České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie

Vývoj odlitku převodovky z vysokopevnostní Al slitiny

Diplomová práce

Autor: Bc. Jindřich Zeman

Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3911T035 Výrobní a materiálové inženýrství

Praha 2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zeman** Jméno: **Jindřich** Osobní číslo: **465533**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**

Studijní program: **Výrobní inženýrství**

Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vývoj odlitku převodovky z vysokopevnostní Al slitiny

Název diplomové práce anglicky:

The development of gearbox casting from high strenght Al alloy

Pokyny pro vypracování:

1. Vysokopevnostní slitiny Al
2. Návrh konstrukce odlitku převodovky
3. Návrh technologie výroby odlitku převodovky
4. Numerická optimalizace technologie
5. Výroba a její vyhodnocení, ověření funkce
6. Zhodnocení a závěr

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **15.04.2021** Termín odevzdání diplomové práce: **06.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2021**

doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Aleše Hermana, Ph.D., a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne: …… ……

Podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji panu doc. Ing. Alešovi Hermanovi, Ph.D. za poskytnutí podkladů, cenné rady a připomínky při tvorbě této diplomové práce. Rovněž děkuji Ing. Vojtěchovi Petrovi za pomoc související s veškerou výrobou a přípravou vzorků a Ing. Vítovi Novákovi za provedení tahových zkoušek. Dále děkuji Ing. Ireně Kubelkové, Ph.D. za provedené spektrální analýzy a doc. Ing. Marii Kolaříkové, Ph.D. za zhotovení metalografických výbrusů. Také bych chtěl poděkovat Bc. Karlovi Horkému ze slévárny Beneš a Lát a.s. za provedení prozařovací zkoušky odlitků a konzultaci ohledně jejího vyhodnocení.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem odlitků dvoudílné skříně převodovky z vysokopevnostní hliníkové slitiny pro závodní motocykl s využitím simulačních výpočtů v softwaru ProCast od společnosti ESI Group. Teoretická část je věnována hliníkovým slitinám a principům zvyšování jejich pevnosti. Praktická část se zabývá návrhem experimentálního materiálu, konstrukčním a technologickým návrhem odlitků, simulací výrobního procesu gravitačního lití a následnou výrobou a kontrolou těchto odlitků.

Název diplomové práce: Vývoj odlitku převodovky z vysokopevnostní Al slitiny

Autor práce: Bc. Jindřich Zeman

Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D

Akademický rok: 2020/2021

Vysoká škola: ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ústav: 12133 – Ústav strojírenské technologie

Vedoucí ústavu: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Rozsah práce: 94 stran, 35 tabulek, 69 obrázků

Klíčová slova: Hliníkové slitiny, návrh, simulace, optimalizace, výroba, kontrola

Annotation

This diploma thesis deals with the design of castings of a two-part gearbox housing made of high-strength aluminum alloy for a university racing motorcycle using simulation calculations in ProCast software from the ESI Group. The theoretical part is devoted to aluminum alloys and the principles of increasing their strength. The practical part deals with the design of experimental material, structural and technological design of castings, simulation of the production process of gravity casting and subsequent production and inspection of these castings.

Title of the final thesis:	The development of gearbox casting from high strength Al alloy
Author:	Bc. Jindřich Zeman
Supervisor:	doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D
Academic year:	2020/2021
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent:	94 pages, 35 tables, 69 pictures
Keywords:	Aluminum alloys, design, simulation, optimization, production, inspection

Obsah

Seznam použitých veličin: 9

Úvod: 11

Cíle práce: 12

1. Hliníkové slitiny 13

1.1. Technicky čistý hliník 13

1.2. Slévárenské slitiny hliníku 13

1.2.1. Slitiny typu Al - Si (siluminy) 14

1.2.2. Slitiny typu Al - Mg (hydronaly) 16

1.2.3. Slitiny typu Al - Cu (duraly) 17

1.2.4. Slitiny typu Al - Zn 18

1.3. Normování slévárenských hliníkových slitin 19

1.4. Vliv legur a příměsí hliníkových slitin 20

1.5. Mechanismy zvyšování pevnosti hliníkových slitin 24

1.5.1. Modifikace 25

1.5.2. Očkování 26

1.5.3. Vytvrzování 27

2. Experimentální materiál 29

2.1. Chemické složení 29

2.1.1. Mikrostruktura 31

2.2. Mechanické vlastnosti 32

3. Návrh konstrukce odlitků 40

3.1. Přední díl 41

3.1.1. Přídavky na obrábění 42

3.1.2. Úkosy a zaoblení ... 43
3.1.3. Předlévání otvorů ... 43
3.1.4. Výsledná konstrukce odlitku předního dílu ... 43
3.2. Zadní díl ... 44
3.2.1. Přídavky na obrábění ... 44
3.2.2. Úkosy a zaoblení ... 44
3.2.3. Předlévání otvorů ... 45
3.2.4. Výsledná konstrukce odlitku zadního dílu ... 45
4. Technologický návrh a simulace odlévání ... 47
4.1. Přední díl ... 47
4.1.1. Simulace tuhnutí prostého odlitku ... 47
4.1.2. Technologický návrh ... 49
4.1.3. Simulace tuhnutí odlitku včetně technologických prvků ... 55
4.1.4. Simulace licího procesu ... 57
4.2. Zadní díl ... 60
4.2.1. Simulace tuhnutí prostého odlitku ... 60
4.2.2. Technologický návrh ... 62
4.2.3. Simulace tuhnutí odlitku včetně technologických prvků ... 65
4.2.4. Optimalizace technologického návrhu ... 67
4.2.5. Simulace tuhnutí odlitku po optimalizaci technologických prvků ... 69
4.2.6. Simulace licího procesu ... 71
5. Výroba a kontrola ... 75
5.1. Výroba modelů, jaderníků a chladítek ... 75
5.2. Zaformování, odlévání a apretace ... 76

5.3. Defektoskopická kontrola 78

5.3.1. Destruktivní zkouška 78

5.3.2. Prozařovací zkouška 79

5.4. Montáž a ověření funkce 81

6. Závěr 83

Citovaná literatura 85

Seznam obrázků: 88

Seznam tabulek: 92

Seznam grafů: 94

Seznam příloh: 95

Přílohy: 98

Seznam použitých veličin:

Veličina	Jednotka	Název veličiny
R_m	$[MPa]$	mez pevnosti v tahu
$R_{p0,2}$	$[MPa]$	smluvní mez kluzu
E	$[GPa]$	modul pružnosti v tahu
A	$[\%]$	tažnost
HB	$[1]$	tvrdost dle Brinella
HV	$[1]$	tvrdost dle Vickerse
u	$[m]$	úhlopříčka vpichu u zkoušky tvrdosti dle Vickerse
F	$[N]$	zatěžující síla u zkoušky tvrdosti dle Vickerse
P	$[m]$	přídavek na obrábění
P_{tab}	$[m]$	doporučený přídavek na obrábění dle tabulek
L_{ch_max}	$[m]$	maximální charakteristický rozměr
ε	$[\%]$	smrštění odlitku
V_n	$[m^3]$	minimální objem nálitků
$V_{n_skutečný}$	$[m^3]$	skutečný objem nálitků
V_o	$[m^3]$	objem odlitku
β	$[1]$	součinitel stahování odlitku
χ	$[1]$	koeficient nehospodárnosti nálitku
S_Z	$[m^2]$	plocha průřezu zářezu
$S_{Z_celková}$	$[m^2]$	celková plocha průřezů zářezů
S_S	$[m^2]$	výpočtová plocha průřezu struskováku
$S_{S_skutečná}$	$[m^2]$	skutečná plocha průřezu struskováku
S_K	$[m^2]$	výpočtová plocha průřezu vtokového kůlu
$S_{K_skutečná}$	$[m^2]$	skutečná plocha průřezu vtokového kůlu
t_L	$[s]$	optimální doba lití
s	$\left[s \cdot kg^{-\frac{1}{2}}\right]$	součinitel tloušťky stěny

m_s	$[kg]$	hmotnost surového odlitku
H	$[m]$	účinná výška vtokové soustavy
h	$[m]$	výška licí jamky nad rovinou zářezů
p	$[m]$	výška odlitku nad rovinou zářezů
c	$[m]$	celková výška odlitku
v	$[m \cdot s^{-1}]$	rychlost taveniny v řídícím průřezu
μ	$[1]$	součinitel odporu vtokové soustavy
g	$[m \cdot s^{-2}]$	tíhové zrychlení
ρ_T	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota taveniny

Úvod:

Tato diplomová práce se zabývá komplexním návrhem dvoudílné skříně převodovky z vysokopevnostní hliníkové slitiny pro univerzitní závodní elektrický motocykl CTU Lions EVO 2.0 Electric, který je vyvíjen v rámci týmu CTU Lions pod záštitou fakulty dopravní ve spolupráci s fakultou strojní a fakultou elektrotechnickou Českého vysokého učení technického v Praze. Rešeršní část této práce je věnována hliníkovým slitinám, jejich základnímu rozdělení, vlivu jednotlivých chemických prvků na vlastnosti těchto slitin a principům zvyšování jejich pevnosti. Jedním z hlavních cílů této práce bylo replikovat vysokopevnostní hliníkovou slitinu s obchodním označením Magsimal®-plus (AlMg6Si2MnZr) od společnosti RHEINFELDEN ALLOYS primárně určenou pro vysokotlaké lití a otestovat její použitelnost pro lití gravitační, především pak co se týče změny mechanických vlastností. Na začátku experimentální části této práce je popsána příprava a průběh testování vzorků zvoleného materiálu včetně vlivu tepelného zpracování. Dále je zde popsán průběh optimalizace výchozích dílů pro potřeby gravitačního lití a simulace tohoto výrobního procesu v softwaru ProCast od společnosti ESI Group. Na základě výsledků těchto simulací byl proveden návrh technologických prvků a jejich postupná optimalizace pro dosažení co nejzdravějších odlitků. Závěrečná část této práce je potom věnována samotné výrobě, následné kontrole odlitků a okrajově je zmíněna i samotná montáž hotových dílů. V závěru je pak diskutován průběh celého výše zmíněného procesu.

Cíle práce:

- Replikovat vysokopevností hliníkovou slitinu Magsimal®-plus (AlMg6Si2MnZr) od společnosti RHEINFELDEN ALLOYS primárně určenou pro vysokotlaké lití
- Otestovat použitelnost této slitiny pro gravitační lití, zejména pak vliv použití této technologie na změnu mechanických vlastností
- Optimalizovat konstrukci dvoudílné skříně převodovky pro metodu gravitačního lití
- Provést simulační výpočet a optimalizace výrobního procesu gravitačního lití pro tyto součásti
- Provést výrobu a následnou kontrolu odlitků
- Ověřit funkčnost vyrobené převodovky

1. Hliníkové slitiny

V první fázi bylo nutné zvolit co možná nejvhodnější materiál pro následnou výrobu. Jako hlavní požadavky jsme v rámci našeho týmu stanovili nízkou hmotnost, dobré mechanické vlastnosti, dobrou slévatelnost, obrobitelnost a v neposlední řadě jsme vznesli požadavek na dobrou svařitelnost pro případné opravy či potřebu přidání dodatečných montážních prvků. S přihlédnutím na tyto požadavky jsem okruh vhodných materiálů zúžil na slévárenské slitiny hliníku.

1.1. Technicky čistý hliník

Za technicky čistý hliník považujeme takový kov, jehož chemické složení odpovídá obsahu minimálně 99 % Al. Tento pojem byl zaveden především z toho důvodu, že výsledný produkt nikdy nedosáhne dokonalé čistoty a vždy bude obsahovat podíl nečistot z prvovýroby. U hliníku je to potom nejčastěji železo, křemík, měď, hořčík nebo třeba zinek a další. Odlitky z technicky čistého hliníku se používají jen velmi zřídka, a to především kvůli nízkým hodnotám mechanických vlastností (např. $R_m < 100\ MPa, HB < 40$) a špatné slévatelnosti. Dříve nacházel velké využití v oblasti elektrických vodičů díky své vysoké elektrické vodivosti, dnes už je však velmi často v tomto odvětví nahrazován mědí. V dnešní době je technicky čistý hliník nejvíce využíván v oblasti elektrotechniky, chemického průmyslu, energetiky a obalovém průmyslu [1] [2] [3].

1.2. Slévárenské slitiny hliníku

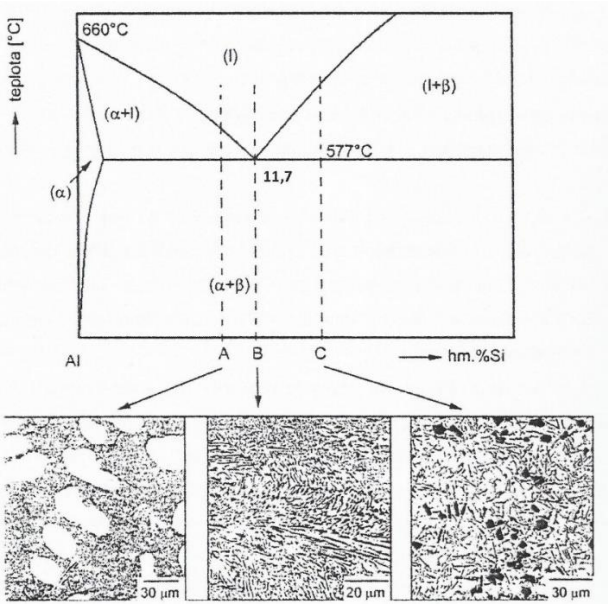
Jakákoliv slitina je zpravidla tvořena základním (majoritním) prvkem a potom prvky přísadovými (legury) a doprovodnými (příměsi). Majoritní prvek udává slitině její základní vlastnosti, které jsou cíleně upravovány (často velmi výrazně) pomocí prvků přísadových. Doprovodné prvky se do slitiny dostávají během výrobního procesu a jejich vliv na výsledné vlastnosti může být podle konkrétního prvku a množství jak pozitivní, tak i negativní [1] [2].

U hliníkových slitin je pochopitelně základním prvkem právě hliník, který běžně tvoří 80 až 90 % podílu ve výsledné slitině. Podle hlavního přísadového prvku se pak slévárenské slitiny hliníku dělí na tři základní skupiny, a to na siluminy (křemík), hydronaly (hořčík)

a duraly (měď). Každá z těchto skupin obsahuje několik různých slitin s rozmanitým chemickým složením, které určuje vlastnosti výsledné slitiny. Největší podíl hliníkových slitin mají pak slitiny komplexní, které jsou založeny na kombinaci těchto základních skupin, kdy hlavním důvodem je propojení jejich specifických vlastností. Je známá ještě i čtvrtá skupina, u které je hlavním přísadovým prvkem zinek, ta však nemá zvláštní označení. Jednotlivé skupiny budou podrobněji popsány v následujících odstavcích [1] [2] [4].

1.2.1. Slitiny typu Al - Si (siluminy)

Siluminy jsou nejobsáhlejší skupinou hliníkových slévárenských slitin. Hliník zde spolu s křemíkem tvoří eutektický systém s omezenou rozpustností, kde hliník tvoří fázi α a křemík fázi β. Křemík má maximální rozpustnost v hliníku 1,65 % při eutektické teplotě 577 °C, jeho reálný obsah však bývá zpravidla vyšší. Eutektický bod se v rovnovážném diagramu Al - Si nachází při obsahu Si 11,3 % a teplotě 577 °C. Podle polohy vůči eutektickému bodu dělíme siluminy na **podeutektické** (obsah Si do 10 %), **eutektické** (obsah Si v okolí eutektika) a **nadeutektické** (obsah Si nad oblastí eutektika), kdy přechod mezi eutektickými a nadeutektickými siluminy není přesně stanoven a je charakterizován především výskytem fáze β ve výsledné struktuře [1] [2] [4].



Obr. 1.1: Rovnovážný diagram Al - Si (A – podeutektická, B – eutektická a C – nadeutektická struktura) [1].

Podeutektické siluminy

S rostoucím obsahem křemíku roste u těchto slitin zabíhavost a dochází ke zmenšení dvoufázového pásma.[1] Rovněž dochází ke zvýšení pravděpodobnosti vzniku soustředěných staženin a odlitky z těchto slitin je nutné více nálitkovat. Podeutektické siluminy se používají pro různorodé účely a podle konkrétního chemického složení jsou nejčastěji zpracovávány gravitačním, nízkotlakým nebo vysokotlakým litím. Strukturu podeutektických siluminů tvoří primární síť dendritů fáze α a eutektikum[2], které je vylučováno do mezidendritického prostoru [1] [2] [4].

Eutektické siluminy

Pro eutektické siluminy je typické velmi úzké pásmo tuhnutí, vysoká zabíhavost a sklon ke vzniku soustředěných staženin. Proto je nutné, stejně jako u podeutektických siluminů, odlitky důkladně nálitkovat. Eutektické siluminy se nejčastěji používají pro tenkostěnné odlitky s nižšími nároky na pevnost a s požadavky na vyšší tažnost. U binárních eutektických siluminů (AlSi12) se většinou neprovádí tepelné zpracování, protože ve struktuře (díky jejich chemickému složení) chybí zpevňující intermetalická fáze. Strukturu eutektických siluminů tvoří převážně eutektikum [1] [2] [4].

Nadeutektické siluminy

Díky kombinaci měkkého eutektika a tvrdé fáze β (primární Si) ve struktuře jsou nadeutektické siluminy vhodné především pro kluzné součásti a nejčastější využití nacházejí při výrobě pístů menších průměrů pro spalovací motory. Slitiny z této skupiny nejsou přesněji normovány a jejich přesné složení a vlastnosti závisí na daném výrobci a jeho zkušenostech. Strukturu nadeutektických siluminů tvoří převážně eutektikum a primární křemík, který je vyloučen v hrubých polyedrických útvarech [1] [2] [4].

---

[1] Tato skutečnost platí až do dosažení eutektického obsahu křemíku 11,3 % [2].

[2] Podíl eutektika se zvyšuje s obsahem křemíku, jelikož se tak dostáváme blíže k eutektickému bodu [4].

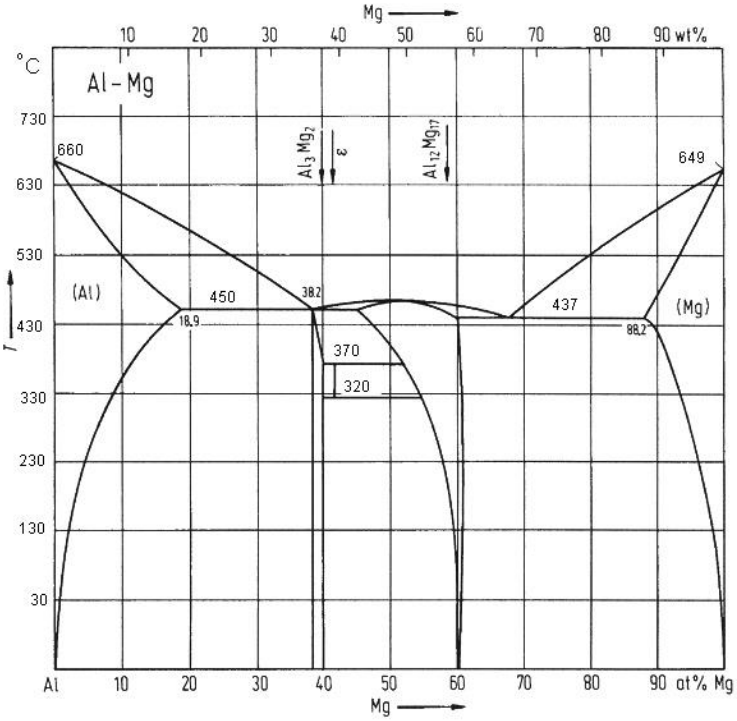
1.2.2. Slitiny typu Al - Mg (hydronaly)

Hořčík v hliníku dosahuje maximální rozpustnosti při koncentraci 17,4 % při eutektické teplotě 450 °C a jeho rozpustnost klesá spolu se snižující se teplotou a zvyšující se koncentrací přísadových prvků. Pokud se bavíme o čisté[3] slitině Al - Mg, tak v ní mohou vznikat intermetalické fáze Al_3Mg_2 a $Al_{12}Mg_{17}$ v závislosti na poloze ve fázovém diagramu. Jelikož se koncentrace hořčíku v normovaných slévárenských slitinách typu Al - Mg stanovuje na 3, 5 a 9 %, je pro nás relevantnější intermetalická fáze Al_3Mg_2, jak vyplývá z fázového diagramu na Obr. 1.2. Pokud je ovšem ve slitině přítomný křemík v koncentraci alespoň 1 %, tak hořčík vytváří intermetalickou fázi společně právě s křemíkem ve formě Mg_2Si. Slévárenské vlastnosti se u těchto slitin obecně zhoršují s rostoucím obsahem hořčíku, především pak tyto slitiny vykazují špatnou zabíhavost, mají sklon k vytváření rozptýlených staženin, tvorbě trhlin a naplynění taveniny. To je do určité míry možné redukovat přidáním křemíku (nejčastěji 0,5 až 2,5 %), je ovšem nutno počítat se snížením tažnosti. Slitina AlMg9 dosahuje dokonce tak špatných slévárenských vlastností, že se v praxi odlévá pouze vysokotlakým litím. Slitiny Al - Mg se vyznačují nízkou měrnou hmotností, dobrou korozní odolností, vynikající obrobitelností a vysokou leštitelností. Jsou rovněž vhodné pro provádění povrchových úprav. V porovnání se siluminy sice dosahují vyšší tažnosti, ale zároveň i nižších hodnot pevnosti.[4] Největší uplatnění pak nacházejí především v lodním a chemickém průmyslu a v potravinářství. Rovněž se využívají pro dekorativní účely [1] [2] [5] [6].

---

[3] Za běžného provozu mimo laboratorní podmínky pochopitelně není možné dosáhnout stoprocentní čistoty. V tomto konkrétním případě se bavíme o čistotě 99,7 % a vyšší [6].

[4] Pevnost roste spolu s obsahem hořčíku, stále je však nižší než u siluminů [1].



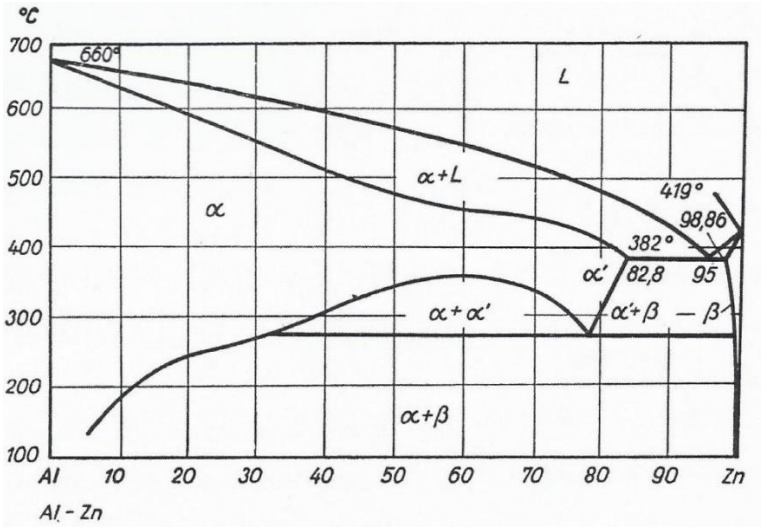
Obr. 1.2: Rovnovážný diagram Al - Mg [5].

1.2.3. Slitiny typu Al - Cu (duraly)

Měď v hliníku dosahuje maximální rozpustnosti 5,7 % při eutektické teplotě 548 °C a společně vytváří tuhý roztok s omezenou rozpustností. Jako intermetalická fáze zde vzniká sloučenina Al_2Cu, fázový diagram je pak zobrazen na Obr. 1.5. Nejběžněji se užívané koncentrace mědi ve slévárenských duralech pohybují mezi 4 až 5 %, slitiny s vyšším obsahem mědi nemají zásadní technický význam. Tyto slitiny dosahují velmi vysokých pevností (až 400 MPa) a velmi dobré tažnosti, lomové houževnatosti a rovněž disponují dobrou teplotní odolností. Jejich slévárenské vlastnosti jsou velmi špatné, a to především díky jejich širokému dvoufázovému pásmu. To je možné zlepšit příměsí křemíku. Ten ovšem podstatně snižuje jejich výhodné vysoké mechanické vlastnosti. Z tohoto důvodu jsou často nahrazovány siluminy. Dále se do těchto slitin běžně přidává titan (přibližně 0,3 %) ke zjemnění primárního zrna a mangan nebo hořčík pro zvýšení pevnosti [1] [2] [6].

1.2.4. Slitiny typu Al - Zn

Zinek dosahuje v hliníku maximální rozpustnosti 70 % při eutektické teplotě 382 °C a tvoří společně eutektický systém s částečnou rozpustností. Eutektického bodu je dosaženo při koncentraci 95 % Zn. Rozpustnost zinku se snižuje s poklesem teploty až na 2 % při pokojové teplotě a za přítomnosti hořčíku. Měď naopak jeho rozpustnost zvyšuje, a to až na 5,5 % při pokojové teplotě. V praxi se nejčastěji využívá slitin s obsahem zinku 5 až 7 % s přídavkem hořčíku do 1 %. Díky vzniku intermetalických fází je možné tyto slitiny vytvrzovat a dokonce u nich dochází k takzvanému samovytvrzování, které trvá přibližně 20 až 30 dní. Jako intermetalické fáze se zde mohou vylučovat Zn_2Mg, Mg_2Si nebo Al_2Cu.[5] Slitiny Al - Zn dosahují po vytvrzení hodnot až 250 MPa meze pevnosti v tahu, tažnosti přes 5 % a tvrdosti kolem 70 HB. Dále tyto slitiny disponují vysokou rozměrovou stálostí, dobrou korozivzdorností, obrobitelností a vynikající kvalitou obrobených ploch. Slévárenské vlastnosti jsou středně dobré až špatné a v odlitcích se vytvářejí staženiny. Odlitky jsou rovněž náchylné k prasklinám za tepla a mohou mít problém s těsností, dají se však dobře pájet [1] [2] [6].



Obr. 1.3: Rovnovážný diagram Al - Zn [1].

[5] Fáze Zn_2Mg se vytváří pokud není ve slitině přítomný křemík. V opačném případě se vytváří fáze Mg_2Si a zinek zůstává rozpuštěn v tuhém roztoku. Při přídavku mědi nad 0,5 % se vytváří fáze Al_2Cu [1] [2].

1.3. Normování slévárenských hliníkových slitin

Základní značení, chemické složení a vlastnosti slévárenských hliníkových slitin definuje norma ***ČSN EN 1706 Hliník a slitiny hliníku - Odlitky - Chemické složení a mechanické vlastnosti***. Dle této normy je slitina vždy označována písmeny EN následovanými dalšími dvěma písmeny podle materiálové skupiny a účelu slitiny, konkrétně pak písmeny A (slitiny hliníku) a C (odlitky). Následuje pětice číslic, které blíže specifikují danou slitinu. První číslice značí hlavní legující prvek, druhá číslice skupinu slitin, třetí je doplňující číslo a poslední dvě číslice jsou nuly. Označení může být rovněž doplněno použitým procesem lití a stavem tepelného zpracování. K označení je rovněž možné místo číslic použít označení slitiny pomocí jejího chemického složení [2] [7] [8].

Význam první číslice zobrazuje následující tabulka:

Tab. 1.1: Specifikace významu první číslice [7].

1	slitina s minimálně 99 % Al
2	slitina Al - Cu
3	slitina Al - Mn
4	slitina Al - Si
5	slitina Al - Mg
6	slitina Al - Mg - Si
7	slitina Al - Zn
8	slitina Al s různými prvky

Označení příslušného procesu lití udává následující tabulka:

Tab. 1.2: Označení procesu lití [7].

S	lití do pískové formy
K	gravitační lití do kovové formy
D	tlakové lití
L	lití na vytavitelný model

Následující tabulka udává značení nejběžněji používaných způsobů tepelného zpracování:

Tab. 1.3: Značení stavu tepelného zpracování [1] [7].

F	odlitý stav
O	po žíhání
T1	řízené chladnutí po odlití a přirozené stárnutí
T4	rozpouštěcí žíhání a přirozené stárnutí
T5	řízené chladnutí po odlití a umělé stárnutí
T6	rozpouštěcí žíhání a umělé stárnutí
T7	rozpouštěcí žíhání a umělé přestárnutí (pro stabilizaci mechanických vlastností a rozměrů)

Existují i další druhy tepelného zpracování a jejich modifikace (například T64 - jako T6, ale s podmínkou nedostárnutí = vytvrzení na maximální houževnatost) [1] [8].

Příklad značení:

EN AC-45100-K-T6,

případné alternativní značení:

EN AC-AlSi5Cu3Mg-K-T6,

kdy je ze značení jasně patrné, že slitina byla odlita gravitačním litím do kovové formy a bylo provedeno rozpouštěcí žíhání s umělým stárnutím. Výhoda druhého z uvedených způsobů značení spočívá v tom, že již ze samotného označení vidíme přibližné složení slitiny. Přesné chemické složení je však nutné dohledat v příslušné normě pro oba uvedené příklady [7] [8].

1.4. Vliv legur a příměsí hliníkových slitin

Vliv jednotlivých prvků na výsledné vlastnosti slitiny je závislý na jejich množství a značně i na jejich kombinaci, jelikož se tyto prvky vzájemně ovlivňují. V následujících odstavcích je popsán obecný vliv základních prvků vyskytujících se v hliníkových slitinách. Jejich reálný přínos, ať už pozitivní či negativní, však vždy závisí na konkrétním chemickém složení dané slitiny, způsobu odlévání a následném tepelném zpracování [1] [2] [8].

Křemík

Křemík velmi výrazně zlepšuje slévárenské vlastnosti, především pak zvyšuje tekutost a zabíhavost taveniny, odolnost proti vzniku trhlin a zužuje interval tuhnutí, čímž zlepšuje schopnost dosazování z nálitků. S rostoucím obsahem rovněž křemík zvyšuje pevnost, tvrdost, korozní odolnost a naopak snižuje houževnatost a obrobitelnost [8].

Hořčík

Hořčík je jedna z nejčastějších přísad siluminů, kde s křemíkem vytváří zpevňující fázi Mg_2Si, díky čemuž může následným vytvrzením docházet až ke zdvojnásobení pevnosti. Zvýšený obsah hořčíku zhoršuje slévárenské vlastnosti, ale zlepšuje korozivzdornost, jasnost povrchu a eloxovatelnost [8].

Měď

Měď výrazně zvyšuje mechanické vlastnosti slitin, především pak pevnost a tvrdost, rovněž zlepšuje obrobitelnost. Zároveň ovšem snižuje tvářitelnost, korozivzdornost a zvyšuje riziko vzniku trhlin. S rostoucím obsahem mědi roste šířka dvoufázového pásma a tím se zvyšuje riziko vzniku ředin. S hliníkem pak vytváří fázi Al_2Cu, která umožňuje vytvrzování [8].

Zinek

Používá se primárně pro tepelně zpracovávané a vytvrzované odlitky společně v kombinaci s mědí nebo hořčíkem. Zinek rovněž může umožňovat samovytvrzování. Často se ale ve slitině objevuje spíše jako méně škodlivá příměs, nežli jako legura [2] [8].

Nikl

Nikl nabízí uplatnění především při výrobě pístů a hlav válců, jelikož při kombinaci s mědí či křemíkem zvyšuje pevnost a tvrdost za tepla. Obecně pak zlepšuje pevnost, houževnatost a korozivzdonost [8].

Železo

Železo je velmi škodlivá nečistota, která se do hliníkových slitin nejčastěji dostává z vratu nebo během výrobního procesu (např. z nářadí, kelímků, kovových forem). Částečně může zvyšovat pevnost, ale jelikož vytváří velmi křehké intermetalické fáze ($FeAl_3$, $FeSiAl_5$,

AlFeSi a další)[6], které se vylučují jako eutektikum (společně s Fe) po hranicích zrn, jeho vliv na výslednou slitinu je velmi negativní a výrazně zhoršuje mechanické vlastnosti výsledné slitiny.[7] Z tohoto důvodu je obsah železa v hliníkových slitinách značně sledován a eliminován [2] [8].

Mangan

Při obsahu do 2 % mangan zlepšuje pevnost, houževnatost a korozivzdornost. Mangan zjemňuje strukturu a potlačuje negativní vliv železa na hliníkové slitiny. S železem vytváří příznivější fáze $FeMnAl_6$, které jsou známé jako čínské písmo nebo rybí kost. Tím je možné snížit křehkost a zlepšit tažnost [8].

Cín

Cín se jako přísadový prvek používá především pro kluzná vedení, jelikož značně zlepšuje kluzné vlastnosti. U duralů může urychlovat stárnutí a zvyšovat pevnost. Negativním vlivem je pak zvýšení náchylnosti ke vzniku trhlin za tepla, snížení korozivzdornosti a zvýšení křehkosti [2] [8].

Olovo

Olovo může částečně zlepšovat obrobitelnost. Primárně je však považováno za nečistotu, a to především u slitin typu Al - Cu - Mg, kde způsobuje zvýšení náchylnosti ke vzniku trhlin za tepla vlivem segregace [8].

Kobalt

Hlavní přínos kobaltu v hliníkových slitinách je eliminace nepříznivého vlivu železa, jelikož mění tvar fází Fe z jehlicovitého tvaru na příznivější kulovitou formu, která již není tak výrazným koncentrátorem napětí [8].

---

[6] Intermetalické fáze železa ($FeAl_3$, $FeSiAl_5$, AlFeSi…) se vylučují ve tvaru destiček a na metalografickém výbrusu se potom jeví jako jehlice [8].

[7] Zhoršení mechanických vlastností, především pak zvýšení křehkosti, způsobuje velmi rozdílný modul pružnosti fází obsahujících železo a hliníku, což do výsledné struktury vnáší poměrně významné koncentrátory napětí [8].

Chrom

Sloučenina $CrAl_7$ potlačuje růst zrn a nízké obsahy chrómu se používají u slitin určených k přirozenému stárnutí a ke zvýšení stability za tepla. Částečně zvyšuje korozivzdornost, ale s železem a manganem může zvyšovat riziko výskytu kalových fází[8] [8].

Molybden

Vlivem molybdenu může docházet ke zjemnění výsledné struktury, jeho užití však není příliš časté [8].

Titan a bor

Využívá se jako očkující činidlo pro zjemnění struktury. Titan vytváří sloučeniny $TiAl_3$ či TiB_2 (za přítomnosti boru ve slitině), které slouží jako krystalizační zárodky. Zvýšené množství titanu může snižovat riziko vzniku trhlin za tepla a zvyšovat žárupevnost. Zvýšené množství bóru má naopak především negativní účinky, a to hlavně díky tendenci vytvářet vměstky. Jeho kladnou vlastností může být zvyšování elektrické vodivosti [2] [8].

Zirkonium

Zirkonium se užívá pro zjemňování výsledné struktury a největší efekt má u slitin typu Al - Zn - Mg - Cu. U slitin typu Al - Mg - Si vytváří vytvrzující fázi Al_3Zr a tím zvyšuje jejich tvrdost a pevnost [8] [9].

Sodík

Používá se především jako modifikátor siluminů, kdy vlivem modifikace[9] dochází ke zjemnění eutektického křemíku [2] [8].

Stroncium

Stroncium se stejně jako sodík využívá k modifikaci siluminů. Jeho modifikační účinek není tak silný, za to je ale časově stabilnější [1].

---

[8] Kalové fáze jsou polyedrické nebo rozvětvené útvary sloučenin těžkých kovů o vysoké hustotě (až 3 500 kg/m^3), které vytvářejí sedimenty a nelze je znovu rozpustit. Tyto fáze zhoršují slévárenské vlastnosti a výrazně zhoršují mechanické vlastnosti a obrobitelnost [8].

[9] Pojem modifikace bude blíže vysvětlen v kapitole 1.5.1. Modifikace.

Fosfor

U nadeutektických siluminů vytváří krystalizační zárodky AlP_3 a tím zjemňuje výslednou strukturu. U podeutektických siluminů však negativně ovlivňuje modifikační účinek sodíku a stroncia [8].

Lithium

Lithium již od velmi malého množství (0,003 %) zvyšuje náchylnost k porozitě a vyšší koncentrace inhibuje modifikační účinek modifikátorů [8].

Vápník

Podporuje rozpustnost vodíku ve slitině a působí jako slabé modifikační činidlo na strukturu eutektika siluminů. U modifikovaných slitin by však neměl přesáhnout množství 0,001 %, aby nedošlo k tzv. přemodifikování a zhrubnutí křemíku [8].

Antimon

Antimon má příznivý vliv na morfologii eutektika u siluminů a je často označován jako trvalý modifikátor. Nedá se ovšem využívat společně se sodíkem nebo stronciem, jelikož vytváří krystalizačně neaktivní složky a tím potlačuje jejich modifikační účinek [1].

Bismut

Při obsahu nad 0,1 % zlepšuje obrobitelnost [8].

Beryllium

Beryllium omezuje oxidaci slitin s přídavkem hořčíku a při obsahu nad 0,04 % příznivě ovlivňuje tvar a složení intermetalických fází s obsahem železa, čímž přispívá ke zvýšení pevnosti a tažnosti. Značnou nevýhodou je bezpečnostní omezení při zpracování, jelikož beryllium a jeho sloučeniny působí jako karcinogeny [8].

1.5. Mechanismy zvyšování pevnosti hliníkových slitin

Zvyšování pevnosti, respektive obecněji úpravy mechanických vlastností, hliníkových slitin lze provádět několika různými způsoby, jejichž základem je ať už více či méně výrazná změna výsledné struktury. Jednou z možností je úprava taveniny přidáním vhodného prvku či sloučeniny v optimálním množství k úpravě procesu krystalizace. Tímto způsobem se provádí modifikace a očkování taveniny. Modifikace specificky ovlivňuje růst krystalizačních zárodků, čímž se mění tvar vylučovaných fází. Očkováním se do taveniny

vnáší krystalizační zárodky, díky čemuž dochází ke zjemnění výsledné struktury. Další možnost úpravy mechanických vlastností je za pomoci vytvrzování, a to buď přirozeného nebo uměle vyvolaného pomocí tepelného zpracování, v obou případech je však nutná přítomnost vytvrzující fáze ve slitině. Tyto výše zmíněné metody budou podrobněji popsány v následujících odstavcích. Další možností úpravy mechanických vlastností je použití dalších metod tepelného zpracování, u kterých však není primárním účelem zvyšování pevnosti. Dále je možné využít principu deformačního zpevnění, toho je ovšem primárně využíváno u tvářených slitin [1] [2] [10].

1.5.1. Modifikace

Modifikace je proces, při kterém dochází k ovlivnění růstu krystalizačních zárodků, čímž dochází k morfologické změně tvaru výsledných vyloučených fází. Tohoto procesu je nejčastěji využíváno k modifikaci tvaru vyloučeného eutektického křemíku u slitin typu Al - Si. V nemodifikovaném stavu je křemík v těchto slitinách vylučován ve tvaru hexagonálních desek (na metalografickém výbrusu tvar ostře zakončených jehlic), což značně snižuje mechanické vlastnosti výsledné slitiny. Modifikací dochází ke změně tvaru vyloučeného eutektického křemíku ve formě tyčinek až vláken (na metalografickém výbrusu tvar oblých zrn), čímž dochází ke značnému zvýšení mechanických vlastností. Principem modifikace je adsorpce povrchově aktivních prvků na povrchu eutektického křemíku, čímž brání přístupu další stavební látky z taveniny a zpožďují tím proces jeho krystalizace. Tyto povrchově aktivní látky jsou označovány jako modifikační činidla či modifikátory a působí již ve velmi malých koncentracích (tisíciny až desetiny procent). Jako nejběžnější modifikační činidla se používají sodík nebo stroncium, případně jejich kombinace. Sodík má oproti stronciu vyšší účinnost, je však vysoce reaktivní s kyslíkem a dochází tedy k jeho rychlému odpařování z taveniny, čímž je omezen jeho účinek zpravidla na maximálně 30 minut.[10] Ze stejného důvodu nelze taveninu modifikovanou sodíkem odplyňovat, respektive je nutné toto provést ještě před samotnou modifikací.

[10] Tato skutečnost je označována jako odeznívání modifikace [1].

Stroncium je naopak mnohem méně reaktivní, jeho modifikační účinek trvá několik hodin (až 6 hodin) a modifikace stronciem je proto často označována jako polotrvalá. U stroncia je však nutné počítat s tzv. inkubační dobou, neboli s náběhem modifikačního účinku, který trvá přibližně 5 až 10 minut. U modifikace je nutné striktně dodržet optimální množství modifikačního činidla, jelikož i mírně zvýšené množství může vést k tzv. přemodifikování[11] [1] [2] [10].

1.5.2. Očkování

Očkování je proces, kterým se zvyšuje množství krystalizačních zárodků v tavenině, čímž dochází ke zjemnění výsledné struktury a tím i ke zvýšení mechanických vlastností výsledné slitiny. U podeutektických slitin typu Al - Si tímto procesem dochází ke zjemnění kovové matrice, respektive ke zjemnění struktury tuhého roztoku α intermetalickými fázemi a jako očkovadla se používá titan nebo kombinace titanu a bóru. Očkovadla se do taveniny nejčastěji přidávají ve formě solí, tablet, či jako předslitiny Al - Ti nebo Al - Ti - B. Titan reaguje s hliníkem za vzniku intermetalické fáze $TiAl_3$ během primární krystalizace. Kolem této fáze dochází k vytvoření obálky z tuhého roztoku α, na které následně pokračuje další růst dendritů hliníku. Očkováním kombinací titanu a boru se dosahuje vyšší účinnosti, titan s borem vytváří nerozpustnou fázi TiB_2, na kterou se difúzními silami jako obal váže fáze $TiAl_3$ a tyto částice slouží jako krystalizační zárodky. Současně jako krystalizační zárodky slouží i samostatně vyloučená fáze $TiAl_3$. Nejlepšího účinku se dosahuje samotným bórem, ten má ovšem sklon k segregaci fáze AlB_2, což účinnost očkování snižuje. Tento jev je však možné do jisté míry odstranit použitím předslitiny SiB. Dalšími očkovacími činidly jsou například zirkon, vanad či niob. Proces očkování lze rovněž aplikovat i pro nadeutektické slitiny typu Al - Si, kdy dochází ke zjemnění primárních krystalů křemíku vnesením krystalizačních zárodků AlP. Ty jsou do slitiny přidávány ve formě solí či předslitin.

[11] Při přemodifikování dochází k růstu modifikovaných oblých zrn eutektického křemíku (bráno při zobrazení na metalografickém výbrusu) a tím ke zhrubnutí výsledné struktury a zhoršení mechanických vlastností [10].

Očkováním nadeutektických slitin Al - Si je dosaženo především lepší obrobitelnosti, lepšího dosazovacího účinku nálitků a zvýšení mechanických vlastností [1] [2] [10].

