15   | 20                          | 25 | 30 | 35 | 40 |
|   | H  | max.    | 47                                      | 46                   | 44                   | 41          | 39   | 37 | 35   | 33   | 31                          | 30 | 29 | 28 | 27 |
|   |  | min.    | 39                                      | 36                   | 31                   | 28          | 24   | 21 | -  | -  | -                           | -  | -  | -  | -  |
| HH  | max.   | 47      | 46                                      | 44                   | 41                   | 39          | 37   | 35 | 33   | 31   | 30                          | 29 | 28 | 27 |    |
|   | min.   | 42      | 39                                      | 35                   | 32                   | 29          | 26   | 24 | 22   | 20   | -                           | -  | -  | -  |    |
| HL  | max.   | 44      | 43                                      | 40                   | 37                   | 34          | 32   | 30 | 28   | 26   | 25                          | 24 | 23 | 22 |    |
|   | min.   | 39      | 36                                      | 31                   | 28                   | 24          | 21   | -  | -  | -  | -                           | -  | -  | -  |    |

**Pásky prokalitelnosti**

**Popouštěcí křivka (referenční vzorek pr.10 mm)**

| Technologické vlastnosti |  |                   |                          |                                    |  |   |                                     |
|--------------------------|--|-------------------|--------------------------|------------------------------------|--|---|-------------------------------------|
| Tváření za tepla         | Doporučené rozměry teplot pro tváření za tepla : 1100 až 900 °C  |                   |                          |                                    |  |   |                                     |
| Tepelné zpracování       | Normalizační žhání °C  | Žhání na měkko °C | Isotermické žhání        | Teplota cementace °C <sup>5)</sup> | Teplota kalení na jádro °C <sup>5)</sup> | Teplota kalení na povrch °C <sup>5)</sup> | Teplota popouštění °C <sup>5)</sup> |
|                          | 880  | 650 až 700        | 850 až 950<br>650 1 hod. | 880 až 980                         | 860 – 900<br>olej, (voda)                | 780 až 820<br>olej, (voda)                | 150 až 200                          |
|                          | Uvedené podmínky jsou doporučené.<br><sup>a)</sup> při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku)<br><sup>b)</sup> druh ochlazovacího prostředku závisí na př. na tvaru výrobku a na podmínkách ochlazení.<br><sup>c)</sup> doba popouštění minimálně 1 hod. |                   |                          |                                    |  |   |                                     |
| Obrobitelnost            | Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 16MnCrS5 se zvýšeným obsahem S.   |                   |                          |                                    |  |   |                                     |
| Stříhatelnost            | Ocel 16MnCr5 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování.  |                   |                          |                                    |  |   |                                     |

<sup>1)</sup> Obsah síry u oceli 16MnCrS5 je 0,020 až 0,040% s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

<sup>2)</sup> Prokazují se na referenčním vzorku uvedených průměrů. Slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře po kalení a popuštění. Údaje jsou převzaty z literatury.

Re – mez kluzu, Rm – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční měřená délka Lo = 5,65√So), Z – kontrakce, KCU – nárazová práce, zkoušení těleso s U – vrubem (průměr ze tří zjištěných hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% střední hodnoty).

<sup>3)</sup> pro ocel objednanou bez požadavku na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

<sup>4)</sup> ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozboru tavby, ale nikoli obě současně.

<sup>5)</sup> Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084

Příloha 13 – Materiálový list pro ocel 14 221 [17]

| Přehled vlastností oceli 20MnCr5 ( 20MnCrS5 )  |  |                     |   |                                    |  |  |                                     |   | 1.7147 (1.7149)  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|--|--|---------------------|---|------------------------------------|--|--|-------------------------------------|---|--|----|----|----|----|----|----|--|--|--|
| Druh oceli   | Nizkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel k cementování  |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| TDP  | CSN EN 10084   |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Drívější označení  | 20MnCr5 ( 20MnCrS5 ) podle DIN 17210, 14 221 podle ČSN   |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Použití  | Středně namáhané díly motorových vozidel a strojní součásti určené k cementování s vyšší pevností v jádře. Prokaluje do hloubky ca 40 mm. V porovnání s 16MnCr5 má vyšší prokalitelnost a vyšší pevnost v jádře při nižší houževnatosti. |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Chemické složení v % hmot. ( rozbor tavby )  | C  | Si max.             | Mn                                      | P max.                             | S <sup>1)</sup> max.                     | Cr   | Mo                                  | Ni  | Al   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | 0,17 – 0,22  | 0,40                | 1,10 – 1,40                             | 0,035                              | 0,035                                    | 1,00 – 1,30  | -                                   | -   | Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně; není uvedeno v normě). |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Dovolené odchylky ve od rozboru tavby ve výrobku <sup>4)</sup>   | ± 0,02   | + 0,03              | ± 0,05                                  | + 0,005                            | + 0,005                                  | ± 0,05   | -                                   | -   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Mechanické hodnoty v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) <sup>2)</sup>   | Průměr mm  | Rp0,2 min MPa       |   |                                    | Rm MPa                                   | A min %  | Z min %                             | KCU min. J.cm <sup>-2</sup>                       |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | d ≤ 11   | 930                 |   |                                    | 1225 – 1570                              | 7  | -                                   | 18  |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | 11 < d ≤ 25  | 685                 |   |                                    | 930 – 1225                               | 8  | -                                   | 20  |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | 25 < d ≤ 40  | 540                 |   |                                    | 785 – 1080                               | 9  | -                                   | 25  |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Hodnoty tvrdosti HB pro stav :   | Zpracováno na stříhatelnost (S)  |                     | Žhánáno na měkko (A)                    |                                    |  | Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)                            |                                     | Zpracováno na feritiko-perlitickou strukturu (FP) |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | max. 255   |                     | max. 217                                |                                    |  | 170 - 217  |                                     | 152 - 201   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | Stav po válcování  |                     | Stav po normalizaci                     |                                    |  | Žhánáno na globulární cementit (vhodné pro tvárění za studena) |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | ca 260 <sup>5)</sup>   |                     | ca 240 <sup>5)</sup>                    |                                    |  | max. 185 <sup>5)</sup>   |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Prokalitelnost <sup>3)</sup>   | Druh   | Meze                | Vzdálenost od plochy kaleného žela v mm |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  |  |                     | Tvrdost v HRC                           |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | H  | max.                | 1,5                                     | 3                                  | 5  | 7  | 9                                   | 11  | 13   | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |  |  |  |
|  |  |                     | 49                                      | 49                                 | 48                                       | 46   | 43                                  | 42  | 41   | 39 | 37 | 35 | 34 | 33 | 32 |  |  |  |
|  |  | min.                | 41                                      | 39                                 | 36                                       | 33   | 30                                  | 28  | 26   | 25 | 23 | 21 | -  | -  | -  |  |  |  |
|  |  |                     | 49                                      | 49                                 | 48                                       | 46   | 43                                  | 42  | 41   | 39 | 37 | 35 | 34 | 33 | 32 |  |  |  |
|  | HH   | max.                | 44                                      | 42                                 | 40                                       | 37   | 34                                  | 33  | 31   | 30 | 28 | 26 | 25 | 24 | 23 |  |  |  |
|  |  |                     | 46                                      | 46                                 | 44                                       | 42   | 39                                  | 37  | 36   | 34 | 32 | 30 | 29 | 28 | 27 |  |  |  |
|  | HL   | min.                | 41                                      | 39                                 | 36                                       | 33   | 30                                  | 28  | 26   | 25 | 23 | 21 | -  | -  | -  |  |  |  |
|  |  |                     | 41                                      | 39                                 | 36                                       | 33   | 30                                  | 28  | 26   | 25 | 23 | 21 | -  | -  | -  |  |  |  |
|  |  |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  |  |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| <b>Technologické vlastnosti</b>  |  |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Tváření za tepla   | Doporučené rozmezí teplot pro tvárění za tepla : 1100 až 900 °C  |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Tepelné zpracování   | Normalizační žhánání °C  | Žhánání na měkko °C | Isotermické žhánání °C                  | Teplota cementace °C <sup>a)</sup> | Teplota kalení na jádro °C <sup>b)</sup> | Teplota kalení na povrch °C <sup>b)</sup>                      | Teplota popouštění °C <sup>c)</sup> | Teplota kalení pro Jominyho zkoušku               |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | 860  | 650 až 700          | 850 až 950<br>650 1 hod.                | 880 až 980                         | 860 – 900<br>olej (voda)                 | 780 až 820<br>olej (voda)                                      | 150 až 200                          | 870 (prodleva ca 0,5 h )                          |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|  | Body přeměny : Ac <sub>1</sub> ~ 730°C, Ac <sub>3</sub> ~ 830°C, Ms (základní materiál) ~ 390°C, Ms (cementovaná vrstva) ~ 200°C   |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Uvedené podmínky jsou doporučené.<br><sup>a)</sup> při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku).<br><sup>b)</sup> druh ochlazovacího prostředku závisí na př. na tvaru výrobku a na podmínkách ochlazování.<br><sup>c)</sup> doba popouštění minimálně 1 hod.  |  |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Obrobitelnost  | Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 20MnCrS5 se zvýšeným obsahem S.   |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| Stříhatelnost  | Ocel je stříhatelná za studena ve stavu po válcování   |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| <sup>1)</sup> Obsah síry u oceli 20MnCrS5 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou úchytkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.<br><sup>2)</sup> Slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře referenčního vzorku odpovídajícího průřezu po kalení a popuštění. Údaje jsou převzaty z literatury.<br>Rp0,2 – mez 0,2; Rm – pevnost v tahu; A – tažnost (počáteční měřená délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ); KCU – nárazová práce, zkušební těleso KCU s U-vrubem.<br><sup>3)</sup> Pro ocel objednanou bez požadavku na prokalitelnost jsou hodnoty informativní.<br><sup>4)</sup> ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně.<br><sup>5)</sup> Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084. |  |                     |   |                                    |  |  |                                     |   |  |    |    |    |    |    |    |  |  |  |