1.5.3. Vytvrzování

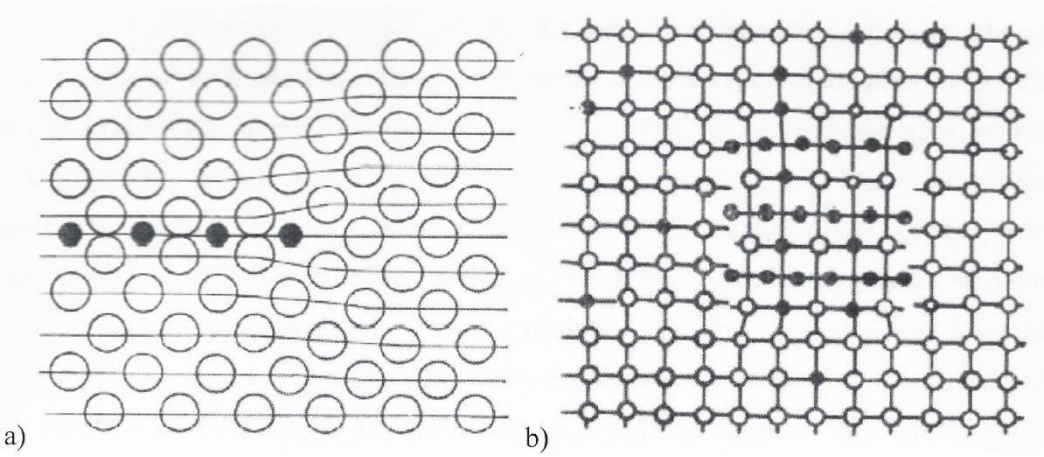
Vytvrzování hliníkových slitin spočívá v provedení rozpouštěcího žíhání s rychlým ochlazením kritickou[12] nebo nadkritickou rychlostí a následným precipitačním vytvrzením (stárnutím). Na Obr. 1.5 je znázorněn průběh vytvrzování pro slitiny Al - Cu, princip je pak obdobný pro všechny vytvrditelné hliníkové slitiny. Při rozpouštěcím žíhání dochází k ohřevu na vhodnou teplotu (blízko pod hranicí solidu) a dostatečně dlouhé výdrži na této teplotě, při čemž dochází k převedení intermetalických (vytvrzujících) fází do tuhého roztoku. Následným rychlým ochlazením dochází ke vzniku přesyceného tuhého roztoku α. Procesem stárnutí dochází ke změnám v substruktuře materiálu, čímž se mění mechanické, fyzikální i technologické vlastnosti. Stárnutí lze rozdělit na stárnutí přirozené, které probíhá za pokojové teploty, a na stárnutí umělé, které probíhá za zvýšených teplot s následným pomalým ochlazováním. Principem stárnutí je rozpad přesyceného tuhého roztoku, kdy vlivem difuze dochází k přesunu atomů přísadového prvku do oblastí s vyšší koncentrací tohoto prvku, kde dochází k nukleaci nové fáze. Vzniká koherentní precipitát v jedné mřížkové rovině označovaný jako Guinier-Prestonovy zóny I. Dále dochází k utváření koherentního precipitátu ve více mřížkových rovinách nad sebou, který vykazuje krystalickou povahu a je označován jako Guinier-Prestonovy zóny II. Při dalším průběhu stárnutí přechází koherentní precipitát do semikoherentní podoby s již pouze částečnou krystalickou vazbou na původní mřížku. Pokud se jedná o stárnutí přirozené, je tento proces ukončen vznikem semikoherentního precipitátu. V případě umělého stárnutí může dojít k tzv. přestárnutí[13], kdy dochází k přechodu ze semikoherentního precipitátu na precipitát nekoherentní, kdy jsou plně přerušeny krystalické vazby precipitačních fází na původní

---

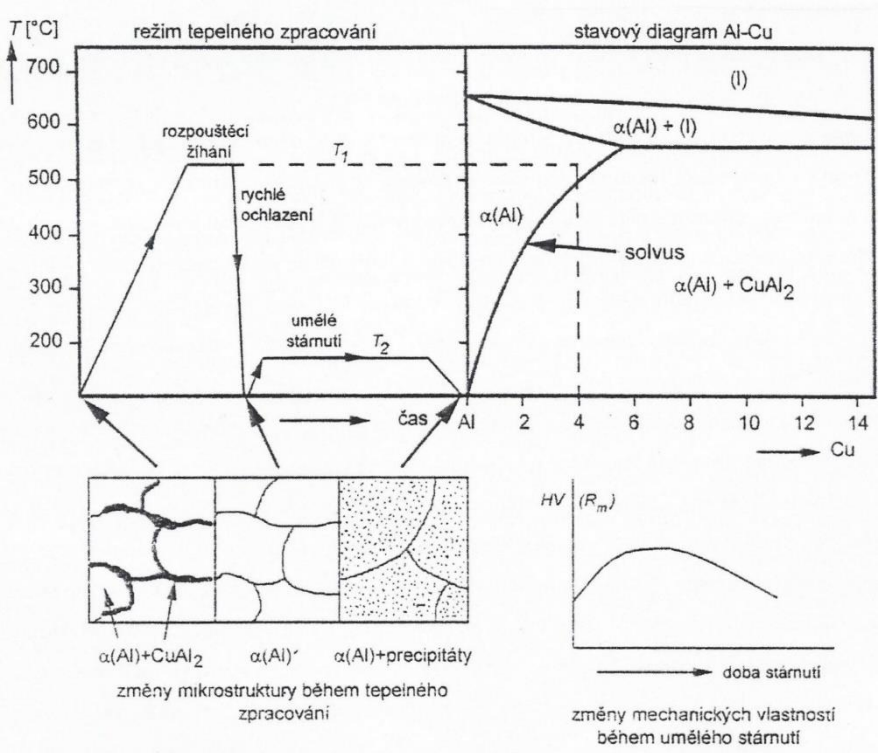
[12] Při dosažení kritické či nadkritické rychlosti ochlazování již nedochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku [10].

[13] Přestárnutí je způsobeno překročením optimální teploty a/nebo doby stárnutí. V některých případech je přestárnutí prováděno úmyslně, a to s cílem dosáhnout co nejvyšší stability mechanických vlastností, teplotní stability a stability vůči korozi pod napětím [1].

mřížku. Nejvyššího zvýšení pevnostních vlastností dosahuje precipitát koherentní, nejnižšího pak precipitát nekoherentní. Princip zpevnění je pak realizován vnesením vnitřních pnutí do krystalové mřížky, přičemž koherentní a semikoherentní precipitáty působí jako překážky pro pohyb dislokací a kolem těchto precipitátů se vytváří tzv. dislokační smyčky [1] [2] [10].



Obr. 1.4: Precipitáty v krystalové mřížce: a) koherentní precipitát (GP I), b) semikoherentní precipitát [1].



Obr. 1.5: Princip vytvrzování a rovnovážný diagram slitin Al - Cu [1].

2. Experimentální materiál

Experimentální část této práce je zaměřena na komplexní proces návrhu a výroby dvoudílné skříně převodovky z vysokopevnostní hliníkové slitiny metodou gravitačního lití. Jako vstupní požadavek na materiál bylo stanoveno, aby zvolená slitina disponovala dobrou svařitelností a zároveň dosahovala hodnoty meze kluzu alespoň 130 MPa. Na základě těchto kritérií byla vybrána slitina s obchodním označením Magsimal®-plus (AlMg6Si2MnZr) od společnosti RHEINFELDEN ALLOYS, která je primárně určená pro vysokotlaké lití. Tato slitina dle výrobce běžně dosahuje meze kluzu 200 až 250 MPa při odlévání metodou vysokotlakého lití. Jelikož však budou odlitky vyráběny metodou gravitačního lití, při kterém vzniká oproti lití vysokotlakému hrubší struktura s vyšším obsahem nerozpuštěných plynů, čímž dochází k poklesu mechanických vlastností, bylo tedy dílčím úkolem zjistit, jak se změní mechanické vlastnosti této slitiny při takovéto změně výrobní metody [11].

Originální slitina Magsimal®-plus se potom primárně používá k výrobě tenkostěnných strukturálních litých dílů karoserie v automobilovém průmyslu, ale například také v letectví, lodním průmyslu, stavebnictví, chemickém průmyslu a rovněž nachází aplikace i ve strojírenství. Slitina vyniká svou vysokou pevností, výbornou svařitelností, odolností proti praskání pod napětím a díky vysokému obsahu hořčíku i výbornou korozivzdorností [11].

2.1. Chemické složení

Co se týče chemického složení, klade se u této slitiny veliký důraz na dodržení nízkého obsahu některých doprovodných prvků, především pak železa, mědi, zinku a titanu. Obsah legujících a doprovodných prvků slitiny Magsimal®-plus zobrazuje Tab. 2.1 [11].

Tab. 2.1: Obsah legujících a doprovodných prvků slitiny Magsimal®-plus [11] .

[hm. %]	Mg	Si	Mn	Zr	Fe	Cu	Zn	Ti
min.	6,0	2,1	0,5	0,1	-	-	-	-
max.	6,4	2,6	0,8	0,3	0,15	0,05	0,07	0,05

Poměr hořčíku a křemíku zajišťuje dobrou slévatelnost a dobré dosazování tekutého kovu během tuhnutí odlitků. Hořčík a křemík spolu vytváří vytvrzující fázi Mg_2Si a díky správnému poměru se všechen křemík spotřebuje na vytvoření právě této fáze a nedochází k jeho vyloučení ve volné podobě, která má negativní vliv na korozní chování. Negativní vliv na výslednou slitinu mají především vápník a sodík, jež negativně ovlivňují slévárenské vlastnosti a zvyšují pravděpodobnost praskání za tepla. Fosfor má pak negativní vliv na utváření eutektika a může jeho vlivem docházet ke snížení tažnosti [11].

Tavba vlastního experimentálního materiálu byla provedena v indukční peci pro dosažení co nejlepšího promíchání taveniny. Jako základní vstupní materiál pro tavbu byla použita houska AlZr10 (90 % Al a 10 % Zr), hořčík o čistotě 99,5 %, křemík o čistotě 99 %, mangan o čistotě 97,8 % s příměsí 1,8 % křemíku a slitek s 86,3 % hliníku, 11,1 % zirkonu a 2,6 % křemíku. Po vypočtení potřebného množství jednotlivých surovin a navážení vsázky byla nejprve roztavena houska AlZr10 jako základní materiál, následně byl do taveniny přidán hořčíkový slitek a po jeho roztavení i ostatní suroviny vsázky. Tavenina byla míchána v indukční peci po dobu přibližně dvaceti minut a následně byla přenesena do komorové pece, kde se nechala usadit struska. Po stažení strusky byl odlit vzorek pro spektrální analýzu chemického složení a zkušební tahové vzorky formované do chemicky tvrzené pískové směsi. Takto bylo provedeno celkem šest zkušebních taveb pro zjištění schopnosti dodržet požadované chemické složení. Spektrální analýza vzorku z první tavby ukázala na chybu ve výpočtu vsázky, jelikož byl ve slitině snížený obsah křemíku na pouhých 1,14 %. Po opravení výpočtu vsázky všechny následující tavby vykazovaly správné složení. Nakonec byla provedena tavba, ve které byly přetaveny zbytky z předchozích taveb včetně zbylé vsázky, celá tavba byla řádně dolegována na požadované složení a opět byl odlit kontrolní vzorek pro spektrální analýzu. V Tab. 2.2 je uvedeno chemické složení finální tavby. Kompletní záznamy ze spektrálních analýz všech taveb jsou uvedeny v přílohách této práce.

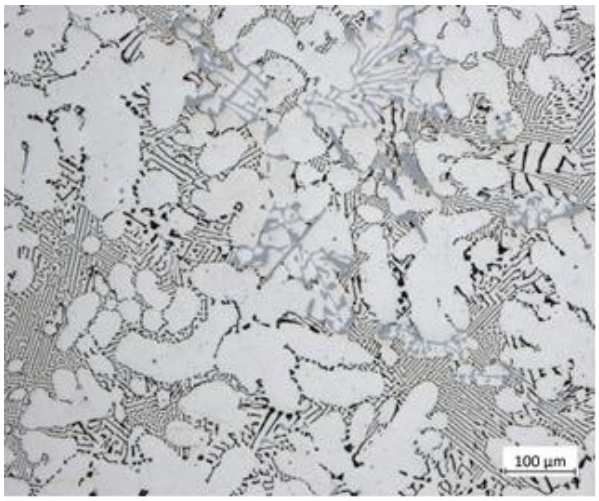
Tab. 2.2: Obsah legujících a doprovodných prvků experimentální slitiny.

	Mg	**Si**	**Mn**	**Zr**	**Fe**	**Cu**	**Zn**	**Ti**
[hm. %]	6,29	2,34	0,65	0,22	0,04	0,001	0,002	0,002

Při porovnání dat z Tab. 2.1 a Tab. 2.2 je patrné, že se nám podařilo dodržet správný obsah všech předepsaných legujících i doprovodných prvků ve slitině.

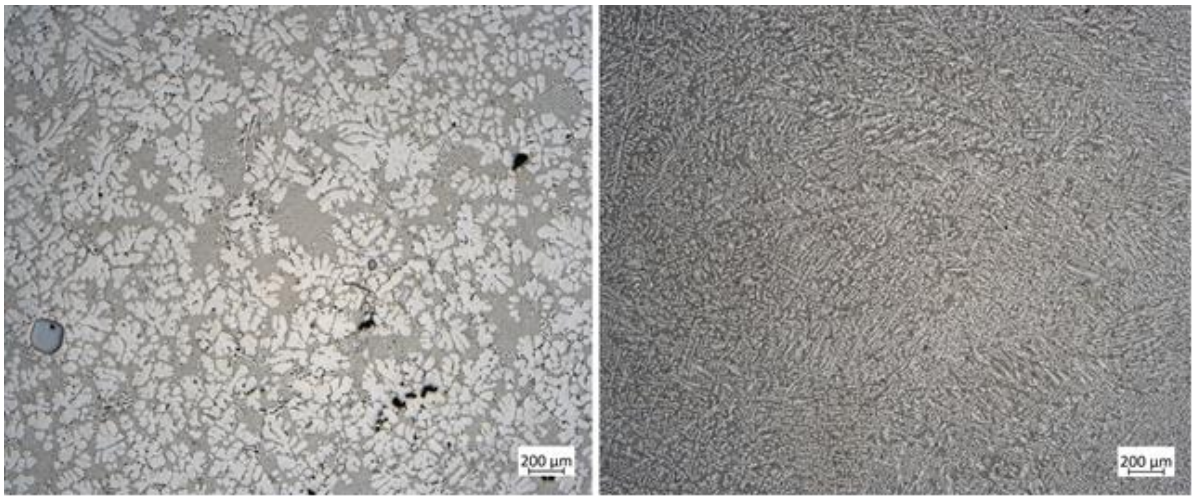
2.1.1. Mikrostruktura

Pro zkoumání mikrostruktury byly vytvořeny metalografické výbrusy ze vzorků odebraných z hotových odlitků. Byly odebrány celkem čtyři vzorky (2 v litém stavu a 2 po TZ), dva z těla odlitku a dva z kraje odlitku, který byl v kontaktu s chladítkem. Mikrostruktura je tvořena primární fází α (hliníkem) a eutektikem, které je tvořeno hliníkem a vytvrzující fází Mg_2Si. Eutektikum je distribuováno kolem dendritů primární fáze. Ve struktuře se rovněž vyskytuje fáze více či méně ostře zakončených útvarů šedostříbrné barvy a dle zdroje [12] se nejpravděpodobněji jedná o fázi Al_3Zr.



Obr. 2.1: Mikrostruktura experimentálního materiálu - fáze Al_3Zr (šedostříbrné útvary).

Na Obr. 2.2 můžeme vidět značný rozdíl hrubosti mikrostruktury v závislosti na rychlosti procesu krystalizace, jinak řečeno na rychlosti tuhnutí odlitků. Vlevo můžeme vidět strukturu materiálu při chladnutí v pískové formě. Vpravo je potom vidět struktura materiálu, který chladl v kontaktu s kovovým chladítkem, která je srovnatelná s procesem použití kovové formy. Je patrné, že s rychlejší krystalizací dochází k vytvoření mnohem jemnější struktury, čímž zároveň dochází k dosažení lepších mechanických vlastností. Z tohoto důvodu odlitky zhotovené v kovových formách vykazují lepší mechanické vlastnosti než odlitky zhotovené ve formách pískových.



Obr. 2.2: Mikrostruktura experimentálního materiálu litého do pískové formy z těla odlitku (vlevo) a z kraje odlitku v kontaktu s kovovým chladítkem (vpravo).

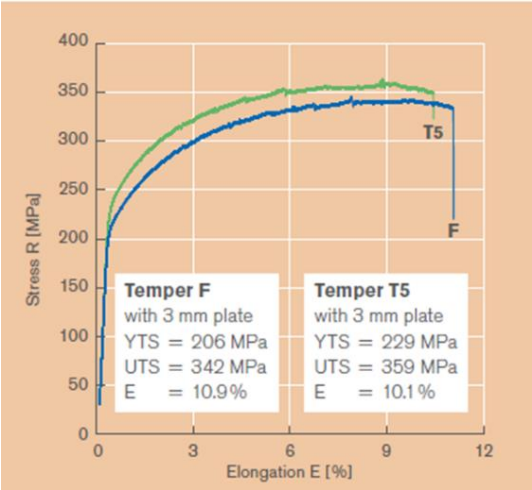
2.2. Mechanické vlastnosti

Ke zkoumání mechanických vlastností se běžně užívá tahových zkoušek, ze kterých je vyhodnocován graf závislosti napětí na prodloužení neboli tahový diagram. Tahový diagram výchozí slitiny Magsimal®-plus odlévané metodou vysokotlakého lití zobrazuje Graf 2.1. Na tomto diagramu můžeme vidět porovnání chování vzorku v litém stavu (F) a vzorku, který byl podroben tepelnému zpracování (T5). Na tahových křivkách můžeme pozorovat mírné poklesy napětí během průběhu zkoušky, to je způsobeno tzv. stárnutím pod napětím, kdy dochází k lokálnímu zpevňování materiálu vlivem interakcí rozpuštěných atomů a migrací dislokací v mikrostruktuře.[14] Jako tepelné zpracování doporučuje výrobce umělé stárnutí při teplotách v rozmezí 170 °C až 250 °C v časovém rozmezí 30 až 90 minut bez předešlého rozpouštěcího žíhání. Dosahované mechanické vlastnosti odlitků uváděné pro slitinu Magsimal®-plus při zpracování metodou vysokotlakého lití o tloušťce stěny odlitku 3 mm jsou uvedeny v Tab. 2.3 [11].

Tab. 2.3: Mechanické vlastnosti slitiny Magsimal®-plus pro tl. stěny odlitku 3 mm [11] .

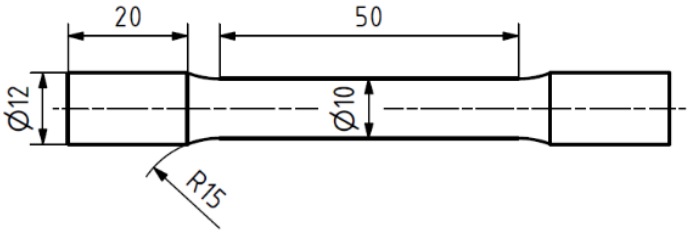
Stav zpracování	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [Mpa]	A [%]
F	200 - 220	340 - 360	9 - 12
T5	230 - 250	350 - 380	8 - 12

[14] Tento jev je rovněž označován jako Portevinův - Chatellierův efekt [11].



Graf 2.1: Tahový diagram slitiny Magsimal®-plus odlévaného metodou vysokotlakého lití [11].

Příprava vzorků experimentální slitiny probíhala ve dvou etapách. V první etapě byly připraveny dvě skupiny vzorků po šesti kusech, kdy jedna skupina byla ve stavu litém a druhá skupina byla podrobena umělému stárnutí při teplotě 210 °C po dobu 60 minut s následným chladnutím na vzduchu. Vzorky byly odlévány do chemicky tvrzené pískové směsi s pojivem GEOPOL® a tvrdidlem. Po odlití a případném tepelném zpracování byly vzorky obrobeny dle následujícího obrázku.



Obr. 2.3: Rozměry vzorku pro tahovou zkoušku - první etapa.

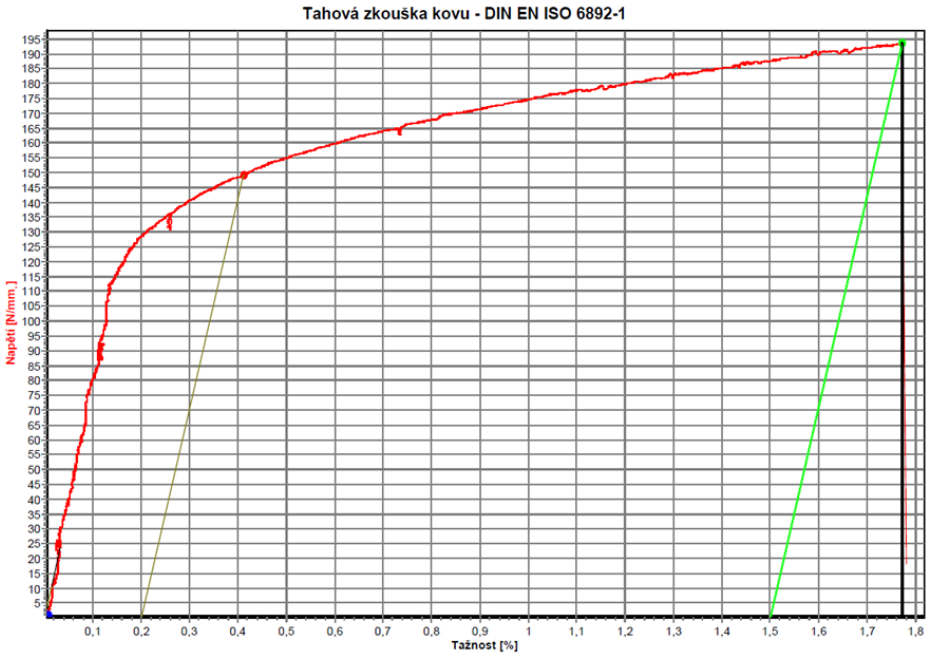
První etapa sloužila jako orientační zkouška, zdali je naše experimentální slitina vůbec vhodná pro metodu gravitační lití. Na základě výsledků provedených tahových zkoušek uvedených v Tab. 2.4 a Tab. 2.5 můžeme říci, že naše experimentální slitina dosahuje velmi slušných mechanických vlastností a je vhodná k další etapě testování.

Tab. 2.4: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - první etapa testování - litý stav.

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
70,6	131,2	178,0	1,2

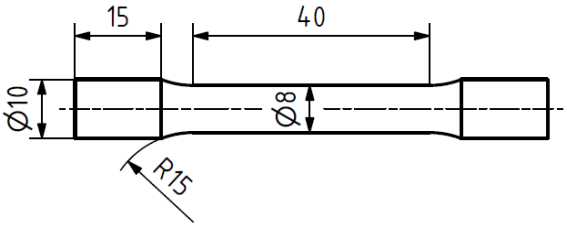
Tab. 2.5: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - první etapa testování - TZ (210 °C, 60 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [Mpa]	R_m [Mpa]	A [%]
70,9	150,8	202,0	1,4



Graf 2.2: Tahový diagram jednoho z testovaných vzorků.

V druhé etapě bylo vyrobeno dalších čtyřicet vzorků, které byly rozděleny do deseti skupin po čtyřech vzorcích. Jedna skupina byla opět ve stavu litém. Ostatních devět skupin bylo podrobeno umělému stárnutí o teplotách 170 °C, 210 °C a 250 °C. Pro každou tuto teplotu byl zkoumán vliv doby trvání umělého stárnutí na výsledné mechanické vlastnosti v časech 30, 60 a 90 minut. Vzorky byly opět odlévány do chemicky tvrzené pískové směsi s pojivem GEOPOL® a tvrdidlem. Po domluvě s kolegou, který prováděl tahové zkoušky, byla upravena geometrie obrobených vzorků podle následujícího obrázku.



Obr. 2.4: Rozměry vzorku pro tahovou zkoušku - druhá etapa.

Při vyhodnocování výsledků tahových zkoušek byla ze statistiky vyloučena nevhodná data, která zahrnovala vzorky prasknuté mimo měřenou oblast, jeden vzorek zlomený při obrábění (vzorek 20) a rovněž jeden vzorek, jehož lomová plocha obsahovala velmi výrazné vměstky. Dále bylo nutné z vyhodnocení vynechat skupinu vzorků, která podléhala umělému stárnutí při teplotě 210 °C po dobu 60 minut, jelikož během průběhu

tepelného zpracování došlo k poruše pece a vzorky tím byly znehodnoceny. Vzhledem k tomu, že tyto parametry však odpovídají tepelně zpracovávaným vzorkům z první etapy testování, budou pro další porovnání použita data právě z těchto vzorků z první etapy. Nevýhodou tohoto kroku by mohlo být to, že se liší rozměry obrobených testovacích vzorků pro etapy jedna a dva, jelikož se však zaznamenávané hodnoty počítají z reálných počátečních hodnot, je tento krok pro naše účely přijatelný. Po odfiltrování těchto nevhodných dat bylo provedeno vyhodnocení mechanických vlastností jednotlivých skupin vzorků, které jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 2.6: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - litý stav.

E [Gpa]	$R_{p0,2}$ [Mpa]	R_m [Mpa]	A [%]
71,6	122,0	188,0	1,4

Tab. 2.7: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (170 °C, 30 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
70,0	137,0	191,0	1,0

Tab. 2.8: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (170 °C, 60 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [Mpa]	R_m [Mpa]	A [%]
70,0	148,7	200,3	1,0

Tab. 2.9: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (170 °C, 90 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
70,1	150,3	209,3	1,3

Tab. 2.10: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (210 °C, 30 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [Mpa]	R_m [Mpa]	A [%]
70,2	133,0	194,3	1,3

Tab. 2.11: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (210 °C, 90 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
70,1	140,5	198,8	1,1

Tab. 2.12: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (250 °C, 30 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [Mpa]	R_m [Mpa]	A [%]
70,3	147,8	203,0	1,2

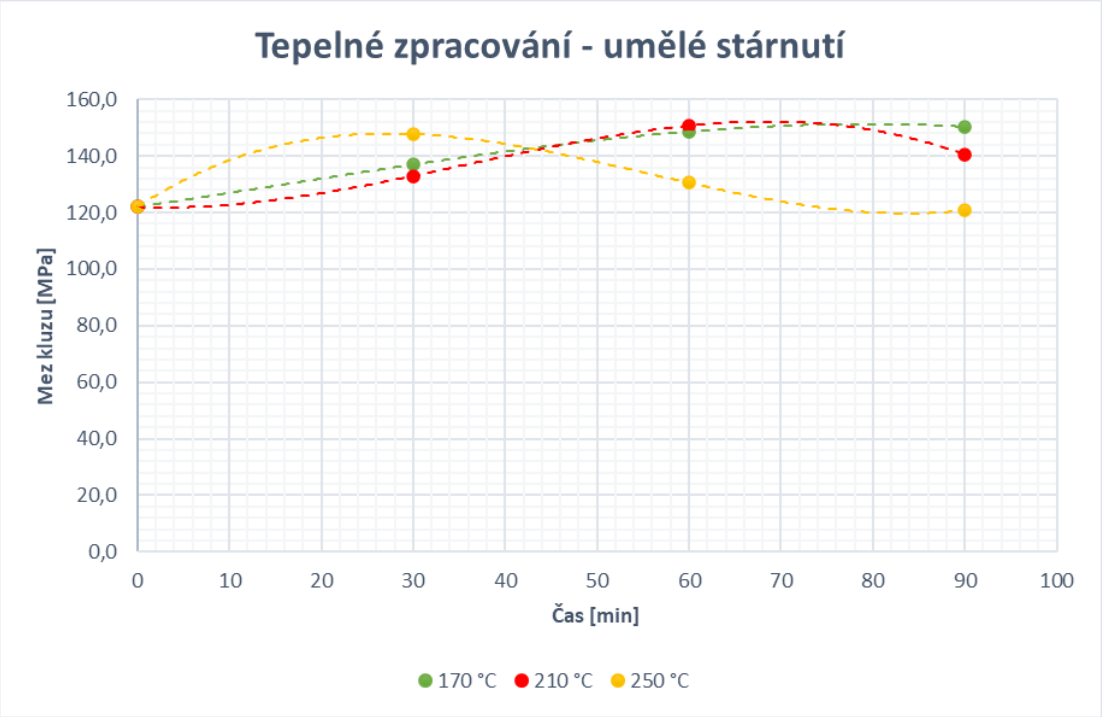
Tab. 2.13: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (250 °C, 60 minut).

E [Gpa]	$R_{p0,2}$ [Mpa]	R_m [Mpa]	A [%]
70,3	130,5	196,3	1,4

Tab. 2.14: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (250 °C, 90 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
71,2	120,8	190,8	1,7

Z výše uvedených dat dosažených mechanických vlastností naší experimentální slitiny byla sestavena grafická závislost vlivu parametrů umělého stárnutí na mez kluzu, kterou zobrazuje Graf 2.3. Jednotlivé vyhodnocované body byly v grafu proloženy křivkou definovanou polynomem 6. stupně. Z této závislosti je patrné, že při zkoumaných parametrech TZ můžeme pro každou použitou teplotu při správně zvoleném čase dosáhnout téměř totožné meze kluzu. Pro následnou výrobu bylo však nutné zvolit jednu optimální hodnotu teploty a času. Jako nejvhodnější kombinaci jsem na základě tohoto grafického znázornění zvolil teplotu umělého stárnutí 210 °C po dobu 70 minut.



Graf 2.3: Vliv parametrů umělého stárnutí na mez kluzu experimentální slitiny.

Pro možnost porovnání vlivu materiálu formy, a s tím spojené rychlosti krystalizace taveniny, na výsledné mechanické vlastnosti, byly dodatečně zhotoveny dvě další sady vzorků, které byly odlity do kovové formy, kdy jedna byla testována ve stavu litém a druhá ve stavu po umělém stárnutí při výše zmíněných optimálních parametrech.

Tab. 2.15: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny lité do kovové formy - litý stav.

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [Mpa]	R_m [Mpa]	A [%]
70,4	148,5	208,5	1,1

Tab. 2.16: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny lité do kovové formy - TZ (210 °C, 70 minut).

E [GPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
69,9	189,0	234,0	0,9

Z výše uvedených dat je patrné, že materiál formy, lépe řečeno rychlost krystalizace taveniny, má veliký vliv na výsledné mechanické vlastnosti. Pro náš experimentální materiál platí, že při použití kovové formy jsme u vzorků v litém stavu dosáhli meze kluzu téměř stejné hodnoty jako u tepelně zpracovaných vzorků litých do formy pískové. Pokud porovnáme pouze tepelně zpracované vzorky, tak jsme použitím kovové formy dosáhli vyšší meze kluzu o téměř 40 MPa než při použití formy pískové. Tento jev je způsoben formováním mikrostruktury při krystalizaci a byl již částečně zmíněn v podkapitole Mikrostruktura.

Všechny tahové zkoušky byly prováděny na stroji LabTest Model 5.100SP1 podle normy DIN EN ISO 6892-1 - Tahová zkouška kovu. Základní technické parametry toho stroje jsou uvedeny v Tab. 2.17. Na Obr. 2.5 potom můžeme vidět podobu vzorků po odlití, po obrobení a po provedené tahové zkoušce. Kompletní protokoly všech provedených tahových zkoušek jsou uvedeny v přílohách této práce.

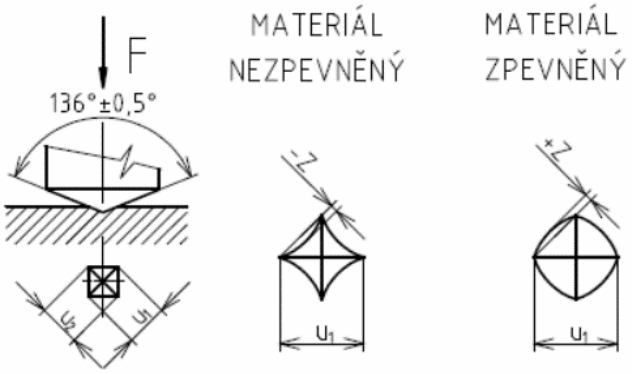
Tab. 2.17: Základní parametry stroje LabTest Model 5.100SP1.

Jmenovité zatížení [kN]	100
Max. zkušební rychlost [mm/min]	600
Přesnost řízení rychlosti [%]	± 0,5
Rozlišení příčníku [µm]	1
Tuhost rámu [mm/N]	$1{,}6 \times 10^{-6}$
Rozpětí sil [kN]	500 - 600
Přesnost měření síly [%]	± 0,3 z hodnoty v rozsahu

Obr. 2.5: Zkušební vzorky po odlití (vlevo), po obrobení (uprostřed) a po provedení tahové zkoušky (vpravo).

Další zkoumanou vlastností experimentálního materiálu byla jeho tvrdost. K tomuto měření byla zvolena vnikací metoda měření tvrdosti dle Vickerse. Měření tvrdosti je založeno na vlastní definici této materiálové vlastnosti, a sice že tvrdost je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Samotné měření je pak založeno na používání předepsaných tvarů a rozměrů zkušebních vnikacích těles (indentorů) společně s předepsanými hodnotami zatížení a času působení tohoto zatížení. Následně se provádí hodnocení otisku, který zanechal indentor ve zkoušeném materiálu. U zkoušky dle Vickerse je indentorem pravidelný čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem 136°. Následný vtisk se hodnotí pomocí průměru velikosti dvojice úhlopříček u $[mm]$ a zatěžující síly F $[N]$. Výsledná tvrdost se pak vypočte dle následujícího vztahu [13] [14]:

$$HV = \frac{0{,}1891 \cdot F}{u^2}. \tag{2.1}$$



Obr. 2.6: Tvar indentoru a vpichu zkoušky tvrdosti dle Vickerse [13].

Pro měření byl použit tvrdoměr IndentaMe t1104. Po provedení několika zkušebních vpichů bylo jako optimální zatížení zvoleno 0,5 kp, což odpovídá zatěžující síle přibližně 4,9 N.[15] Zatěžující čas byl nastaven na hodnotu 12 s. Použitý tvrdoměr je vybaven nitkovým odečítacím zařízením a po změření úhlopříček sám odečítá příslušnou hodnotu tvrdosti, tu tedy není nutné ručně dopočítávat. Měření bylo provedeno na stejných

[15] Pro zatížení 0,5 kp se tvrdost dle Vickerse označuje jako HV 0,5 [13].

metalografických výbrusech, které byly použity pro zkoumání mikrostruktury v předešlé části experimentu. Porovnání tvrdostí uvedených vzorků uvádí následující tabulka.

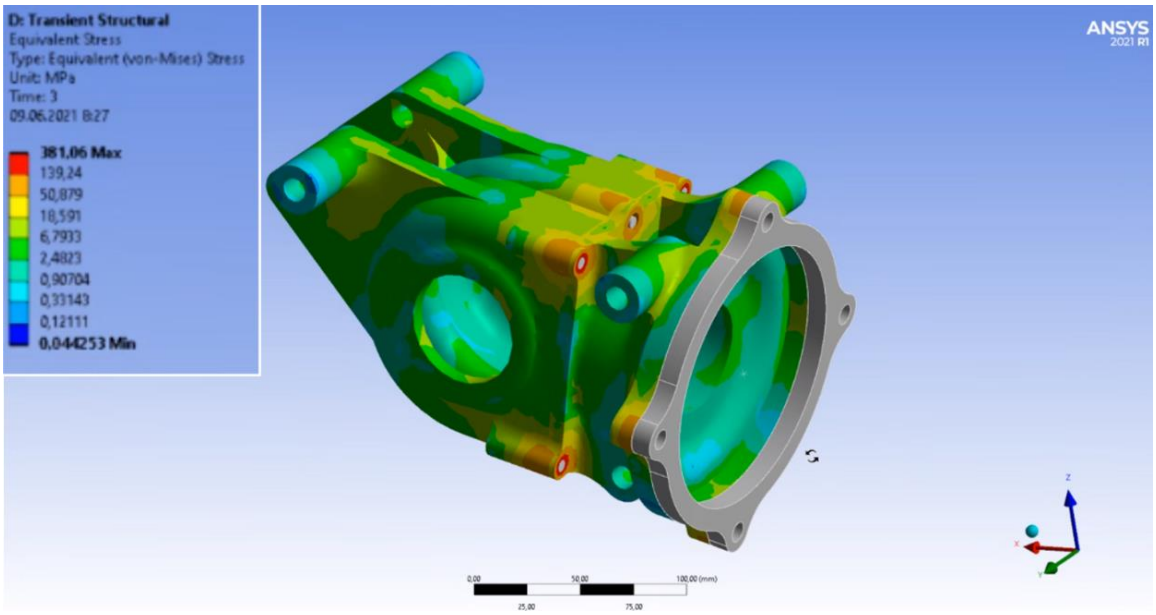
Tab. 2.18: Tvrdost vzorků experimentálního materiálu.

Vzorek	Stav	HV 0,5
Z těla odlitku	F	68,6
	T5	70,6
Od chladítka	F	70,9
	T5	70,9

Z Tab. 2.18 je patrné, že tepelné zpracování mělo vliv pouze na vzorek odebraný z těla odlitku, kdežto u vzorku odebraného od chladítka, který vykazoval mnohem jemnozrnější strukturu, se tvrdost tepelným zpracováním nezměnila. Tato skutečnost však mohla být způsobena tím, že u vzorků v litém stavu je výrazněji oddělena měkčí primární fáze a tvrdší eutektikum, čímž mohlo být zkresleno měření, jelikož poměr vpichů do eutektika a primární fáze nemusel být u obou vzorků stejný. Zároveň jsem při měření pozoroval jev, že oblasti hrubých hustě vyloučených fází Mg_2Si vykazovaly výrazně zvýšenou tvrdost dosahující hodnot až kolem 80 HV 0,5. Tyto oblasti s velkými výkyvy hodnot jsem však z celkového měření tvrdosti vyloučil, kvůli zachování relevantnosti naměřených dat.

3. Návrh konstrukce odlitků

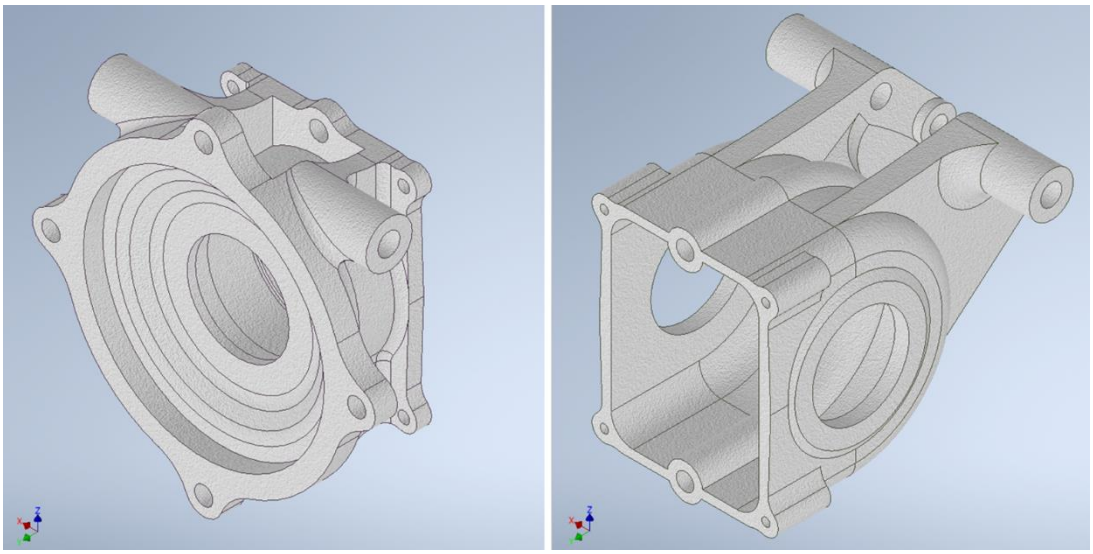
Výchozí konstrukce skříně převodovky vychází z celkového konstrukčního řešení motocyklu a byla navržena s ohledem k povaze namáhání. Na základě výsledků testování mechanických vlastností naší experimentální slitiny byl tento koncept podroben napěťové analýze. Napěťová analýza odhalila kritické body, jimiž jsou šroubové spoje mezi oběma díly převodovky. Tyto body však při simulaci vykazují mnohem vyšší hodnotu napětí, než bude jeho reálná hodnota, jelikož vzhledem k náročnosti simulace zatížení celého motocyklu byla volena poměrně hrubá výpočtová sít, kdy byl kruhový otvor pro šroub nahrazen pouze třemi body, které z tohoto důvodu vykazují velmi vysoké a nereálné napěťové peaky (až 381 MPa). Jelikož v reálné aplikaci dojde k rovnoměrnému rozložení napětí na celou plochu podložky pod šroubem, není třeba se těchto peaků obávat. Napěťové pole pro výchozí díly můžeme vidět na Obr. 3.1. Napěťová analýza byla provedena v softwaru Ansys.



Obr. 3.1: Napěťové pole výchozí konstrukce skříně převodovky.

Po ověření vhodnosti původní konstrukce bylo nutné oba díly upravit pro zvolenou výrobní metodu gravitačního lití. To zahrnuje zaslepení všech nepředlévaných otvorů, zaoblení vnějších i vnitřních hran, vytvoření úkosů vůči zvolené dělící rovině formy s ohledem na zaformování a v neposlední řadě vytvoření vhodných přídavků na obrábění.

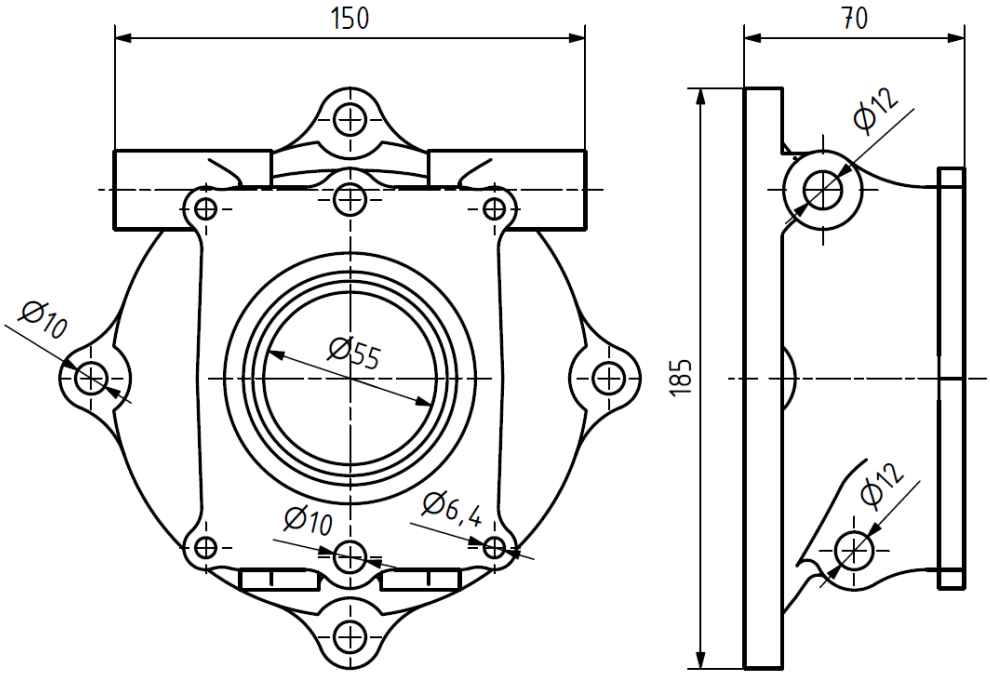
Na následujícím obrázku můžeme vidět výchozí stav předního i zadního dílu před konstrukčními úpravami.



Obr. 3.2: Výchozí díly před konstrukční úpravou - přední díl vlevo a zadní díl vpravo.

3.1. Přední díl

Většina konstrukčních úprav se odvíjí od charakteristických rozměrů finálního výrobku. Nejdůležitější charakteristické rozměry předního dílu můžeme vidět na Obr. 3.3.



Obr. 3.3: Charakteristické rozměry předního dílu skříně převodovky.

3.1.1. Přídavky na obrábění

Přídavky na obrábění se volí podle největšího charakteristického rozměru finálního výrobku. Podle Tab. 3.1, která udává doporučené stupně přídavků na obrábění pro odlitky, volím pro další návrhy stupeň přídavků F. Tomu dle Tab. 3.2 pro maximální charakteristický rozměr 185 mm odpovídá minimální hodnota přídavku 2 mm [15].

Tab. 3.1: Typické doporučené stupně přídavků n obrábění hrubých odlitků [15].

Metoda	Doporučené stupně přídavků na obrábění				
	Materiál na odlitky				
	ocel	litiny	slitiny Cu a Zn	slitiny Al a Mg	slitiny Ni a Co
Lití do písku, ruční formování	G až K	F až H	F až H	F až H	G až K
Lití do písku, ruční formování a skořepiny	F až H	E až G	E až G	E až G	F až H
Kovové formy, gravitační a nízkotlaké lití	-	D až F	D až F	D až F	-
Tlakové lití	-	-	B až D	B až D	-
Přesné lití	E	E	E	E	E

Tab. 3.2: Doporučené přídavky na obrábění dle ISO 8062 [15].

Největší celkový rozměr odlitku po konečném obrobení [mm]		Doporučené přídavky na obrábění [mm]									
		Stupně doporučených přídavků na obrábění									
nad	do a včetně	A*)	B*)	C	D	E	F	G	H	J	K
-	40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1,0	1,4
40	63	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0
63	100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0
100	160	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	6,0
160	250	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4	2,0	2,8	4,0	5,5	8
250	400	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10

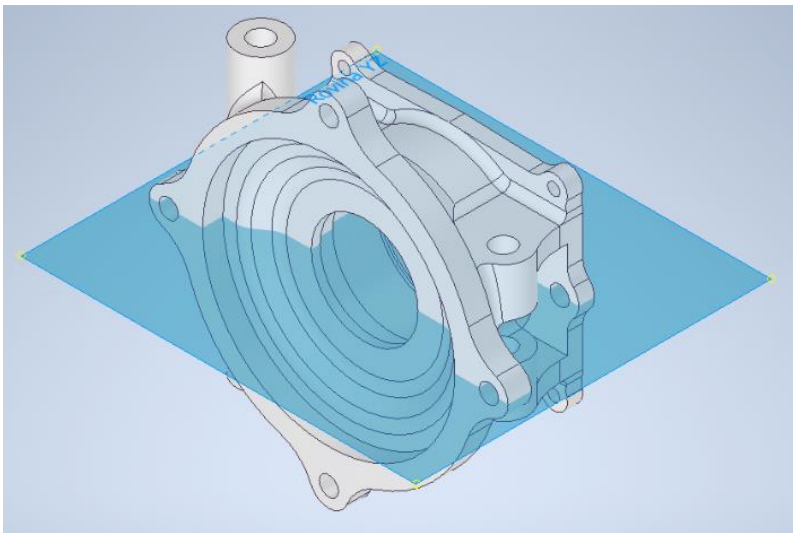
U výsledného přídavku na obrábění jsem se rozhodl zohlednit i smrštění odlitku během tuhnutí, které pro hliníkové slitiny nabývá hodnoty přibližně 1 % [15]. Pro zaručení dostatečné hodnoty přídavků jsem přídavek pro kompenzaci smrštění počítal pro největší charakteristický rozměr, i když se na tomto rozměru přídavek neaplikoval. Výpočet výsledného přídavku na obrábění pak vypadá následovně:

$$P = P_{tab} + \frac{L_{ch_max}}{2} \cdot \varepsilon = 2{,}0 + \frac{185}{2} \cdot 0{,}01 = 2{,}925\ mm \rightarrow volím\ \boldsymbol{P = 3{,}0\ mm} \quad (\mathbf{3.1})$$

kde P_{tab} odpovídá tabulkové hodnotě přídavku dle Tab. 3.2, L_{ch-max} je největší charakteristický rozměr a ε je hodnota smrštění.

3.1.2. Úkosy a zaoblení

Pro vytvoření úkosů bylo nejprve nutné zvolit dělící rovinu odlitku. Ta byla s ohledem na co nejsnadnější zaformování zvolena dle následujícího obrázku.



Obr. 3.4: Dělící rovina předního dílu skříně převodovky.

Na kruhové straně příruby byl zvolen kuželový úkos 3°. Na všech ostatních zkosených plochách byl zvolen úkos 2°. Zaoblení bylo voleno dle doporučené řady zaoblení s hodnotou poloměru 1 mm [15].

3.1.3. Předlévání otvorů

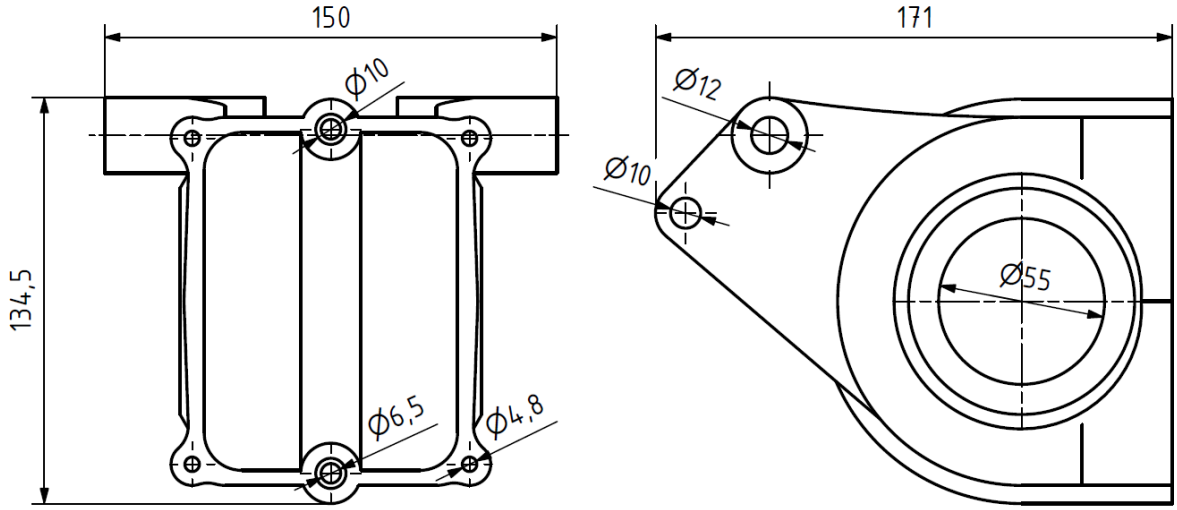
Pro běžně malé odlitky z hliníkových slitin je dle zdroje [15] minimální průměr předlévaných otvorů 20 mm. Proto bude předléván pouze největší centrální otvor.

3.1.4. Výsledná konstrukce odlitku předního dílu

Výsledná konstrukce odlitku předního dílu obsahuje přídavek na obrábění minimálně 3 mm na všech obráběných plochách. Kruhová příruba dílu je opatřena kuželovým úkosem o velikosti 3°, všechny ostatní úkosy mají velikost 2 °. Velikost poloměru všech zaoblení, která byla při úpravě konstrukce realizována, nabývá hodnoty 1 mm. Předléván bude pouze centrální otvor.

3.2. Zadní díl

Většina konstrukčních úprav se odvíjí od charakteristických rozměrů finálního výrobku. Nejdůležitější charakteristické rozměry zadního dílu můžeme vidět na Obr. 3.5.



Obr. 3.5: Charakteristické rozměry zadního dílu skříně převodovky.

3.2.1. Přídavky na obrábění

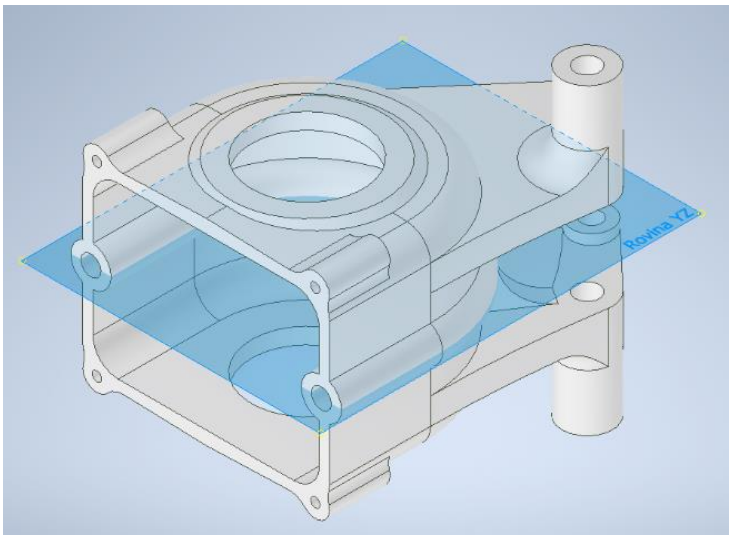
Přídavky na obrábění se volí podle největšího charakteristického rozměru finálního výrobku. Podle Tab. 3.1, která udává doporučené stupně přídavků na obrábění pro odlitky, volím pro další návrhy stupeň přídavků F. Tomu dle Tab. 3.2 pro maximální charakteristický rozměr 171 mm odpovídá minimální hodnota přídavku 2 mm [15].

Stejně jako u předního dílu jsem se u výsledného přídavku na obrábění rozhodl zohlednit i smrštění odlitku během tuhnutí. Výpočet výsledného přídavku na obrábění pak vypadá následovně:

$$P = P_{tab} + \frac{L_{ch_max}}{2} \cdot \varepsilon = 2{,}0 + \frac{171}{2} \cdot 0{,}01 = 2{,}855\ mm \rightarrow volím\ \boldsymbol{P = 3{,}0\ mm} \quad (\mathbf{3.2})$$

3.2.2. Úkosy a zaoblení

Pro vytvoření úkosů bylo nejprve nutné zvolit dělící rovinu odlitku. Ta byla s ohledem na co nejsnadnější zaformování zvolena dle následujícího obrázku.



Obr. 3.6: Dělící rovina předního dílu skříně převodovky.

Na všech zkosených plochách byl zvolen úkos 2°. Zaoblení bylo voleno dle doporučené řady zaoblení s hodnotou poloměru 1 mm [15].

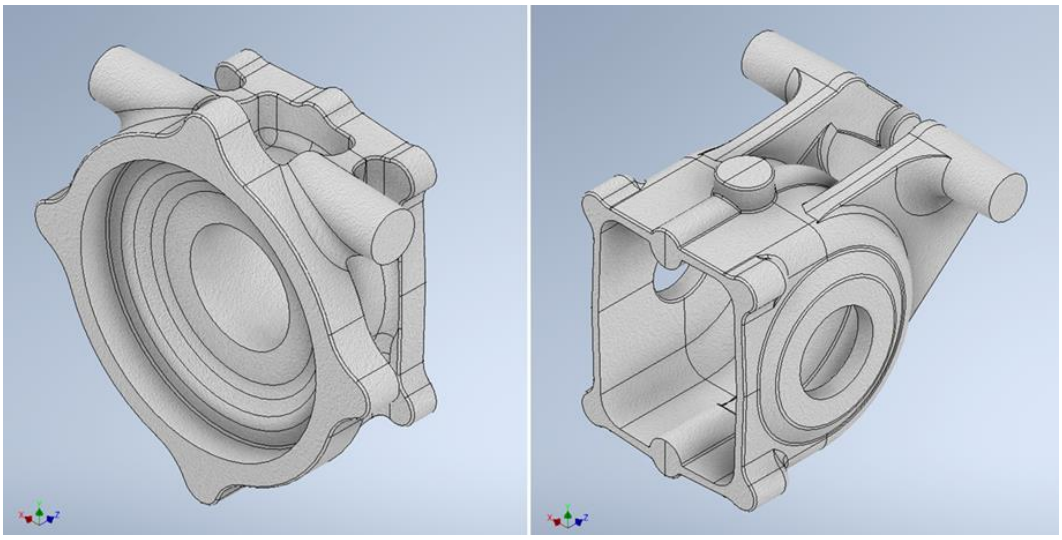
3.2.3. Předlévání otvorů

Pro běžně malé odlitky z hliníkových slitin je dle zdroje [15] minimální průměr předlévaných otvorů 20 mm. Proto budou předlévány pouze otvory pro výstupní hřídel a dutina těla odlitku.

3.2.4. Výsledná konstrukce odlitku zadního dílu

Výsledná konstrukce odlitku zadního dílu obsahuje přídavek na obrábění minimálně 3 mm na všech obráběných plochách. Všechny úkosy mají velikost 2 °. Velikost poloměru všech zaoblení, která byla při úpravě konstrukce realizována, nabývá hodnoty 1 mm. Předlévány budou pouze otvory pro výstupní hřídel a dutina těla odlitku.

Na následujícím obrázku můžeme vidět přední (vlevo) a zadní (vpravo) díl skříně převodovky po všech provedených konstrukčních úpravách.



Obr. 3.7: Upravené díly po konstrukční úpravě - přední díl vlevo a zadní díl vpravo.

V dalším kroku této práce následují simulace tuhnutí odlitků, technologický návrh a jeho optimalizace a simulace samotného procesu odlévání.

4. Technologický návrh a simulace odlévání

Před samotným technologickým návrhem byla provedena simulace tuhnutí samotného odlitku bez technologických prvků (bez nálitků, vtokové soustavy a chladítek). Tato simulace měla za cíl odhalit kritické body (tzv. tepelné uzly), kterým se pak dále přizpůsobuje technologický návrh. Ověření funkčnosti technologického návrhu probíhalo opět pomocí simulace tuhnutí a na základě výsledků těchto simulací byly provedeny případné optimalizace návrhu. Po dosažení přijatelného výsledku simulace tuhnutí byla následně provedena simulace kompletního procesu lití včetně průběhu plnění formy. Pro dosažení co nejpřesnějších výsledků simulací nám společnost ESI Group namodelovala náš experimentální materiál pro použití v simulačním softwaru ProCast. Pro materiál formy a jader se v knihovně nenacházela směs s pojivem Geopol, jelikož zde ovšem byla směs na bázi furanové pryskyřice, která pro naše potřeby dosahuje téměř stejných vlastností, použil jsem v simulacích jako alternativu právě tuto směs.

4.1. Přední díl

4.1.1. Simulace tuhnutí prostého odlitku

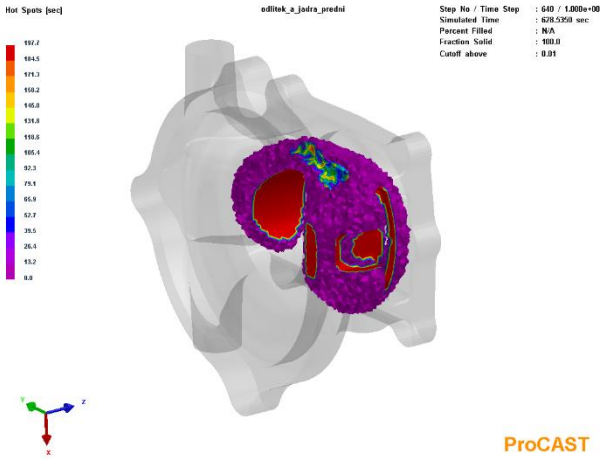
První simulace tuhnutí byla zaměřena na odhalení tepelných uzlů prostého odlitku. Pro tuto simulaci byla pro zjednodušení nastavena virtuální forma s pevným defaultním nastavením teploty na 30 °C. Parametry této simulace jsou popsány v Tab. 4.1.

Tab. 4.1: Parametry simulace tuhnutí prostého odlitku předního dílu.

Materiál slitiny	AlMg6Si2MnZr
Materiál formy	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál jader	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Licí teplota	750 °C
Teplota formy	30 °C
Teplota jader	20 °C

Tepelné uzly

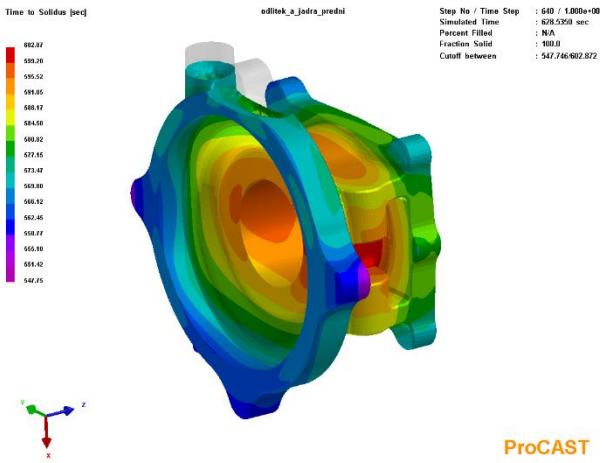
Tepelné uzly jsou místa, kde tavenina tuhne jako poslední a z tohoto důvodu je zde velmi vysoké riziko vzniku staženin. Velikost staženin závisí především na velikosti teplených uzlů. Vzhledem k tvaru a velikosti tepelných uzlů zobrazených na Obr. 4.1, můžeme očekávat v odlitku velmi masivní staženiny, které zapříčiní zmetkovitost odlitku.



Obr. 4.1: Tepelné uzly v prostém odlitku předního dílu.

Time to solidus

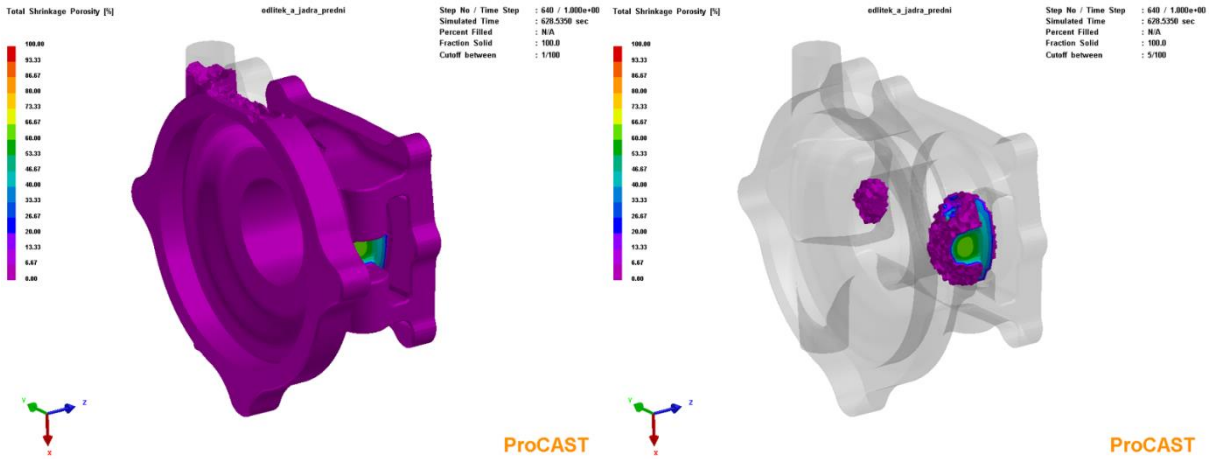
Pole time to solidus nám ukazuje čas chladnutí až k hodnotě křivky solidu v různých místech odlitku. Dosažení této křivky znamená, že tavenina v tomto místě již přešla do zcela tuhé fáze. Na Obr. 4.2 jasně vidíme, že pole time to solidus odpovídá poloze tepelných uzlů v odlitku. Rovněž můžeme pozorovat jasně patrný vliv gravitace na tuhnutí taveniny.



Obr. 4.2: Pole time to solidus v prostém odlitku předního dílu.

Staženiny

Na Obr. 4.3 můžeme vidět, že bez nálitkování dojde na vrchní straně odlitku vlivem stahování k velkému propadu povrchu. Rovněž zde můžeme pozorovat velké vnitřní staženiny, které odpovídají poloze a velikosti tepelných uzlů. Pro odstranění staženin z těla odlitku bude třeba použít vhodné nálitky a chladítka tak, aby došlo k usměrnění tuhnutí odlitku do nálitků a tím k přesunutí staženin z těla odlitku právě do nálitků.



Obr. 4.3: Staženiny v prostém odlitku předního dílu - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo.

4.1.2. Technologický návrh

Během technologického návrh bylo potřeba navrhnout velikost a umístění nálitků a chladítek na základě výsledků předchozí simulace tuhnutí, rovněž bylo nutné navrhnout vtokovou soustavu.

Návrh nálitků

Pro návrh nálitků byl zvolen výpočet podle Přibyla, který vychází z předpokladu objemové dostatečnosti nálitků. Přibylův vztah pro výpočet minimálního potřebného objemu nálitku vypadá následovně [16]:

$$V_n = V_o \cdot \frac{\beta \cdot \chi}{1 - \beta \cdot \chi} \tag{4.1}$$

kde V_o $[cm^3]$ je objem odlitku, β je součinitel stahování příslušného kovu a χ je koeficient nehospodárnosti nálitku. Hodnoty součinitele β a koeficientu χ pro různé slitiny a různé typy nálitků můžeme vidět v Tab. 4.2 a Tab. 4.3 [16].

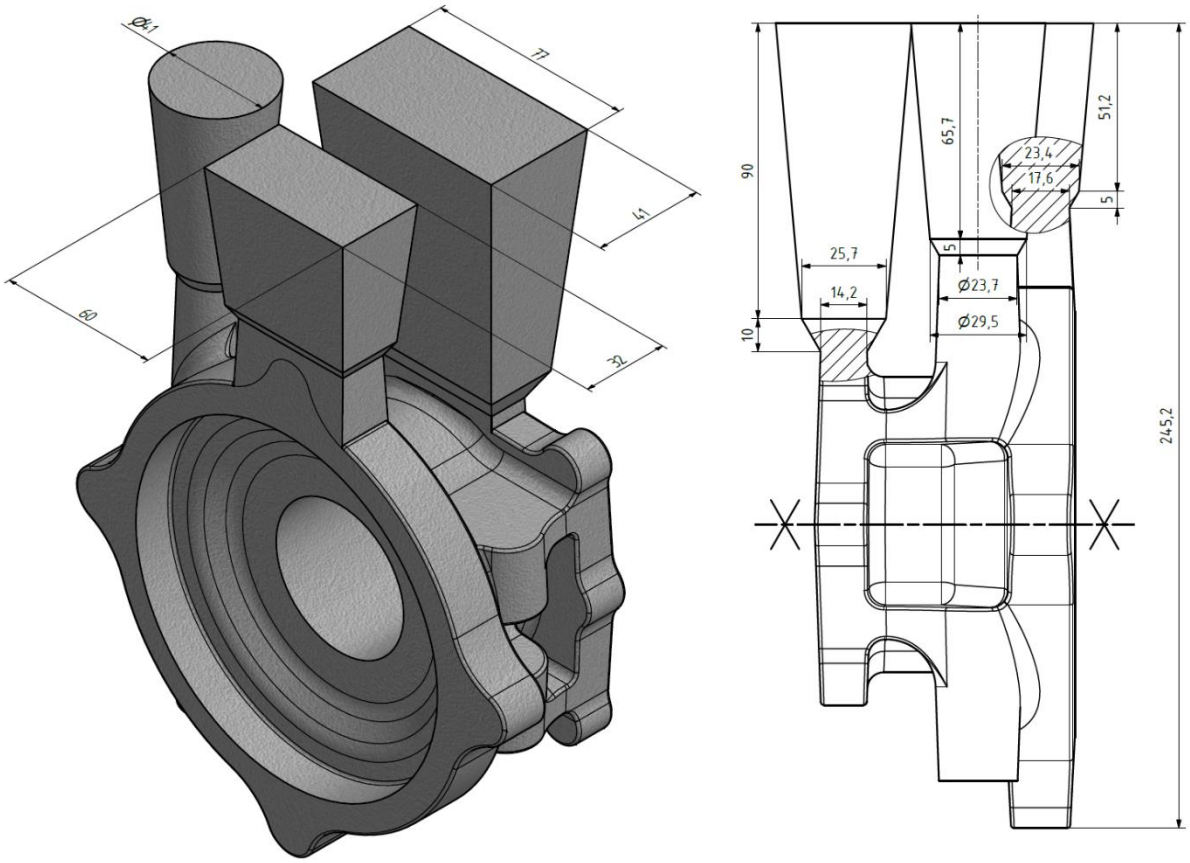
Tab. 4.2: Hodnoty součinitele stahování β pro různé slitiny [16].

Slitina	Součinitel β
Ocel (0,10 % C)	0,020
Ocel (0,35 % C)	0,030
Ocel (0,70 % C)	0,053
LLG (2,5 % C)	0,03 až 0,04
LLG (3,0 % C)	0,02 až 0,03
LLG (3,5 % C)	0,01 až 0,02
Bílá litina	0,045 až 0,055
Al slitiny	0,04 až 0,05
Bronz	0,035 až 0,045

Tab. 4.3: Hodnoty koeficientu nehospodárnosti χ pro různé druhy nálitků [16].

Druh nálitku	**Koeficient χ**
Podtlakový	12
Atmosférický otevřený	9 až 12
Atmosférický uzavřený	7 až 9
Přetlakový	5,5 až 7,5
Izolovaný	4 až 5,5
Exotermický	3

Pro náš výpočet volím z předchozích tabulek hodnotu součinitele $\beta = 0{,}04$. S ohledem na poněkud méně příznivý tvar a rozměry napojení nálitků na odlitek volím hodnotu koeficientu $\chi = 11$ pro otevřený atmosférický nálitek. Objem odlitku je potom podle CAD dat ze softwaru Autodesk Inventor Professional 2021 $V_o = 633{,}14\ cm^3$. Po dosazení těchto hodnot do rovnice (4.1) dostáváme jako výsledek minimální objem nálitků $V_n = 497{,}47\ cm^3$. Základní návrh nálitků můžeme vidět na Obr. 4.4.



Obr. 4.4: Základní návrh nálitků předního dílu.

Takto navržené nálitky mají objem $V_{n_skutečný} = 389{,}94\ cm^3$, což je sice méně než vypočtená minimální hodnota, ale vzhledem k tomu, že bude použito poměrně velké

množství chladítek, je možné použít nálitky s nižším než vypočteným objemem. Správnost jejich návrhu bude ověřena pomocí simulace.

Návrh vtokové soustavy

Vtokovou soustavu, respektive zářezy rozvádějící tekutý kov do těla odlitku, jsem se rozhodl navrhnout co možná největší tak, aby pokud možno plnila i funkci dosazování tekutého kovu při tuhnutí. Z tohoto důvodu byl postup návrhu vtokové soustavy opačný než v běžné praxi. Nejprve byla určena maximální možná velikost zářezů a na základě této velikosti byl stanoven průřez struskováku a licího kůlu. Z vypočtených parametrů byla vymodelována vtoková soustava a na základě CAD dat byla výpočtem ověřena vhodnost této vtokové soustavy. Pro poměry průřezů jednotlivých částí vtokové soustavy pro podtlakovou vtokovou soustavu pro hliníkové slitiny platí následující vztah [17] [18]:

$$S_k : S_s : n \cdot S_z = 1{,}8 : 2 : 1 \tag{4.2}$$

kde S_k je průřez vtokového kůlu[16], S_s průřez struskováku, S_z průřez zářezů a n je počet zářezů [17].

Volím dva zářezy kruhového průřezu o průměru 20 mm. Hodnota průřezu jednoho zářezu potom vychází $S_z = 314\ mm^2$ a hodnota obou zářezů je pak dvojnásobek této hodnoty, tedy $S_{z_celková} = 628\ mm^2$. Rovnici (4.2) upravíme pro použití k vyjádření plochy struskováku v závislosti na ploše zářezů následovně:

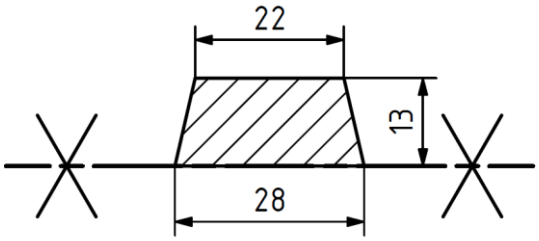
$$2 \cdot S_s = 1 \cdot n \cdot S_z \tag{4.3}$$

Po vyjádření a dosazení potom dostáváme následující plochu struskováku:

$$S_s = \frac{n \cdot S_z}{2} = \frac{2 \cdot 314}{2} = 314\ mm^2 \tag{4.4}$$

Na základě tohoto výpočtu jsem navrhl struskovák podle Obr. 4.5. Skutečná plocha takto navrženého struskováku je $S_{s_skutečná} = 325\ mm^2$.

[16] Průřez vtokového kůlu se vzhledem k jeho úkosu bere v nejužším místě [18].



Obr. 4.5: Průřez struskováku vtokové soustavy předního dílu.

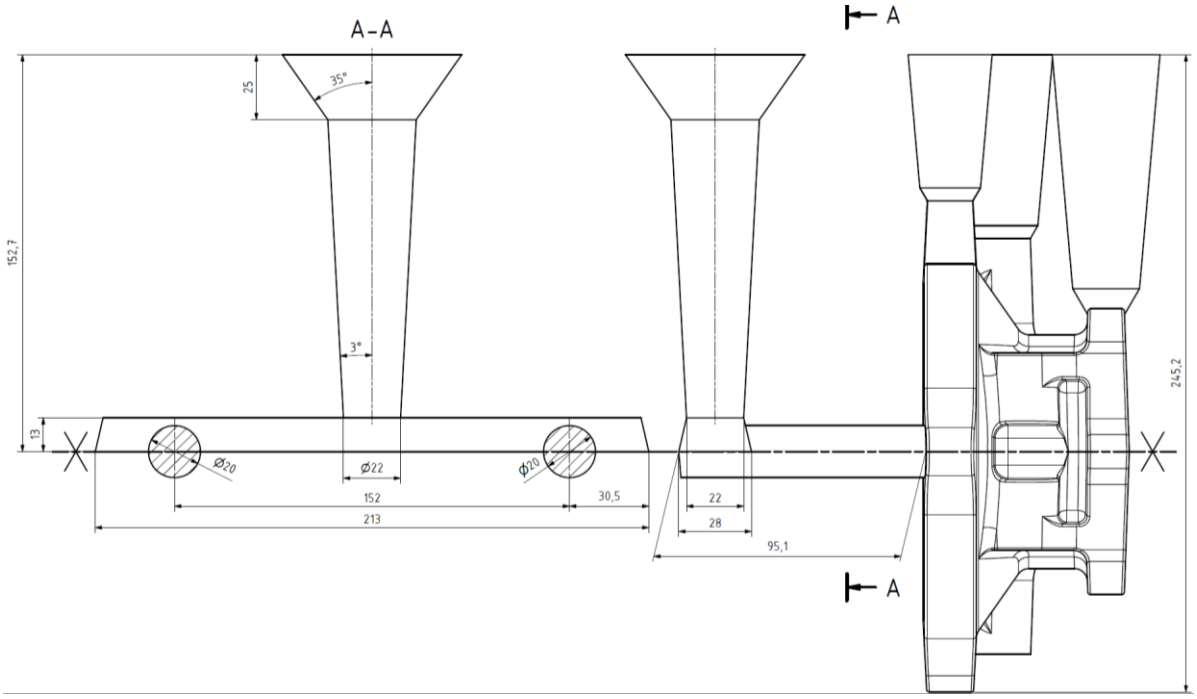
Pro vyjádření plochy vtokového kůlu upravíme rovnici (4.2) následovně:

$$1{,}8 \cdot S_k = 2 \cdot S_{s_skutečná} \tag{4.5}$$

Po vyjádření a dosazení potom dostáváme následující plochu vtokového kůlu:

$$S_k = \frac{2 \cdot S_{s_skutečná}}{1{,}8} = \frac{2 \cdot 325}{1{,}8} = 361\ mm^2 \tag{4.6}$$

Na základě tohoto výpočtu jsem navrhl vtokový kůl s průměrem v místě ústí do struskováku 22 mm. Skutečná minimální plocha takto navrženého vtokového kůlu je $S_{k_skutečná} = 380\ mm^2$. Kompletní návrh vtokové soustavy můžeme vidět na Obr. 4.6.



Obr. 4.6: Vtoková soustava předního dílu.

Pro ověření správnosti návrhu vtokové soustavy je nejprve nutné vypočíst optimální dobu lití t_L $[s]$. K tomuto výpočtu volím vzorec dle Dieterta [17]:

$$t_L = s \cdot \sqrt{m_s} \tag{4.7}$$

kde s $[s \cdot kg^{-\frac{1}{2}}]$ je součinitel tloušťky stěny a m_s $[kg]$ surová hmotnost odlitku. Střední tloušťka stěny předního odlitku spadá do rozmezí 8 až 16 mm, čemuž dle zdroje [17] odpovídá součinitel tloušťky stěny $s = 1{,}5\ s \cdot kg^{-\frac{1}{2}}$. Surová hmotnost odlitku potom dle CAD dat dosahuje hodnoty $m_s = 3{,}42\ kg$. Po dosazení do vzorce (4.7) dostáváme optimální dobu lití jako:

$$t_L = 1{,}5 \cdot \sqrt{3{,}42} = 2{,}77\ s\ \approx \mathbf{3\ s} \tag{4.8}$$

Následně je nutné určit účinnou výšku vtokové soustavy ze vztahu [17]:

$$H = h - \frac{p^2}{2 \cdot c} \tag{4.9}$$

kde h je výška licí jamky nad rovinou zářezů, p je výška odlitku nad rovinou zářezů a c je celková výška odlitku. Všechny tyto rozměry jsou patrné z Obr. 4.6. Po dosazení dostáváme účinnou výšku vtokové soustavy jako:

$$H = 152{,}7 - \frac{152{,}7^2}{2 \cdot 245{,}2} = \mathbf{105{,}2\ mm} \tag{4.10}$$

Dalším krokem je výpočet rychlosti taveniny v řídícím průřezu (v zářezech). Ta se vypočte podle vztahu [17]:

$$v = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \tag{4.11}$$

kde μ je součinitel odporu vtokové soustavy a g je tíhové zrychlení. Součinitel odporu vtokové soustavy nabývá hodnoty $\mu = 0{,}8$ [17].

Nakonec se vypočte minimální plocha řídícího průřezu (zářezu) podle vztahu [17]:

$$S_{z_min} = \frac{m_s}{n \cdot \rho_T \cdot t_L \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} \tag{4.12}$$

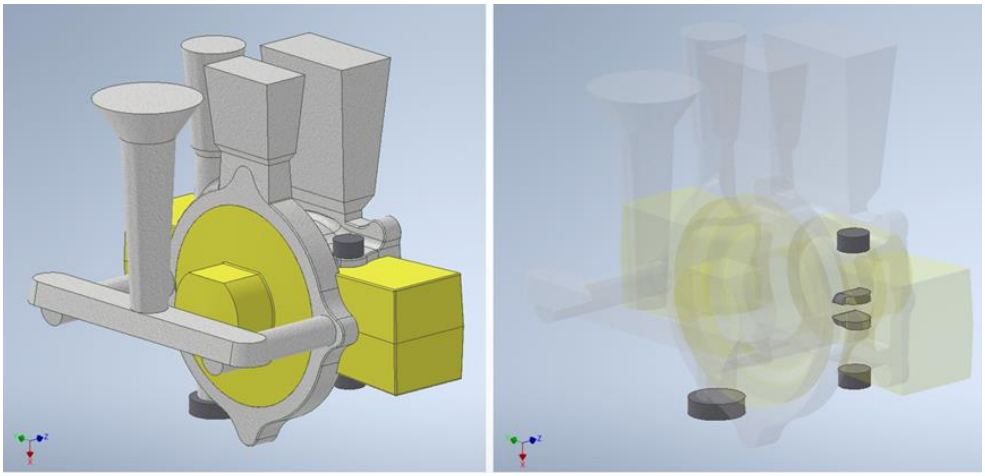
kde n je počet zářezů a ρ_T je hustota taveniny, kdy pro hliníkové slitiny platí hodnota $\rho_T = 2\ 300\ kg \cdot m^{-3}$ [17]. Po dosazení dostáváme hodnotu minimálního průřezu jednoho zářezu:

$$S_{z_min} = \frac{3{,}42}{2 \cdot 2\,300 \cdot 3 \cdot 0{,}8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}1052}} = 0{,}000216\ m^2 = \mathbf{216\ mm^2} \qquad (4.13)$$

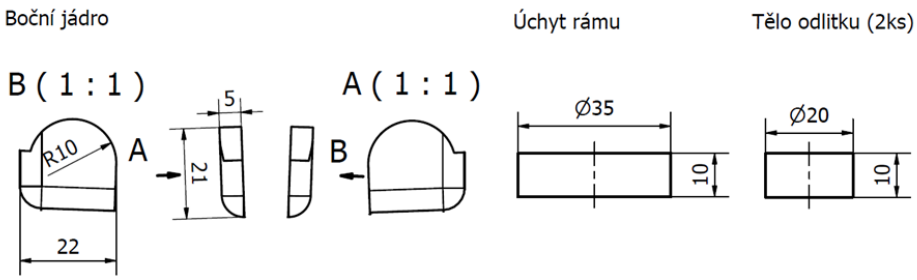
a jelikož platí, že $S_z > S_{z_min}$, je takto navržená vtoková soustava vyhovující.

Návrh chladítek

Velikost a rozmístění chladítek bylo navrhováno odhadem. Pokud by nevyhovovala, budou chladítka optimalizována na základě výsledků simulace. V základním návrhu jsem navrhl tři chladítka, která se při formování umístí přímo na model, a dvě chladítka, která je nutno zaformovat do bočního jádra. Rozmístění chladítek můžeme vidět na Obr. 4.7, jejich základní rozměry potom na Obr. 4.8. Všechna chladítka jsou vyrobena z nízkouhlíkové oceli.



Obr. 4.7: Rozmístění chladítek předního dílu.



Obr. 4.8: Základní rozměry chladítek předního dílu.

4.1.3. Simulace tuhnutí odlitku včetně technologických prvků

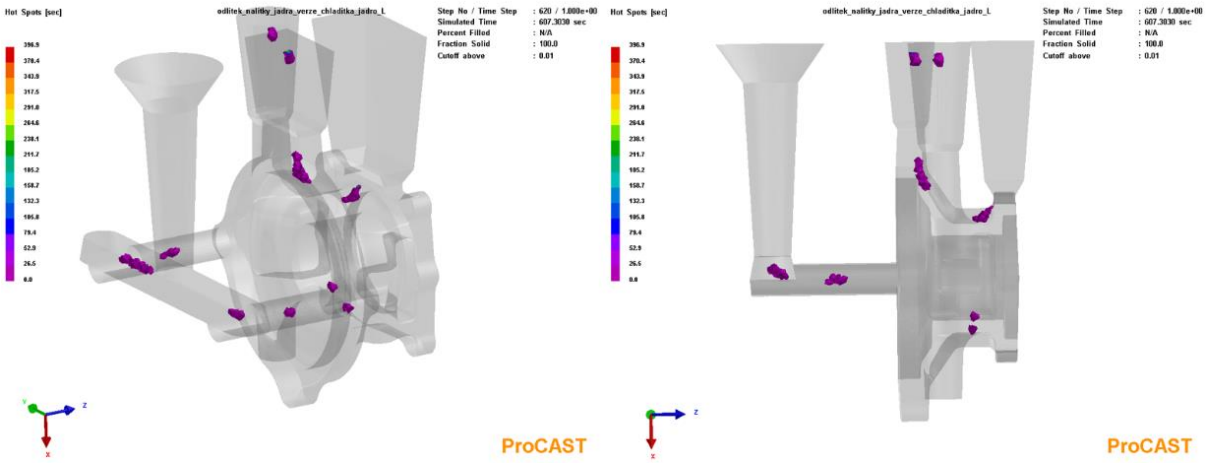
Simulace tuhnutí odlitku včetně technologických prvků byla zaměřena na ověření správnosti jejich návrhu. Pro tuto simulaci již byla nadefinována reálná forma. Parametry této simulace jsou popsány v Tab. 4.4.

Tab. 4.4: Parametry simulace tuhnutí odlitku předního dílu včetně technologických prvků.

Materiál slitiny	AlMg6Si2MnZr
Materiál formy	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál jader	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál chladítek	nízkouhlíková ocel
Licí teplota	750 °C
Teplota formy	20 °C
Teplota jader	20 °C
Teplota chladítek	20 °C

Tepelné uzly

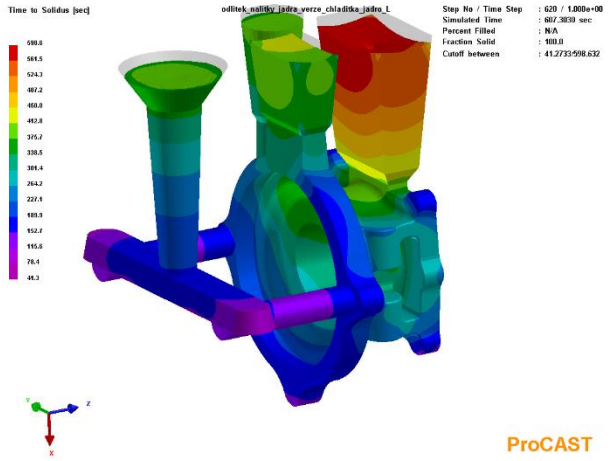
Na následujícím obrázku můžeme jasně vidět, že po přidání nálitků a chladítek jsou tepelné uzly oproti předchozí simulaci značně redukované. Tepelné uzly na Obr. 4.9 budou kompenzovány dosazováním tekutého kovu z přilehlých nálitků.



Obr. 4.9: Tepelné uzly v odlitku předního dílu včetně technologických prvků.

Time to solidus

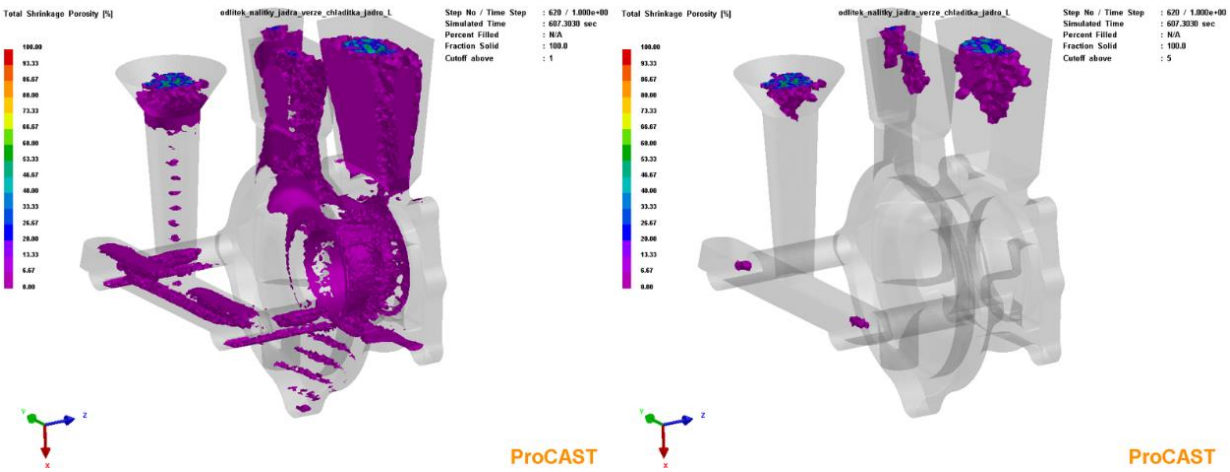
Pole time to solidus nám ukazuje, že odlitek tuhne od spodní strany směrem do nálitků a nálitky jsou takto tedy navrženy správně.