Příloha 14 – Materiálový list pro ocel 16 220 [17]

| Přehled vlastností oceli 17CrNi6-6   |   |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  | 1.5918   |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|--|---|-------------------|---|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------|--|--|----|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|
| Druh oceli   | Středně legovaná ušlechtilá chrom - niklová ocel k cementování  |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| TDP  | CSN EN 10084  |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Dřívější označení  | 15CrNi6 podle DIN 17210, vlastnostmi přibližně odpovídá 16 220 podle ČSN  |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Charakteristika  | Velmi namáhané strojní součásti s cementovaným povrchem a s vyšší pevností a houževnatostí v jádře. Prokaluje do hloubky asi 50 mm.   |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)  | C   | Si max.           | Mn                                      | P max.               | S max.                        | Cr                             | Mo   | Ni                              | Al   |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | 0,14 - 0,20   | 0,40              | 0,50 - 0,90                             | 0,035                | 0,035                         | 1,40 - 1,70                    | -  | 1,40 - 1,70                     | Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativní; není uvedeno v normě). |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Dovolené odchylky od rozboru tavby ve výrobku <sup>3)</sup>  | ± 0,02  | + 0,03            | ± 0,04                                  | + 0,005              | + 0,005                       | ± 0,05                         | -  | ± 0,05                          |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Mechanické vlastnosti v jádře referenčního vzorku po kalení a popouštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) <sup>1)</sup>   | Průměr mm   | Rp0,2 min MPa     |   |                      | Rm MPa                        |                                | A min %  |                                 | Z min %  | KCU min. J.cm <sup>-2</sup>                        |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | d ≤ 11  | 980               |   |                      | 1270 - 1570                   |                                | 8  |                                 | -  | 25   |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | 11 < d ≤ 25   | 840               |   |                      | 1030 - 1320                   |                                | 9  |                                 | -  | 30   |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | 25 < d ≤ 50   | 740               |   |                      | 930 - 1180                    |                                | 10   |                                 | -  | 30   |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | 50 < d ≤ 100  | 650               |   |                      | 840 - 1080                    |                                | 11   |                                 | -  | 30   |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Hodnoty tvrdosti HB pro stav :   | Zpracováno na stříhatelnost (stav S)  |                   |   | Žháněno na měkko (A) |                               |                                | Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)                            |                                 |  | Zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu (FP) |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | max. 255  |                   |   | max. 229             |                               |                                | 175 - 229  |                                 |  | 156 - 207  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | Stav po válcování   |                   |   | Stav po normalizaci  |                               |                                | Žháněno na globulární cementit (vhodné pro tváření za studena) |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | ca 270 <sup>4)</sup>  |                   |   | ca 260 <sup>4)</sup> |                               |                                | max. 178 <sup>4)</sup>   |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Prokalitelnost <sup>2)</sup>   | Druh  | Meze              | Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  |   |                   | Tvrdost v HRC                           |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | H   | max.              | 47                                      | 47                   | 46                            | 45                             | 43   | 42                              | 41   | 39   | 37 | 35 | 34 | 34 | 33 |  |  |  |  |  |  |
|  |   | min.              | 39                                      | 38                   | 36                            | 35                             | 32   | 30                              | 28   | 26   | 24 | 22 | 21 | 20 | 20 |  |  |  |  |  |  |
|  | HH  | max.              | 47                                      | 47                   | 46                            | 45                             | 43   | 42                              | 41   | 39   | 37 | 35 | 34 | 34 | 33 |  |  |  |  |  |  |
| min.   |   | 42                | 41                                      | 39                   | 38                            | 36                             | 34   | 32                              | 30   | 28   | 26 | 25 | 25 | 24 |    |  |  |  |  |  |  |
| HL   | max.  | 44                | 44                                      | 43                   | 42                            | 39                             | 38   | 37                              | 35   | 33   | 31 | 30 | 29 | 29 |    |  |  |  |  |  |  |
|  | min.  | 39                | 38                                      | 36                   | 35                            | 32                             | 30   | 28                              | 26   | 24   | 22 | 21 | 20 | 20 |    |  |  |  |  |  |  |
|  |   |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Technologické vlastnosti   |   |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Tváření za tepla   | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 900 °C   |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Tepelné zpracování   | Normalizační žhání °C   | Žhání na měkko °C | Isotermické žhání °C                    | Teplota cementace a) | Teplota kalení na jádro °C b) | Teplota kalení na vrstvu °C b) | Teplota popouštění °C c)                                       | Teplota kalení pro Jominyho zk. |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | 850   | 600 až 680        | 850 až 950<br>650 - 2 hod.              | 880 až 980           | 830 - 870<br>olej             | 780 až 820<br>olej             | 150 až 200   | 870 (proleva<br>ca 0,5 h)       |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
|  | Body průměry : Ac <sub>1</sub> ~ 735°C, Ac <sub>3</sub> ~ 810°C, Ms (základní materiál) ~ 370°C, Ms (cementovaná vrstva) ~ 180°C<br>Uvedené podmínky jsou doporučené.<br>a) při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku).<br>b) mimo oleje přichází v úvahu i teplá lázeň 160 až 250° C. Způsob ochlazení závisí na tvaru výrobku s ohledem na možnou deformaci po kalení.<br>c) doba popouštění minimálně 1 hod. |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Obrobitelnost  | Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP případně stav A   |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| Stříhatelnost  | Ocel je stříhatelná za studena ve stavu žháněm  |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |
| <sup>1)</sup> slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře odpovídajícího průřezu referenčního vzorku po kalení a popouštění.<br><sup>2)</sup> Rp0,2 - mez 0,2; Rm - pevnost v tahu; A - tažnost (počáteční délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ); KCU - nárazová práce, zkušební těleso KCU s U-vrubem<br><sup>3)</sup> ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně.<br><sup>4)</sup> Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084. |   |                   |   |                      |                               |                                |  |                                 |  |  |    |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |

Příloha 15 – Materiálový list pro ocel 16 420 [17]

| Přehled vlastností oceli 15NiCr13  |  |         |   |                      |             |             |   |             |  | 1.5752   |                             |    |    |    |    |  |
|--|--|---------|---|----------------------|-------------|-------------|---|-------------|--|--|-----------------------------|----|----|----|----|--|
| Druh oceli   | Středně legovaná ušlechtlá niki - chromová ocel k cementování  |         |   |                      |             |             |   |             |  |  |                             |    |    |    |    |  |
| TDP  | CSN EN 10084   |         |   |                      |             |             |   |             |  |  |                             |    |    |    |    |  |
| Drívější označení  | 14CrNi14 podle DIN 17210, vlastnostmi přibližně odpovídá 16 420 podle ČSN  |         |   |                      |             |             |   |             |  |  |                             |    |    |    |    |  |
| Charakteristika  | Velmi namáhané cementované strojní součásti s vyšší pevností a vysokou houževnatostí v jádře. Je zvláště vhodná pro součásti dynamicky namáhané. Vyznačuje se též vysokou mezí únavy při střídavém způsobu namáhání. Prokaluje do hloubky asi 50 mm. |         |   |                      |             |             |   |             |  |  |                             |    |    |    |    |  |
| Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)  | C  | Si max. | Mn                                      | P max.               | S max.      | Cr          | Mo  | Ni          | Al   |  |                             |    |    |    |    |  |
|  | 0,14 - 0,20  | 0,40    | 0,40 - 0,70                             | 0,035                | 0,035       | 0,60 - 0,90 | -   | 3,00 - 3,50 | Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně; není uvedeno v normě). |  |                             |    |    |    |    |  |
| Dovolené odchylky ve výrobku od rozboru tavby <sup>3)</sup>  | ± 0,02   | + 0,03  | ± 0,04                                  | + 0,005              | + 0,005     | ± 0,05      | -   | ± 0,07      |  |  |                             |    |    |    |    |  |
| Mechanické hodnoty v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) <sup>1)</sup> | Průměr mm  |         | Rp0,2 min. MPa                          |                      | Rm MPa      |             | A min. %  |             | Z min. %   |  | KCU min. J.cm <sup>-2</sup> |    |    |    |    |  |
|  | d ≤ 11   |         | 880                                     |                      | 1130 - 1420 |             | 9   |             | -  |  | 30                          |    |    |    |    |  |
|  | 11 < d ≤ 25  |         | 785                                     |                      | 1030 - 1280 |             | 10  |             | -  |  | 35                          |    |    |    |    |  |
|  | 25 < d ≤ 50  |         | 735                                     |                      | 930 - 1180  |             | 11  |             | -  |  | 35                          |    |    |    |    |  |
|  | 50 < d ≤ 100   |         | 640                                     |                      | 840 - 980   |             | 11  |             | -  |  | 35                          |    |    |    |    |  |
| Hodnoty tvrdosti HB pro stav :   | Zpracováno na stříhatelnost (stav S)   |         |   | Žiháno na měkko (A)  |             |             | Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)                           |             |  | Zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu (FP) |                             |    |    |    |    |  |
|  | max. 255   |         |   | max. 229             |             |             | 179 - 229   |             |  | 166 - 217  |                             |    |    |    |    |  |
|  | Stav po válcování  |         |   | Stav po normalizaci  |             |             | Žiháno na globulární cementit (vhodné pro tváření za studena) |             |  |  |                             |    |    |    |    |  |
|  | ca 260 <sup>4)</sup>   |         |   | ca 250 <sup>4)</sup> |             |             |   |             |  | max. 180 <sup>4)</sup>                             |                             |    |    |    |    |  |
| Prokalitelnost <sup>2)</sup>   | Druh   | Meze    | Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm |                      |             |             |   |             |  |  |                             |    |    |    |    |  |
|  |  |         | Tvrdost v HRC                           |                      |             |             |   |             |  |  |                             |    |    |    |    |  |
|  | H  | max.    | 48                                      | 48                   | 48          | 47          | 45  | 44          | 42   | 41   | 38                          | 35 | 34 | 34 | 33 |  |
|  |  | min.    | 41                                      | 41                   | 41          | 40          | 38  | 36          | 33   | 30   | 24                          | 22 | 22 | 21 | 21 |  |
|  | HH   | max.    | 48                                      | 48                   | 48          | 47          | 45  | 44          | 42   | 41   | 38                          | 35 | 34 | 34 | 33 |  |
|  |  | min.    | 43                                      | 43                   | 43          | 42          | 40  | 39          | 36   | 34   | 29                          | 26 | 26 | 25 | 25 |  |
|  | HL   | max.    | 46                                      | 46                   | 46          | 45          | 43  | 41          | 38   | 37   | 33                          | 31 | 30 | 30 | 29 |  |
|  |  | min.    | 41                                      | 41                   | 41          | 40          | 38  | 36          | 33   | 30   | 24                          | 22 | 22 | 21 | 21 |  |