Obr. 4.10: Pole time to solidus v odlitku předního dílu včetně technologických prvků.

Staženiny

Na Obr. 4.11 je zobrazeno rozložení staženin v odlitku. Na obrázku vlevo jsou zobrazeny staženiny s hodnotou nad 1 %, vpravo pak nad 5 %, kdy už jsou všechny staženiny koncentrovány v nálitcích a ve vtokové soustavě. Vidíme tedy, že malý podíl staženin v těle odlitku zůstává. V takovéto míře však nebudou mít staženiny žádný výraznější vliv na celistvost a funkčnost odlitku. Rovněž můžeme pozorovat, že nálitky z většiny skutečně pokryly vliv tepelných uzlů popsaný výše. Výsledkem je tedy zdravý odlitek bez výraznějších defektů a technologické prvky jsou takto navrženy správně.



Obr. 4.11: Staženiny v odlitku předního dílu včetně technologických prvků - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo.

4.1.4. Simulace licího procesu

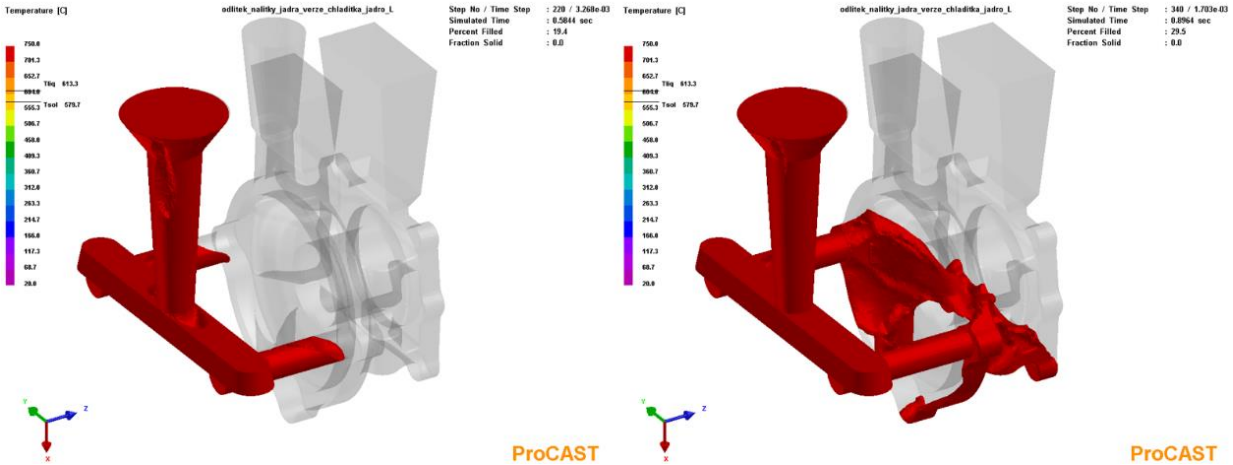
Simulace licího procesu ukazuje průběh plnění formy a chování taveniny během tohoto procesu. Rovněž nám může ukázat vliv chladnutí taveniny již během plnění formy, oproti předešlé simulaci tuhnutí. To se může projevit jinou velikostí a rozmístěním výsledných staženin. Parametry této simulace jsou popsány v Tab. 4.5.

Tab. 4.5: Parametry simulace licího procesu odlitku předního dílu.

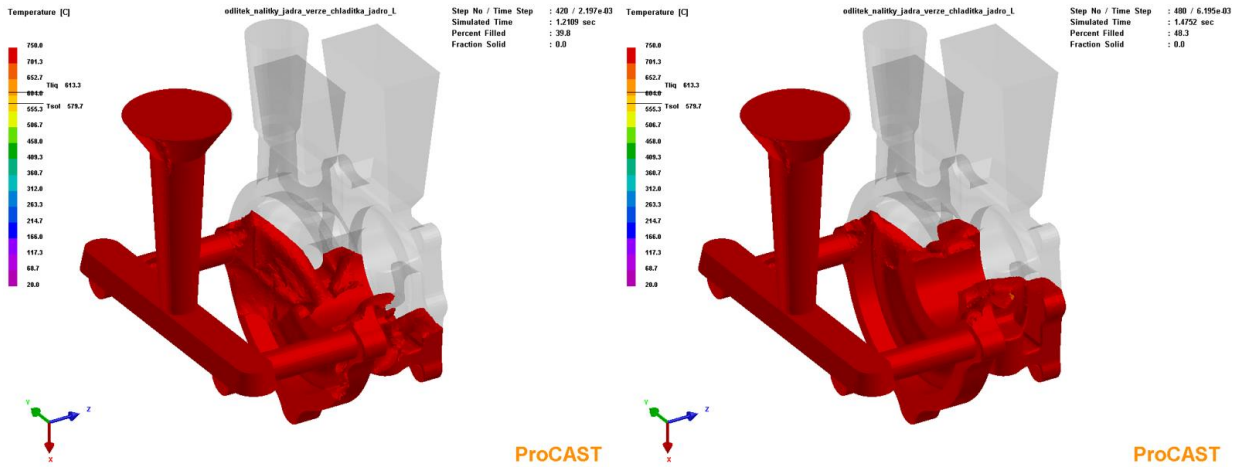
Materiál slitiny	AlMg6Si2MnZr
Materiál formy	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál jader	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál chladítek	nízkouhlíková ocel
Licí teplota	750 °C
Teplota formy	20 °C
Teplota jader	20 °C
Teplota chladítek	20 °C
Čas plnění formy	3 s

Plnění formy

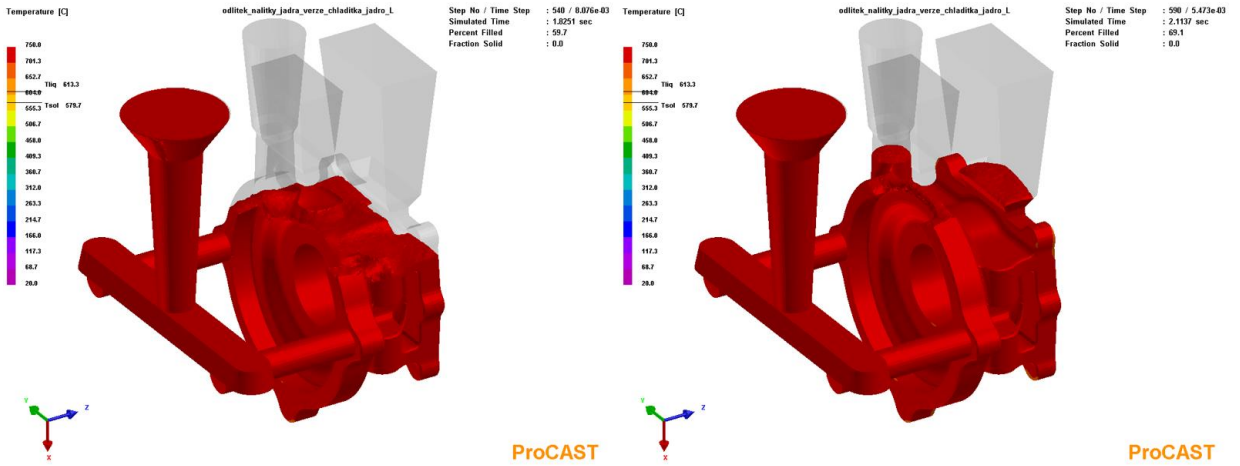
Při plnění formy je jasně patrné, že navržená vtoková soustava je skutečně podtlaková, tak jak byl cílen její výpočet. To vyplývá z toho, že zářezy nejsou v průběhu procesu plnění formy zcela zaplněny a tekutý kov tak do formy volně vtéká a nezpůsobuje vymílání formy či jader. Tento proces můžeme vidět na následujících obrázcích. Rovněž můžeme pozorovat změnu teplotního pole v průběhu plnění [17] [18].



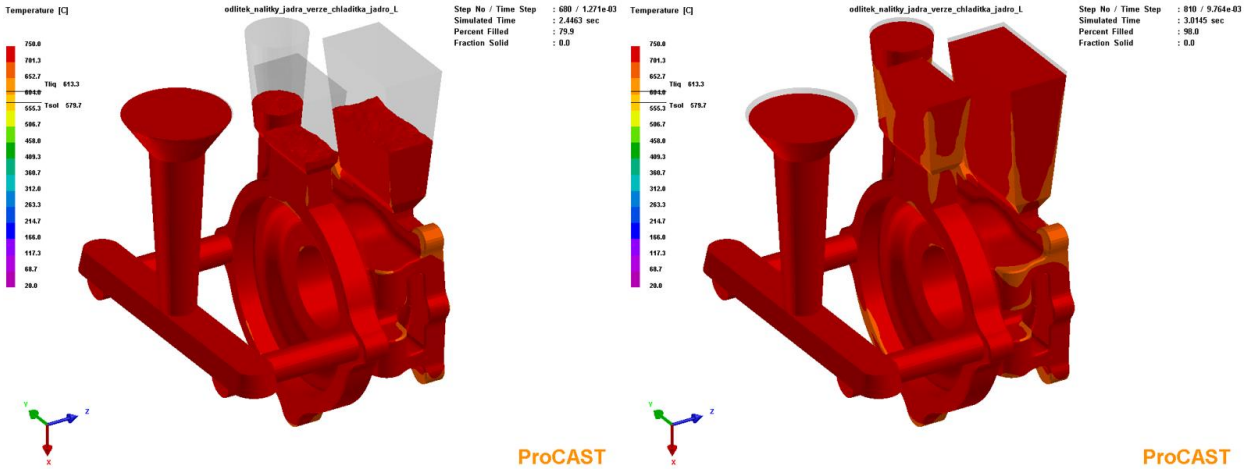
Obr. 4.12: Proces plnění formy odlitku předního dílu - naplnění z 20 % (vlevo) a 30 % (vpravo).



Obr. 4.13: Proces plnění formy odlitku předního dílu - naplnění z 40 % (vlevo) a 50 % (vpravo).



Obr. 4.14: Proces plnění formy odlitku předního dílu - naplnění z 60 % (vlevo) a 70 % (vpravo).



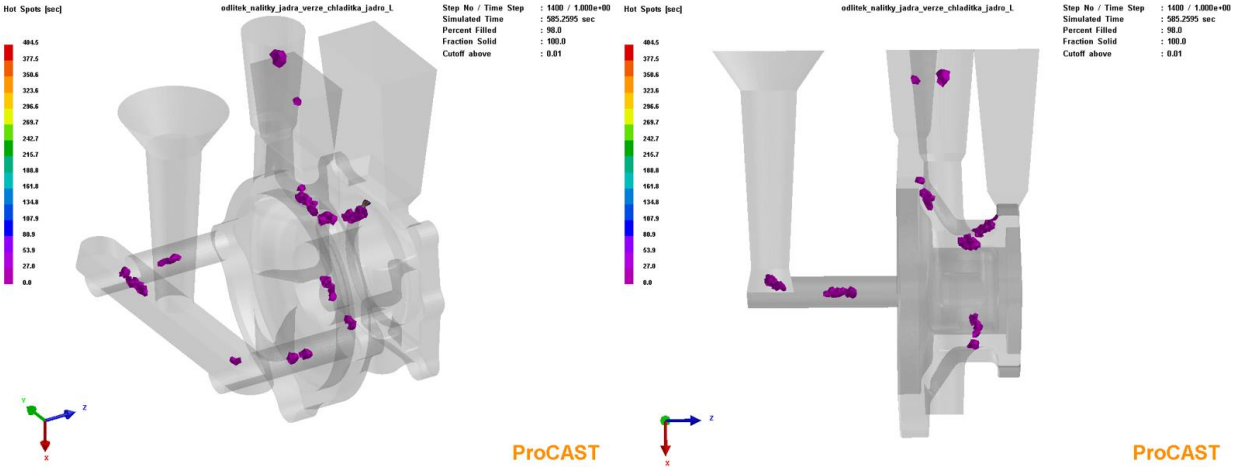
Obr. 4.15: Proces plnění formy odlitku předního dílu - naplnění z 80 % (vlevo) a 100 % (vpravo).

Hlavní rozdíl simulace samotného tuhnutí a simulace včetně licího procesu je patrný z Obr. 4.15 vpravo, kde můžeme vidět částečné zchladnutí některých částí odlitku

v momentě naplnění formy, což znamená mírně odlišné vstupní podmínky pro simulaci tuhnutí a tím pádem i více či méně odlišné výsledky obou simulací.

Tepelné uzly

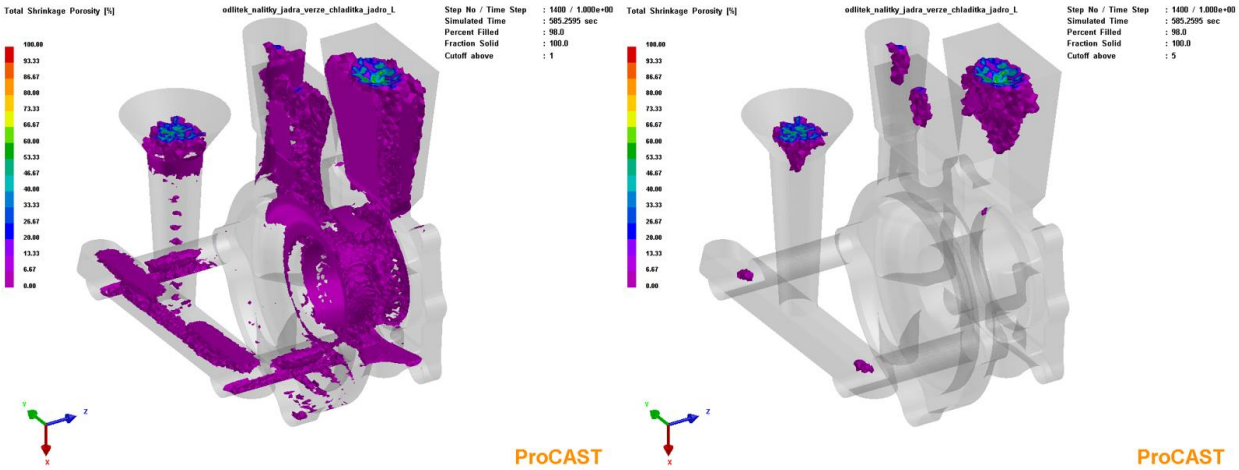
Z Obr. 4.16 je patrné, že vlivem chladnutí taveniny během procesu plnění formy došlo ke zvětšení objemu tepelných uzlů, a tím pádem hrozí i vyšší riziko výskytu staženin v těle odlitku.



Obr. 4.16: Tepelné uzly v odlitku předního dílu včetně simulace plnění formy.

Staženiny

Na Obr. 4.17 vpravo můžeme vidět, že se oproti předešlé simulaci vyskytuje v těle odlitku malá staženina. To je způsobeno již zmíněným chladnutím taveniny během procesu plnění formy. Tato staženina bude odstraněna mírným zvětšením nálitku během formování, tato úprava již ovšem nebude podrobena další simulaci.



Obr. 4.17: Staženiny v odlitku předního dílu včetně simulace plnění formy - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo.

4.2. Zadní díl

4.2.1. Simulace tuhnutí prostého odlitku

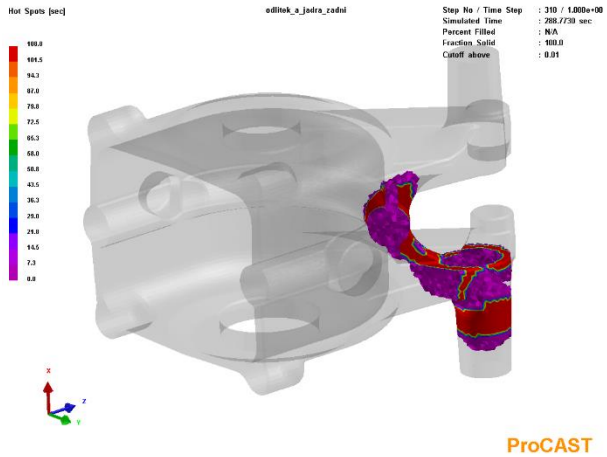
Stejně jako u předního dílu byla první simulace tuhnutí zaměřena na odhalení tepelných uzlů prostého odlitku. Pro tuto simulaci byla opět pro zjednodušení nastavena virtuální forma s pevným defaultním nastavením teploty na 30 °C. Parametry této simulace jsou popsány v Tab. 4.6.

Tab. 4.6: Parametry simulace tuhnutí prostého odlitku zadního dílu.

Materiál slitiny	AlMg6Si2MnZr
Materiál formy	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál jader	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Licí teplota	750 °C
Teplota formy	30 °C
Teplota jader	20 °C

Tepelné uzly

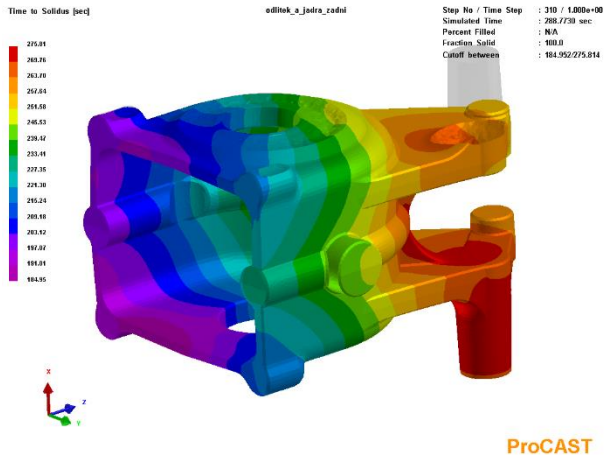
Vzhledem k tvaru a velikosti tepelných uzlů zobrazených na Obr. 4.18, můžeme očekávat v odlitku velmi masivní staženiny v oblasti spodního úchytu a vyztužujícího žebra. Zároveň můžeme předpokládat poněkud náročnější proces správného nálitkování a umístění vhodných chladítek oproti přednímu dílu.



Obr. 4.18: Tepelné uzly v prostém odlitku zadního dílu.

Time to solidus

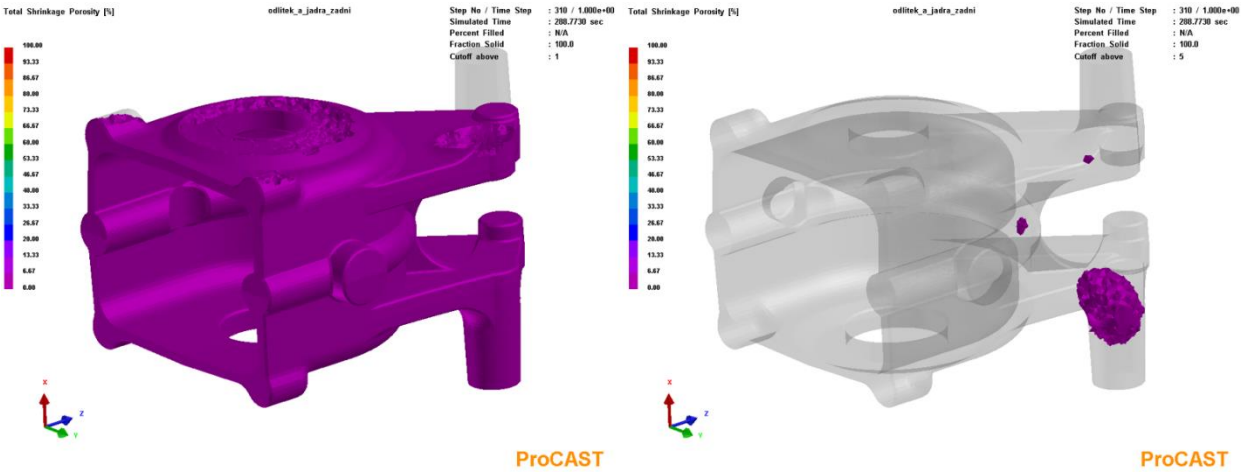
Na Obr. 4.19 jasně vidíme, že pole time to solidus opět odpovídá poloze tepelných uzlů v odlitku. Potvrzuje se nám, že nejproblematičtějším místem tohoto odlitku bude spodní odlehlý úchyt a vyztužující žebro.



Obr. 4.19: Pole time to solidus v prostém odlitku zadního dílu.

Staženiny

Na Obr. 4.20 můžeme pozorovat velké vnitřní staženiny, které odpovídají poloze a velikosti tepelných uzlů. Pro odstranění staženin z těla odlitku bude třeba použít vhodné nálitky a chladítka tak, aby došlo k usměrnění tuhnutí odlitku do nálitků, a tím k přesunutí staženin z těla odlitku právě do nálitků. Jak již bylo zmíněno, tak největší problém bude spodní odlehlý úchyt, kde bude nutné použít uzavřený nálitek a vhodné rozmístění chladítek.



Obr. 4.20: Staženiny v prostém odlitku zadního dílu - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo.

4.2.2. Technologický návrh

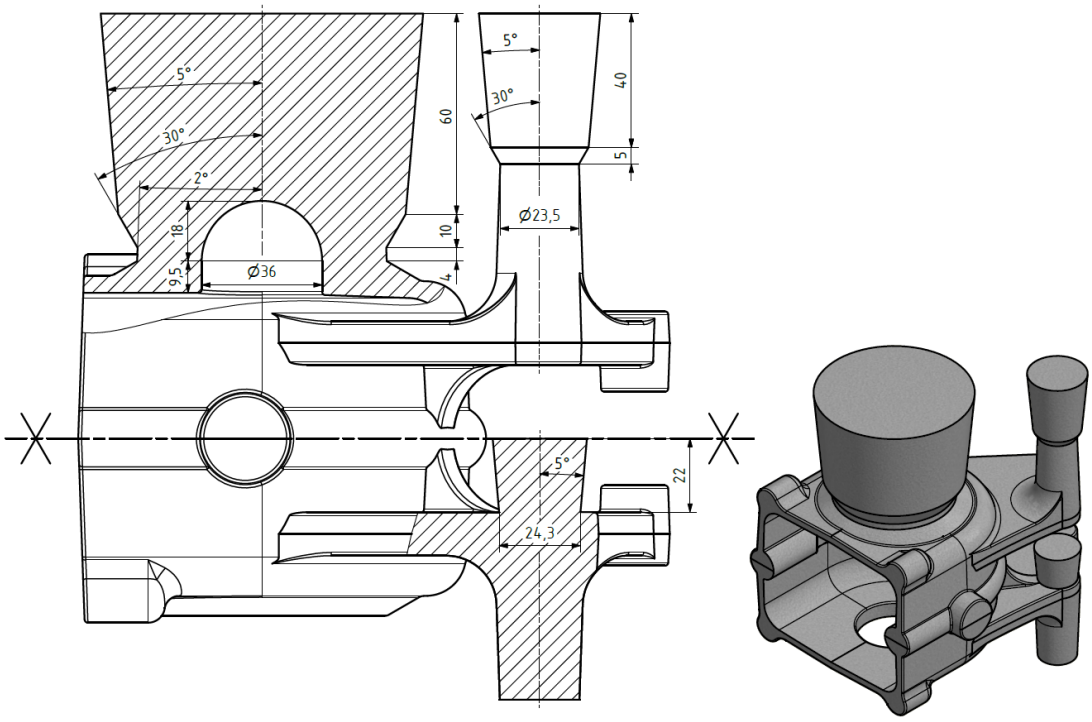
Technologický návrh zadního dílu postupem odpovídá technologickému návrhu předního dílu. Z tohoto důvodu zde již nebudu rozepisovat celý postup, ale uvedu zde pouze dílčí a finální výsledky.

Návrh nálitků

Výpočet minimálního objemu nálitků byl opět proveden metodou podle Přibyla. Jelikož mají nálitky v tomto případě přívětivější tvar pro dosazování, zvolil jsem koeficient nehospodárnosti nálitku v tomto případě nižší než u dílu předního. Hodnoty z průběhu výpočtu jsou pak zobrazeny v Tab. 4.7

Tab. 4.7: Volené a vypočtené hodnoty návrhu nálitků zadního dílu.

V_o $[cm^3]$	535,11
β [1]	0,04
χ [1]	10
$\boldsymbol{V_n}$ $[\boldsymbol{cm^3}]$	**356,74**



Obr. 4.21: Základní návrh nálitků zadního dílu.

Takto navržené nálitky mají objem $V_{n_skutečný} = 497{,}75\ cm^3$, což je více než vypočtená minimální hodnota a v kombinaci s chladítky by takto navržené nálitky měly být

více než dostatečné. Vzhledem ke značné komplikovanosti odlitku bude správnost tohoto návrhu ověřena pomocí simulace.

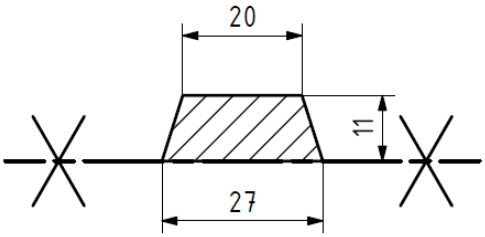
Návrh vtokové soustavy

Vtokovou soustavu jsem se i pro tento díl rozhodl navrhnout co možná největší tak, aby pokud možno plnila i funkci dosazování tekutého kovu při tuhnutí. Postup odpovídá návrhu vtokové soustavy předního dílu a výsledky jsou uvedeny v Tab. 4.8. U tohoto dílu byla maximální možná velikost zářezů průměr 18 mm.

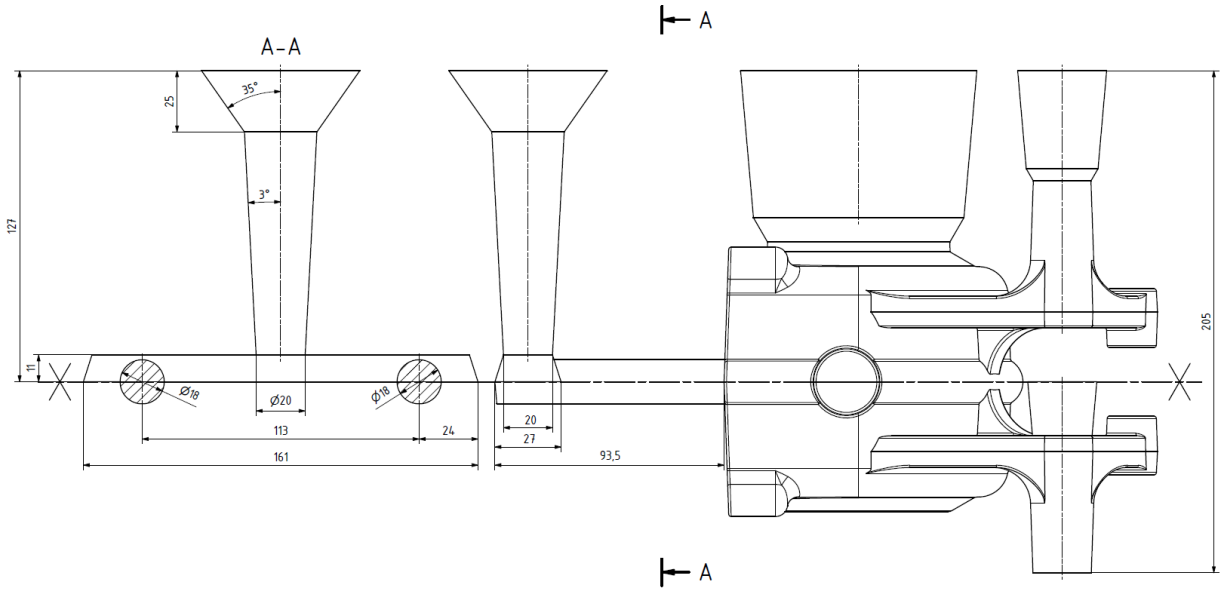
Tab. 4.8: Volené a vypočtené hodnoty návrhu vtokové soustavy zadního dílu.

$S_k : S_s : n \cdot S_z$	$1{,}8 : 2 : 1$
$S_z\ [mm^2]$	254
$n\ [1]$	2
$S_{z_celková}\ [mm^2]$	508
$S_s\ [mm^2]$	254
$S_{s_skutečná}\ [mm^2]$	258
$S_k\ [mm^2]$	293
$S_{k_skutečná}\ [mm^2]$	314

Na základě vypočtených průřezů byly opět navrženy rozměry výsledné vtokové soustavy. Průřez struskováku můžeme vidět na Obr. 4.22 a kompletní návrh vtokové soustavy potom na Obr. 4.23.



Obr. 4.22: Průřez struskováku vtokové soustavy zadního dílu.



Obr. 4.23: Vtoková soustava zadního dílu.

Pro ověření správnosti návrhu vtokové soustavy zadního dílu byl opět použit stejný výpočet jako u dílu předního. Výsledky tohoto výpočtu můžeme vidět v Tab. 4.9.

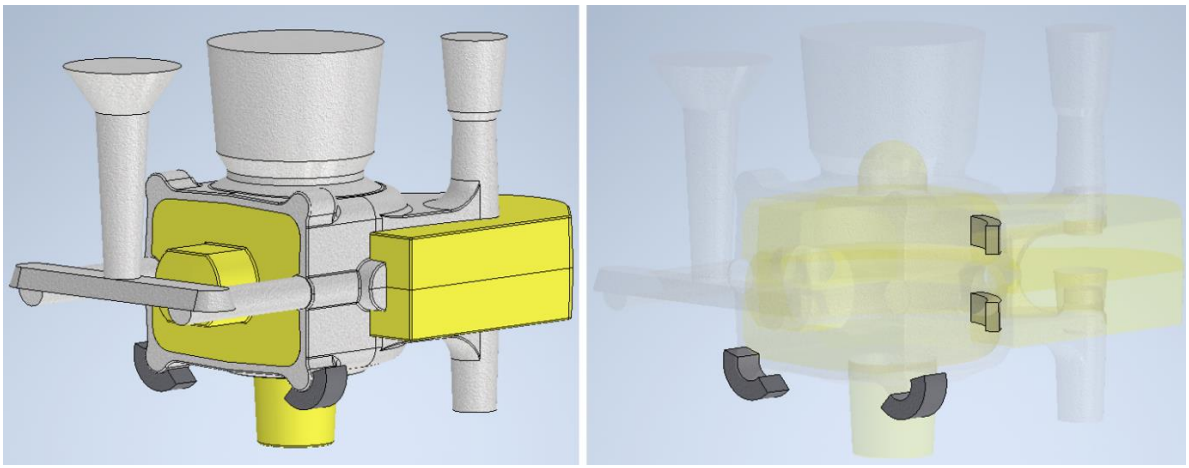
Tab. 4.9: Volené hodnoty a výsledky kontrolního výpočtu návrhu vtokové soustavy zadního dílu.

$s\ [s \cdot kg^{-\frac{1}{2}}]$	1,5
$m_s\ [kg]$	3,25
$t_L\ [s]$	3
$h\ [mm]$	127
$p\ [mm]$	127
$c\ [mm]$	205
$H\ [mm]$	87,7
$\mu\ [1]$	0,8
$\rho_T\ [kg \cdot m^{-3}]$	2 300
$S_{z_min}\ [mm^2]$	224

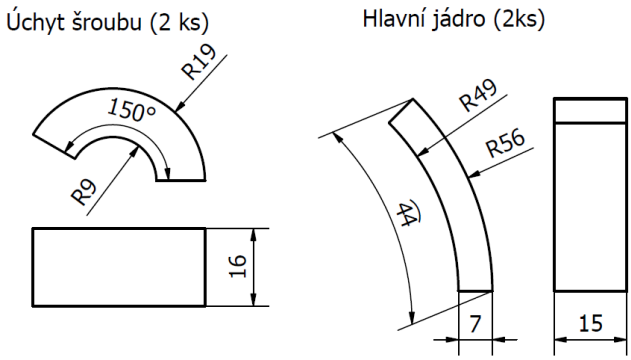
Kontrolním výpočtem byla ověřena platnost podmínky $S_z > S_{z_min}$ a takto navržená vtoková soustava je vyhovující.

Návrh chladítek

Velikost a rozmístění chladítek bylo opět navrhováno odhadem. Pokud by chladítka nevyhovovala, budou optimalizována na základě výsledků simulace. V základním návrhu jsem navrhl dvě chladítka, která se při formování umístí přímo na model, a dvě chladítka která je nutno zaformovat do hlavního jádra. Rozmístění použitých chladítek můžeme vidět na Obr. 4.24, jejich základní rozměry potom na Obr. 4.25. Všechna chladítka jsou vyrobena z nízkouhlíkové oceli.



Obr. 4.24: Rozmístění chladítek zadního dílu.



Obr. 4.25: Základní rozměry chladítek zadního dílu.

4.2.3. Simulace tuhnutí odlitku včetně technologických prvků

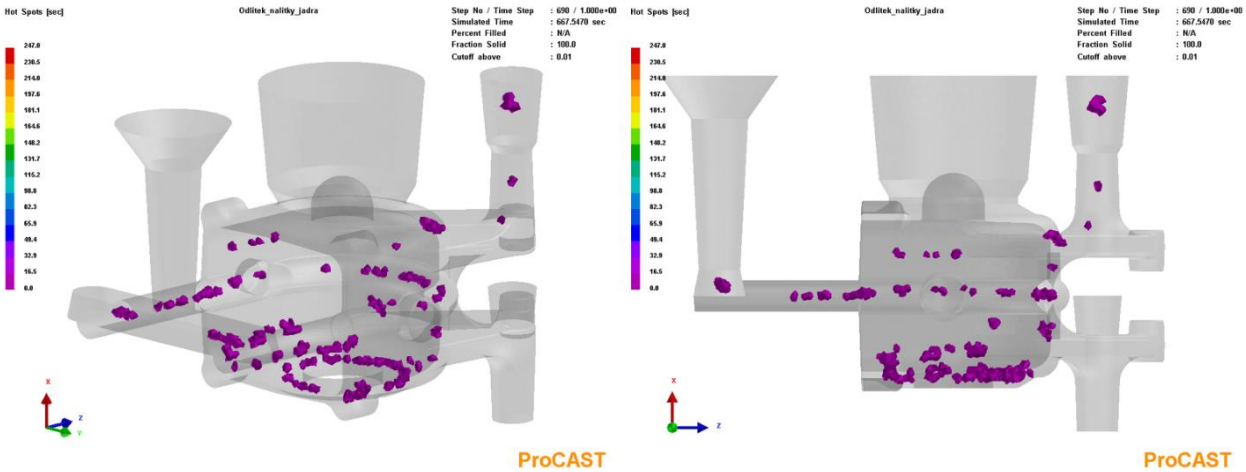
Simulace tuhnutí odlitku včetně technologických prvků byla zaměřena na ověření správnosti jejich návrhu. Pro tuto simulaci již byla nadefinována reálná forma. Parametry této simulace jsou popsány v Tab. 4.10.

Tab. 4.10: Parametry simulace tuhnutí odlitku zadního dílu včetně technologických prvků.

Materiál slitiny	AlMg6Si2MnZr
Materiál formy	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál jader	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál chladítek	nízkouhlíková ocel
Licí teplota	750 °C
Teplota formy	20 °C
Teplota jader	20 °C
Teplota chladítek	20 °C

Tepelné uzly

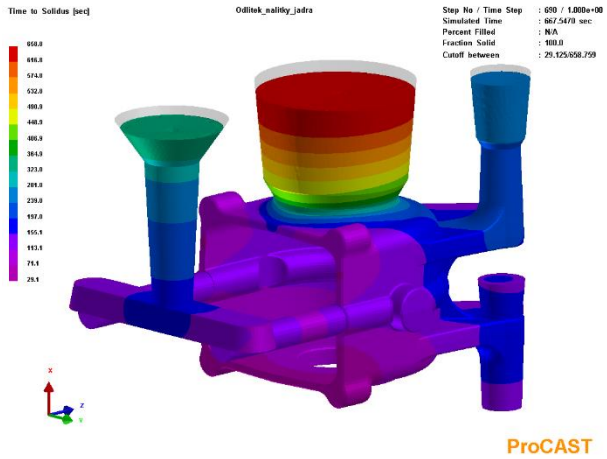
Na Obr. 4.26 můžeme pozorovat, že přidáním technologických prvků došlo k rozptýlení kritického centralizovaného tepelného uzlu do těla odlitku. Takto rozložené tepelné uzly mohou zapříčit mírnou porozitu odlitku, která by však neměla vést k porušení soudržnosti odlitku, může ovšem vést k netěsnosti odlitku.



Obr. 4.26: Tepelné uzly v odlitku zadního dílu včetně technologických prvků.

Time to solidus

Pole time to solidus nám ukazuje, že problematickými místy by mohlo být žebro mezi odlehlými úchyty, jelikož zde dochází k pozdějšímu tuhnutí taveniny.

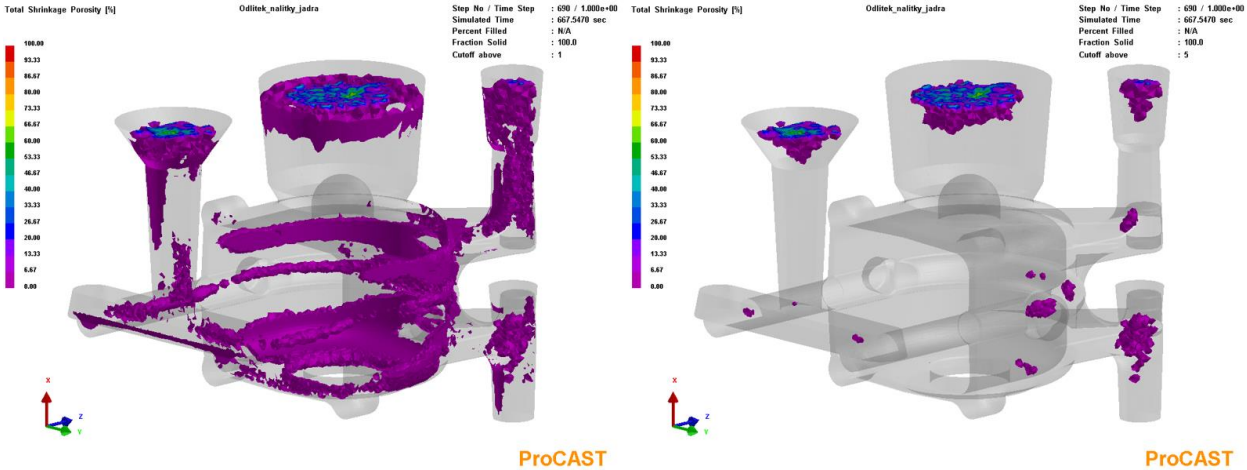


Obr. 4.27: Pole time to solidus v odlitku zadního dílu včetně technologických prvků.

Staženiny

Na Obr. 4.11 můžeme vidět, že došlo k výrazné redukci kritické staženiny, ale v odlitku i nadále zůstávají problematické menší staženiny. Rovněž došlo ke zvýšenému

výskytu staženin v těle odlitku. K odstranění, respektive k redukci těchto staženin bude potřeba zvýšit objem spodního nálitku odlehlého úchytu, přidat vnitřní nálitek v místě napouštěcího otvoru a upravit návrh chladítek.



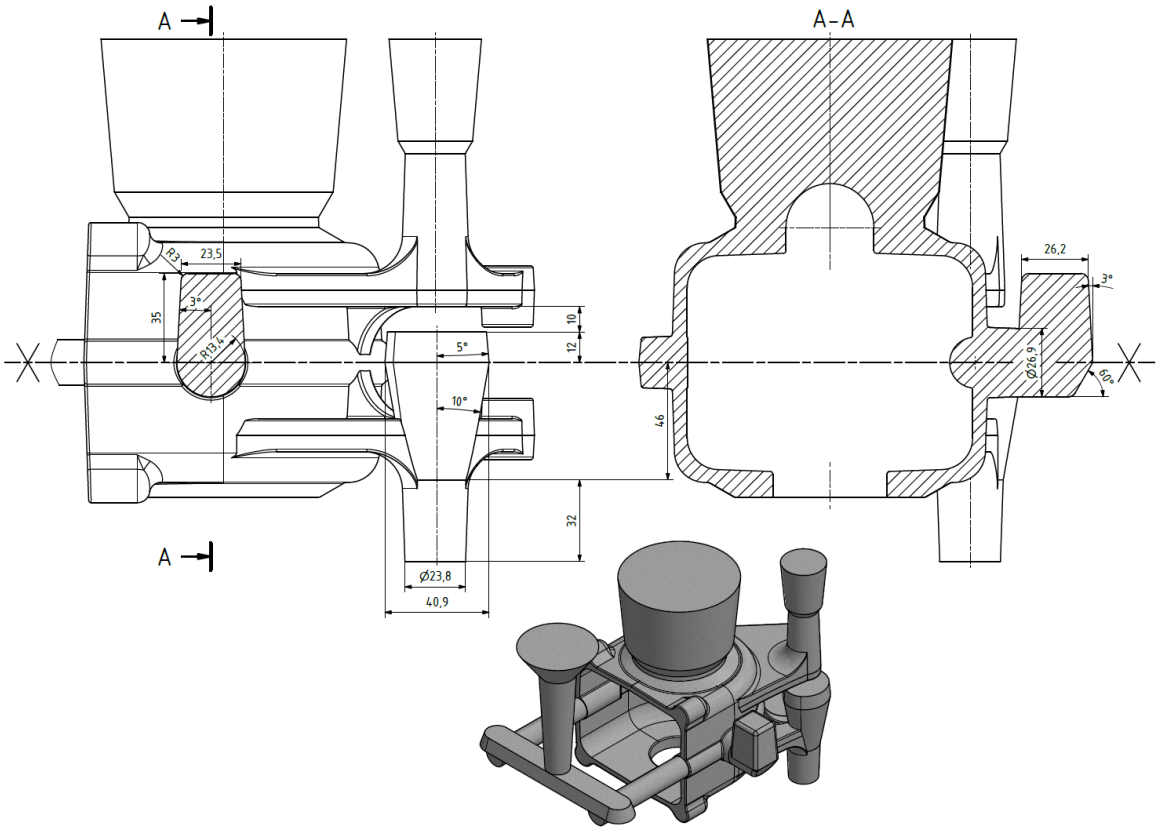
Obr. 4.28: Staženiny v odlitku zadního dílu včetně technologických prvků - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo.

4.2.4. Optimalizace technologického návrhu

Technologický návrh zadního dílu bylo nutné podrobit několika optimalizacím k dosažení co nejpřijatelnějšího výsledku. Optimalizace se týkaly úpravy nálitků a chladítek, vtoková soustava byla ponechána v původní verzi. V následujících odstavcích jsou popsány úpravy finální verze.

Návrh nálitků

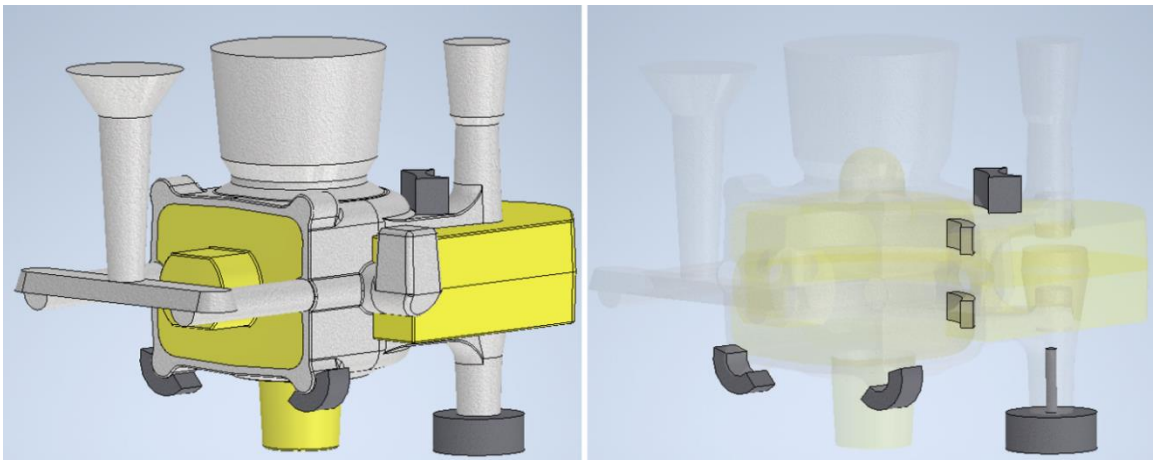
Pro dosažení přijatelného výsledku bylo potřeba co nejvíce zvětšit uzavřený nálitek u odlehlého úchytu a přidat další uzavřený nálitek k místu napouštěcího otvoru, ostatní nálitky byly ponechány v původní verzi. Samotný odlehlý úchyt byl částečně rozšířen a nálitek byl rozšířen a zvýšen tak, že nyní zasahuje do spodní i vrchní části formy. Tento krok sice poněkud znesnadnil zaformování, avšak přinesl nejpřijatelnější výsledky. Základní rozměry obou upravených nálitků jsou znázorněny na Obr. 4.29.



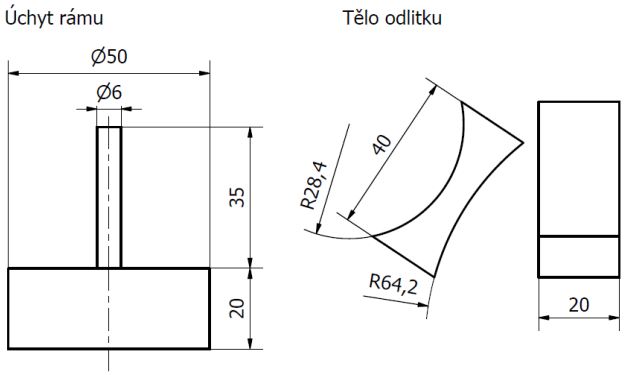
Obr. 4.29: Optimalizovaný návrh nálitků zadního dílu.

Návrh chladítek

Původní chladítka zůstala zachována a byla přidána další dvě chladítka. Jedno na vrchní stranu odlitku k usměrnění staženin v horním odlehlém úchytu. Druhé chladítko bylo přidáno na spodní odlehlý úchyt. Toto chladítko zasahuje částečně dovnitř odlitku k co nejlepšímu usměrnění tuhnutí. Optimalizované rozmístění chladítek můžeme vidět na Obr. 4.30, rozměry přidaných chladítek potom na Obr. 4.31.



Obr. 4.30: Optimalizované rozmístění chladítek zadního dílu.



Obr. 4.31: Základní rozměry optimalizovaných chladítek zadního dílu.

4.2.5. Simulace tuhnutí odlitku po optimalizaci technologických prvků

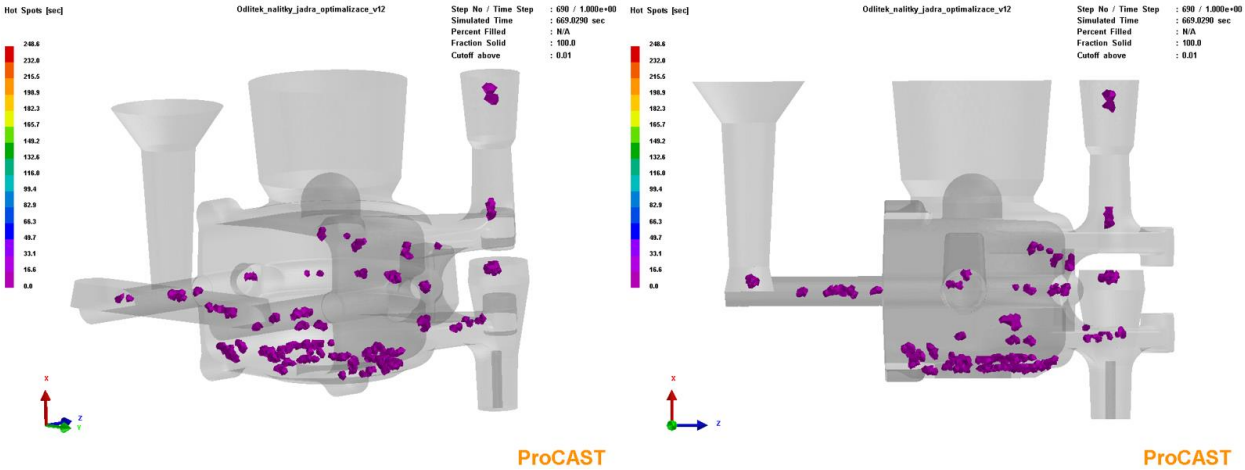
Simulace tuhnutí odlitku po optimalizaci technologických prvků byla zaměřena na ověření správnosti korekce předchozího návrhu. Proces optimalizace byl časově náročný a k dosažení uspokojivého výsledku bylo potřeba provést celkem 12 optimalizačních návrhů. Zde bude popsána výsledná varianta, která sice obsahuje určité nedokonalosti, ale pro naše potřeby byla akceptována jako vyhovující. Parametry této simulace jsou popsány v Tab. 4.11.

Tab. 4.11: Parametry simulace tuhnutí odlitku zadního dílu po optimalizaci technologických prvků.

Materiál slitiny	AlMg6Si2MnZr
Materiál formy	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál jader	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál chladítek	nízkouhlíková ocel
Licí teplota	750 °C
Teplota formy	20 °C
Teplota jader	20 °C
Teplota chladítek	20 °C

Tepelné uzly

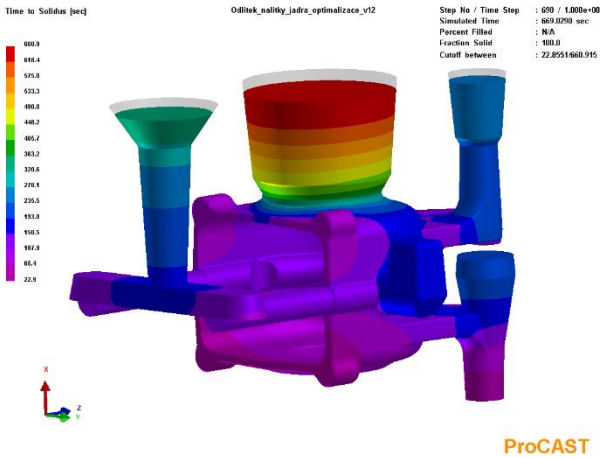
Na následujícím obrázku můžeme pozorovat, že další úpravou technologických prvků došlo opět k mírné změně velikosti a rozložení tepelných uzlů.



Obr. 4.32: Tepelné uzly v odlitku zadního dílu po optimalizaci technologických prvků.

Time to solidus

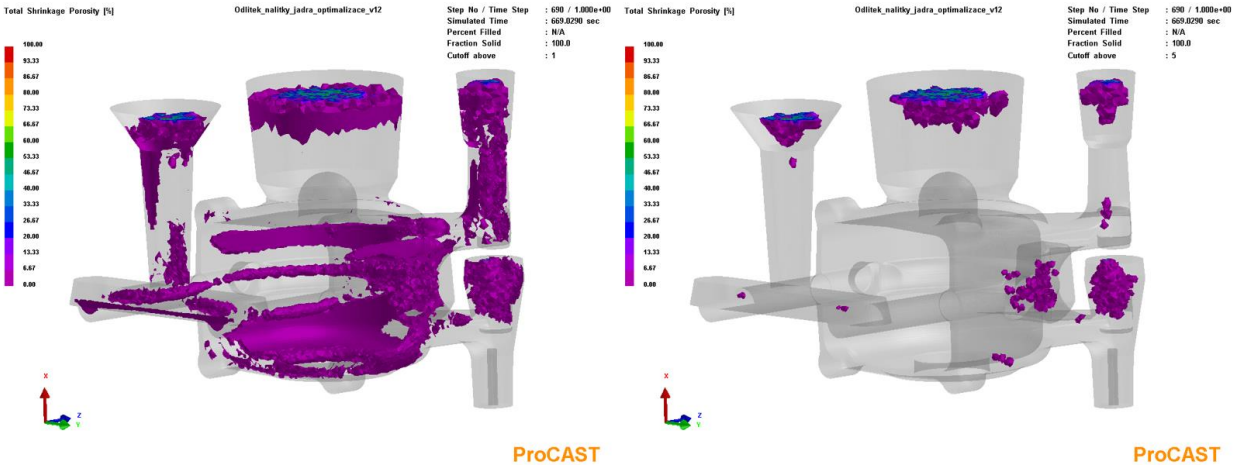
Pole time to solidus nám ukazuje, že odlitek tuhne směrem do nálitků. I přesto, že pole tuhnutí není optimální, došlo k jeho výraznému zlepšení oproti původního návrhu.



Obr. 4.33: Pole time to solidus v odlitku zadního dílu po optimalizaci technologických prvků.

Staženiny

Na Obr. 4.34 můžeme vidět, že téměř všechny staženiny byly přesunuty do nálitků nebo vtokové soustavy. Staženiny, které zůstaly v těle odlitku se nevyskytují na kritických místech a zároveň nedosahují ani kritických rozměrů, a proto byly označeny za přijatelné. Staženiny, které zůstaly nebo zasahují do odlehlých úchytů, se vyskytují v místě, kde bude obráběna díra na průchozí čep a tyto staženiny tak budou z odlitku odstraněny při procesu obrábění. Výsledkem tohoto návrhu je tedy vyhovující odlitek.



Obr. 4.34: Staženiny v odlitku zadního dílu po optimalizaci technologických prvků - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo.

4.2.6. Simulace licího procesu

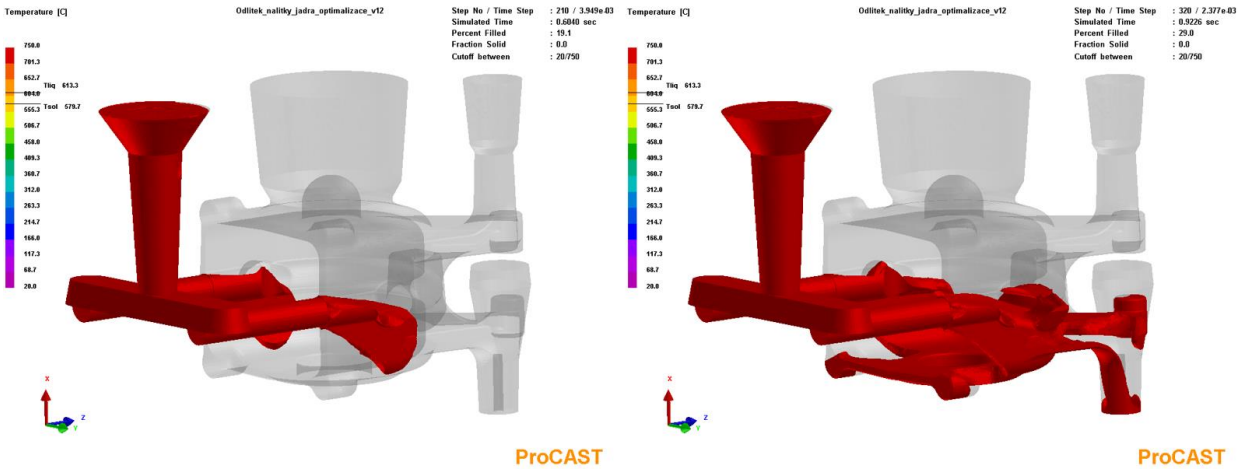
Simulace licího procesu opět ukazuje průběh plnění formy a chování taveniny během tohoto procesu jako u odlitku předního dílu. Opět můžeme pozorovat vliv chladnutí taveniny již během plnění formy, oproti předešlé simulaci tuhnutí. Parametry této simulace jsou popsány v Tab. 4.12.

Tab. 4.12: Parametry simulace licího procesu odlitku zadního dílu.

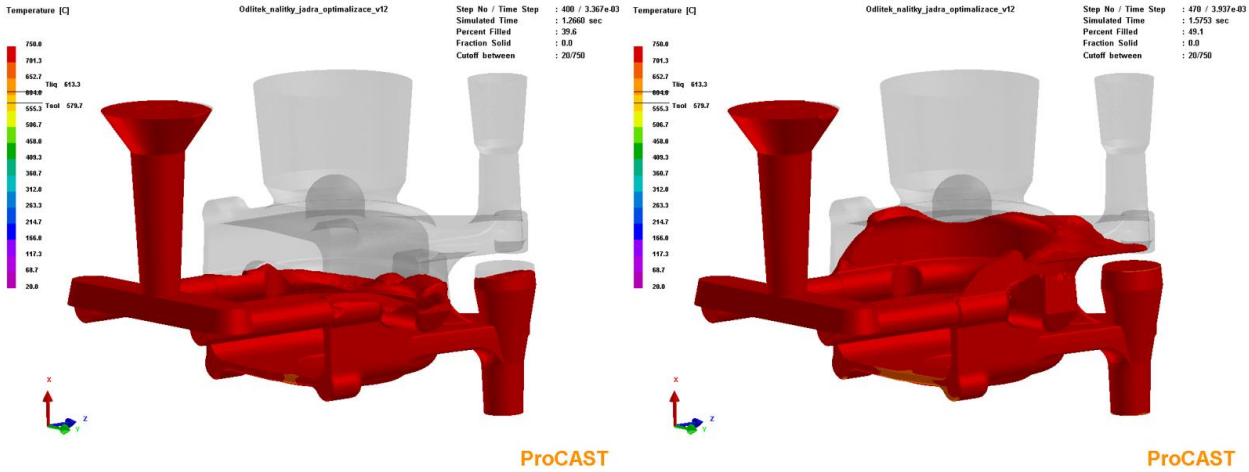
Materiál slitiny	AlMg6Si2MnZr
Materiál formy	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál jader	Chemicky vázaná furanová formovací směs
Materiál chladítek	nízkouhlíková ocel
Licí teplota	750 °C
Teplota formy	20 °C
Teplota jader	20 °C
Teplota chladítek	20 °C
Čas plnění formy	3 s

Plnění formy

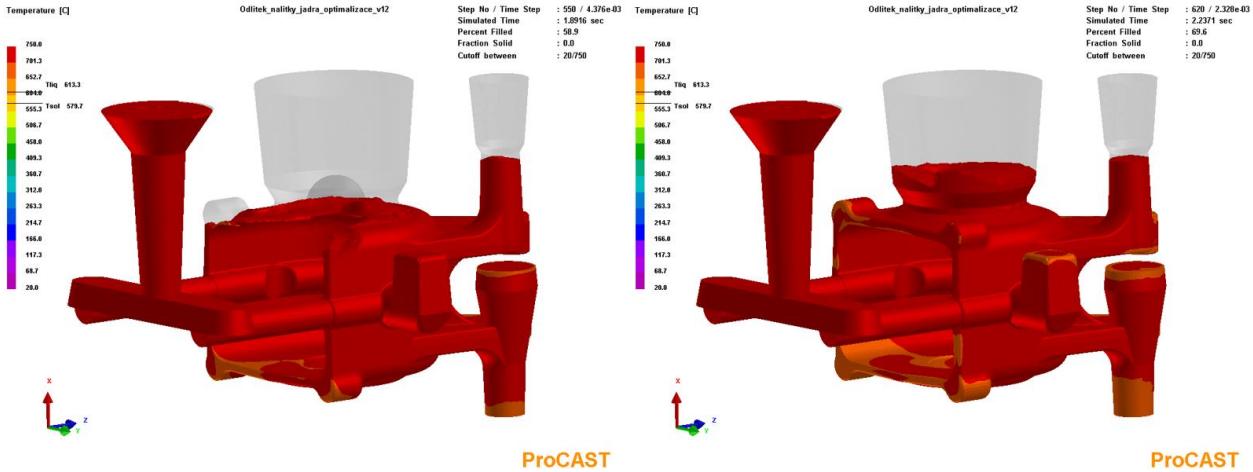
Při plnění formy je jasně patrné, že navržená vtoková soustava je skutečně podtlaková, tak jak byl cílen její výpočet, stejně jako tomu bylo i u odlitku předního dílu. Proces plnění formy můžeme vidět na následujících obrázcích. Rovněž můžeme pozorovat změnu teplotního pole v průběhu plnění [17] [18].



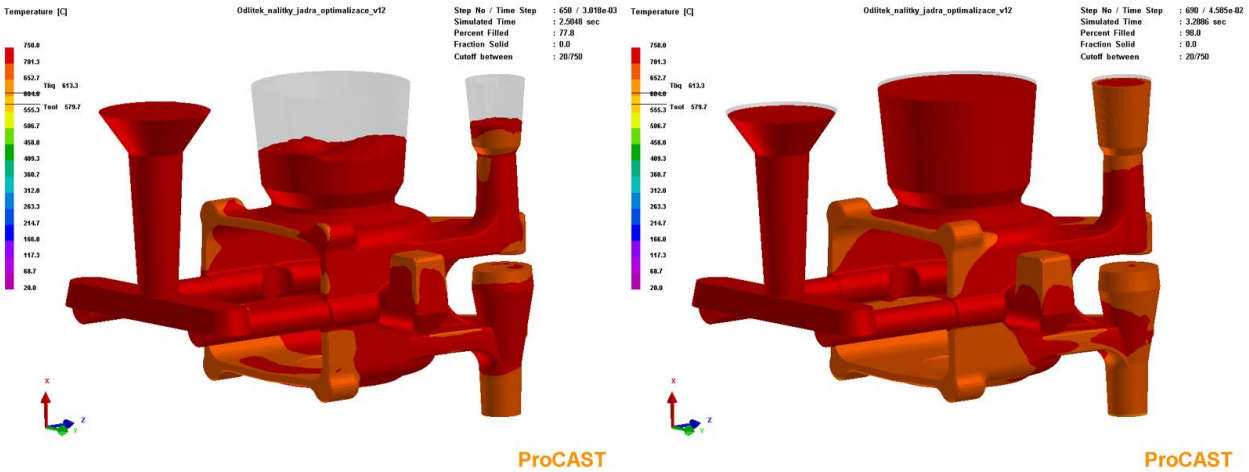
Obr. 4.35: Proces plnění formy odlitku zadního dílu - naplnění z 20 % (vlevo) a 30 % (vpravo).



Obr. 4.36: Proces plnění formy odlitku zadního dílu - naplnění z 40 % (vlevo) a 50 % (vpravo).



Obr. 4.37: Proces plnění formy odlitku zadního dílu - naplnění z 60 % (vlevo) a 70 % (vpravo).

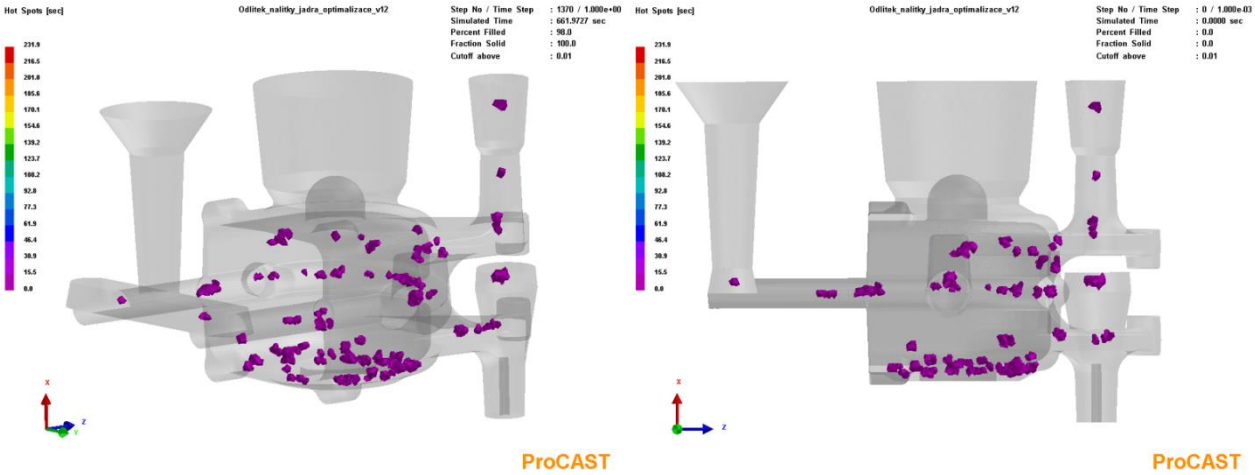


Obr. 4.38: Proces plnění formy odlitku zadního dílu - naplnění z 80 % (vlevo) a 100 % (vpravo).

Hlavní rozdíl simulace samotného tuhnutí a simulace včetně licího procesu je patrný z Obr. 4.38, kde můžeme vidět částečné zchladnutí některých částí odlitku v momentě naplnění formy, což znamená mírně odlišně vstupní podmínky pro simulaci tuhnutí a tím pádem i více či méně odlišné výsledky obou simulací stejně jako tomu bylo i u odlitku předního dílu.

Tepelné uzly

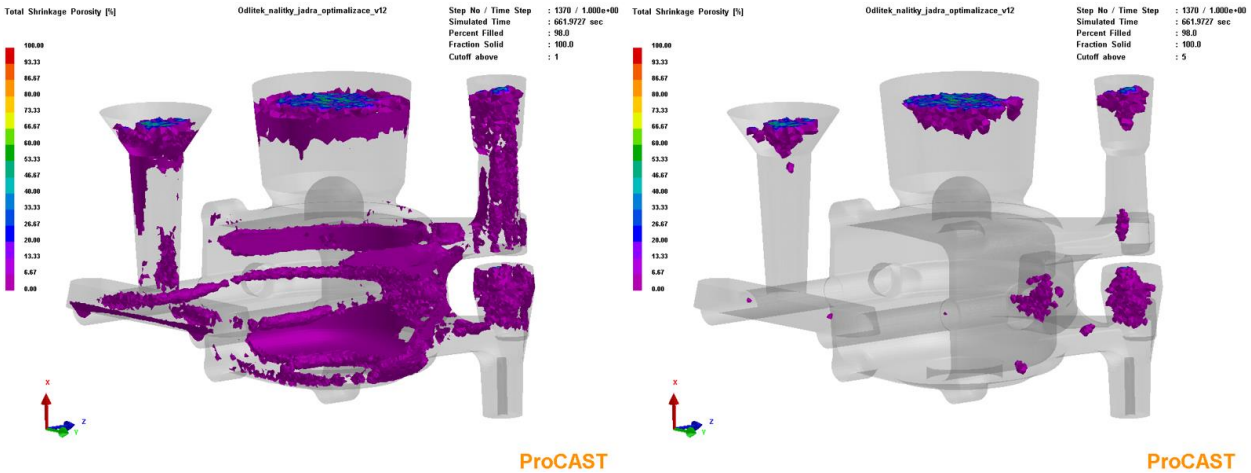
Z Obr. 4.39 je patrné, že vlivem chladnutí taveniny během procesu plnění formy skutečně došlo ke změněn objemu a rozložení tepelných uzlů, tím pádem bude i rozložení staženin v těle odlitku mírně odlišné.



Obr. 4.39: Tepelné uzly v odlitku zadního dílu včetně simulace plnění formy.

Staženiny

Na Obr. 4.40 můžeme vidět, že skutečně došlo k mírné změně velikosti a rozložení staženin oproti přechozí simulaci. Staženiny jsou však stále v takových místech a dosahují takové velikosti, že buď budou z odlitku odstraněny během procesu obrábění, nebo nebudou mít zásadní vliv na funkčnost odlitku.



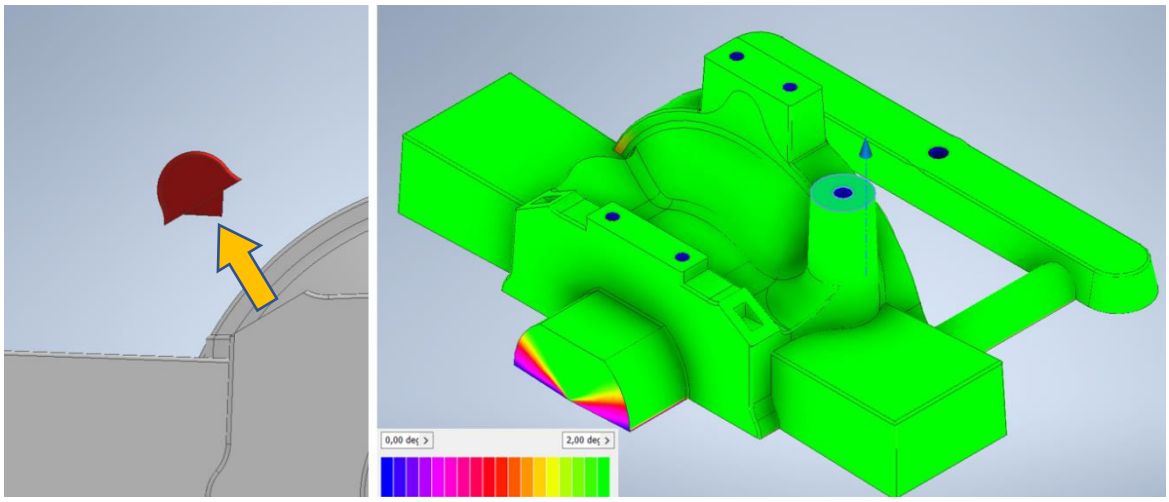
Obr. 4.40: Staženiny v odlitku zadního dílu včetně simulace plnění formy.

5. Výroba a kontrola

Po optimalizaci finálních návrhů nastal čas na realizaci výroby. Prvním krokem byla příprava a výroba modelů a jaderníků. Dále bylo potřeba vyrobit všechna chladítka. Po těchto úkonech následovalo zaformování modelů a pak již samotné odlévání. Po vychladnutí byly odstraněny všechny technologické prvky a hrubý odlitek byl následně otryskán. První dva odlitky byly podrobeny destruktivní zkoušce, další dva potom zkoušce prozařovací. Posléze následovaly případné opravy a tepelné zpracování. Nakonec následoval proces obrábění odlitků a konečná montáž.

5.1. Výroba modelů, jaderníků a chladítek

Modely a jaderníky byly vyráběny metodou FDM 3D tisku z materiálu PLA (kyselina polymléčná). Před samotným tiskem bylo však třeba modely nepatrně upravit, především pak přidat otvory pro kolíky, které sloužily k přesnému slícování částí modelů. Dále byly přidány úchyty pro snadnější vyjmutí modelů z formy. Nutností bylo rovněž navrhnout koncept volných částí modelů. To bylo provedeno pomocí tvarových zámků a s ohledem na potřebné úkosy k vyjmutí modelů a následně jejich volných částí z formy. Rovněž byla před samotnou výrobou modelů provedena kontrola úkosů na všech částech modelů. Koncept řešení volných částí modelu a příklad kontroly úkosů můžeme vidět na Obr. 5.1. Úkosy, jež byly realizovány pomocí válcových či kuželových ploch, mají pochopitelně vůči dělící rovině proměnný sklon a v určité oblasti tento sklon přestává vyhovovat podmínce minimálního úkosu 2°. Tato oblast je však natolik blízko dělící rovině, že na vyjmutí modelů z formy to nebude mít zásadní vliv.



Obr. 5.1: Princip volných částí modelu (vlevo) a kontrola úkosů (vpravo).

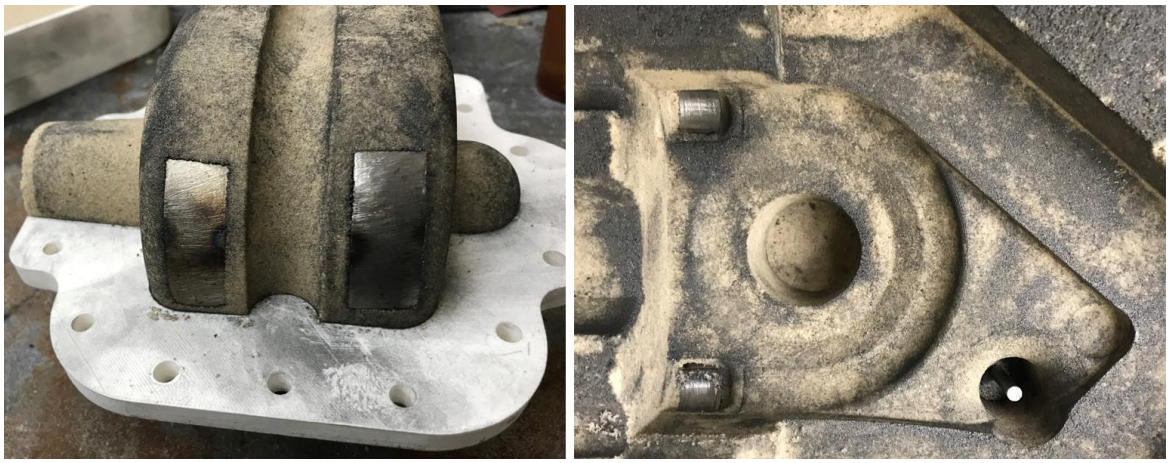
Po výrobě modelů a jaderníků následovala výroba chladítek. Ta byla vyrobena podle předchozích nákresů z nízkouhlíkové oceli.

5.2. Zaformování, odlévání a apretace

Formování bylo realizováno do směsi křemenného písku s anorganickým geopolymerním pojivem Geopol® a alkalického aktivátoru (tvrdidla). Modely byly od směsi separovány běžně užívaným grafitovým práškem. Dobu vytvrzení mezi formováním a odléváním jsme volili alespoň 24 hodin a vytvrzení směsi probíhalo za pokojové teploty. Během výroby formy předního dílu bylo na základě předchozích simulací třeba zvětšit jeden z nálitků, to je zobrazeno na Obr. 5.2 vpravo.

Obr. 5.2: Založení jader do formy (vlevo) a zvětšený nálitek (vpravo) - forma předního dílu.

Chladítka umístěná přímo ve formě byla formována volným položením na model a zapěchována formovací směsí. Chladítka umístěná v jádrech byla zaformována obdobným způsobem, pouze v jaderníku. Příklad reálného umístění chladítek při výrobním procesu můžeme vidět na Obr. 5.3.



Obr. 5.3: Chladítka formovaná do jádra (vlevo) a chladítka formovaná přímo do formy (vpravo) - forma zadního dílu.

Při samotném procesu odlévání byla nejprve provedena tavba slitiny v komorové peci. Po roztavení materiálu bylo realizováno stažení usazené strusky s následným krátkým dohřátím taveniny. Po dohřátí taveniny na požadovanou teplotu byla ještě dodatečně stažena zbytková struska a ihned potom bylo realizováno samotné odlévání. Licí teplota taveniny byla 750 °C a tavba byla realizována v grafitovém kelímku.

Obr. 5.4: Surové odlitky - přední díl vlevo a zadní díl vpravo.

Po vychladnutí odlitků následovalo jejich vyjmutí z formy, odstranění chladítek, odříznutí vtokové soustavy a nálitků a vytlučení jader. Po tomto kroku byla provedena

vizuální kontrola povrchových vad a následné otryskání ocelovými broky. Poté následovala kontrola vnitřních defektů.

Obr. 5.5: Hrubé odlitky - přední díl vlevo a zadní díl vpravo.

5.3. Defektoskopická kontrola

Defektoskopická kontrola byla rozdělena na tři fáze. Ve fázi první byla u všech odlitků provedena vizuální kontrola povrchových vad, při které nebyly odhaleny žádné zásadní defekty. Na odlitcích se vyskytovaly pouze mírné zadrobeniny či zatekliny, které jsou pro tuto výrobní metodu typické. Dále byly ve fázi druhé tři zkušební odlitky podrobeny zkoušce destruktivní. Jednalo se o dva odlitky předního dílu a jeden odlitek zadního dílu, kdy u předních dílů měl jeden původní nálitek a druhý nálitek zvětšený na základě výsledku simulace. Odlitek s nálitkem odpovídajícím původnímu návrhu byl podroben destruktivní zkoušce z důvodu porovnání výsledku simulace plnění formy oproti skutečnému stavu. Ve fázi třetí byly potom již finální odlitky podrobeny zkoušce prozařovací, čili zkoušce nedestruktivní [19].

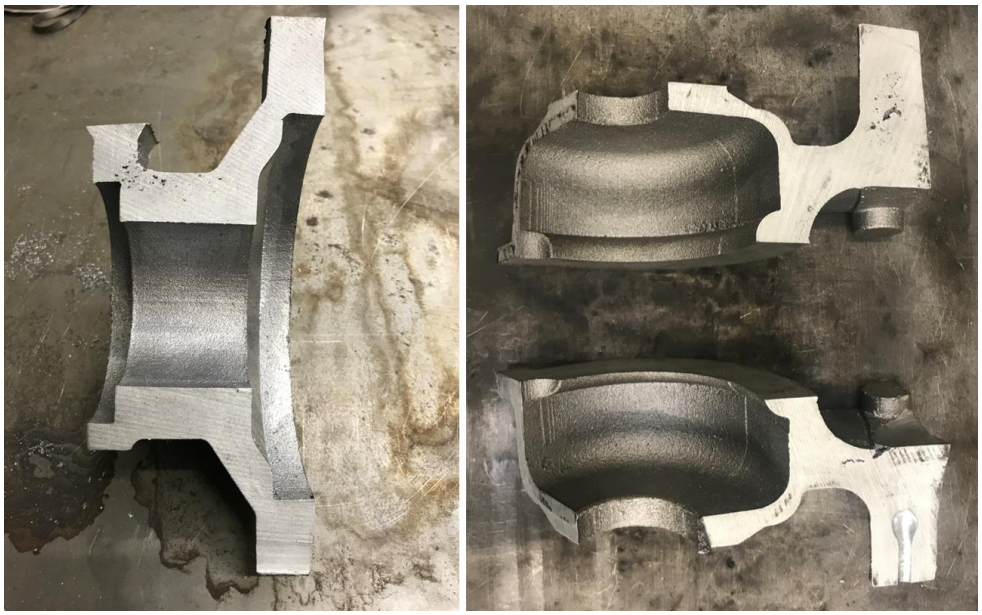
5.3.1. Destruktivní zkouška

Destruktivní zkouška byla realizována rozřezáním odlitků napříč kritickými body pomocí pásové pily. Řezné plochy byly následně zkoumány na výskyt vnitřních defektů.

Přední díl bez zvětšeného nálitku skutečně obsahoval v oblasti predikované softwarem mírné řediny, jak můžeme vidět na Obr. 5.6 vlevo. Tento fakt zdůrazňuje nutnost uvažování chladnutí taveniny během procesu plnění formy, jelikož během simulace

samotného tuhnutí bez plnění nebyla tato vada predikována. Po zvětšení nálitku byla tato vada plně odstraněna.

U zadního dílu byla predikce vad pomocí simulací rovněž správná, jak nám ukazuje Obr. 5.6 vpravo. V horním úchytu se vyskytují řediny, které ovšem, jak již bylo řečeno, budou odstraněny při obrábění. V dolním úchytu se rovněž vyskytuje predikovaná vada v žebru a část staženiny po odstraněném nálitku, tyto vady budou odstraněny částečným odvrtáním a následným zavařením metodou TIG. V dolním úchytu se dále vyskytuje nepredikovaná vada, a sice vzduchová bublina pravděpodobně vzniklá odpařením zbytkové vlhkosti vnitřního chladítka při kontaktu s taveninou. Tato vada bude rovněž odstraněna při procesu obrábění [20].



Obr. 5.6: Destruktivní zkouška - vady odlitků předního (vlevo) a zadního (vpravo) dílu.

Ostatní kritická místa obou odlitků, jako jsou úchyty šroubů či úchyty předního dílu, žádné viditelné vady neobsahovaly. Na základě destruktivní zkoušky s přihlédnutím na opravitelnost vad můžeme tedy odlitky uznat za vyhovující.

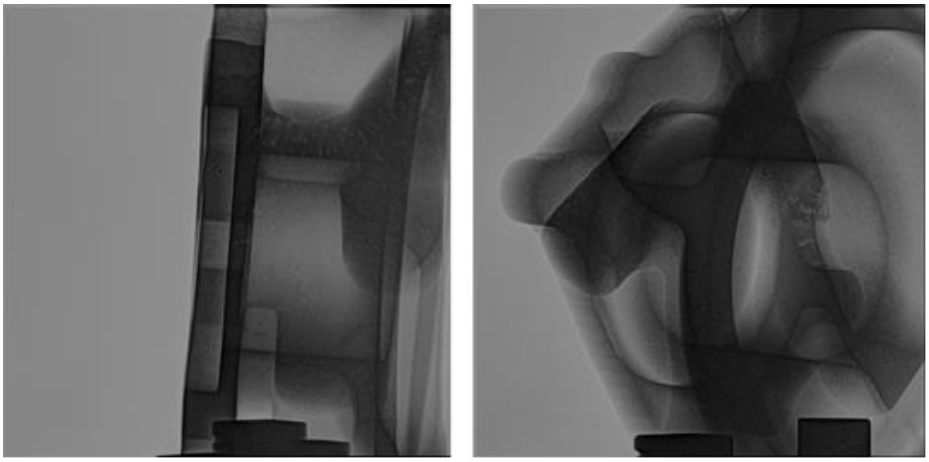
5.3.2. Prozařovací zkouška

Prozařovací zkouška je založena na schopnosti rentgenového či gama záření pronikat skrze zkoumanou součást. Toto záření je pak součástí z části pohlcováno a prošlé záření se zaznamenává na stínítko, kde v důsledku zeslabení intenzity záření prošlého

součástí dochází ke vzniku radiografického kontrastu (míra zčernání). Prošlé záření je zaznamenáváno na radiografický film (kdy dochází k zčernání filmu chemickou reakcí vlivem působení záření) nebo jako digitální obraz zachycený pomocí speciálních detektorů. Výsledná vada, lépe řečeno indikace[17], je následně na vyhodnocovaném radiografickém snímku zobrazena jako tmavé místo uvnitř světlejší plochy zkoumané součásti. Z principu této metody je možné vyhodnocovat pouze objemové vady, jedná se tedy o ideální metodu pro hodnocení vnitřních vad odlitků [19].

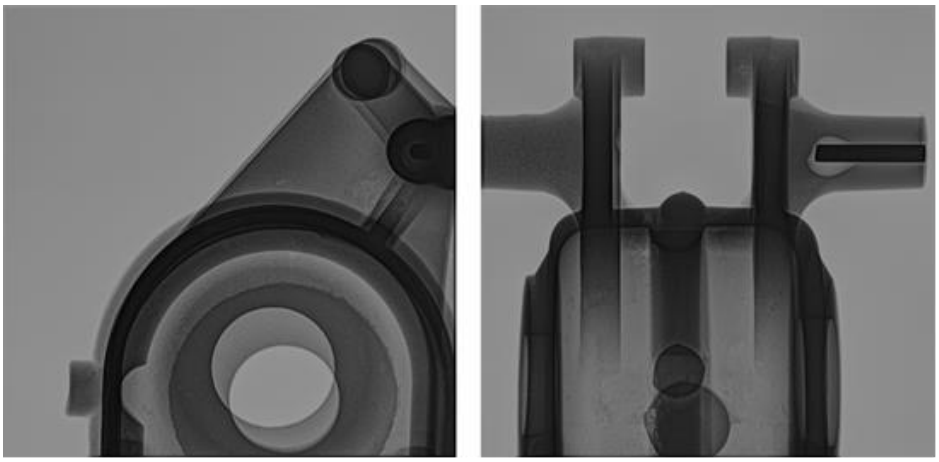
Naše odlitky byly podrobeny kontrole digitální prozařovací zkouškou ve slévárně Beneš a Lát a.s., která nám tuto technologii ochotně poskytla.

Na Obr. 5.7 můžeme vidět, že na rentgenovém snímku předního dílu se nachází pouze mírné řediny, které nebudou mít vliv na funkčnost dílu. Na Obr. 5.8 potom můžeme pozorovat, že u zadního dílu opět došlo k vytvoření vzduchové bubliny zkoumané již při zkoušce destruktivní, ta však bude téměř celá odstraněna při obrábění. Dále se v odlitku vyskytují řediny, které by však vzhledem k jejich poloze a velikostem neměly mít vliv na výslednou funkčnost dílu. Jak již bylo řečeno v kapitole o destruktivní kontrole, tak řediny ve vyztužujícím žebru budou opraveny částečným odvrtáním a zavařením metodou TIG [20].



Obr. 5.7: Prozařovací zkouška předního dílu.

[17] Indikace je místo, které poukazuje na možnou přítomnost nepřímo zkoumané vady [19].

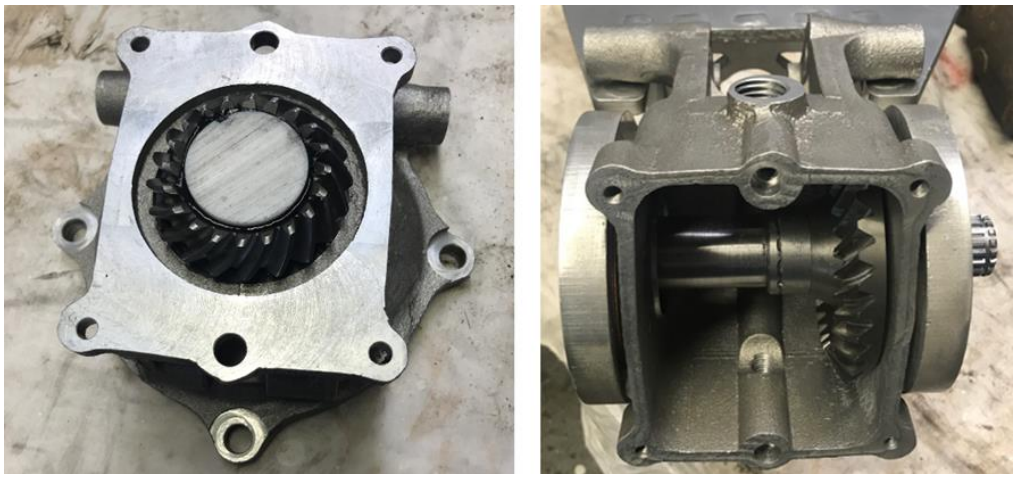


Obr. 5.8: Prozařovací zkouška zadního dílu.