**Pásky prokalitelnosti**

**Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)**

| Technologické vlastnosti   |  |                    |                          |                      |  |   |
|--|--|--------------------|--------------------------|----------------------|--|---|
| Tváření za tepla   | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 900 °C  |                    |                          |                      |  |   |
| Tepelné zpracování   | Normalizační žihání °C   | Žihání na měkko °C | Isotermické žihání       | Teplota cementace °C | Teplota kalení na jádro °C <sup>b)</sup> | Teplota kalení na povrch °C <sup>b)</sup> |
|  | 850  | 600 až 640         | 820 až 930<br>620 2 hod. | 880 až 980           | 840 - 880olej                            | 780 až 820olej                            |
|  | Bodů přeměny : Ac <sub>1</sub> ~ 715°C, Ac <sub>3</sub> ~ 790°C, Ms (základní materiál) ~ 360°C, Ms (cementovaná vrstva) ~ 170°C |                    |                          |                      |  |   |
| Uvedené podmínky jsou doporučené.  |  |                    |                          |                      |  |   |
| <sup>a)</sup> při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší.  |  |                    |                          |                      |  |   |
| <sup>b)</sup> mimo oleje přichází v úvahu i teplota lázeň 160 až 250° C. Způsob ochlazování závisí na tvaru výrobku s ohledem na možnou deformaci po kalení. |  |                    |                          |                      |  |   |
| <sup>c)</sup> doba popouštění minimálně 1 hod.   |  |                    |                          |                      |  |   |
| Obrobitelnost  | Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP po případě stav A.   |                    |                          |                      |  |   |
| Stříhatelnost  | Ocel je stříhatelná za studena ve stavu žiháném nebo po válcování řízeně vychlazovaném z dotvářecí teploty.                      |                    |                          |                      |  |   |

<sup>1)</sup> slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře odpovídajícího průřezu referenčního vzorku po kalení a popuštění.  
<sup>2)</sup> Rp0,2 - mez 0,2 Rm - pevnost v tahu A - tažnost (počáteční délka L<sub>0</sub> = 5,65√S<sub>0</sub>) KCU - nárazová práce, zkušební těleso KCU s U-vrubem.  
<sup>3)</sup> pro ocel objednanou bez požadavku na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.  
<sup>4)</sup> ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně.  
<sup>5)</sup> Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084.



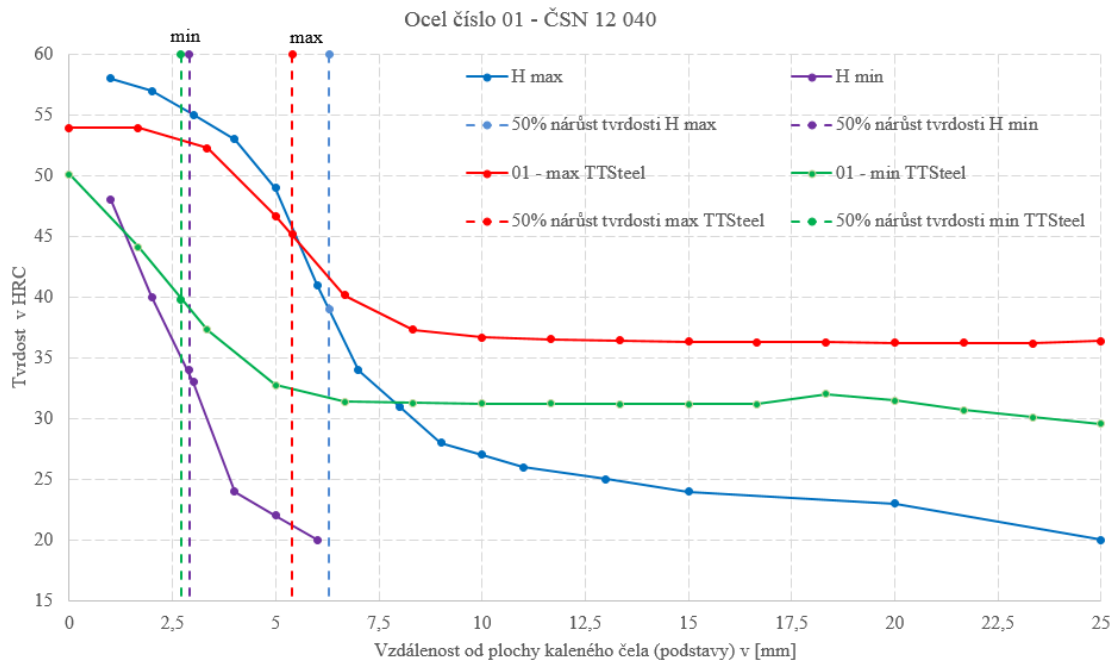
Příloha 16 – Materiálový list pro ocel 18CrNiMo7-6 [17]

| Přehled vlastností oceli 18CrNiMo7-6  |   |                   |   |   |  |   |  |  |  | 1.6587   |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|-------------------|---|---|--|---|--|--|--|--|-----------------------------|----|----|----|----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Druh oceli  | Středně legovaná ušlechtlá chrom-nikl-molybdenová ocel k cementování  |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| TDP   | CSN EN 10084  |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Dřívější označení   | 17CrNiMo6 podle DIN 17210   |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Charakteristika   | Velmi namáhané strojní součásti s cementovaným povrchem. Cementovaná vrstva po tepelném zpracování dosahuje na povrchu tvrdosti 62 až 64 HRC, zatímco jádro cementované součásti je i při relativně vysoké pevnosti značně houževnaté. Přísada Mo zvyšuje prokalitelnost, Ocel prokaluje do hloubky přibližně 60 mm. Je vhodná pro dynamicky namáhané součásti.   |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)   | C   | Si max.           | Mn                                      | P max.                                      | S max.                                   | Cr  | Mo   | Ni                                     | Al   |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | 0,15 - 0,21   | 0,40              | 0,50 - 0,90                             | 0,035                                       | 0,035                                    | 1,50 - 1,80                               | 0,25 - 0,35  | 1,40 - 1,70                            | Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně, není uvedeno v normě). |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Dovolené odchylky ve výrobku od rozboru tavby <sup>3)</sup>   | ± 0,02  | + 0,03            | ± 0,04                                  | + 0,005                                     | + 0,005                                  | ± 0,05                                    | ± 0,03 <sup>5)</sup>   | ± 0,05                                 |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Mechanické vlastnosti v jádře referenčního vzorku po kalení a popouštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) <sup>1)</sup>  | Průměr mm   |                   | Rp0,2 min MPa                           |   | Rm MPa                                   |   | A min %  |  | Z min %  |  | KCU min. J.cm <sup>-2</sup> |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | d ≤ 11  |                   | 980                                     |   | 1230 - 1520                              |   | 9  |  | -  |  | 30                          |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | 11 < d ≤ 25   |                   | 735                                     |   | 980 - 1320                               |   | 9  |  | -  |  | 35                          |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | 25 < d ≤ 50   |                   | 640                                     |   | 885 - 1080                               |   | 10   |  | -  |  | 35                          |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 50 < d ≤ 100  |   | 490               |   | 685 - 980                                   |  | 11  |  | -                                      |  | 35   |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Hodnoty tvrdosti HB pro stav :  | Zpracováno na stříhatelnost (stav S)  |                   |   | Žháno na měkko (A)                          |  |   | Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)                          |  |  | Zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu (FP) |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | max. 255  |                   |   | max. 229                                    |  |   | 179 - 229  |  |  | 159 - 207  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Stav po válcování<br>ca 270 <sup>4)</sup>   |                   |   | Stav po normalizaci<br>ca 260 <sup>4)</sup> |  |   | Žháno na globulární cementit (vhodné pro tvárění za studena) |  |  | max. 180 <sup>4)</sup>                             |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Prokalitelnost <sup>2)</sup>  | Druh  | Meze              | Vzdálenost od plochy kaleného žela v mm |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |   |                   | Tvrdost v HRC                           |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | H   | max.              | 1,5                                     | 3   | 5  | 7   | 9  | 11                                     | 13   | 15   | 20                          | 25 | 30 | 35 | 40 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |   | min.              | 48                                      | 48  | 48                                       | 48  | 47   | 47                                     | 46   | 46   | 44                          | 43 | 42 | 41 | 41 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | HH  | max.              | 40                                      | 40  | 39                                       | 38  | 37   | 36                                     | 35   | 34   | 32                          | 31 | 30 | 29 | 29 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| min.  |   | 48                | 48                                      | 48  | 48                                       | 47  | 47   | 46                                     | 46   | 44   | 43                          | 42 | 41 | 41 |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| HL  | max.  | 43                | 43                                      | 42  | 41                                       | 40  | 40   | 39                                     | 38   | 36   | 35                          | 34 | 33 | 33 |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | min.  | 45                | 45                                      | 45  | 45                                       | 44  | 43   | 42                                     | 42   | 40   | 39                          | 38 | 37 | 37 |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |   | min.              | 40                                      | 40  | 39                                       | 38  | 37   | 36                                     | 35   | 34   | 32                          | 31 | 30 | 29 | 29 |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   |   |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Technologické vlastnosti  |   |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tváření za tepla  | Doporučené rozmezí teplot pro tvárění za tepla : 1100 až 900 °C   |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Tepelné zpracování  | Normalizační žhání °C   | Žhání na měkko °C | Isotermické žhání °C                    | Teplota cementace °C                        | Teplota kalení na jádro °C <sup>b)</sup> | Teplota kalení na vrstvu °C <sup>b)</sup> | Teplota popouštění °C <sup>c)</sup>                          | Teplota kalení pro Jominyho zkoušku °C |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | 850   | 600 až 680        | 850 až 950<br>640 - 3 hod.              | 880 až 980                                  | 830 - 870<br>olej                        | 780 až 820<br>olej                        | 150 až 200   | 860 ( prodlava<br>ca 0,5 h )           |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Body přeměny : Ac <sub>1</sub> ~ 735°C, Ac <sub>3</sub> ~ 810°C, Ms (základní materiál) ~ 360°C, Ms ( cementovaná vrstva ) ~ 180°C<br>Uvedené podmínky jsou doporučené.<br><sup>a)</sup> při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku).<br><sup>b)</sup> mimo oleje přichází v úvahu i teplota lázeň 160 až 250° C. Způsob ochlazování závisí na tvaru výrobku s ohledem na možné deformace po kalení.<br><sup>c)</sup> doba popouštění minimálně 1 hod. |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Obrobitelnost   | Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP po případě stav A   |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Stříhatelnost   | Ocel je stříhatelná za studena ve stavu žháném  |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <sup>1)</sup> Slouží k průkazů dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře odpovídajícího průřezu referenčního vzorku po kalení a popouštění.<br>Rp0,2 - mez 0,2; Rm - pevnost v tahu; A - tažnost (počáteční délka L <sub>0</sub> = 5,65√S <sub>0</sub> ); KCU - nárazová práce, zkušební těleso KCU s U-vrubem.<br><sup>2)</sup> Pro ocel objednanou bez požadavku na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.<br><sup>3)</sup> ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně.<br><sup>4)</sup> Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084.<br><sup>5)</sup> Pro Mo>0,30% je odchylka ± 0,04% |   |                   |   |   |  |   |  |  |  |  |                             |    |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |

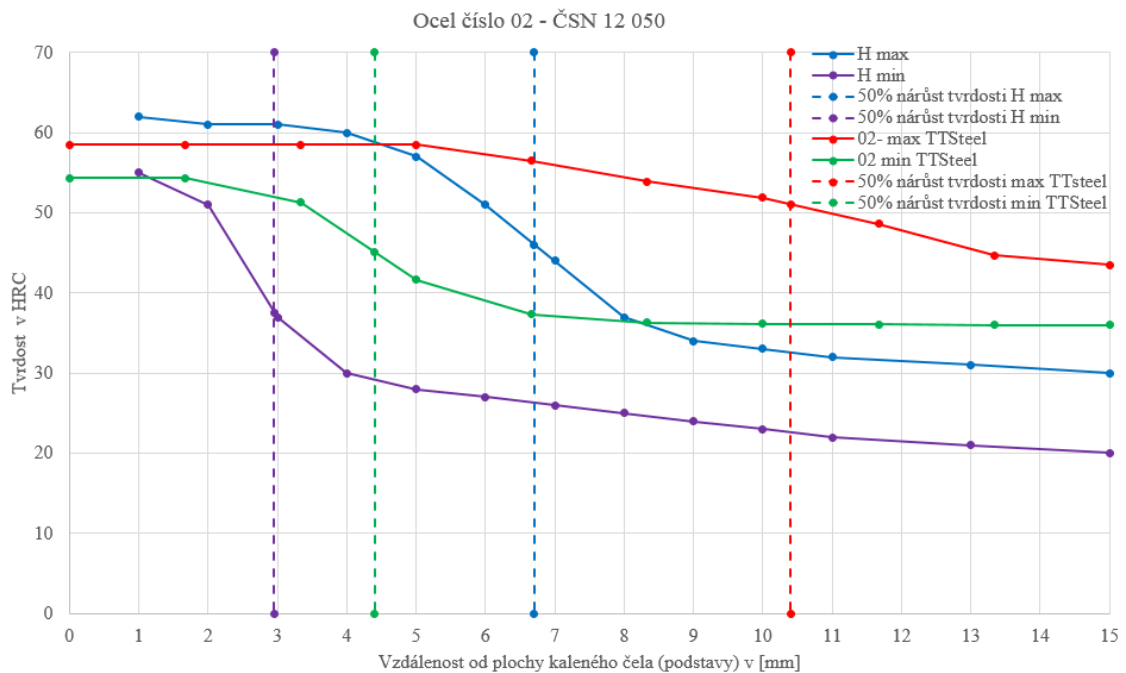
Příloha 17 – Materiálový list pro ocel 31CrMoV9 [17]

| Přehled vlastností oceli 31CrMoV9   |   | 1.8519              |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
|---|---|---------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|------|------|----|------|----|------|----|
| Druh oceli  | Středně legovaná ušlechtilá chrom – molybden - vanadová ocel k nitrlování   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| TDP   | EN 10085  |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Dřívější označení   | 31CrMoV9 podle DIN 17 211   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Použití   | Strojní díly určené k nitrlování. Vyznačuje se vyšší pevností při dostatečné houževnatosti ve stavu po zušlechtnění. Vysoká prokalitelnost dovoluje ocel použít i pro rozměšší strojní díly. Nitrlovací vrstva dosahuje tvrdosti ca 800 HV1, je odolná proti opotřebení a korozi v méně agresivních prostředích. Nitrlování se též docílí zvýšením meze únavy povrchové vrstvy při střídavém namáhání. Ocel lze použít i jako ocel k zušlechťování bez následné nitrlování. |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)   | C   | Si                  | Mn                              | P                | S                                   | Cr                            | Mo          | V           | Al   |      |    |      |    |      |    |
|   | 0,27 – 0,34   | max. 0,40           | 0,40 – 0,70                     | max. 0,025       | max. 0,035                          | 2,30 – 2,70                   | 0,15 – 0,25 | 0,10 – 0,20 | -    |      |    |      |    |      |    |
| Složení hotového výrobku  | 0,25 – 0,36   | max. 0,43           | 0,36 – 0,74                     | max. 0,030       | max. 0,040                          | 2,20 – 2,80                   | 0,12 – 0,28 | 0,08 – 0,22 | -    |      |    |      |    |      |    |
| Mechanické vlastnosti v zušlechtněném stavu. <sup>1)</sup>  | Průměr mm   | Re min MPa          |                                 | Rm MPa           |                                     | A min %                       | Z min %     | KV min. J   |      |      |    |      |    |      |    |
|   | 16 < d ≤ 40   | 900                 |                                 | 1100 - 1300      |                                     | 9                             | -           | 25          |      |      |    |      |    |      |    |
|   | 40 < d ≤ 100  | 800                 |                                 | 1000 - 1200      |                                     | 10                            | -           | 30          |      |      |    |      |    |      |    |
|   | 100 < d ≤ 160   | 700                 |                                 | 900 - 1100       |                                     | 11                            | -           | 35          |      |      |    |      |    |      |    |
|   | 160 < d ≤ 250   | 650                 |                                 | 850 - 1050       |                                     | 12                            | -           | 40          |      |      |    |      |    |      |    |
| Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :   | Zpracováno na stříhatelnost<br>HB max. 255  |                     |                                 |                  |                                     | Žháný na měkko<br>HB max. 246 |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Prokalitelnost <sup>2)</sup>  | Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
|   | Tvrdost v HRC   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
|   | Mez   | 1,5                 | 3                               | 5                | 7                                   | 9                             | 11          | 13          | 15   | 20   | 25 | 30   | 35 | 40   | 45 |
| Max.  | 55  | 55                  | 55                              | 55               | 55                                  | 55                            | 55          | 55          | 54,5 | 54   | 54 | 53,5 | 53 | 52,5 | 52 |
| Min.  | 48  | 47,5                | 47                              | 47               | 46,5                                | 46                            | 45,5        | 45,5        | 45   | 44,5 | 44 | 43,5 | 43 | 42,5 | 42 |
| Popouštěcí křivka (referenční vzorek pr. 10 mm)   |   | Pás prokalitelnosti |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
|   |   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| <b>Technologické vlastnosti</b>   |   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Tváření za tepla  | Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1050 až 850 °C   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Tepelné zpracování  | Normalizační žhání °C   | Žhání na měkko °C   | Teplota kalení °C <sup>3)</sup> | Kalící prostředí | Teplota popouštění °C <sup>4)</sup> | Nitrlování °C <sub>5)</sub>   |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
|   | 870 až 900  | 680 až 720          | 870 až 930                      | olej nebo voda   | 580 až 700                          | 480 až 570                    |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Uvedené podmínky jsou doporučené. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechtnění u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žhání před zušlechtněním. Jako kalícího prostředí lze použít i roztoky syntetických polymerů. Výchozím stavem pro nitrlování je stav zušlechtněný.  |   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| <sup>3)</sup> prodleva na austenitizační teplotě min. 0,5 h, <sup>4)</sup> prodleva na popouštěcí teplotě min. 1 h. Teplota popouštění by měla být vyšší min. o 50°C než teplota nitrlování. <sup>5)</sup> prodleva na teplotě závislá na požadované hloubce nitrlovací vrstvy.<br>Teploty přeměn: Ac <sub>1</sub> přibližně 790° C, Ac <sub>3</sub> přibližně 845° C   |   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Obrobitelnost   | Obrabí se ve stavu žháněném na měkko. Díly se zpravidla nejprve předhrubují ve stavu žháněném a dokončí po zušlechtnění. Nitrlování se provádí na opracovaném povrchu.  |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| Stříhatelnost   | Dělení stříháním za studena lze provádět ve stavu žháněném.   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |
| <sup>1)</sup> uvedené hodnoty musí být dosažitelné po zušlechtnění též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žháněném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru.<br>Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.<br>Re –mez kluzu, Rm – pevnost v tahu, A – tažnost ( počáteční délka Lo = 5,65√So ), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem.<br><sup>2)</sup> hodnoty prokalitelnosti jsou informativní. Norma EN 10085 hodnoty prokalitelnosti neuvádí. |   |                     |                                 |                  |                                     |                               |             |             |      |      |    |      |    |      |    |