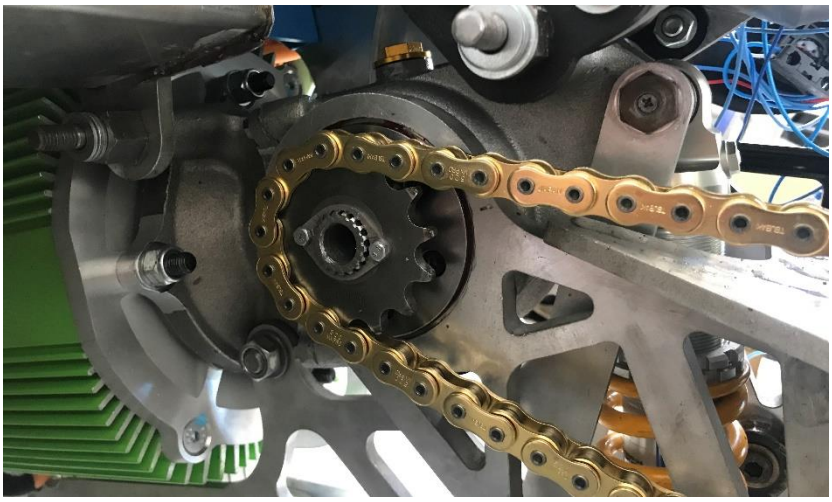
Po kontrole a opravě odlitků následovalo jejich tepelné zpracování o parametrech založených na předchozích materiálových zkouškách, tzn. umělé stárnutí při teplotě 210 °C po dobu 70 minut. Po tomto kroku byly odlitky obrobeny na pětiosé frézce.

5.4. Montáž a ověření funkce

Montáž převodovky zahrnovala nalisování ložisek, nastavení správné zubové vůle pomocí vymezovacích podložek pro hladký chod ozubeného soukolí, utěsnění dutých hřídelů, spasování s kyvnou vidlicí a systémem odpružení, spojení obou částí převodovky, nasazení elektromotoru na vstupní hřídel a výsledné uchycení celé této sestavy do rámu motocyklu.

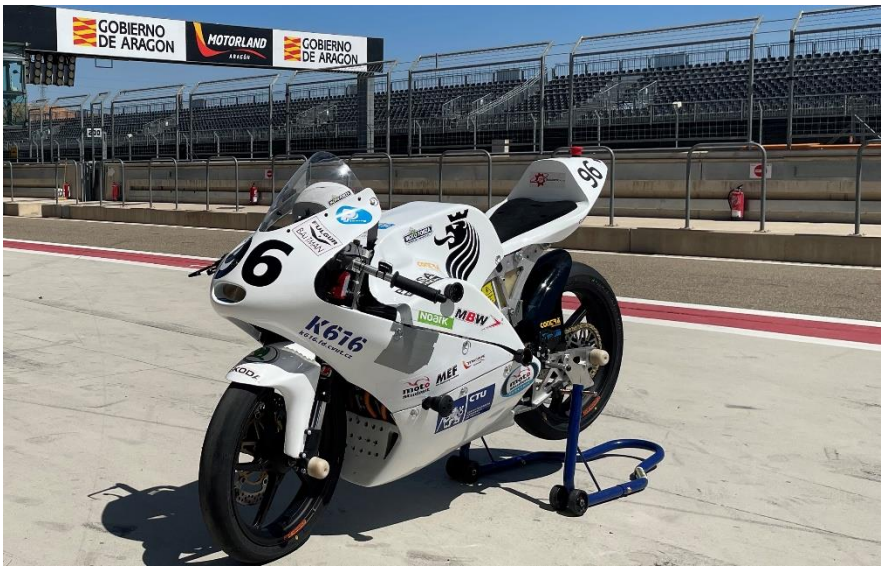


Obr. 5.9: Montáž vnitřních částí převodovky - přední díl vlevo a zadní díl vpravo.



Obr. 5.10: Namontovaná převodovka.

Po montáži byla převodovka podrobena statické zatěžkávací zkoušce, kdy byl celý motocykl zatížen na maximální stlačení tlumičů a ponechán v tomto stavu po dobu přibližně dvaceti minut. Po uvolnění byla převodovka vizuálně zkontrolována. Během této kontroly nebylo odhaleno žádné porušení celistvosti odlitku a statická zkouška byla tedy klasifikována jako úspěšná. Dalším krokem testování byl chod převodky bez sekundárního převodu (zatížení pouze od motoru) a tímto testem převodovka opět prošla úspěšně. Nakonec byl proveden dynamický test zatížení během testovacích jízd včetně samotného závodu, kterým převodovka opět prošla na výbornou. Zároveň nebyl během žádného z testů pozorován únik převodového oleje, čili můžeme převodovku prohlásit jako těsnou. Na následujícím obrázku potom můžeme vidět finální podobu našeho motocyklu.



Obr. 5.11: Závodní motocykl CTU Lions EVO 2.0 Electric.

6. Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na komplexní návrh, optimalizaci na základě simulačních výpočtů a výrobu odlitků dvoudílné skříně převodovky z vysokopevnostní hliníkové slitiny pro závodní univerzitní motocykl CTU Lions EVO 2.0 Electric, která je zároveň nosnou částí rámu tohoto motocyklu.

Teoretická část této práce byla věnována hliníkovým slitinám, především pak jejich základnímu rozdělení, kdy byly popsány vlastnosti jednotlivých základních skupin slévárenských slitin hliníku. Dále se tato část zabývala normováním slévárenských slitin hliníku a vlivu legur a příměsí na jejich slévárenské či mechanické vlastnosti. V závěru teoretické části byly probrány principy zvyšování pevnosti těchto slitin. Následující experimentální část byla rovněž doplněna o potřebný teoretický základ.

Experimentální část práce je potom v první části zaměřena na návrh experimentálního materiálu, jeho výrobu a následné testování. Experimentální materiál vycházel ze slitiny Magsimal®-plus (AlMg6Si2MnZr) od společnosti RHEINFELDEN ALLOYS, která je primárně určená pro vysokotlaké lití. Na základě chemického složení a dostupných informací o této slitině byl vytvořen experimentální materiál a byla zkoumána možnost jeho využití pro gravitační lití a vlivu tohoto výrobního procesu na změnu výsledných mechanických vlastností. Výsledkem byla dobře slévatelná slitina se solidními mechanickými vlastnostmi. Nejlepších výsledků bylo dosaženo po tepelném zpracování umělým stárnutím při teplotě 210 °C po dobu 60 minut, kdy jsme dosáhli hodnoty meze kluzu pro vzorky odlévané do pískové formy 150,8 MPa a pro vzorky lité do formy kovové téměř 190 MPa. Tyto hodnoty byly sice přibližně o 40 až 60 MPa nižší než u originálního materiálu litého metodou HPDC, ale vzhledem k tomu, že experimentální slitina byla odlévána metodou gravitační, jsou tyto výsledky velmi dobré. Pro další postup jsou pak s ohledem na možnosti výroby stěžejní výsledky vzorků litých do pískové formy, které splnily požadavky na minimální hodnotu meze kluzu 130 MPa a materiál je tedy vhodný pro následující výrobu.

V další části poté následovala úprava konstrukce výchozích dílů pro potřeby výrobní technologie gravitačního lití, která zahrnovala zaslepení nepředlévaných otvorů, navržení správných úkosů s ohledem na zaformování, zaoblení hran a návrh vhodných přídavků na obrábění.

Dalším krokem bylo provedení základních simulací tuhnutí prostých odlitků pro odhalení kritických míst. Na základě výsledků těchto simulací byly provedeny návrhy technologických prvků pro oba odlitky, které zahrnovaly návrh nálitků, chladítek a vtokových soustav. Po tomto kroku následovala další simulace tuhnutí, která měla za úkol ověřit správnost návrhu. Pro přední díl bylo nutné udělat pouze mírnou úpravu nálitku, která již ani nebyla následně ověřována simulací. Naopak pro zadní díl bylo provedeno celkem 12 optimalizací technologického návrhu pro dosažení přijatelné varianty. Nakonec byly pro optimalizované odlitky provedeny simulační výpočty tuhnutí včetně procesu plnění formy, pro dosažení co nejlepších výsledků. Výsledkem této části byly vyhovující optimalizované díly.

V poslední části této práce je popsán způsob výroby finálního návrhu odlitků. Po samotné výrobě byla provedena defektoskopická kontrola odlitků. U všech odlitků byla provedena vizuální kontrola povrchových vad, která vždy našla pouze nepatrné charakteristické vady typu zatekliny či zadrobeniny. Následně byly zkušební odlitky podrobeny zkoušce destruktivní, finální odlitky pak zkoušce prozařovací. Tyto zkoušky poukázaly na přítomnost méně či více významných vad, kdy jedna z nich byla opravena a ostatní uznány za přijatelné. Na závěr tato práce popisuje následnou montáž vyrobených dílů a testování jejich správné funkce co se týče pevnosti a těsnosti. Všemi těmito testy odlitky zdárně prošly a cíle této práce tedy mohou být prohlášeny za splněné.

Citovaná literatura

[1] NĚMEC, Milan, Bohumír BEDNÁŘ a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. *Teorie slévání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1.

[2] NĚMEC, Milan a Jaroslav PROVAZNÍK. *Slévárenské slitiny neželezných kovů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04116-1.

[3] Hliník. Informace o hliníku - slitiny a povrchová úprava. *Hliníkové profily, tyče, plechy a desky.* [online]. Ostrava: NPS PROAL s.r.o, 2019 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://proal.cz/hlinik/

[4] JANOŠŤÁK, Jan. *Vliv modifikace a očkování na strukturu a mechanické vlastnosti slitin hliníku*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

[5] MOLA, Renata a A. DZIADOń. Formation of magnesium-eutectic mixture layered composite. *ARCHIVES of FOUNDRY ENGINEERING*. Poland, 2008, **24**(4), 127-132. ISSN 1897-3310.

[6] LAŠTOVICA, Petr. *Použití hliníku a jeho slitin ve slévárenství*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

[7] ČSN EN 1706:2020. *Hliník a slitiny hliníku - Odlitky - Chemické složení a mechanické vlastnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

[8] Odlévání, hliník, slitiny, metalurgie, slitiny hliníku, odlitiky. *Strojnické tabulky online* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, c1997-2014 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.strojnicketabulkyonline.cz/odlevani/metalurgie-slitin-hliniku/

[9] PRACH, O., O. TRUDONOSHYN, P. RANDELZHOFER, C. KÖRNER a K. DURST. Effect of Zr, Cr and Sc on the Al–Mg–Si–Mn high-pressure die casting alloys. *Materials Science*

and Engineering: A. 2019, **759**, 603-612. ISSN 09215093. Dostupné z: doi:10.1016/j.msea.2019.05.038

[10] MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, 2005. ISBN 80-890-4188-4.

[11] *Primary aluminum HPDC Alloys for Structural Castsin Vehicle Construction* [online]. Rheinfelden: RHEINFELDEN ALLOYS GmbH & Co. KG [cit. 2021-06-09]. Dostupné z: https://rheinfelden-alloys.eu/wp-content/uploads/2018/09/rheinfelden_alloys_structural_casts_2018.pdf

[12] PRACH, O., O. TRUDONOSHYN, P. RANDELZHOFER, C. KÖRNER a K. DURST. Multi-alloying effect of Sc, Zr, Cr on the Al-Mg-Si-Mn high-pressure die casting alloys. *Materials Characterization* [online]. 2020, **168** [cit. 2021-06-19]. ISSN 10445803. Dostupné z: doi:10.1016/j.matchar.2020.110537

[13] MACHÁČ, Miroslav. *Měření tvrdosti materiálů a zpracování zjištěných hodnot*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

[14] Tvrdost: Tvrdost podle Vickerse (ČSN 42 0374). *Tvrdoměry Rockwell, Brinell, Vickers, SHORE, přenosné, stolní* [online]. Ostrava: Proinex Instruments, s.r.o, c2005-2017 [cit. 2021-06-22]. Dostupné z: http://www.merenitvrdosti.cz/tvrdost.html

[15] BEDNÁŘ, Bohumír. *Technologičnost konstrukce I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3268-X.

[16] JAKUBEC, Petr. *Použití exotermických nálitků u odlitků ze slitin hliníku*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

[17] HERMAN, Aleš. TE1 – slévání 1. In: *Ústav strojírenské technologie FS ČVUT* [online]. Praha: ČVUT v Praze [cit. 2021-06-26]. Dostupné z: http://u12133.fs.cvut.cz/assets/subject/files/105/TE1-slevani-1-Herman.pdf

[18] SUCHOMEL, Martin. *Výroba modelového zařízení pro odlitek čerpadla*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

[19] JANDURA, Václav a Tomáš ZAVADIL. *Nedestruktivní zkoušení: Základní kurz*. Praha: ATG - Avanced technology group, 2020.

[20] *Katalog vad odlitků ze slitin hliníku*. [Brno]: Česká slévárenská společnost, 2018. ISBN 978-80-02-02817-8.

Seznam obrázků:

Obr. 1.1: Rovnovážný diagram Al - Si (A – podeutektická, B – eutektická a C – nadeutektická struktura) [1]. 14
Obr. 1.2: Rovnovážný diagram Al - Mg [5]. 17
Obr. 1.3: Rovnovážný diagram Al - Zn [1]. 18
Obr. 1.4: Precipitáty v krystalové mřížce: a) koherentní precipitát (GP I), b) semikoherentní precipitát [1]. 28
Obr. 1.5: Princip vytvrzování a rovnovážný diagram slitin Al - Cu [1]. 28
Obr. 2.1: Mikrostruktura experimentálního materiálu - fáze Al_3Zr (šedostříbrné útvary). 31
Obr. 2.2: Mikrostruktura experimentálního materiálu litého do pískové formy z těla odlitku (vlevo) a z kraje odlitku v kontaktu s kovovým chladítkem (vpravo). 32
Obr. 2.3: Rozměry vzorku pro tahovou zkoušku - první etapa. 33
Obr. 2.4: Rozměry vzorku pro tahovou zkoušku - druhá etapa. 34
Obr. 2.5: Zkušební vzorky po odlití (vlevo), po obrobení (uprostřed) a po provedení tahové zkoušky (vpravo). 37
Obr. 2.6: Tvar indentoru a vpichu zkoušky tvrdosti dle Vickerse [13]. 38
Obr. 3.1: Napěťové pole výchozí konstrukce skříně převodovky. 40
Obr. 3.2: Výchozí díly před konstrukční úpravou - přední díl vlevo a zadní díl vpravo. 41
Obr. 3.3: Charakteristické rozměry předního dílu skříně převodovky. 41
Obr. 3.4: Dělící rovina předního dílu skříně převodovky. 43
Obr. 3.5: Charakteristické rozměry zadního dílu skříně převodovky. 44
Obr. 3.6: Dělící rovina předního dílu skříně převodovky. 45
Obr. 3.7: Upravené díly po konstrukční úpravě - přední díl vlevo a zadní díl vpravo. 46
Obr. 4.1: Tepelné uzly v prostém odlitku předního dílu. 48
Obr. 4.2: Pole time to solidus v prostém odlitku předního dílu. 48
Obr. 4.3: Staženiny v prostém odlitku předního dílu - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo. 49
Obr. 4.4: Základní návrh nálitků předního dílu. 50
Obr. 4.5: Průřez struskováku vtokové soustavy předního dílu. 52
Obr. 4.6: Vtoková soustava předního dílu. 52

Obr. 4.7: Rozmístění chladítek předního dílu. 54
Obr. 4.8: Základní rozměry chladítek předního dílu. 54
Obr. 4.9: Tepelné uzly v odlitku předního dílu včetně technologických prvků. 55
Obr. 4.10: Pole time to solidus v odlitku předního dílu včetně technologických prvků. 56
Obr. 4.11: Staženiny v odlitku předního dílu včetně technologických prvků - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo. 56
Obr. 4.12: Proces plnění formy odlitku předního dílu - naplnění z 20 % (vlevo) a 30 % (vpravo). 57
Obr. 4.13: Proces plnění formy odlitku předního dílu - naplnění z 40 % (vlevo) a 50 % (vpravo). 58
Obr. 4.14: Proces plnění formy odlitku předního dílu - naplnění z 60 % (vlevo) a 70 % (vpravo). 58
Obr. 4.15: Proces plnění formy odlitku předního dílu - naplnění z 80 % (vlevo) a 100 % (vpravo). 58
Obr. 4.16: Tepelné uzly v odlitku předního dílu včetně simulace plnění formy. 59
Obr. 4.17: Staženiny v odlitku předního dílu včetně simulace plnění formy - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo. 59
Obr. 4.18: Tepelné uzly v prostém odlitku zadního dílu. 60
Obr. 4.19: Pole time to solidus v prostém odlitku zadního dílu. 61
Obr. 4.20: Staženiny v prostém odlitku zadního dílu - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo. ... 61
Obr. 4.21: Základní návrh nálitků zadního dílu. 62
Obr. 4.22: Průřez struskováku vtokové soustavy zadního dílu. 63
Obr. 4.23: Vtoková soustava zadního dílu. 64
Obr. 4.24: Rozmístění chladítek zadního dílu. 65
Obr. 4.25: Základní rozměry chladítek zadního dílu. 65
Obr. 4.26: Tepelné uzly v odlitku zadního dílu včetně technologických prvků. 66
Obr. 4.27: Pole time to solidus v odlitku zadního dílu včetně technologických prvků. 66
Obr. 4.28: Staženiny v odlitku zadního dílu včetně technologických prvků - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo. 67

Obr. 4.29: Optimalizovaný návrh nálitků zadního dílu. 68
Obr. 4.30: Optimalizované rozmístění chladítek zadního dílu. 68
Obr. 4.31: Základní rozměry optimalizovaných chladítek zadního dílu. 69
Obr. 4.32: Tepelné uzly v odlitku zadního dílu po optimalizaci technologických prvků. 70
Obr. 4.33: Pole time to solidus v odlitku zadního dílu po optimalizaci technologických prvků. 70
Obr. 4.34: Staženiny v odlitku zadního dílu po optimalizaci technologických prvků - nad 1 % vlevo a nad 5 % vpravo. 71
Obr. 4.35: Proces plnění formy odlitku zadního dílu - naplnění z 20 % (vlevo) a 30 % (vpravo). 72
Obr. 4.36: Proces plnění formy odlitku zadního dílu - naplnění z 40 % (vlevo) a 50 % (vpravo). 72
Obr. 4.37: Proces plnění formy odlitku zadního dílu - naplnění z 60 % (vlevo) a 70 % (vpravo). 72
Obr. 4.38: Proces plnění formy odlitku zadního dílu - naplnění z 80 % (vlevo) a 100 % (vpravo). 73
Obr. 4.39: Tepelné uzly v odlitku zadního dílu včetně simulace plnění formy. 73
Obr. 4.40: Staženiny v odlitku zadního dílu včetně simulace plnění formy. 74
Obr. 5.1: Princip volných částí modelu (vlevo) a kontrola úkosů (vpravo). 76
Obr. 5.2: Založení jader do formy (vlevo) a zvětšený nálitek (vpravo) - forma předního dílu. 76
Obr. 5.3: Chladítka formovaná do jádra (vlevo) a chladítka formovaná přímo do formy (vpravo) - forma zadního dílu. 77
Obr. 5.4: Surové odlitky - přední díl vlevo a zadní díl vpravo. 77
Obr. 5.5: Hrubé odlitky - přední díl vlevo a zadní díl vpravo. 78
Obr. 5.6: Destruktivní zkouška - vady odlitků předního (vlevo) a zadního (vpravo) dílu. ... 79
Obr. 5.7: Prozařovací zkouška předního dílu. 80
Obr. 5.8: Prozařovací zkouška zadního dílu. 81
Obr. 5.9: Montáž vnitřních částí převodovky - přední díl vlevo a zadní díl vpravo. 81

Obr. 5.10: Namontovaná převodovka. 82
Obr. 5.11: Závodní motocykl CTU Lions EVO 2.0 Electric. 82

Seznam tabulek:

Tab. 1.1: Specifikace významu první číslice [7]..... 19

Tab. 1.2: Označení procesu lití [7]. 19

Tab. 1.3: Značení stavu tepelného zpracování [1] [7]. 20

Tab. 2.1: Obsah legujících a doprovodných prvků slitiny Magsimal®-plus [11] 29

Tab. 2.2: Obsah legujících a doprovodných prvků experimentální slitiny. 30

Tab. 2.3: Mechanické vlastnosti slitiny Magsimal®-plus pro tl. stěny odlitku 3 mm [11] . . 32

Tab. 2.4: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - první etapa testování - litý stav. 33

Tab. 2.5: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - první etapa testování - TZ (210 °C, 60 minut). 33

Tab. 2.6: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - litý stav.35

Tab. 2.7: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (170 °C, 30 minut). 35

Tab. 2.8: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (170 °C, 60 minut). 35

Tab. 2.9: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (170 °C, 90 minut). 35

Tab. 2.10: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (210 °C, 30 minut). 35

Tab. 2.11: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (210 °C, 90 minut). 35

Tab. 2.12: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (250 °C, 30 minut). 35

Tab. 2.13: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (250 °C, 60 minut). 35

Tab. 2.14: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny - druhá etapa testování - TZ (250 °C, 90 minut). 35

Tab. 2.15: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny lité do kovové formy - litý stav. . 36

Tab. 2.16: Mechanické vlastnosti experimentální slitiny lité do kovové formy - TZ (210 °C, 70 minut). 36
Tab. 2.17: Základní parametry stroje LabTest Model 5.100SP1. 37
Tab. 2.18: Tvrdost vzorků experimentálního materiálu. 39
Tab. 3.1: Typické doporučené stupně přídavků n obrábění hrubých odlitků [15]. 42
Tab. 3.2: Doporučené přídavky na obrábění dle ISO 8062 [15]. 42
Tab. 4.1: Parametry simulace tuhnutí prostého odlitku předního dílu. 47
Tab. 4.2: Hodnoty součinitele stahování β pro různé slitiny [16]. 49
Tab. 4.3: Hodnoty koeficientu nehospodárnosti χ pro různé druhy nálitků [16]. 50
Tab. 4.4: Parametry simulace tuhnutí odlitku předního dílu včetně technologických prvků. 55
Tab. 4.5: Parametry simulace licího procesu odlitku předního dílu. 57
Tab. 4.6: Parametry simulace tuhnutí prostého odlitku zadního dílu. 60
Tab. 4.7: Volené a vypočtené hodnoty návrhu nálitků zadního dílu. 62
Tab. 4.8: Volené a vypočtené hodnoty návrhu vtokové soustavy zadního dílu. 63
Tab. 4.9: Volené hodnoty a výsledky kontrolního výpočtu návrhu vtokové soustavy zadního dílu. 64
Tab. 4.10: Parametry simulace tuhnutí odlitku zadního dílu včetně technologických prvků. 65
Tab. 4.11: Parametry simulace tuhnutí odlitku zadního dílu po optimalizaci technologických prvků. 69
Tab. 4.12: Parametry simulace licího procesu odlitku zadního dílu. 71

Seznam grafů:

Graf 2.1: Tahový diagram slitiny Magsimal®-plus odlévaného metodou vysokotlakého lití [11]. 33

Graf 2.2: Tahový diagram jednoho z testovaných vzorků. 34

Graf 2.3: Vliv parametrů umělého stárnutí na mez kluzu experimentální slitiny. 36

Seznam příloh:

Příloha 1: Formování vzorků pro tahové zkoušky - písková forma 98
Příloha 2: Kovová forma pro odlévání vzorků pro tahové zkoušky 98
Příloha 3: Stroj LabTest Model 5.100SP1 (vlevo) a tvrdoměr IndentaMe t1104 (vpravo).. 99
Příloha 4: Modely a jaderníky předního (vlevo) a zadního (vpravo) dílu 99
Příloha 5: Postup zaformování předního dílu 100
Příloha 6: Postup zaformování zadního dílu 101
Příloha 7: Skládání formy předního dílu 102
Příloha 8: Skládání formy zadního dílu 103
Příloha 9: Odlévání a odlitá forma 103
Příloha 10: Spektrální analýza tavby 1 104
Příloha 11: Spektrální analýza tavby 2 105
Příloha 12: Spektrální analýza tavby 3 106
Příloha 13: Spektrální analýza tavby 4 107
Příloha 14: Spektrální analýza tavby 5 108
Příloha 15: Spektrální analýza tavby 6 109
Příloha 16: Spektrální analýza tavby 7 110
Příloha 17: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 1 111
Příloha 18: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 2 112
Příloha 19: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 3 113
Příloha 20: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 4 114
Příloha 21: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 5 115
Příloha 22: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 6 116
Příloha 23: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 7 117
Příloha 24: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 8 118
Příloha 25: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 9 119
Příloha 26: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 10 120
Příloha 27: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 11 121
Příloha 28: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 12 122

Příloha 29: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 13 123
Příloha 30: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 14 124
Příloha 31: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 15 125
Příloha 32: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 16 126
Příloha 33: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 17 127
Příloha 34: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 18 128
Příloha 35: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 19 129
Příloha 36: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 21 130
Příloha 37: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 22 131
Příloha 38: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 23 132
Příloha 39: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 24 133
Příloha 40: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 25 134
Příloha 41: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 26 135
Příloha 42: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 27 136
Příloha 43: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 28 137
Příloha 44: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 29 138
Příloha 45: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 30 139
Příloha 46: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 31 140
Příloha 47: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 32 141
Příloha 48: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 33 142
Příloha 49: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 34 143
Příloha 50: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 35 144
Příloha 51: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 36 145
Příloha 52: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 37 146
Příloha 53: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 38 147
Příloha 54: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 39 148
Příloha 55: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 40 149
Příloha 56: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 41 150
Příloha 57: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 42 151

Příloha 58: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 43 152
Příloha 59: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 44 153
Příloha 60: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 45 154
Příloha 61: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 46 155
Příloha 62: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 47 156
Příloha 63: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 48 157
Příloha 64: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 49 158
Příloha 65: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 50 159
Příloha 66: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 51 160
Příloha 67: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 52 161
Příloha 68: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 53 162
Příloha 69: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 54 163
Příloha 70: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 55 164
Příloha 71: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 56 165
Příloha 72: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 57 166
Příloha 73: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 58 167
Příloha 74: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 59 168
Příloha 75: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 60 169

Přílohy:

Příloha 1: Formování vzorků pro tahové zkoušky - písková forma

Příloha 2: Kovová forma pro odlévání vzorků pro tahové zkoušky

Příloha 3: Stroj LabTest Model 5.100SP1 (vlevo) a tvrdoměr IndentaMe t1104 (vpravo)

Příloha 4: Modely a jaderníky předního (vlevo) a zadního (vpravo) dílu

Příloha 5: Postup zaformování předního dílu

Příloha 6: Postup zaformování zadního dílu

Příloha 7: Skládání formy předního dílu

Příloha 8: Skládání formy zadního dílu

Příloha 9: Odlévání a odlitá forma

Příloha 10: Spektrální analýza tavby 1

3.3.2020 19:07:21

Q4 Tasman results

Popis vzorku					
Jakost	Vzorek	Vzorek 1	Meril	Kubelkova	Poznamka

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	1.176	<0.0020	0.0063	0.347	5.603	<0.0020	0.0030	0.0052	0.0041	<0.00050
2.	1.093	<0.0020	0.0056	0.357	5.851	<0.0020	<0.0020	0.0050	0.0042	<0.00050
3.	1.159	<0.0020	0.0070	0.342	5.596	<0.0020	0.0030	0.0044	0.0044	<0.00050
⇑										
∅	**1.143**	**<0.0020**	**0.0063**	**0.349**	**5.683**	**<0.0020**	**0.0027**	**0.0049**	**0.0042**	**<0.00050**
⇓										
σ	0.044		0.00070	0.0076	0.145		0.00058	0.00042	0.00016	
υ	3.850		11.11	2.178	2.551		21.48	8.571	3.810	

	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Ga	In	Li
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00056	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00061	<0.00050	<0.0010	0.0079	0.0029	0.00002
2.	0.00048	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00064	<0.00050	<0.0010	0.0078	<0.0020	<0.00002
3.	0.00076	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00060	<0.00050	<0.0010	0.0083	0.0050	0.00035
⇑										
∅	**0.00060**	**<0.0010**	**<0.00030**	**<0.0030**	**0.00062**	**<0.00050**	**<0.0010**	**0.0080**	**0.0033**	**0.00013**
⇓										
σ	0.00014				0.00002			0.00026	0.0015	0.00019
υ	23.33				3.226			3.250	45.45	146.15

	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr	Sb	Hg	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0010	<0.0020	<0.0050	0.0020	<0.0010	0.0060	0.140	<0.0070	0.0058	92.66
2.	0.0010	<0.0020	<0.0050	0.0022	<0.0010	0.0062	0.141	<0.0070	0.0075	92.49
3.	0.0012	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0086	0.143	<0.0070	0.0074	92.68
⇑										
∅	**0.0011**	**<0.0020**	**<0.0050**	**0.0021**	**<0.0010**	**0.0069**	**0.141**	**<0.0070**	**0.0069**	**92.61**
⇓										
σ	0.00012			0.00012		0.0014	0.0016		0.00095	0.104
υ	10.91			5.714		20.29	1.135		13.77	0.112

A1100
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

Příloha 11: Spektrální analýza tavby 2

3.3.2020 19:12:46

Q4 Tasman results

Popis vzorku						
Jakost	Vzorek	Vzorek 2	Meril	Kubelkova	Poznamka	

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	2.004	<0.0020	0.016	0.535	5.937	<0.0020	<0.0020	0.0095	0.0052	<0.00050
2.	2.006	<0.0020	0.016	0.535	6.006	<0.0020	0.0020	0.0097	0.0050	<0.00050
3.	1.989	<0.0020	0.016	0.531	6.023	<0.0020	<0.0020	0.0097	0.0057	<0.00050
⇑										
∅	**2.000**	**<0.0020**	**0.016**	**0.534**	**5.989**	**<0.0020**	**<0.0020**	**0.0096**	**0.0053**	**<0.00050**
⇓										
σ	0.0093			0.0023	0.046			0.00012	0.00036	
υ	0.465			0.431	0.768			1.250	6.792	

	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Ga	In	Li
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00045	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00052	<0.00050	<0.0010	0.0070	0.0034	<0.00002
2.	0.00043	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00053	<0.00050	<0.0010	0.0068	0.0034	0.00006
3.	0.00044	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00053	<0.00050	<0.0010	0.0070	0.0025	<0.00002
⇑										
∅	**0.00044**	**<0.0010**	**<0.00030**	**<0.0030**	**0.00053**	**<0.00050**	**<0.0010**	**0.0069**	**0.0031**	**0.00003**
⇓										
σ	0.00001				0.00001			0.00012	0.00052	0.00002
υ	2.273				1.887			1.739	16.77	66.67

	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr	Sb	Hg	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00097	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0073	0.163	<0.0070	0.0078	91.28
2.	0.00091	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0073	0.163	<0.0070	0.0077	91.20
3.	0.00090	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0073	0.161	<0.0070	0.0068	91.21
⇑										
∅	**0.00093**	**<0.0020**	**<0.0050**	**<0.0020**	**<0.0010**	**0.0073**	**0.162**	**<0.0070**	**0.0074**	**91.23**
⇓										
σ	0.00004						0.0012		0.00055	0.044
υ	4.301						0.741		7.432	0.048

A1100
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

Příloha 12: Spektrální analýza tavby 3

29.5.2020 14:43:48

Q4 Tasman results

Popis vzorku

Jakost	Vzorek	3	Meril	Kubelkova	Poznamka

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	2.443	0.101	0.0022	0.761	6.215	0.0065	0.0085	0.014	0.0020	<0.00050
2.	2.400	0.091	0.0023	0.761	6.285	0.0064	0.0081	0.015	0.0021	<0.00050
3.	2.408	0.090	0.0012	0.756	6.372	0.0064	0.0079	0.015	0.0018	<0.00050
⇑										
Ø	**2.417**	**0.094**	**0.0019**	**0.759**	**6.291**	**0.0064**	**0.0082**	**0.015**	**0.0020**	**<0.00050**
⇓										
σ	0.023	0.0061	0.00061	0.0029	0.079	0.00007	0.00031	0.00071	0.00016	
υ	0.952	6.489	32.11	0.382	1.256	1.094	3.780	4.733	8.000	

	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Ga	In	Li
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00044	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00059	<0.00050	<0.0010	0.0070	0.0051	0.00007
2.	0.00047	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00058	<0.00050	<0.0010	0.0071	0.0044	0.00005
3.	0.00071	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00063	<0.00050	<0.0010	0.0069	0.0049	0.00016
⇑										
Ø	**0.00054**	**<0.0010**	**<0.00030**	**<0.0030**	**0.00060**	**<0.00050**	**<0.0010**	**0.0070**	**0.0048**	**0.00009**
⇓										
σ	0.00015				0.00003			0.00010	0.00036	0.00006
υ	27.78				5.000			1.429	7.500	66.67

	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr	Sb	Hg	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00071	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0067	0.192	<0.0070	0.011	90.20
2.	0.00070	<0.0020	<0.0050	0.0022	<0.0010	0.0074	0.212	<0.0070	0.0094	90.16
3.	0.00068	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0062	0.187	<0.0070	0.0085	90.10
⇑										
Ø	**0.00070**	**<0.0020**	**<0.0050**	**0.0021**	**<0.0010**	**0.0068**	**0.197**	**<0.0070**	**0.0096**	**90.15**
⇓										
σ	0.00002			0.00012		0.00060	0.013		0.0013	0.050
υ	2.857			5.714		8.824	6.599		13.54	0.055

A1100
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

Příloha 13: Spektrální analýza tavby 4

29.5.2020 14:55:20

Q4 Tasman results

Popis vzorku										
Jakost			Vzorek	4		Meril		Kubelkova	Poznamka	

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	2.279	0.055	0.052	0.680	6.564	0.0049	0.0060	0.0038	0.0021	<0.00050
2.	2.264	0.054	0.052	0.677	6.590	0.0050	0.0056	0.0038	0.0019	<0.00050
3.	2.250	0.057	0.052	0.677	6.668	0.0054	0.0053	0.0040	0.0018	<0.00050
⇑										
Ø	**2.264**	**0.055**	**0.052**	**0.678**	**6.607**	**0.0051**	**0.0056**	**0.0039**	**0.0019**	**<0.00050**
⇓										
σ	0.015	0.0016		0.0017	0.054	0.00026	0.00035	0.00012	0.00016	
υ	0.663	2.909		0.251	0.817	5.098	6.250	3.077	8.421	

	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Ga	In	Li
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00034	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00074	<0.00050	<0.0010	0.0064	0.0041	0.00010
2.	0.00038	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00072	<0.00050	<0.0010	0.0066	0.0034	0.00011
3.	0.00068	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00074	0.00055	<0.0010	0.0067	0.0035	0.00007
⇑										
Ø	**0.00047**	**<0.0010**	**<0.00030**	**<0.0030**	**0.00073**	**0.00052**	**<0.0010**	**0.0066**	**0.0037**	**0.00009**
⇓										
σ	0.00019				0.00001	0.00003		0.00016	0.00038	0.00002
υ	40.43				1.370	5.769		2.424	10.27	22.22

	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr	Sb	Hg	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00070	<0.0020	<0.0050	0.0024	<0.0010	0.0067	0.203	<0.0070	0.010	90.10
2.	0.00070	<0.0020	<0.0050	0.0024	<0.0010	0.0072	0.204	<0.0070	0.0100	90.09
3.	0.00070	<0.0020	<0.0050	0.0021	<0.0010	0.0071	0.203	<0.0070	0.010	90.02
⇑										
Ø	**0.00070**	**<0.0020**	**<0.0050**	**0.0023**	**<0.0010**	**0.0070**	**0.203**	**<0.0070**	**0.010**	**90.07**
⇓										
σ				0.00017		0.00026	0.00071			0.044
υ				7.391		3.714	0.350			0.049

A1100
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

Příloha 14: Spektrální analýza tavby 5

29.5.2020 14:49:45

Q4 Tasman results

Popis vzorku										
Jakost			Vzorek	5		Meril		Kubelkova	Poznamka	

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	2.445	0.051	0.0062	0.666	6.536	0.0046	0.0065	0.0027	0.0012	<0.00050
2.	2.393	0.054	0.0089	0.669	6.507	0.0046	0.0063	0.0027	0.0016	<0.00050
3.	2.433	0.053	0.0057	0.663	6.591	0.0046	0.0062	0.0025	0.0021	<0.00050
⇑										
Ø	**2.424**	**0.053**	**0.0069**	**0.666**	**6.545**	**0.0046**	**0.0063**	**0.0026**	**0.0016**	**<0.00050**
⇓										
σ	0.027	0.0016	0.0017	0.0030	0.043		0.00016	0.00012	0.00045	
υ	1.114	3.019	24.64	0.450	0.657		2.540	4.615	28.13	

	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Ga	In	Li
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00052	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00039	<0.00050	<0.0010	0.0070	0.0053	0.00026
2.	0.00048	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00040	<0.00050	<0.0010	0.0070	0.0033	<0.00002
3.	0.00059	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00038	<0.00050	<0.0010	0.0067	0.0047	0.00016
⇑										
Ø	**0.00053**	**<0.0010**	**<0.00030**	**<0.0030**	**0.00039**	**<0.00050**	**<0.0010**	**0.0069**	**0.0044**	**0.00015**
⇓										
σ	0.00006				0.00001			0.00017	0.0010	0.00012
υ	11.32				2.564			2.464	22.73	80.00

	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr	Sb	Hg	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00069	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0068	0.202	<0.0070	0.011	90.02
2.	0.00070	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0070	0.205	<0.0070	0.0096	90.10
3.	0.00069	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0064	0.201	<0.0070	0.0082	89.99
⇑										
Ø	**0.00069**	**<0.0020**	**<0.0050**	**<0.0020**	**<0.0010**	**0.0067**	**0.203**	**<0.0070**	**0.0096**	**90.04**
⇓										
σ	0.00001					0.00031	0.0021		0.0014	0.057
υ	1.449					4.627	1.034		14.58	0.063

A1100
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

Příloha 15: Spektrální analýza tavby 6

29.5.2020 15:07:22

Q4 Tasman results

Popis vzorku

Jakost	Vzorek	6	Meril	Kubelkova	Poznamka

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	2.311	0.047	<0.0010	0.714	6.498	0.0048	0.0056	<0.0020	0.0027	<0.00050
2.	2.315	0.045	<0.0010	0.712	6.579	0.0047	0.0050	<0.0020	0.0037	<0.00050
3.	2.346	0.046	<0.0010	0.711	6.645	0.0047	0.0052	<0.0020	0.0029	<0.00050
⇑										
Ø	**2.324**	**0.046**	**<0.0010**	**0.712**	**6.574**	**0.0047**	**0.0053**	**<0.0020**	**0.0031**	**<0.00050**
⇓										
σ	0.019	0.0010		0.0016	0.074	0.00007	0.00031		0.00053	
υ	0.818	2.174		0.225	1.126	1.489	5.849		17.10	

	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Ga	In	Li
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00050	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00046	<0.00050	<0.0010	0.0068	0.0046	0.00020
2.	0.00056	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00046	<0.00050	<0.0010	0.0068	0.0045	0.00017
3.	0.00047	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00047	<0.00050	<0.0010	0.0072	0.0042	0.00014
⇑										
Ø	**0.00051**	**<0.0010**	**<0.00030**	**<0.0030**	**0.00046**	**<0.00050**	**<0.0010**	**0.0069**	**0.0044**	**0.00017**
⇓										
σ	0.00005				0.00001			0.00023	0.00021	0.00003
υ	9.804				2.174			3.333	4.773	17.65

	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr	Sb	Hg	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00069	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0070	0.185	<0.0070	0.011	90.17
2.	0.00065	<0.0020	<0.0050	0.0025	<0.0010	0.0067	0.183	<0.0070	0.011	90.10
3.	0.00066	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0071	0.183	<0.0070	0.0080	90.00
⇑										
Ø	**0.00067**	**<0.0020**	**<0.0050**	**0.0022**	**<0.0010**	**0.0069**	**0.184**	**<0.0070**	**0.010**	**90.09**
⇓										
σ	0.00002			0.00029		0.00021	0.0012		0.0017	0.085
υ	2.985			13.18		3.043	0.652		17.00	0.094

A1100
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

Příloha 16: Spektrální analýza tavby 7

29.5.2020 15:01:14

Q4 Tasman results

Popis vzorku										
Jakost			Vzorek	7		Meril		Kubelkova	Poznamka	
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ag
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	2.330	0.044	<0.0010	0.658	6.383	0.0044	0.0054	<0.0020	0.0017	<0.00050
2.	2.355	0.042	<0.0010	0.640	6.149	0.0042	0.0061	<0.0020	0.0014	<0.00050
3.	2.329	0.044	<0.0010	0.655	6.348	0.0043	0.0059	<0.0020	0.0016	<0.00050
⇑										
∅	**2.338**	**0.043**	**<0.0010**	**0.651**	**6.293**	**0.0043**	**0.0058**	**<0.0020**	**0.0016**	**<0.00050**
⇓										
σ	0.015	0.0012		0.0096	0.126	0.00010	0.00036		0.00016	
υ	0.642	2.791		1.475	2.002	2.326	6.207		10.00	

	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Ga	In	Li
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00060	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00062	<0.00050	<0.0010	0.0067	0.0045	0.00020
2.	0.00070	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00062	<0.00050	<0.0010	0.0071	0.0071	0.00049
3.	0.00047	<0.0010	<0.00030	<0.0030	0.00061	<0.00050	<0.0010	0.0068	0.0049	0.00019
⇑										
∅	**0.00059**	**<0.0010**	**<0.00030**	**<0.0030**	**0.00062**	**<0.00050**	**<0.0010**	**0.0069**	**0.0055**	**0.00029**
⇓										
σ	0.00012				0.00001			0.00021	0.0014	0.00017
υ	20.34				1.613			3.043	25.45	58.62

	Na	P	Pb	Sn	Sr	V	Zr	Sb	Hg	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.00068	<0.0020	<0.0050	0.0022	<0.0010	0.0071	0.217	<0.0070	0.0098	90.30
2.	0.00076	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0077	0.214	<0.0070	0.010	90.53
3.	0.00067	<0.0020	<0.0050	<0.0020	<0.0010	0.0075	0.216	<0.0070	0.0091	90.34
⇑										
∅	**0.00070**	**<0.0020**	**<0.0050**	**0.0021**	**<0.0010**	**0.0074**	**0.216**	**<0.0070**	**0.0096**	**90.39**
⇓										
σ	0.00005			0.00012		0.00031	0.0016		0.00047	0.123
υ	7.143			5.714		4.189	0.741		4.896	0.136

A1100
Bruker Elemental

Koncentrace
1/1

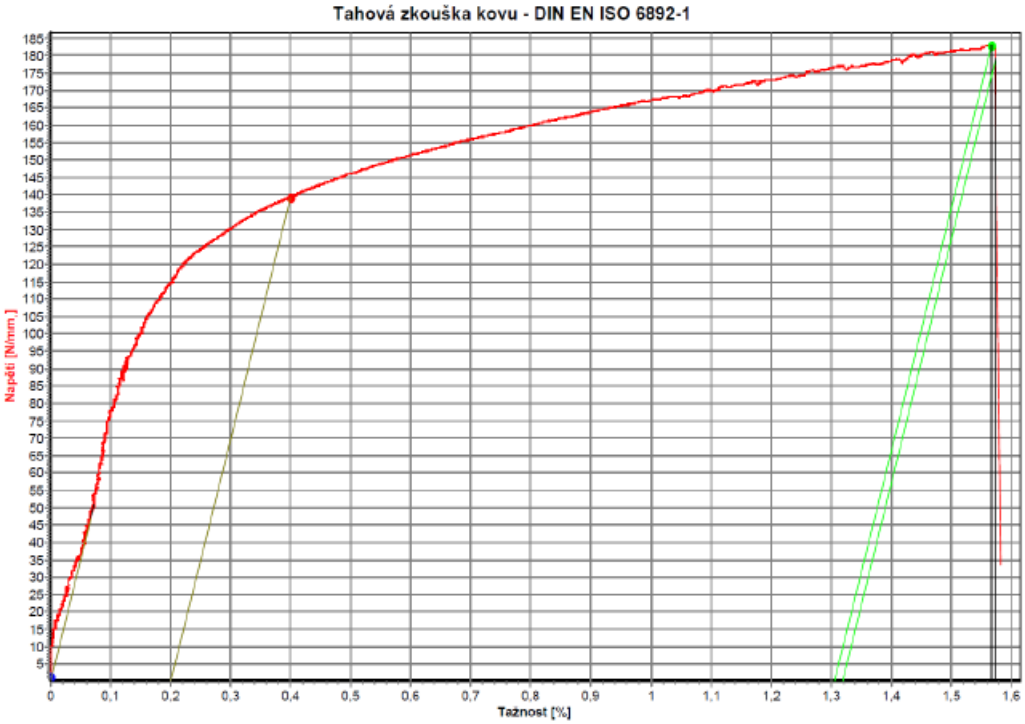
Příloha 17: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 1

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 01

Datum: 03.03.20
Čas: 16:33

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 49,87 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
01	x	03.03.20	16:33			69,991	139	10289,20	0	0	183

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
01		13521,70	1,31	1,32	1,57	1,57	

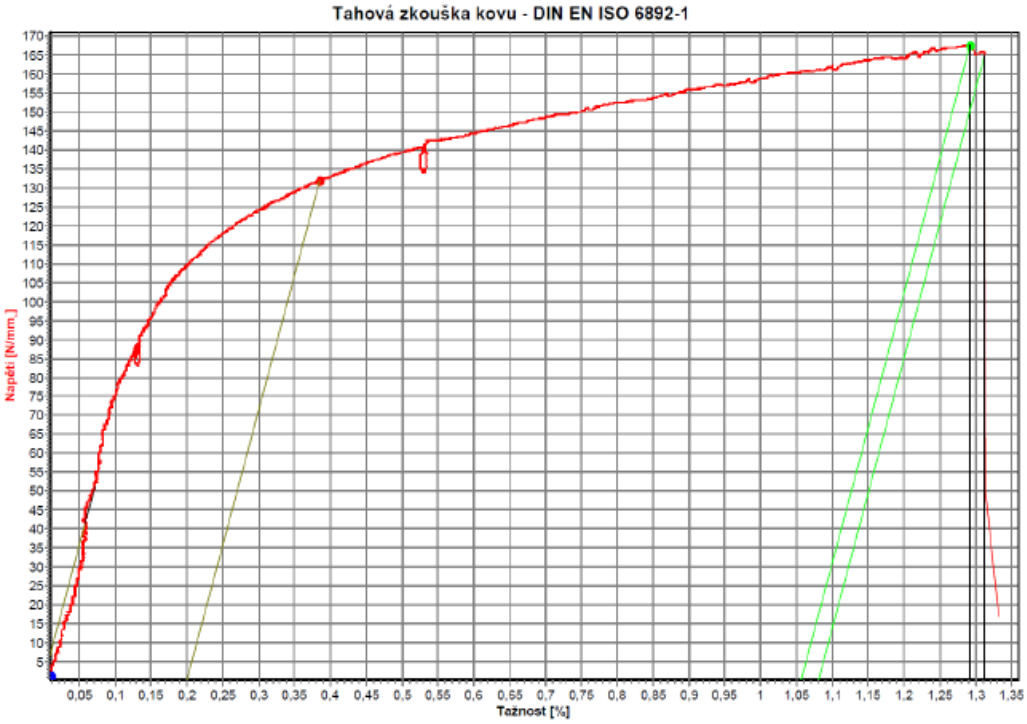
Příloha 18: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 2

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 02

Datum: 03.03.20
Čas: 16:24

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 50,28 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
02	x	03.03.20	16:24			70,972	132	10005,30	0	0	168

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
02		12720,10	1,06	1,08	1,29	1,31	

Test&Motion

Stránka 1 z 1

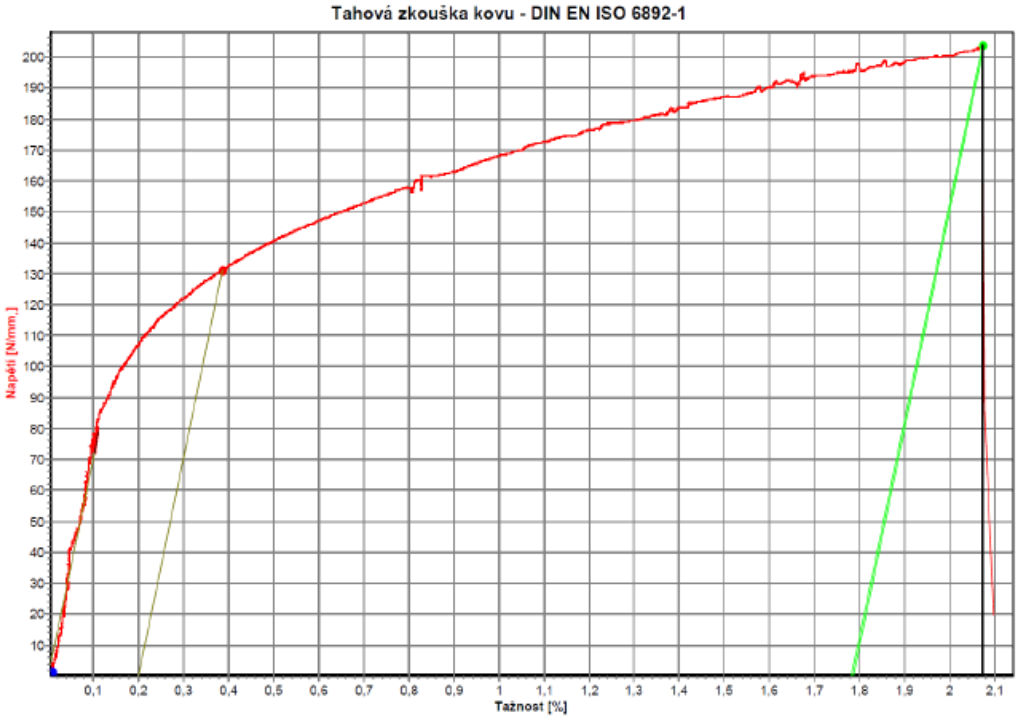
Příloha 19: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 3

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 03

Datum: 03.03.20
Čas: 16:16

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 49,93 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
03	x	03.03.20	16:16			70,397	131	9575,20	0	0	204

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
03		14917,40	1,78	1,79	2,07	2,07	

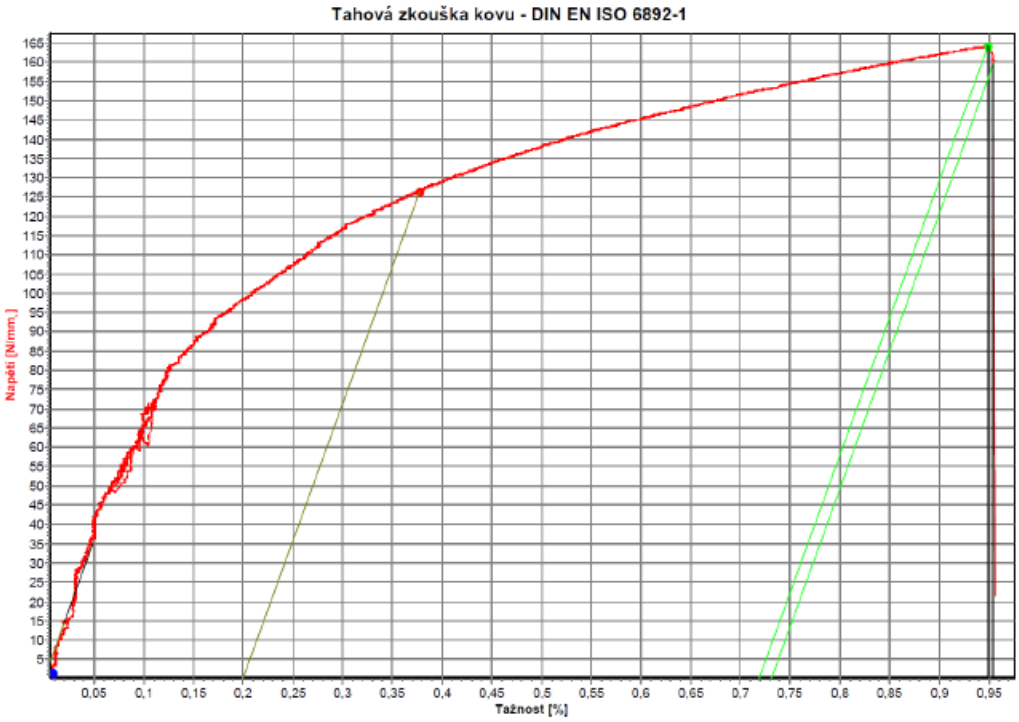
Příloha 20: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 4

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 04

Datum: 03.03.20
Čas: 15:49

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 49,81 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
04	x	03.03.20	15:49			71,285	126	8996,30	0	0	164

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
04		11687,10	0,72	0,73	0,95	0,95	

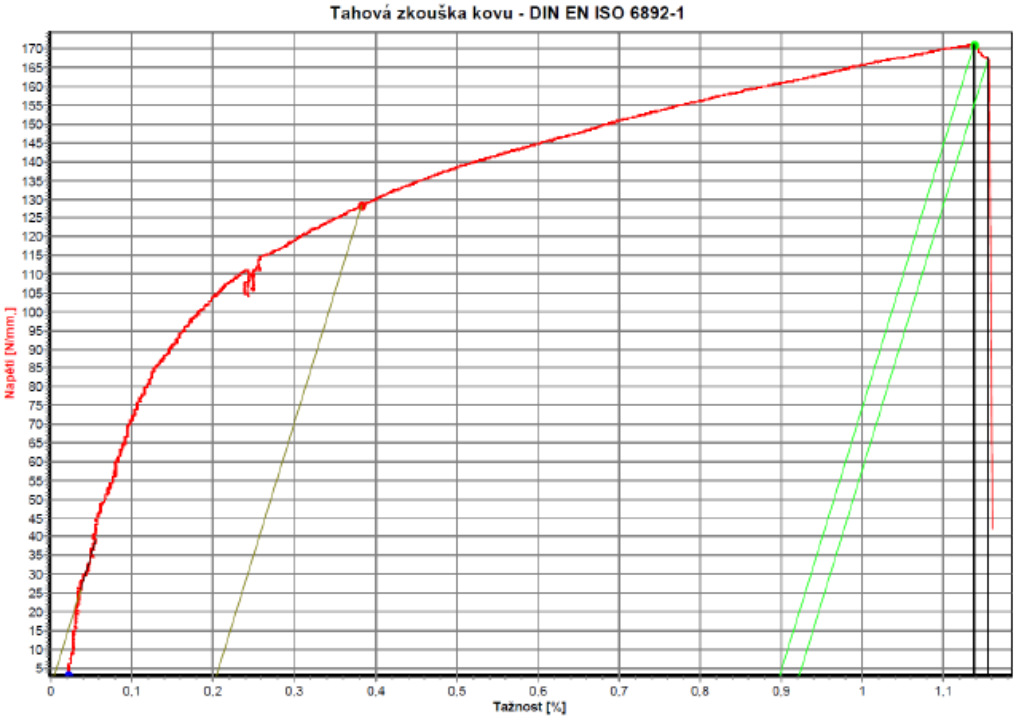
Příloha 21: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 5

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 05

Datum: 03.03.20
Čas: 15:38

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 50,09 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
05	x	03.03.20	15:38			70,295	128	9008,40	0	0	171

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
05		12031,90	0,89	0,92	1,14	1,16	

Test&Motion

Stránka 1 z 1

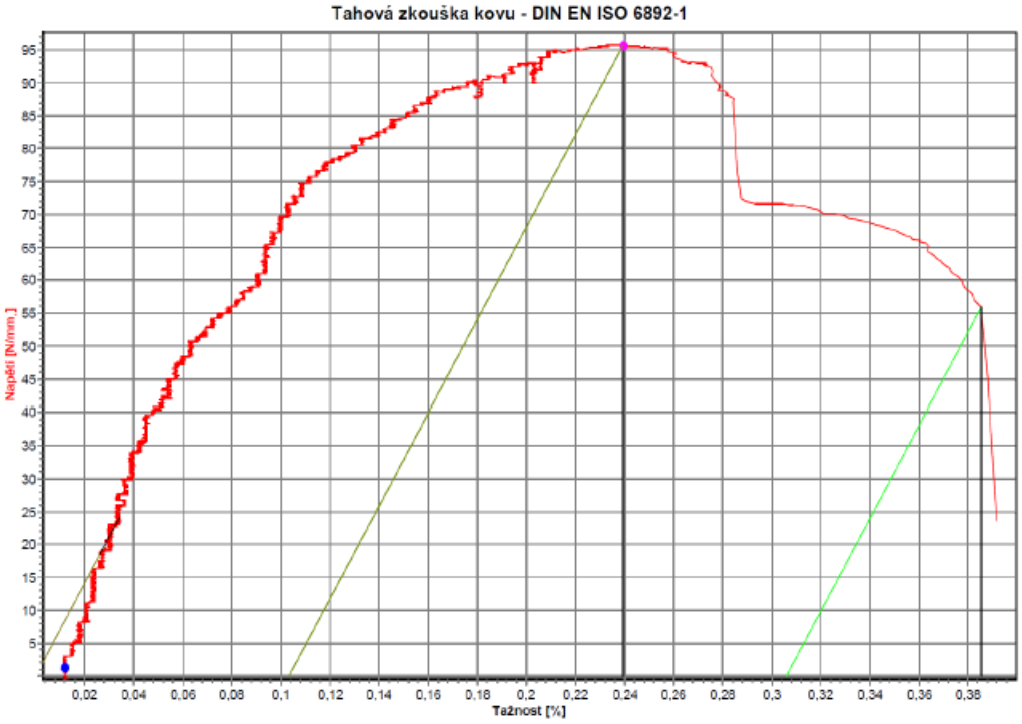
Příloha 22: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 6

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 06

Datum: 03.03.20
Čas: 15:31

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 50,2 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
06	x	03.03.20	15:31			70,425	0	0,00	0	0	96

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
06		7051,40	0,10	0,31	0,24	0,39	

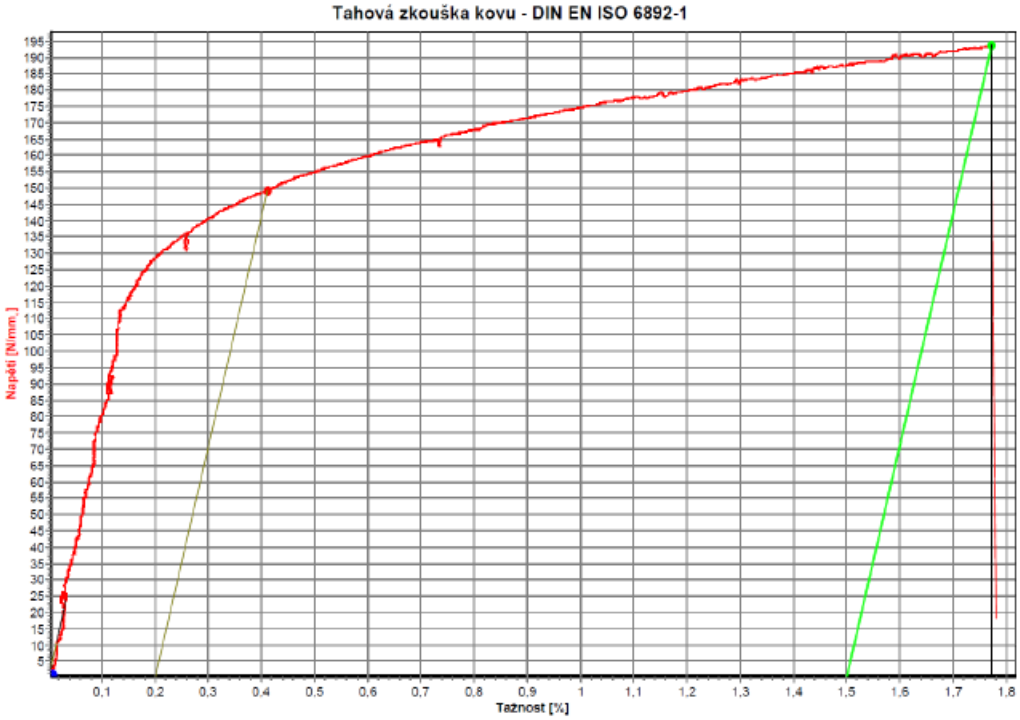
Příloha 23: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 7

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 07

Datum: 03.03.20
Čas: 15:57

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 49,93 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
07	x	03.03.20	15:57			70,983	149	11099,50	0	0	194

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
07		14419,00	1,50	1,50	1,77	1,77	

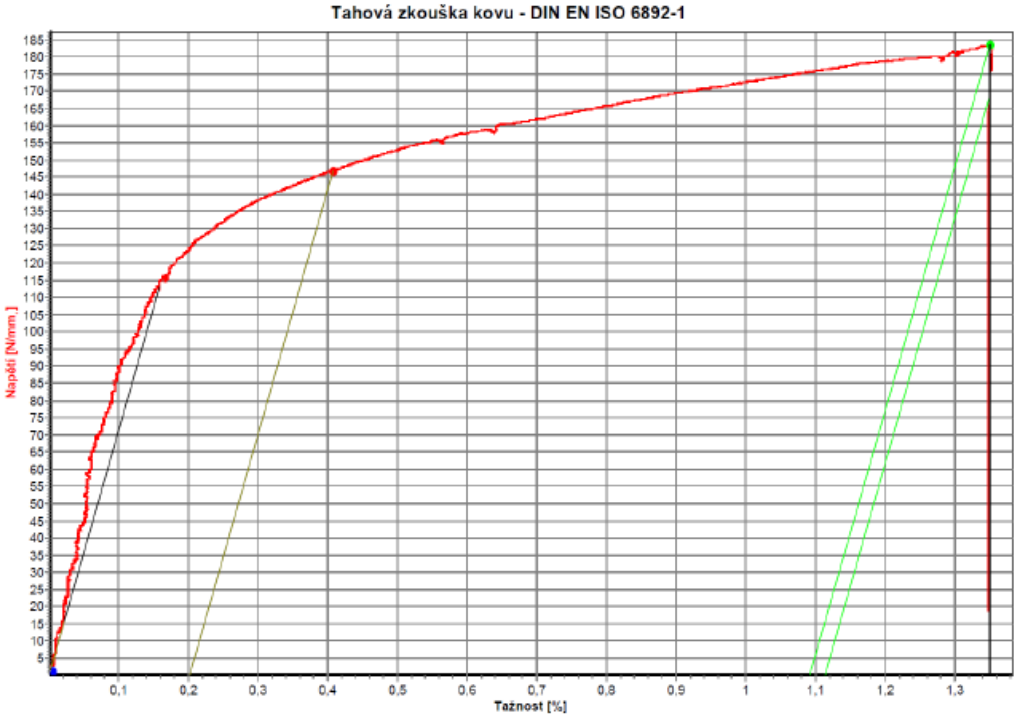
Příloha 24: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 8

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 08

Datum: 03.03.20
Čas: 16:07

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 50,05 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
08	x	03.03.20	16:07			71,073	147	11490,20	0	0	184

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
08		14364,20	1,09	1,11	1,35	1,35	

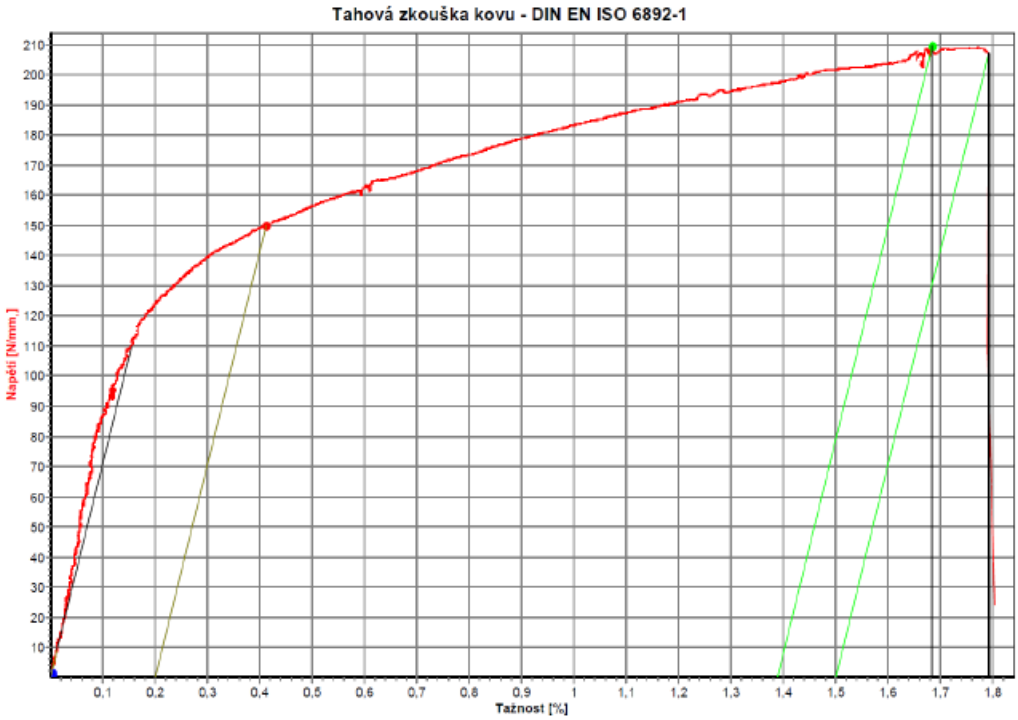
Příloha 25: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 9

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 09

Datum: 03.03.20
Čas: 15:13

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 50,34 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
09	x	03.03.20	15:13			70,690	150	11121,90	0	0	210

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
09		15551,50	1,39	1,50	1,69	1,79	

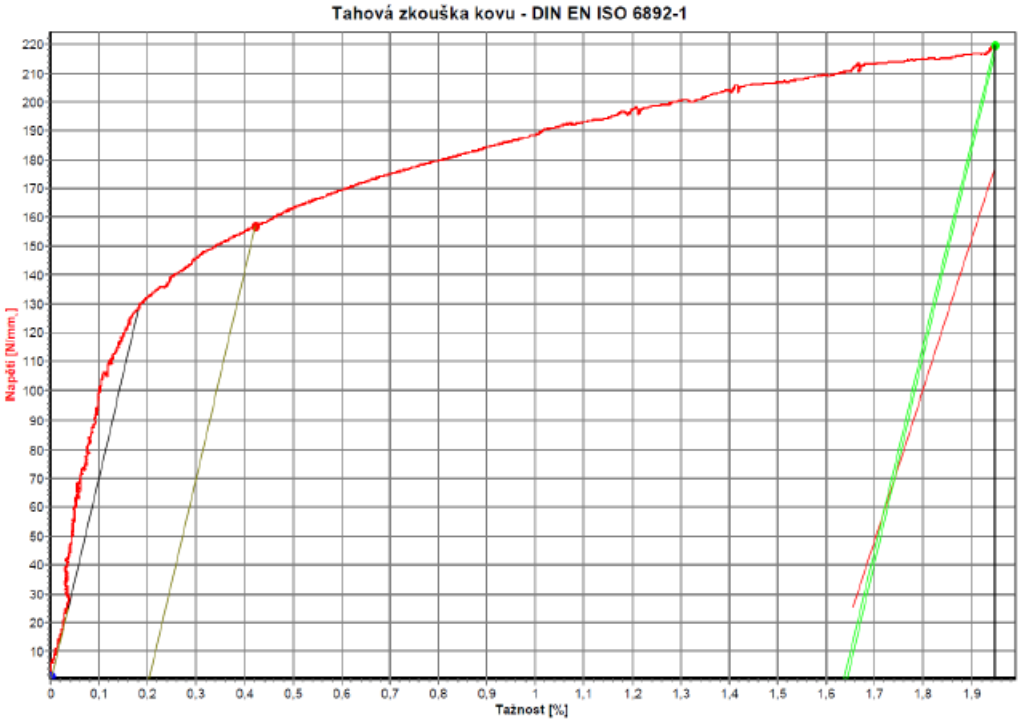
Příloha 26: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 10

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 10

Datum: 03.03.20
Čas: 14:06

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 49,86 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 2 mm/min; V1 = 2 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
10	x	03.03.20	14:06			70,840	157	11642,20	0	0	220

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
10		16307,10	1,64	1,64	1,95	1,95	

Test&Motion

Stránka 1 z 1

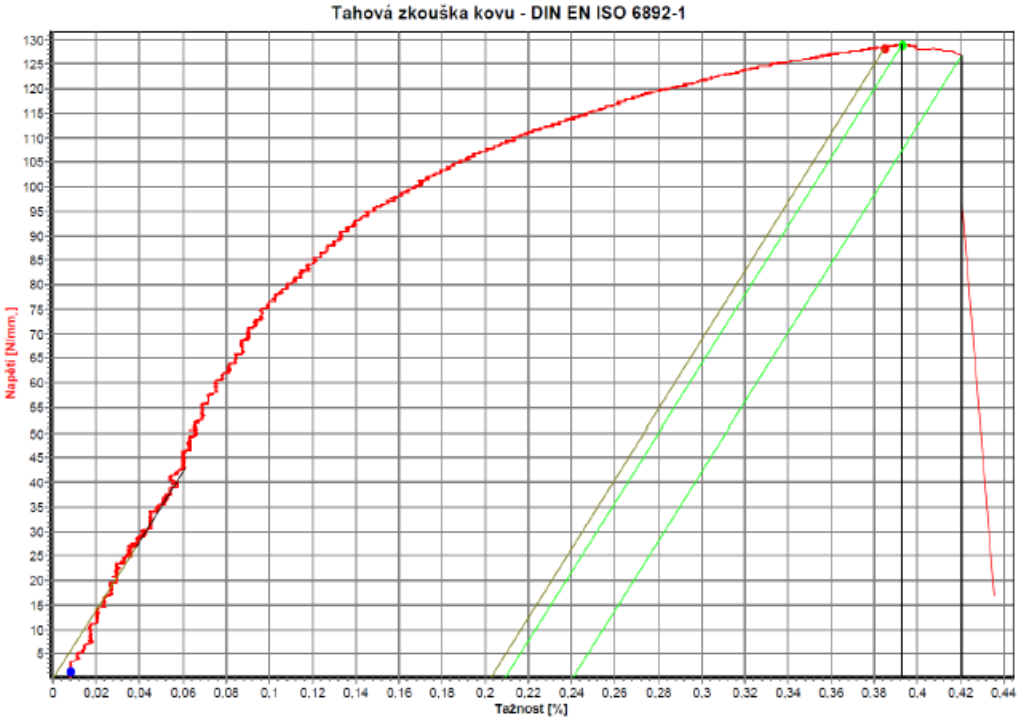
Příloha 27: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 11

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 11

Datum: 03.03.20
Čas: 15:24

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 49,84 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 2 mm/min; V1 = 2 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
11	x	03.03.20	15:24			70,268	128	8908,30	0	0	129

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
11		8955,40	0,21	0,24	0,39	0,42	

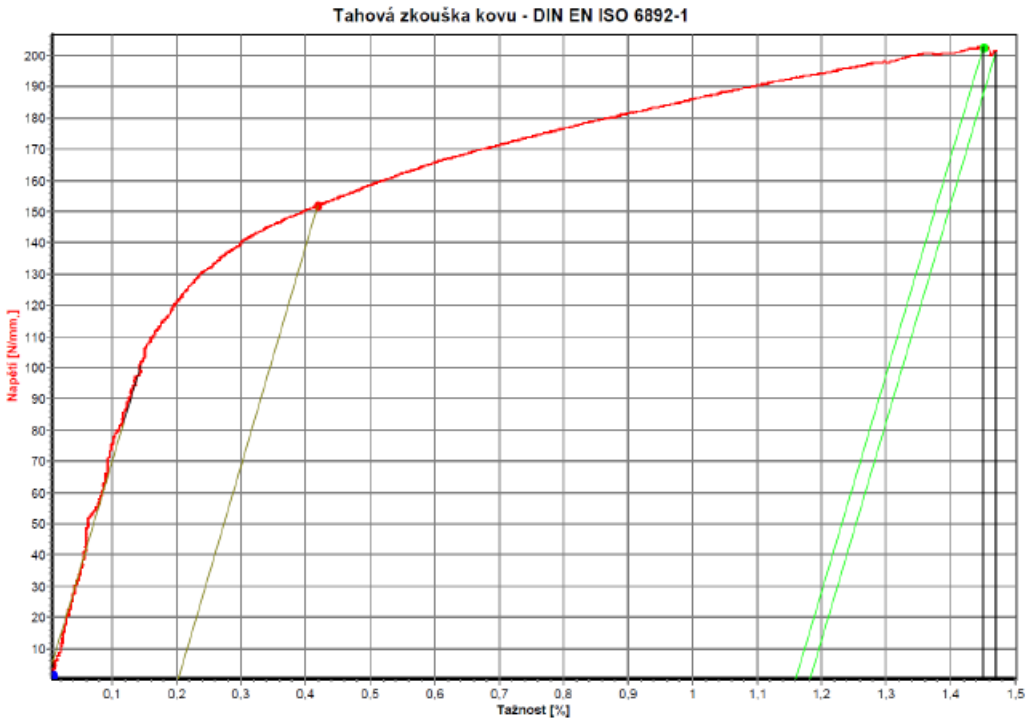
Příloha 28: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 12

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 12

Datum: 03.03.20
Čas: 13:55

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 49,95 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 2 mm/min; V1 = 2 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
12	x	03.03.20	13:55			69,672	152	10133,30	0	0	203

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
12		13534,80	1,16	1,18	1,45	1,47	

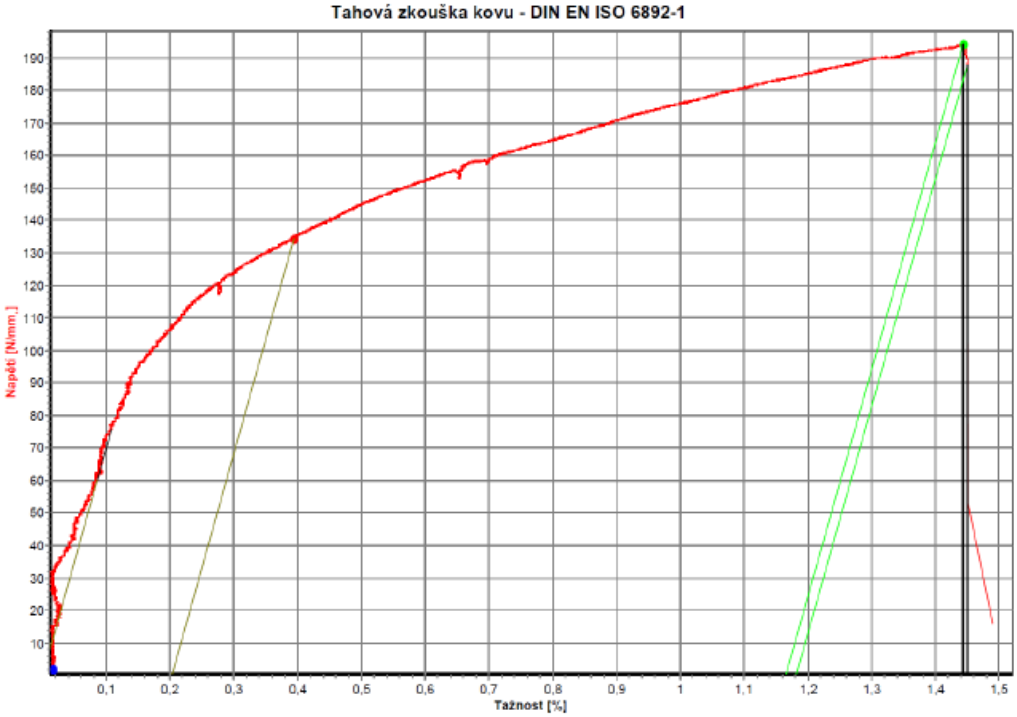
Příloha 29: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 13

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 13

Datum: 03.06.20
Čas: 10:30

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,81 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
13	x	03.06.20	10:30			69,992	134	6786,00	0	0	194

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
13		9818,40	1,17	1,18	1,44	1,45	

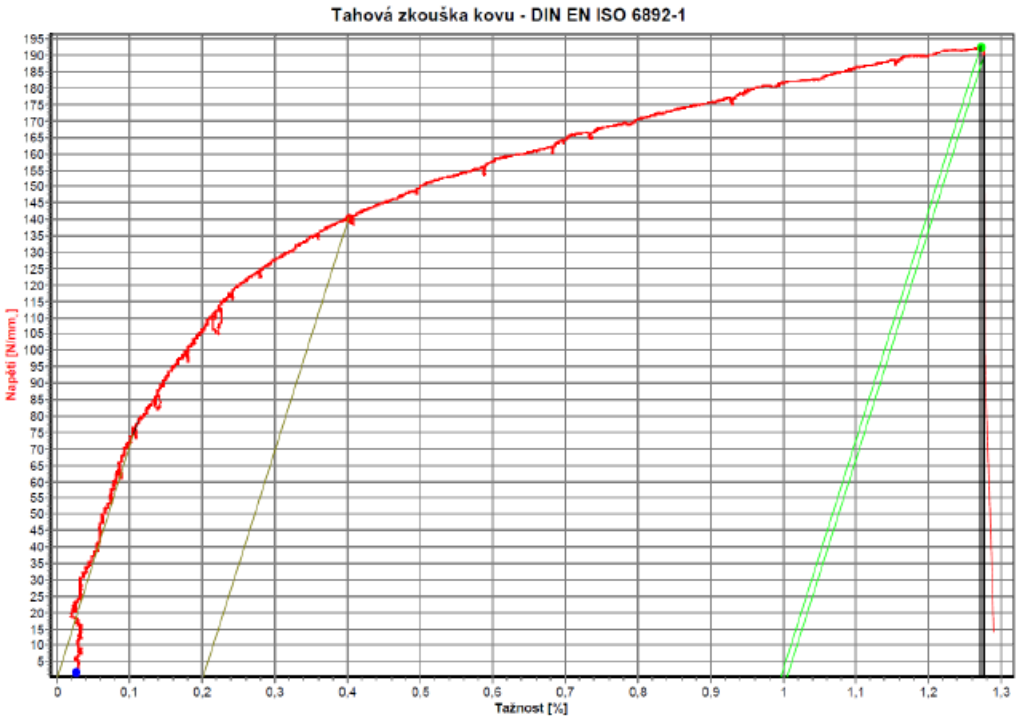
Příloha 30: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 14

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 14

Datum: 03.06.20
Čas: 10:42

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,08 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
14	x	03.06.20	10:42			70,127	140	7173,90	0	0	193

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
14		9857,80	1,00	1,00	1,27	1,28	

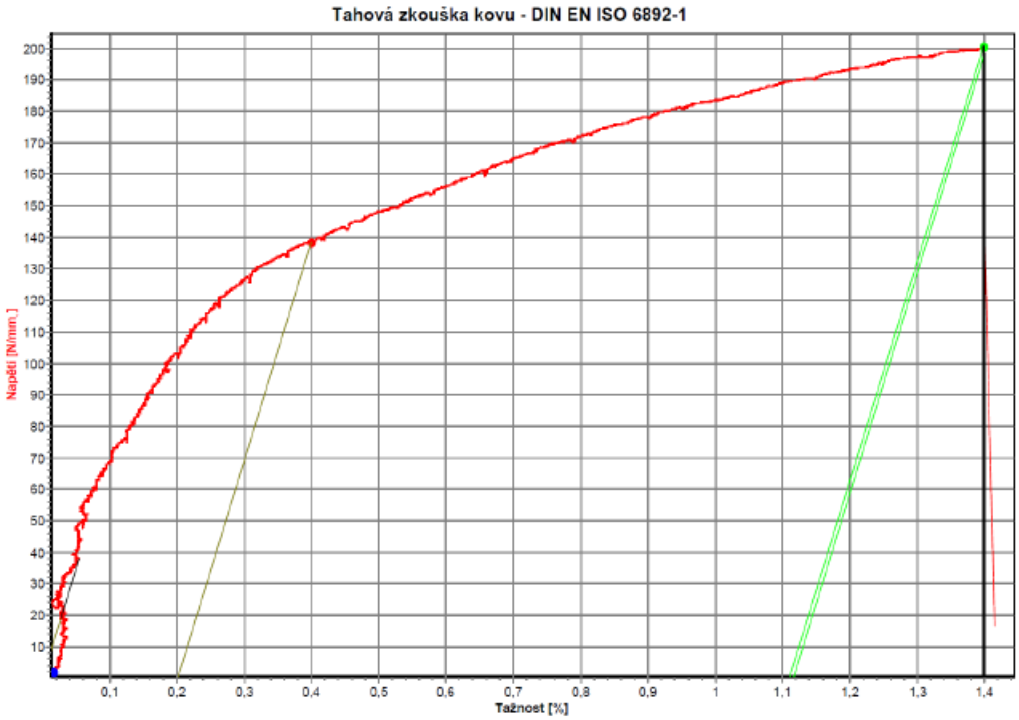
Příloha 31: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 15

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 15

Datum: 03.06.20
Čas: 11:00

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,12 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
15	x	03.06.20	11:00			69,702	139	6965,50	0	0	201

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
15		10089,80	1,11	1,12	1,40	1,40	

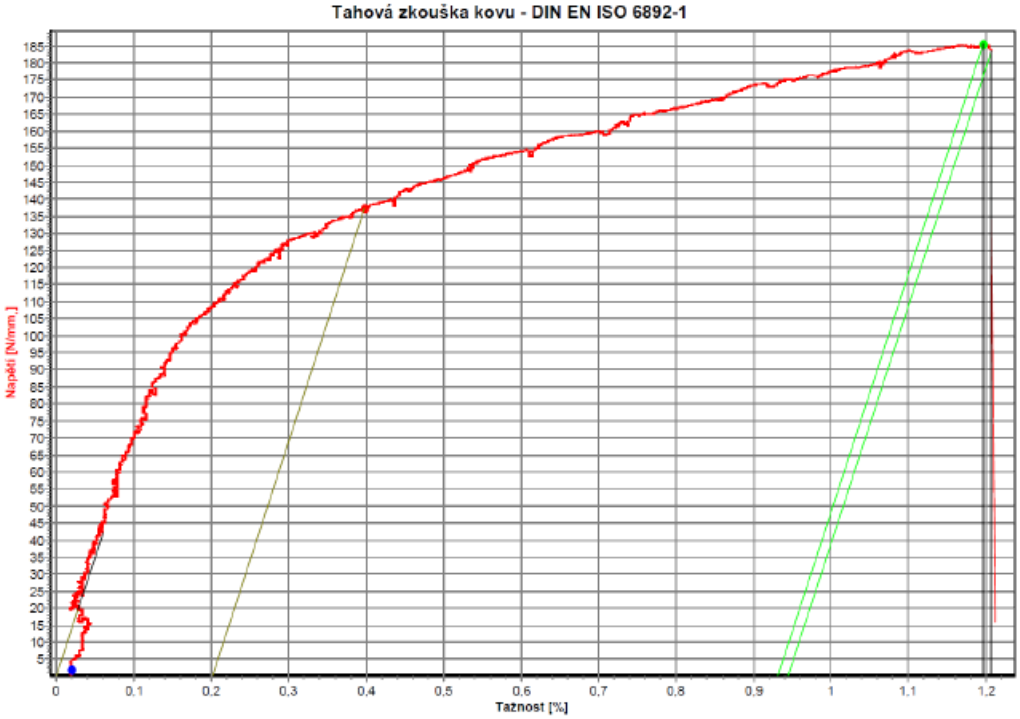
Příloha 32: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 16

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 16

Datum: 03.06.20
Čas: 11:21

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,02 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
16	x	03.06.20	11:21			69,859	137	6817,20	0	0	186

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
16		9217,60	0,93	0,94	1,20	1,21	

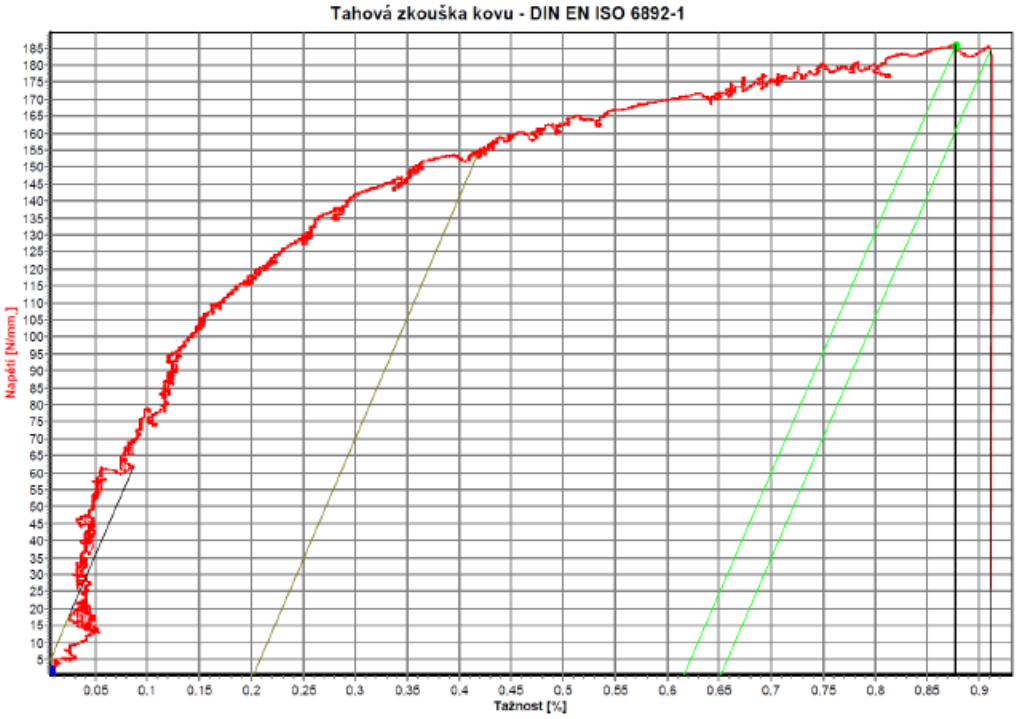
Příloha 33: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 17

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 17

Datum: 03.06.20
Čas: 11:30

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,99 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
17	x	03.06.20	11:30			70,986	154	7565,70	0	0	186

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
17		9141,60	0,62	0,65	0,88	0,91	