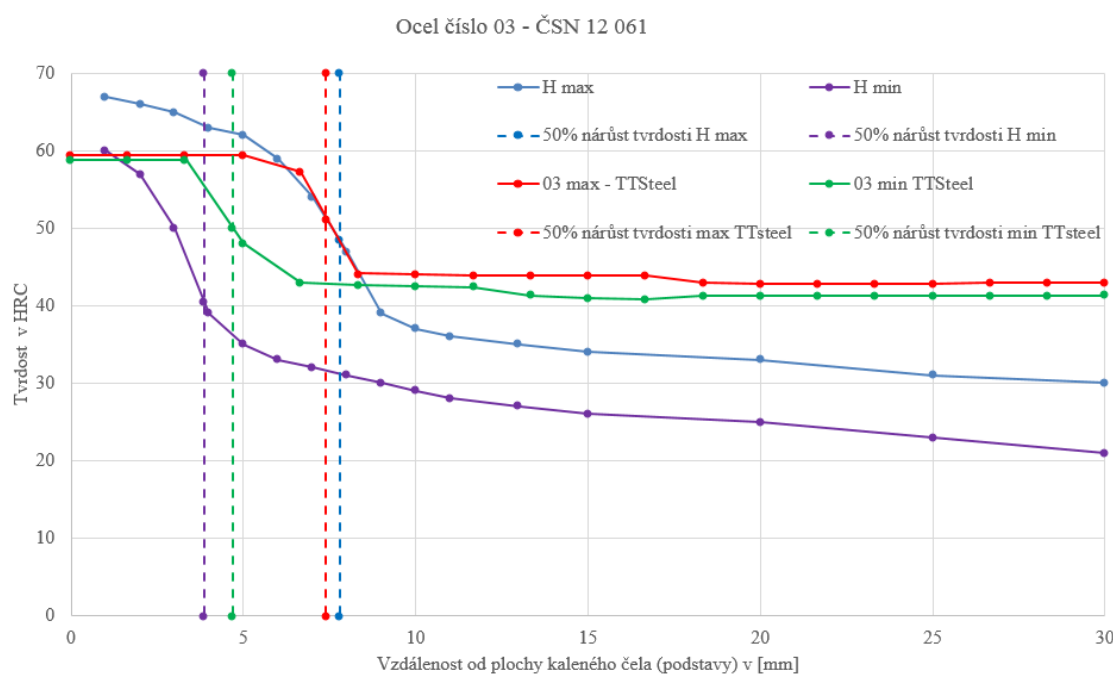
Příloha 18 – Ocel 12 040 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



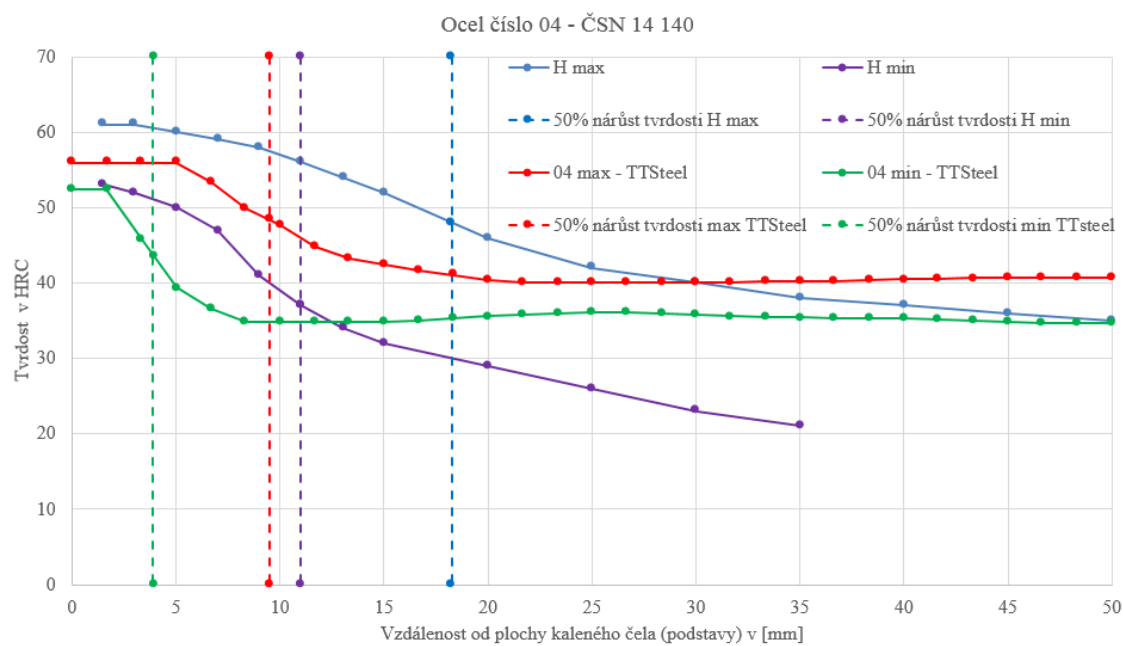
Příloha 19 – Ocel 12 050 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



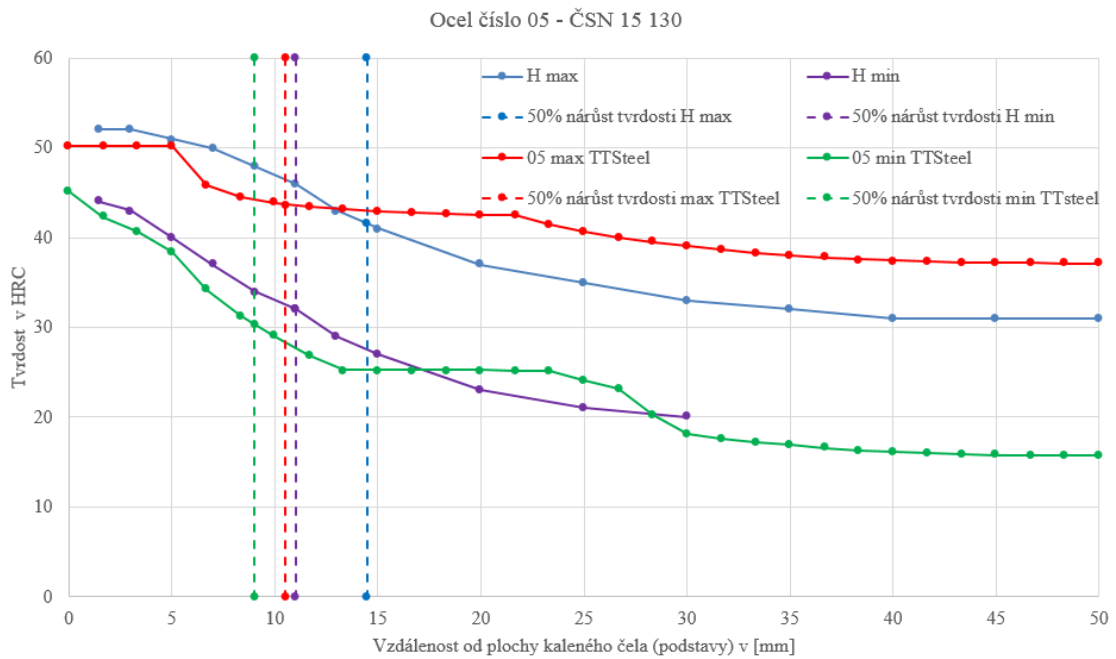
Příloha 20 – Ocel 12 061 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



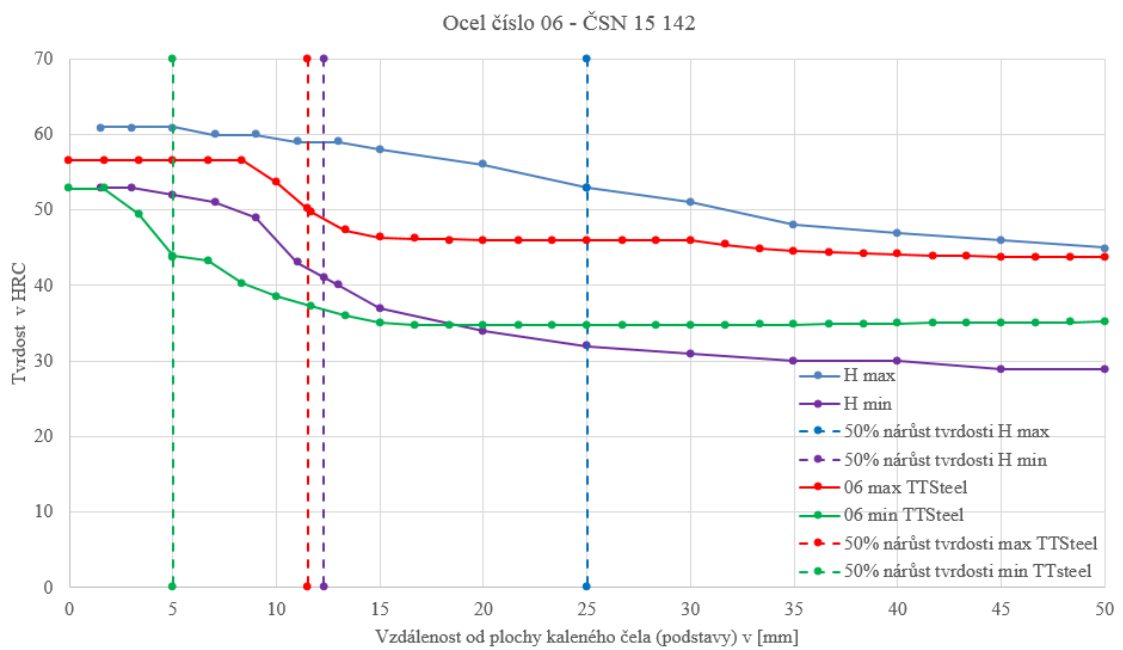
Příloha 21 – Ocel 14 140 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



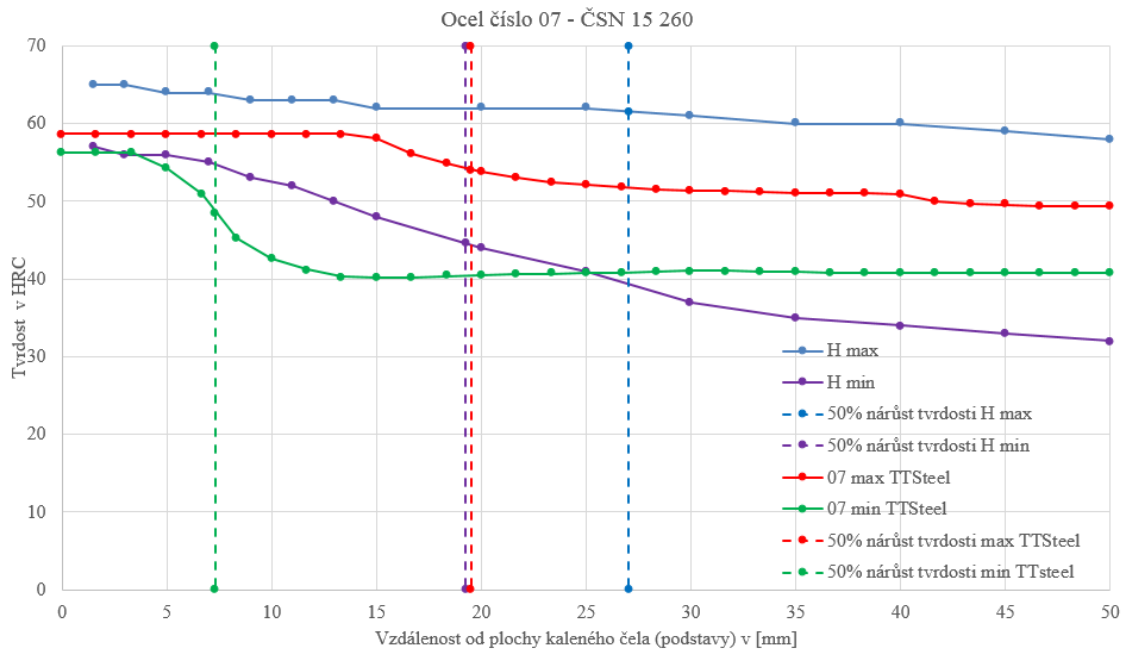
Příloha 22 – Ocel 15 130 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



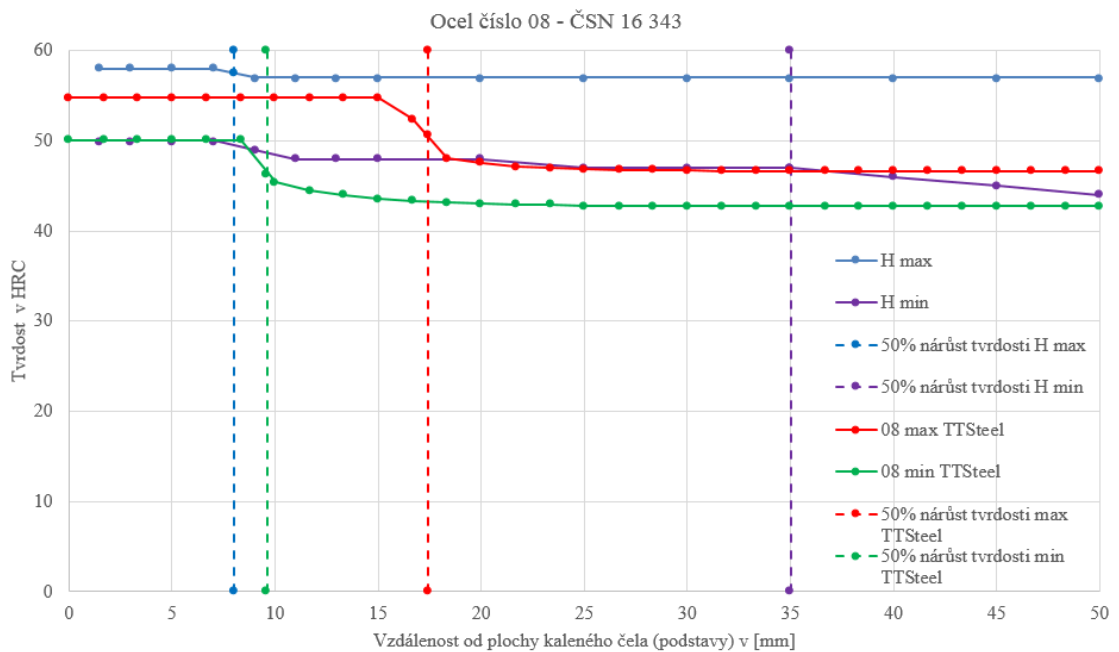
Příloha 23 – Ocel 15 142 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



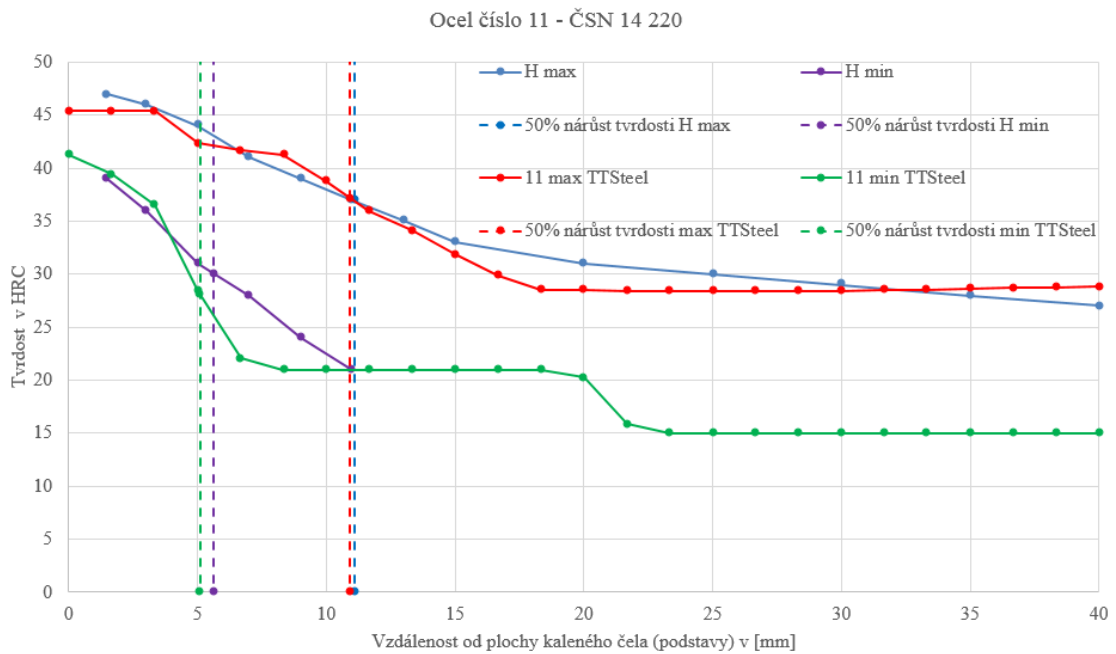
Příloha 24 – Ocel 15 260 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



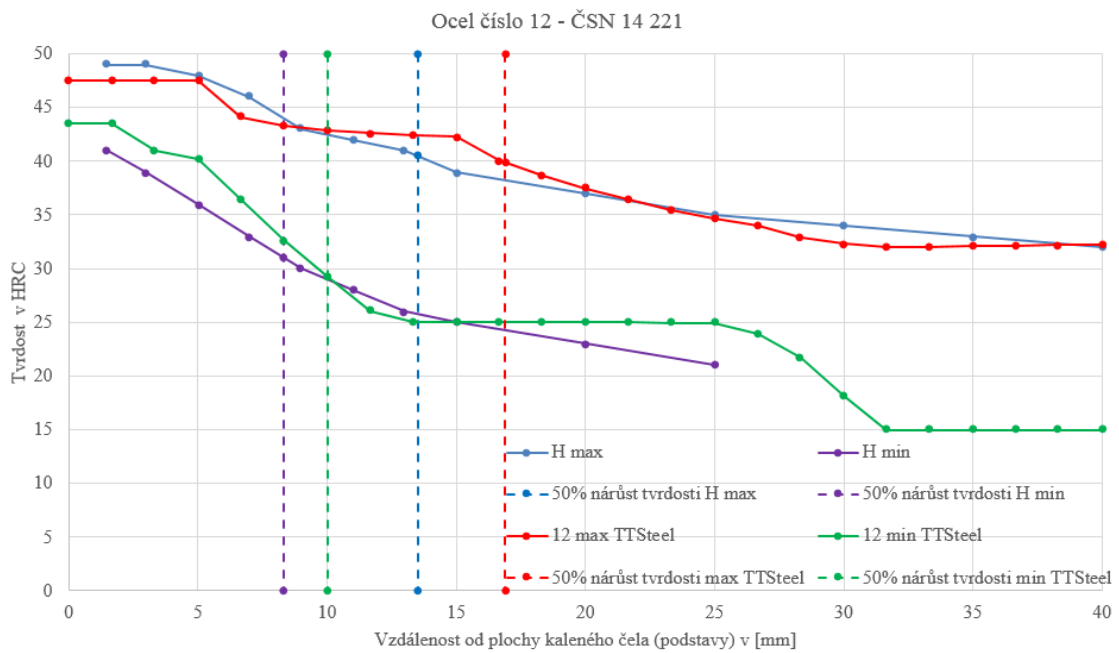
Příloha 25 – Ocel 16 343 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



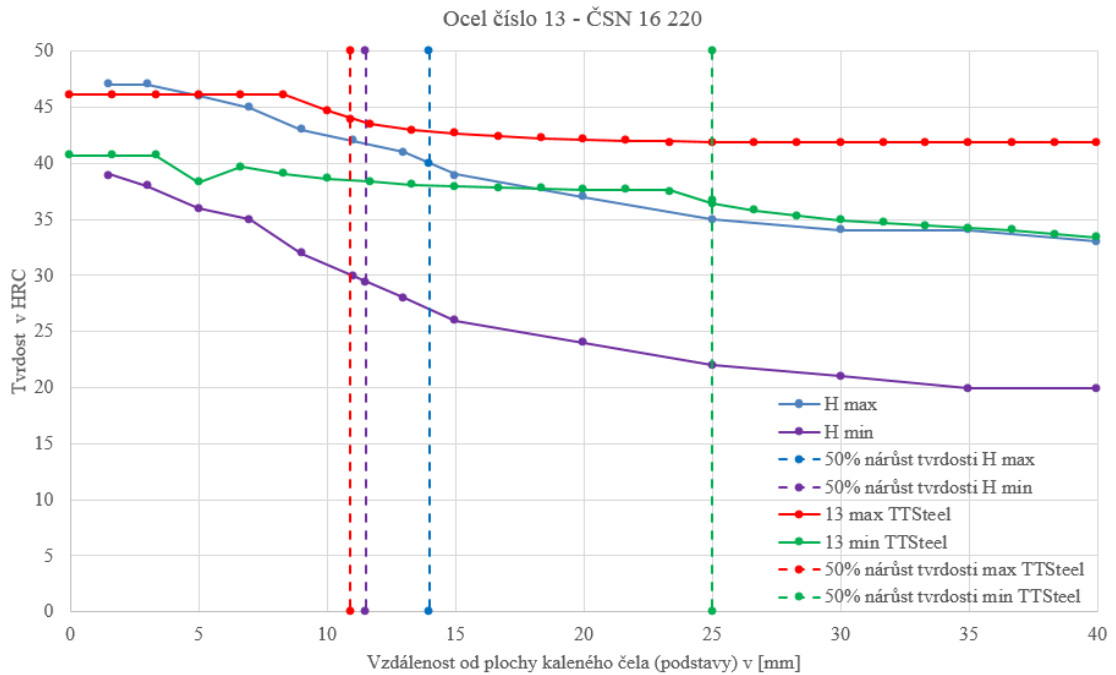
Příloha 26 – Ocel 14 220 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



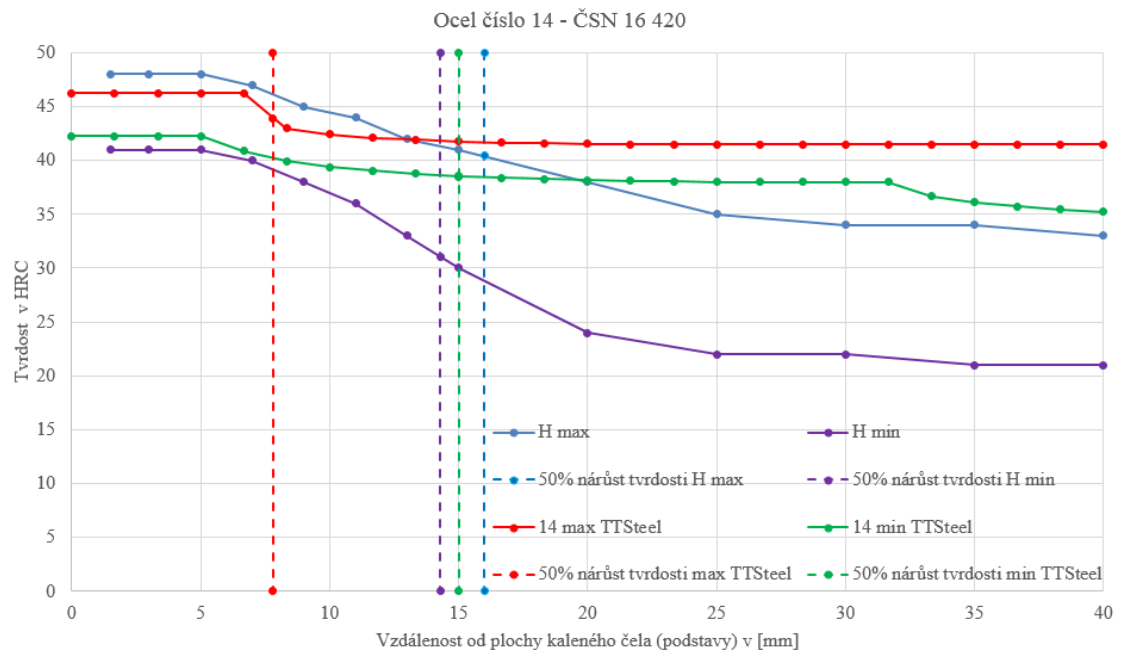
Příloha 27 – Ocel 14 221 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



Příloha 28 – Ocel 16 220 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)

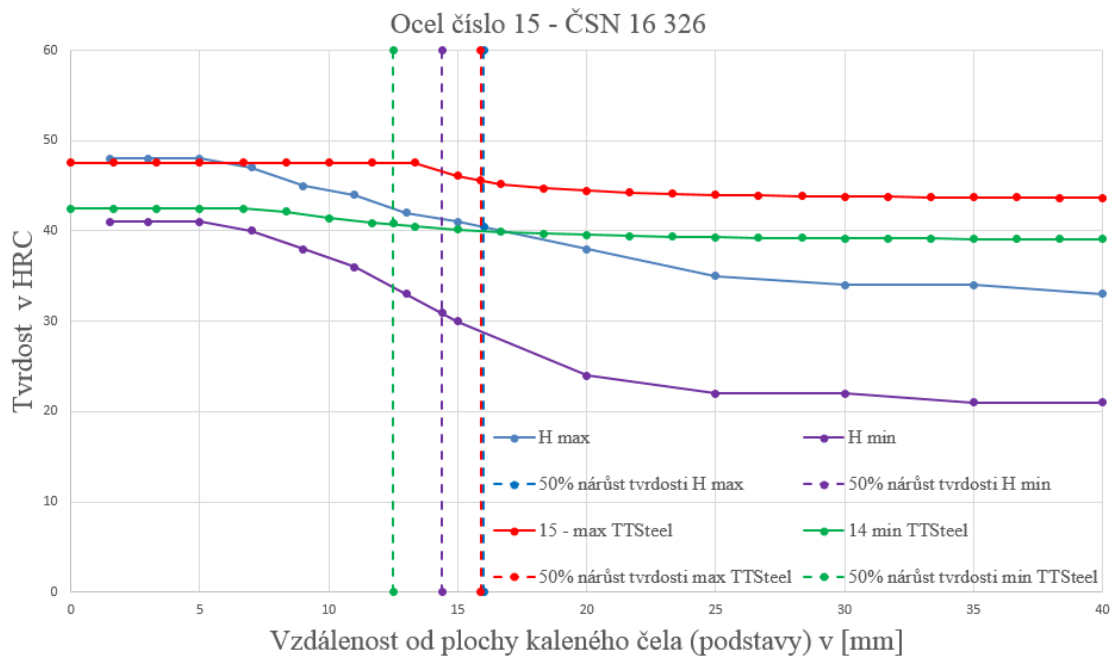


Příloha 29 – Ocel 16 420 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)

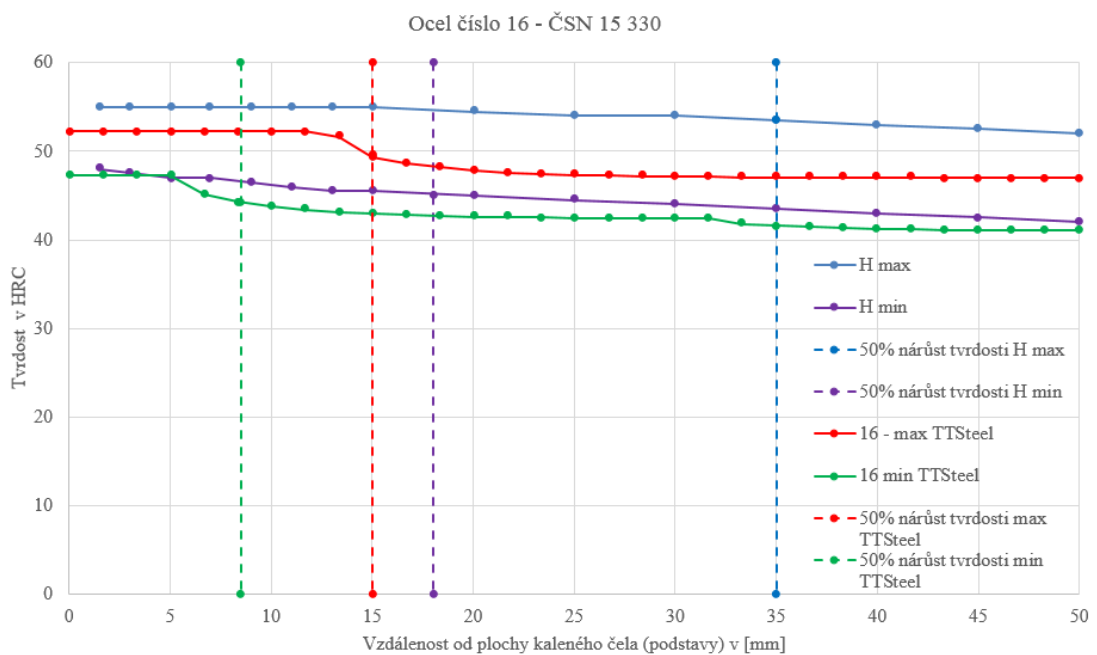




Příloha 30 – Ocel 16 326 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



Příloha 31 – Ocel 15 330 (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)



Příloha 32 – 50-ti [%] nárůst tvrdosti a odchylky prokalitelnosti (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)

| Ocel 01                           |      |     |
|-----------------------------------|------|-----|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |     |
|                                   | Y    | X   |
| max                               | 60,0 | 5,4 |
|                                   | 45,1 | 5,4 |
|                                   | 0,0  | 5,4 |
| min                               | 60,0 | 2,7 |
|                                   | 39,8 | 2,7 |
|                                   | 0,0  | 2,7 |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |     |
|                                   | Y    | X   |
| max                               | 60,0 | 6,3 |
|                                   | 39,0 | 6,3 |
|                                   | 0,0  | 6,3 |
| min                               | 60,0 | 2,9 |
|                                   | 34,0 | 2,9 |
|                                   | 0,0  | 2,9 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |     |
| max                               | 0,9  | %   |
| min                               | 0,2  | %   |

| Ocel 02                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 70,0 | 10,4 |
|                                   | 51,0 | 10,4 |
|                                   | 0,0  | 10,4 |
| min                               | 70,0 | 4,4  |
|                                   | 45,2 | 4,4  |
|                                   | 0,0  | 4,4  |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 70,0 | 6,7  |
|                                   | 46,0 | 6,7  |
|                                   | 0,0  | 6,7  |
| min                               | 70,0 | 3,0  |
|                                   | 37,5 | 3,0  |
|                                   | 0,0  | 3,0  |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 3,7  | %    |
| min                               | 1,5  | %    |

| Ocel 03                           |      |     |
|-----------------------------------|------|-----|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |     |
|                                   | Y    | X   |
| max                               | 70,0 | 7,4 |
|                                   | 51,2 | 7,4 |
|                                   | 0,0  | 7,4 |
| min                               | 70,0 | 4,7 |
|                                   | 50,0 | 4,7 |
|                                   | 0,0  | 4,7 |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |     |
|                                   | Y    | X   |
| max                               | 70,0 | 7,8 |
|                                   | 48,5 | 7,8 |
|                                   | 0,0  | 7,8 |
| min                               | 70,0 | 3,9 |
|                                   | 40,5 | 3,9 |
|                                   | 0,0  | 3,9 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |     |
| max                               | 0,4  | %   |
| min                               | 0,9  | %   |

| Ocel 04                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 70,0 | 9,5  |
|                                   | 48,4 | 9,5  |
|                                   | 0,0  | 9,5  |
| min                               | 70,0 | 3,9  |
|                                   | 43,5 | 3,9  |
|                                   | 0,0  | 3,9  |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 70,0 | 18,3 |
|                                   | 48,0 | 18,3 |
|                                   | 0,0  | 18,3 |
| min                               | 70,0 | 11,0 |
|                                   | 37,0 | 11,0 |
|                                   | 0,0  | 11,0 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 8,8  | %    |
| min                               | 7,1  | %    |

| Ocel 05                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 10,5 |
|                                   | 43,7 | 10,5 |
|                                   | 0,0  | 10,5 |
| min                               | 60,0 | 9,0  |
|                                   | 30,4 | 9,0  |
|                                   | 0,0  | 9,0  |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 14,5 |
|                                   | 41,5 | 14,5 |
|                                   | 0,0  | 14,5 |
| min                               | 60,0 | 11,0 |
|                                   | 32,0 | 11,0 |
|                                   | 0,0  | 11,0 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 4,0  | %    |
| min                               | 2,0  | %    |

| Ocel 06                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 70,0 | 11,5 |
|                                   | 50,2 | 11,5 |
|                                   | 0,0  | 11,5 |
| min                               | 70,0 | 5,0  |
|                                   | 44,0 | 5,0  |
|                                   | 0,0  | 5,0  |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 70,0 | 25,0 |
|                                   | 53,0 | 25,0 |
|                                   | 0,0  | 25,0 |
| min                               | 70,0 | 12,3 |
|                                   | 41,0 | 12,3 |
|                                   | 0,0  | 12,3 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 13,5 | %    |
| min                               | 7,3  | %    |

Příloha 33 – 50-ti [%] nárůst tvrdosti a odchylky prokalitelnosti (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)

| Ocel 07                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 70,0 | 19,5 |
|                                   | 54,0 | 19,5 |
|                                   | 0,0  | 19,5 |
| min                               | 70,0 | 7,3  |
|                                   | 48,5 | 7,3  |
|                                   | 0,0  | 7,3  |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 70,0 | 27,0 |
|                                   | 61,5 | 27,0 |
|                                   | 0,0  | 27,0 |
| min                               | 70,0 | 19,3 |
|                                   | 44,5 | 19,3 |
|                                   | 0,0  | 19,3 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 7,5  | %    |
| min                               | 12,0 | %    |

| Ocel 08                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 17,4 |
|                                   | 50,7 | 17,4 |
|                                   | 0,0  | 17,4 |
| min                               | 60,0 | 9,6  |
|                                   | 46,4 | 9,6  |
|                                   | 0,0  | 9,6  |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 8,0  |
|                                   | 57,5 | 8,0  |
|                                   | 0,0  | 8,0  |
| min                               | 60,0 | 35,0 |
|                                   | 47,0 | 35,0 |
|                                   | 0,0  | 35,0 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 9,4  | %    |
| min                               | 25,4 | %    |

| Ocel 09                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 10,9 |
|                                   | 37,1 | 10,9 |
|                                   | 0,0  | 10,9 |
| min                               | 60,0 | 5,1  |
|                                   | 28,1 | 5,1  |
|                                   | 0,0  | 5,1  |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 11,1 |
|                                   | 37,0 | 11,1 |
|                                   | 0,0  | 11,1 |
| min                               | 60,0 | 5,6  |
|                                   | 30,0 | 5,6  |
|                                   | 0,0  | 5,6  |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 0,2  | %    |
| min                               | 0,5  | %    |

| Ocel 10                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 50,0 | 16,9 |
|                                   | 39,9 | 16,9 |
|                                   | 0,0  | 16,9 |
| min                               | 50,0 | 10,0 |
|                                   | 29,2 | 10,0 |
|                                   | 0,0  | 10,0 |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 50,0 | 13,5 |
|                                   | 40,5 | 13,5 |
|                                   | 0,0  | 13,5 |
| min                               | 50,0 | 8,3  |
|                                   | 31,0 | 8,3  |
|                                   | 0,0  | 8,3  |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 3,4  | %    |
| min                               | 1,7  | %    |

| Ocel 11                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 50,0 | 10,9 |
|                                   | 44,0 | 10,9 |
|                                   | 0,0  | 10,9 |
| min                               | 50,0 | 25,0 |
|                                   | 36,8 | 25,0 |
|                                   | 0,0  | 25,0 |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 50,0 | 14,0 |
|                                   | 40,0 | 14,0 |
|                                   | 0,0  | 14,0 |
| min                               | 50,0 | 11,5 |
|                                   | 29,5 | 11,5 |
|                                   | 0,0  | 11,5 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 3,1  | %    |
| min                               | 13,5 | %    |

| Ocel 12                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 50,0 | 7,8  |
|                                   | 43,9 | 7,8  |
|                                   | 0,0  | 7,8  |
| min                               | 50,0 | 15,0 |
|                                   | 38,5 | 15,0 |
|                                   | 0,0  | 15,0 |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 50,0 | 16,0 |
|                                   | 40,5 | 16,0 |
|                                   | 0,0  | 16,0 |
| min                               | 50,0 | 14,3 |
|                                   | 31,0 | 14,3 |
|                                   | 0,0  | 14,3 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 8,2  | %    |
| min                               | 0,7  | %    |

Příloha 34 – 50-ti [%] nárůst tvrdosti a odchylky prokalitelnosti (normované hodnoty x TTSteel – varianta A)

| Ocel 13                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 15,9 |
|                                   | 45,6 | 15,9 |
|                                   | 0,0  | 15,9 |
| min                               | 60,0 | 12,5 |
|                                   | 40,8 | 12,5 |
|                                   | 0,0  | 12,5 |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 16,0 |
|                                   | 40,5 | 16,0 |
|                                   | 0,0  | 16,0 |
| min                               | 60,0 | 14,4 |
|                                   | 31,0 | 14,4 |
|                                   | 0,0  | 14,4 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 0,1  | %    |
| min                               | 1,9  | %    |

| Ocel 14                           |      |      |
|-----------------------------------|------|------|
| 50-ti % nárůst tvrdosti (TTSteel) |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 15,0 |
|                                   | 49,6 | 15,0 |
|                                   | 0,0  | 15,0 |
| min                               | 60,0 | 8,5  |
|                                   | 44,2 | 8,5  |
|                                   | 0,0  | 8,5  |
| 50-ti % nárůst tvrdosti (norma)   |      |      |
|                                   | Y    | X    |
| max                               | 60,0 | 35,0 |
|                                   | 53,5 | 35,0 |
|                                   | 0,0  | 35,0 |
| min                               | 60,0 | 18,0 |
|                                   | 45,0 | 18,0 |
|                                   | 0,0  | 18,0 |
| Odchylka prokalitelnosti          |      |      |
| max                               | 20,0 | %    |
| min                               | 9,5  | %    |