Test&Motion

Stránka 1 z 1

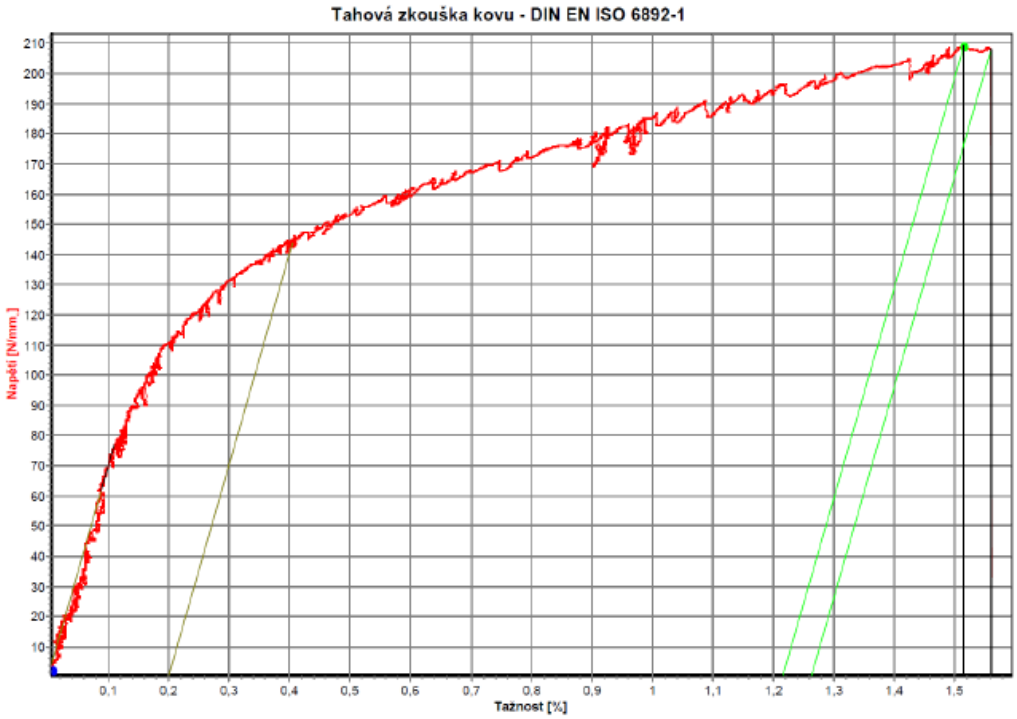
Příloha 34: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 18

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 18

Datum: 03.06.20
Čas: 11:49

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,93 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
18	x	03.06.20	11:49			70,100	144	7112,70	0	0	209

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
18		10355,70	1,22	1,26	1,51	1,56	

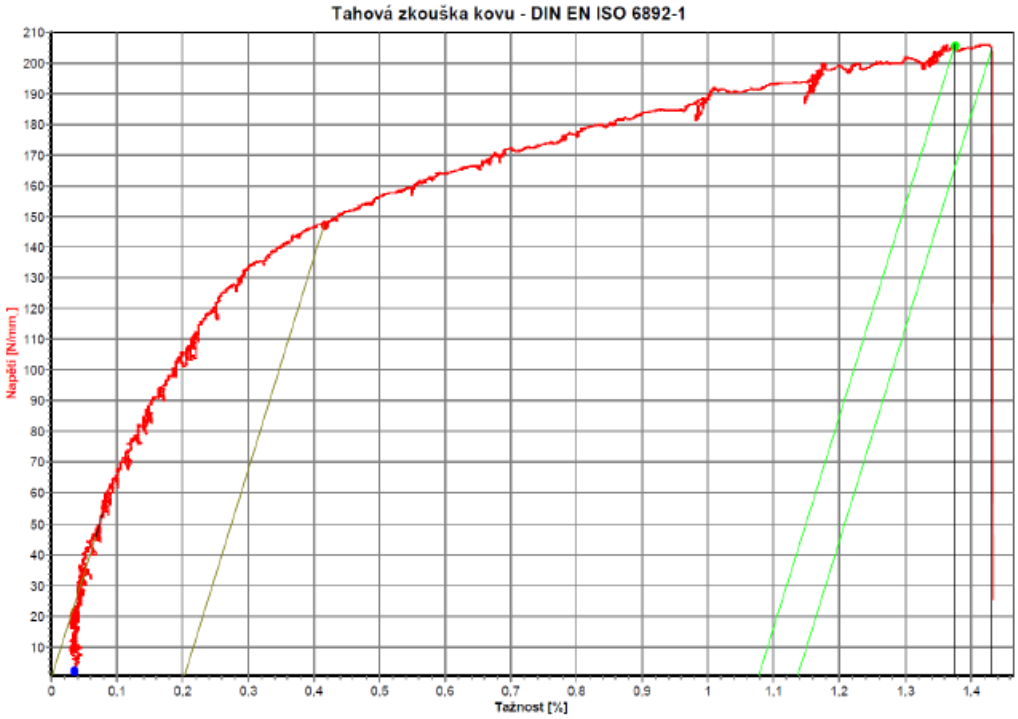
Příloha 35: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 19

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 19

Datum: 03.06.20
Čas: 12:02

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,85 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
19	x	03.06.20	12:02			68,762	148	7552,10	0	0	206

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
19		10537,40	1,08	1,13	1,38	1,43	

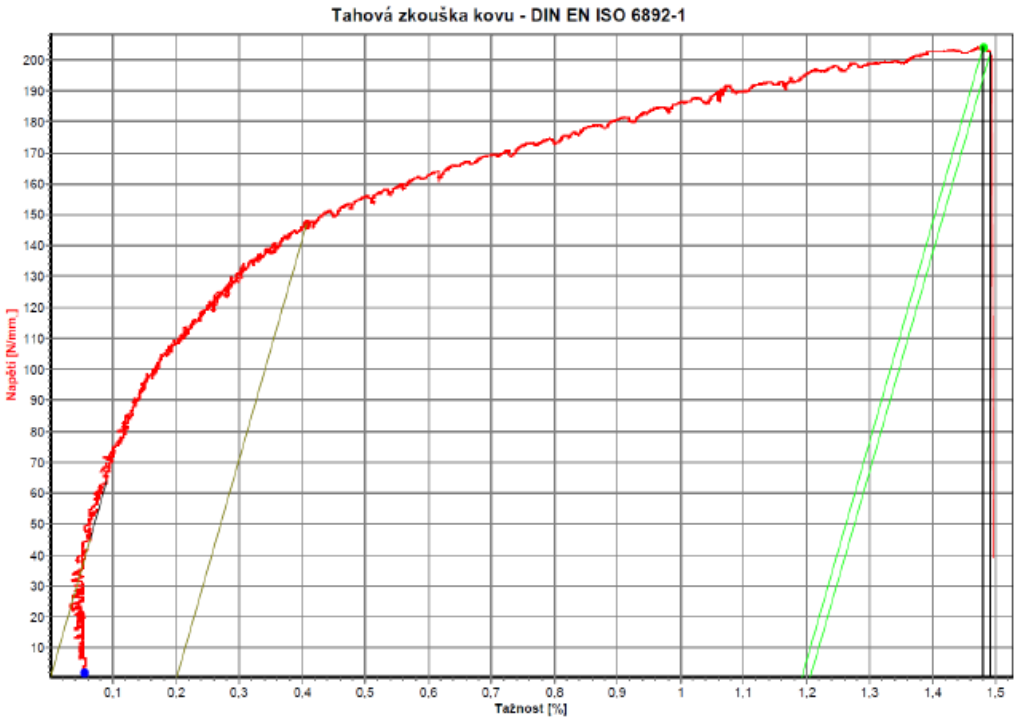
Příloha 36: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 21

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 21

Datum: 03.06.20
Čas: 12:15

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,889 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
21	x	03.06.20	12:15			70,721	147	7324,40	0	0	204

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
21		10191,10	1,19	1,21	1,48	1,49	

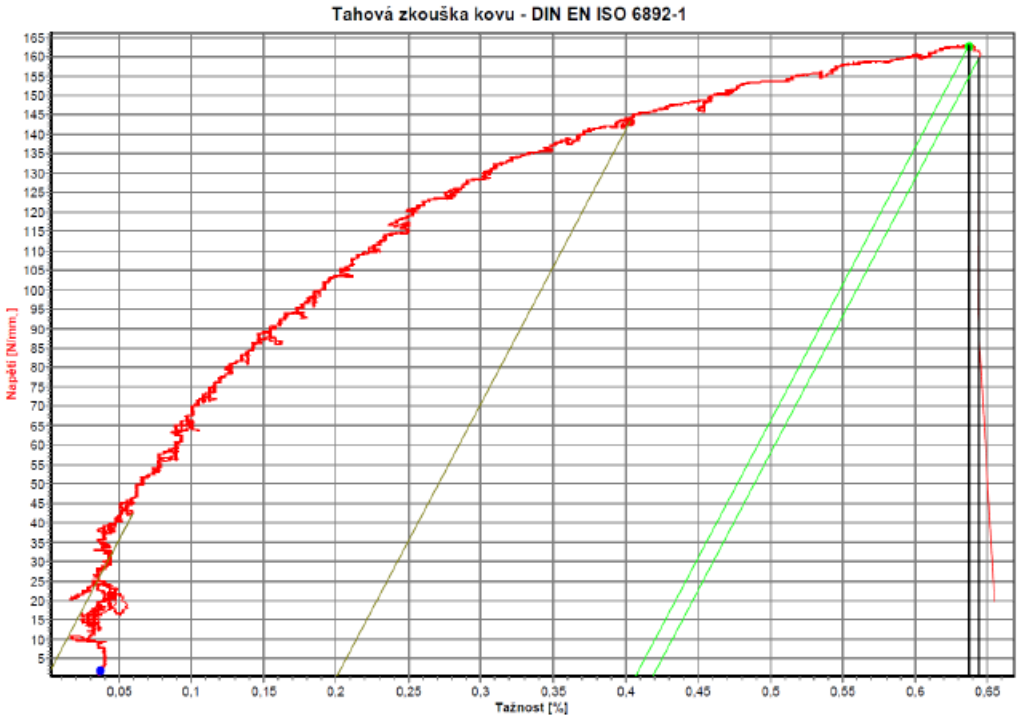
Příloha 37: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 22

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 22

Datum: 03.06.20
Čas: 12:27

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,09 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
22	x	03.06.20	12:27			70,547	143	7143,20	0	0	163

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
22		8124,20	0,41	0,42	0,64	0,64	

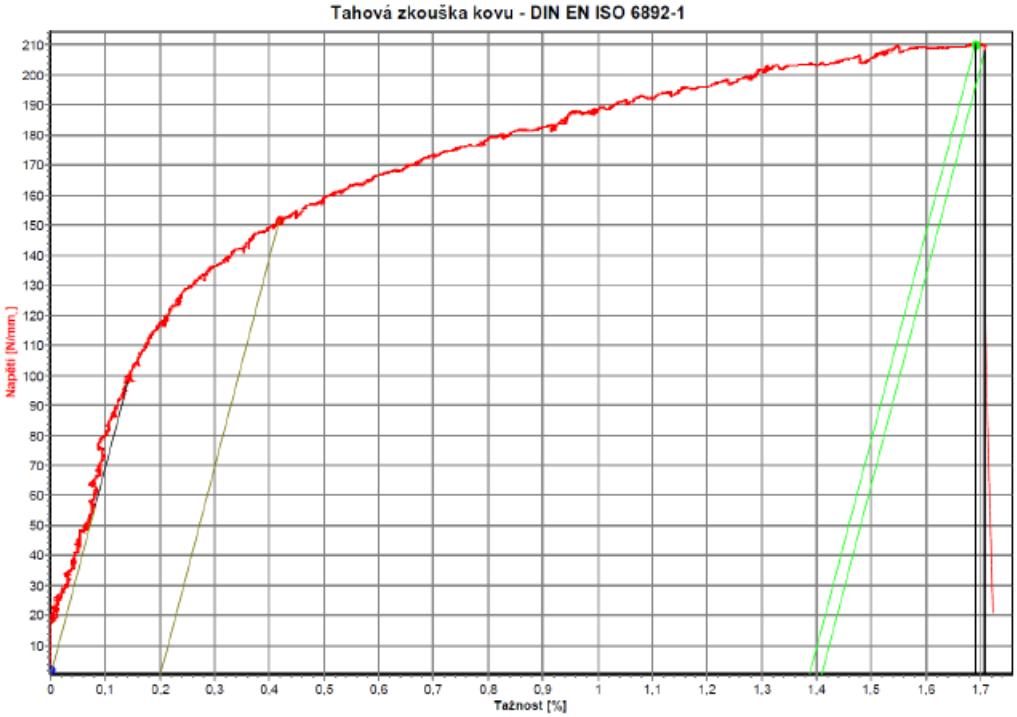
Příloha 38: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 23

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 23

Datum: 03.06.20
Čas: 12:36

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,93 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
23	x	03.06.20	12:36			69,426	152	7635,10	0	0	210

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
23		10589,90	1,39	1,41	1,69	1,71	

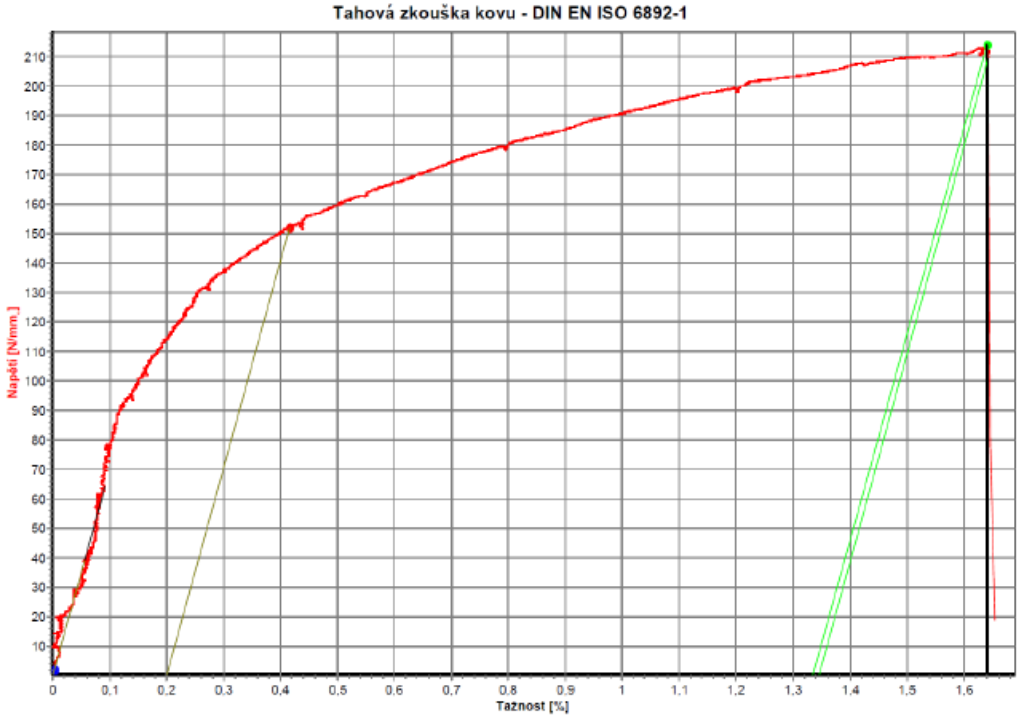
Příloha 39: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 24

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 24

Datum: 03.06.20
Čas: 12:46

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,2 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
24	x	03.06.20	12:46			70,099	152	7715,60	0	0	214

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
24		10861,30	1,34	1,34	1,64	1,64	

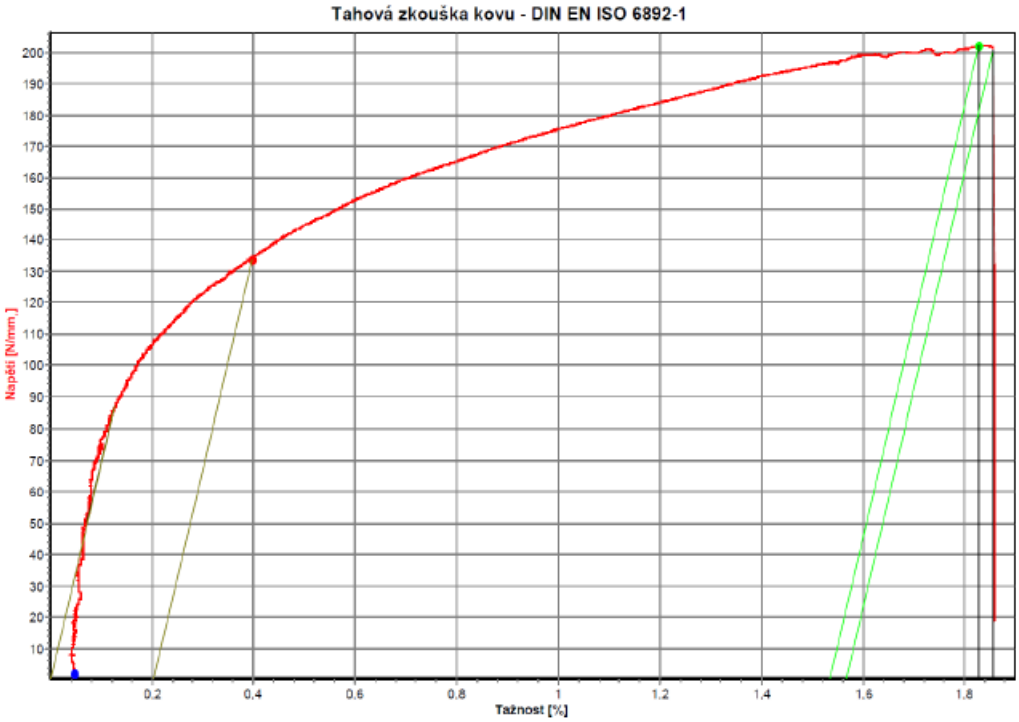
Příloha 40: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 25

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 25

Datum: 03.06.20
Čas: 12:57

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,97 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
25	x	03.06.20	12:57			69,211	134	6549,00	0	0	202

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
25		9889,50	1,53	1,57	1,83	1,86	

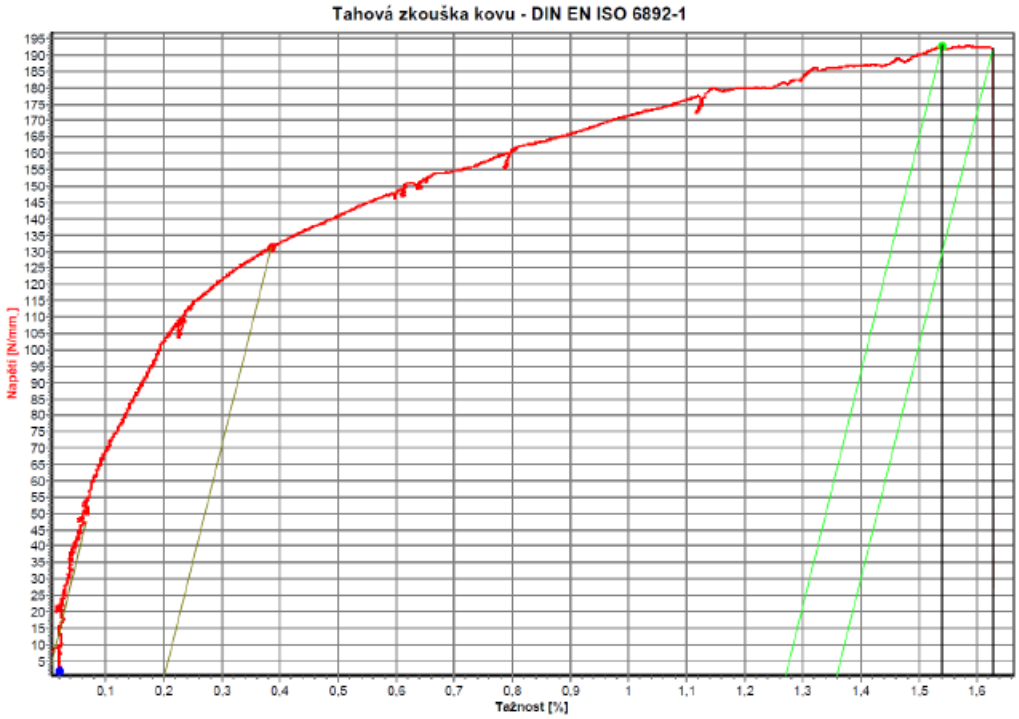
Příloha 41: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 26

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 26

Datum: 03.06.20
Čas: 13:15

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
26	x	03.06.20	13:15			71,264	131	6577,60	0	0	193

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
26		9675,10	1,27	1,36	1,54	1,63	

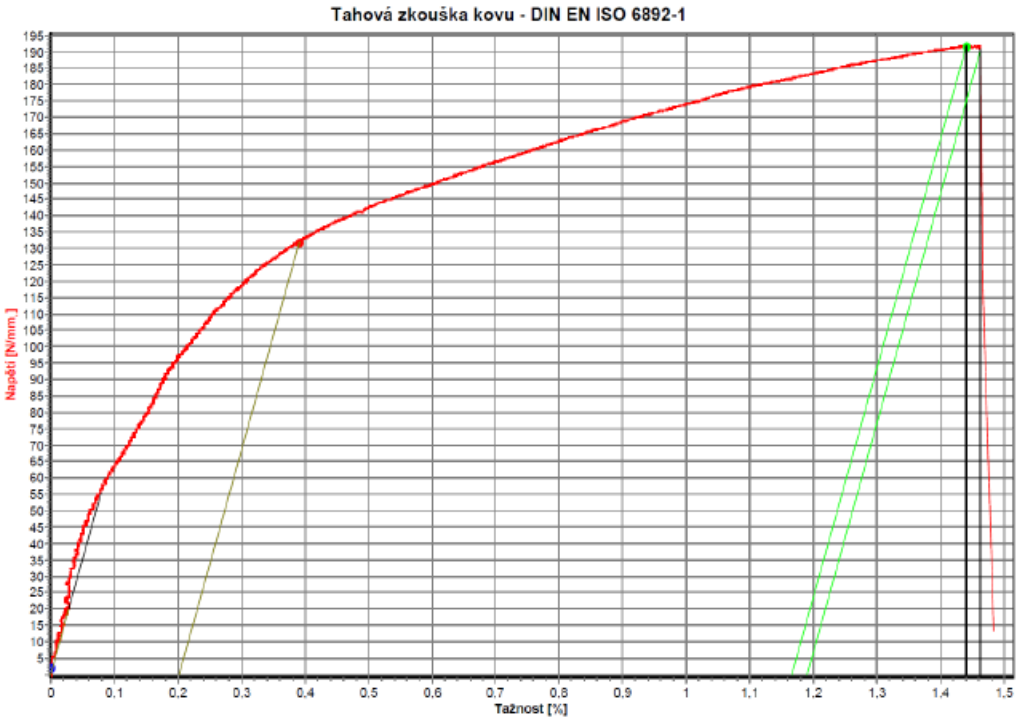
Příloha 42: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 27

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 27

Datum: 03.06.20
Čas: 13:26

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,92 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
27	x	03.06.20	13:26			70,012	132	6351,60	0	0	192

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
27		9232,40	1,17	1,19	1,44	1,46	

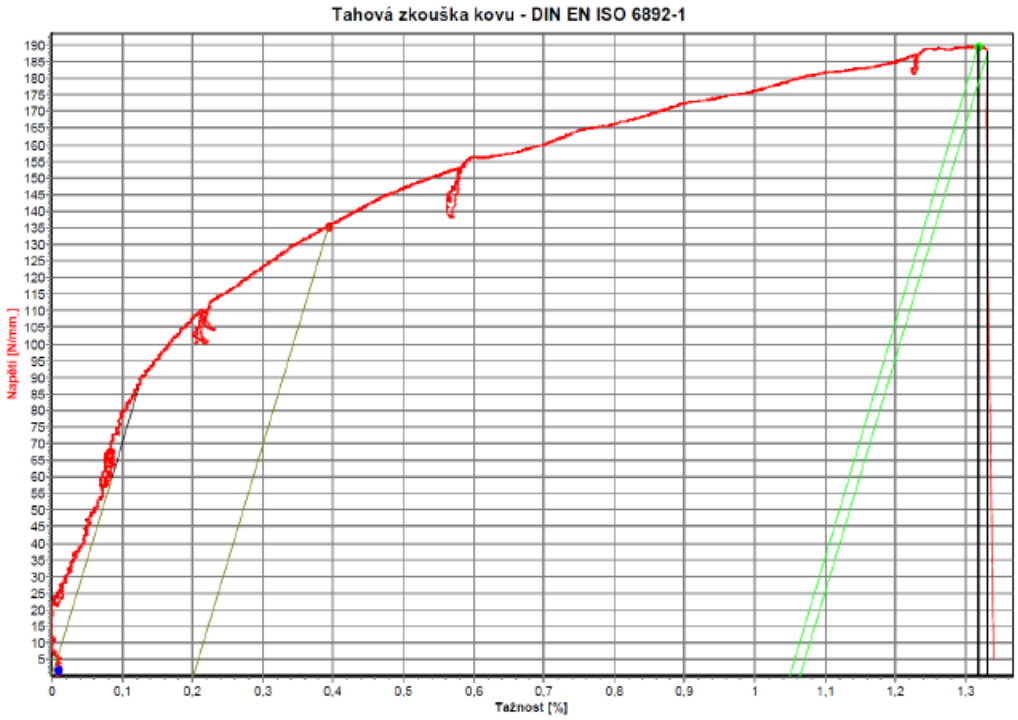
Příloha 43: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 28

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 28

Datum: 03.06.20
Čas: 13:37

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,09 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
28	x	03.06.20	13:37			70,399	135	6753,10	0	0	190

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
28		9467,10	1,05	1,06	1,32	1,33	

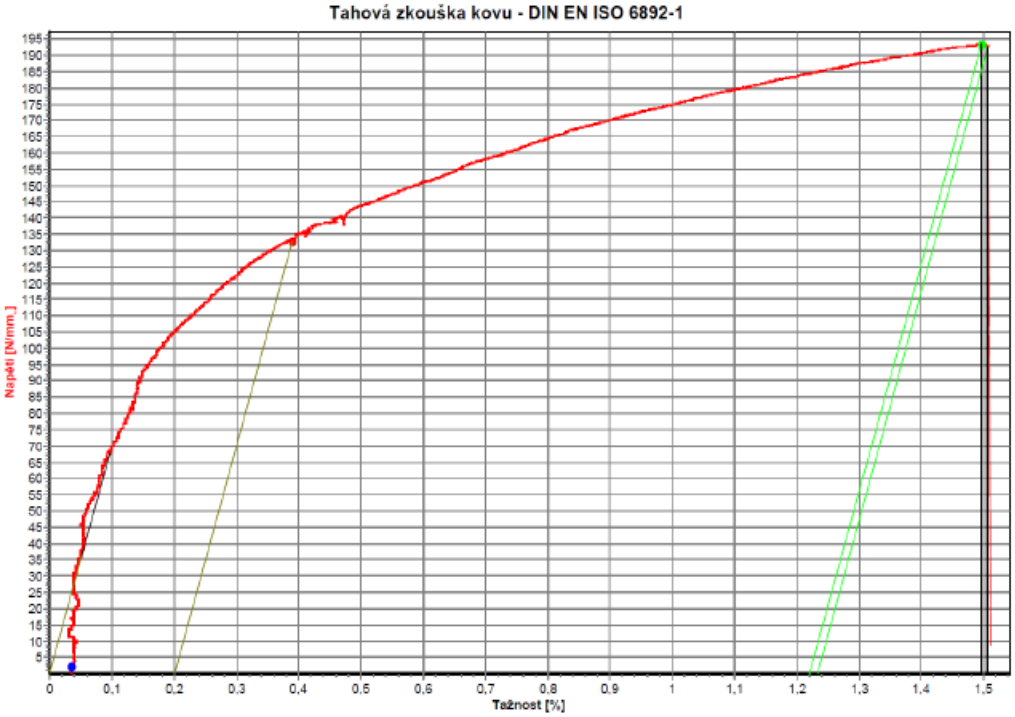
Příloha 44: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 29

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 29

Datum: 03.06.20
Čas: 13:49

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,03 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
29	x	03.06.20	13:49			70,296	133	6625,10	0	0	193

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
29		9648,20	1,22	1,23	1,50	1,51	

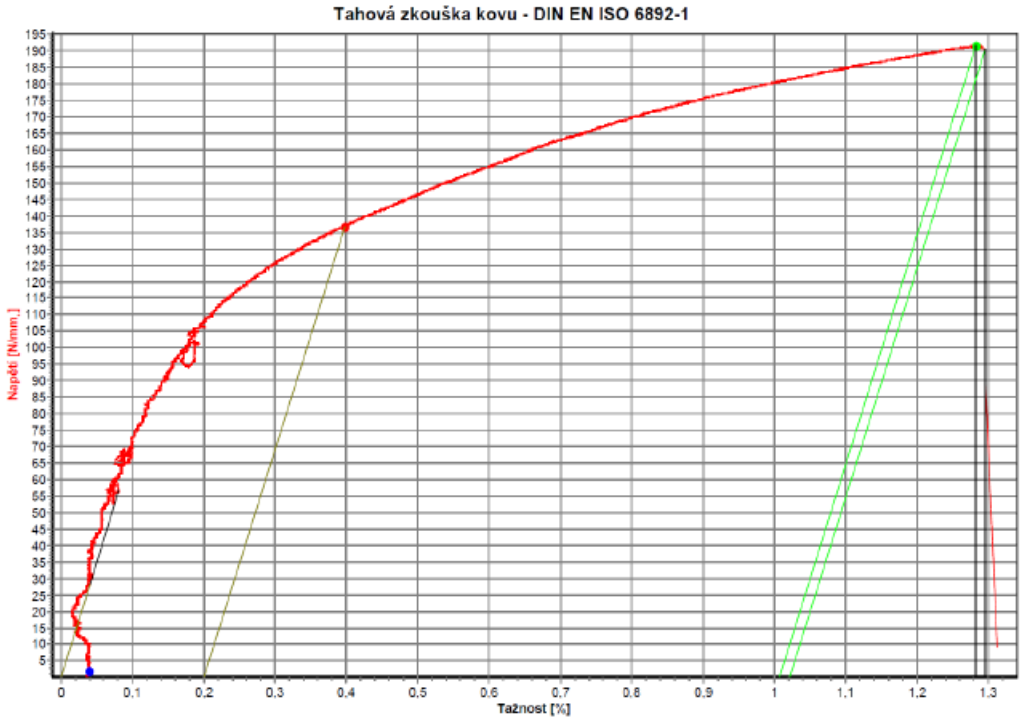
Příloha 45: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 30

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 30

Datum: 03.06.20
Čas: 14:01

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,94 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
30	x	03.06.20	14:01			69,595	137	6797,50	0	0	192

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
30		9535,00	1,01	1,02	1,28	1,30	

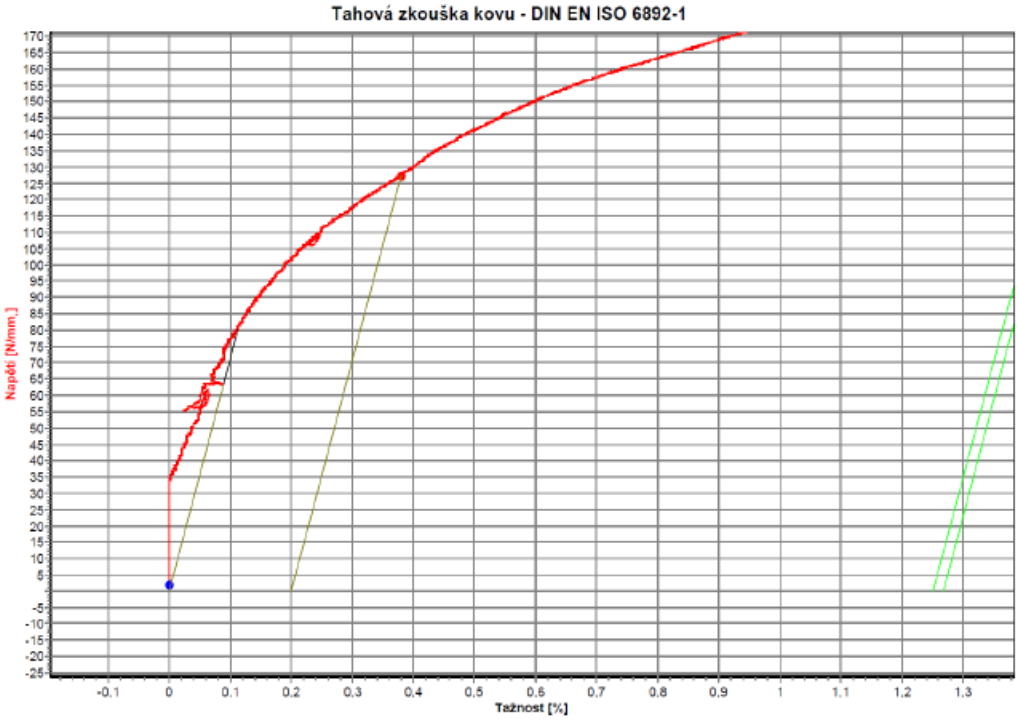
Příloha 46: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 31

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 31

Datum: 03.06.20
Čas: 14:11

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,89 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
31	x	03.06.20	14:11			70,919	127	6469,70	0	0	194

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
31		9852,30	1,25	1,27	1,52	1,54	

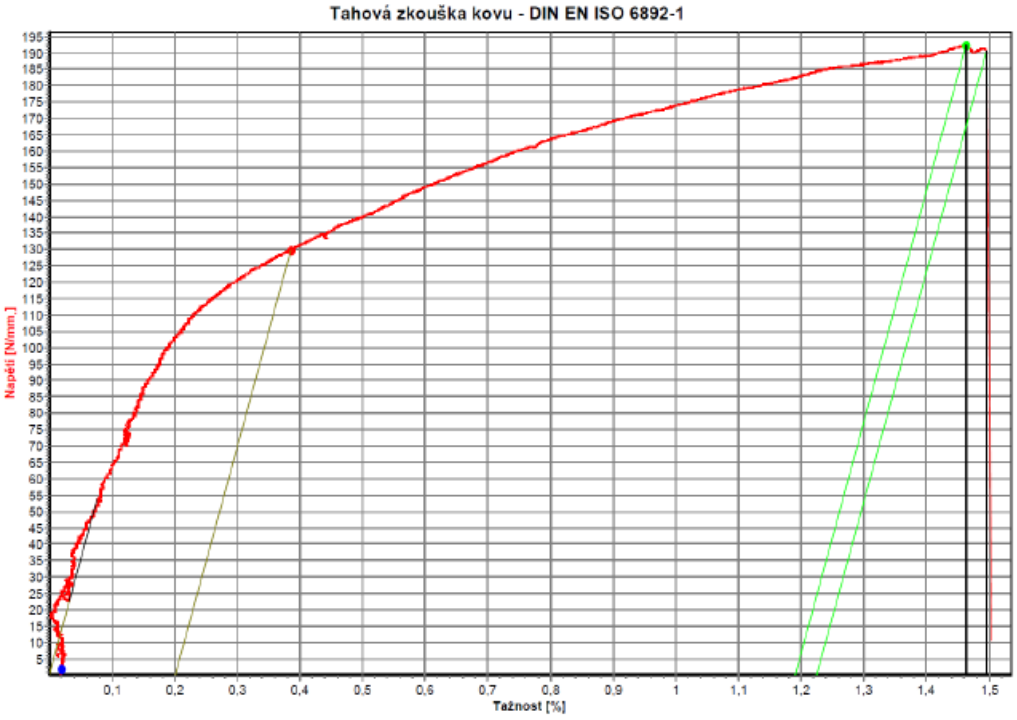
Příloha 47: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 32

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 32

Datum: 03.06.20
Čas: 14:20

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,03 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
32	x	03.06.20	14:20			70,219	130	6531,50	0	0	192

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
32		9699,70	1,19	1,22	1,46	1,50	

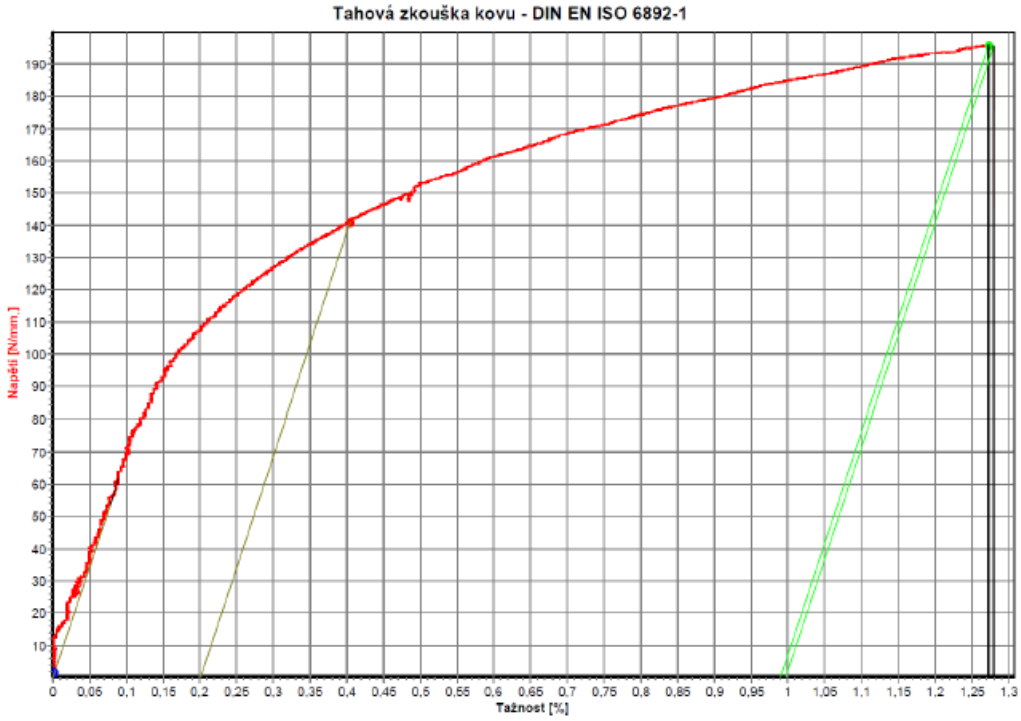
Příloha 48: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 33

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 33

Datum: 03.06.20
Čas: 14:30

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,01 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm	Rp0,2 N/mm	Fp0,2 N	ReH N/mm	ReL N/mm	Rm N/mm
33	x	03.06.20	14:30			69,156	141	7113,20	0	0	196

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
33		9898,80	0,99	1,00	1,27	1,28	

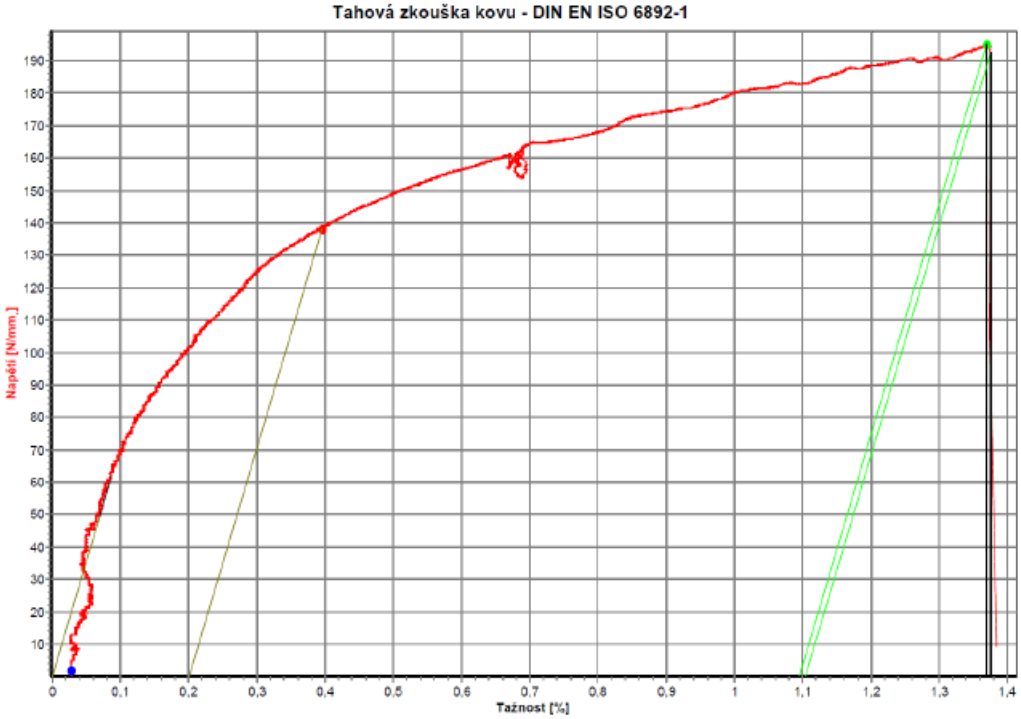
Příloha 49: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 34

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 34

Datum: 03.06.20
Čas: 14:39

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,99 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
34	x	03.06.20	14:39			71,041	138	7021,20	0	0	195

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
34		9913,00	1,09	1,10	1,37	1,37	

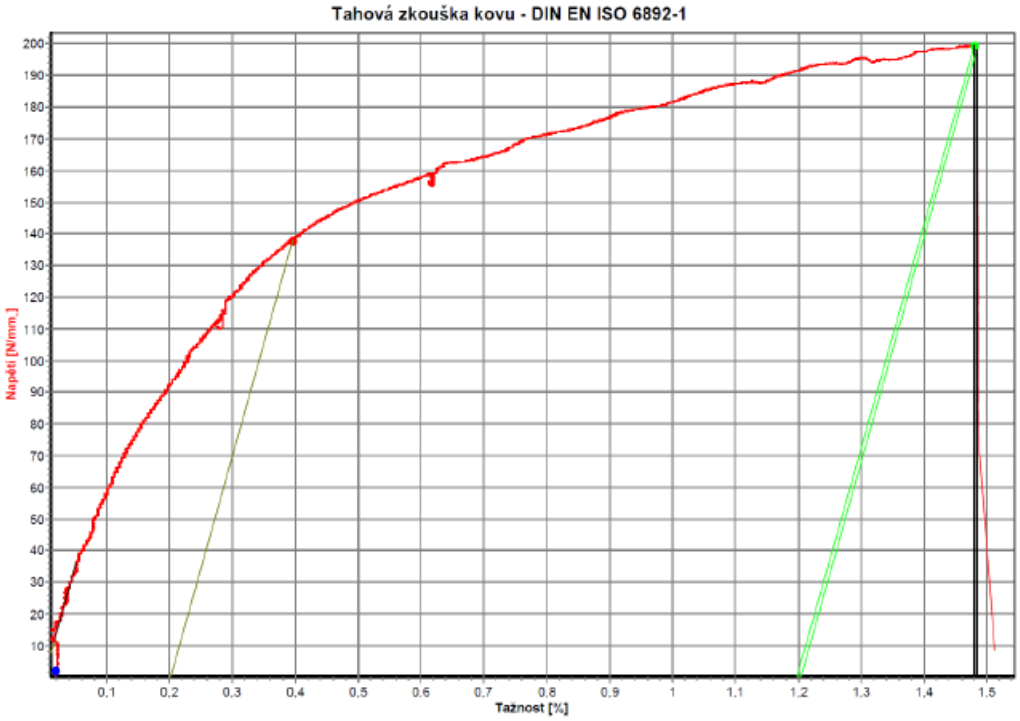
Příloha 50: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 35

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 35

Datum: 03.06.20
Čas: 14:49

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,94 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
35	x	03.06.20	14:49			70,783	138	7000,50	0	0	200

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
35		10130,90	1,20	1,20	1,48	1,48	

Test&Motion

Stránka 1 z 1

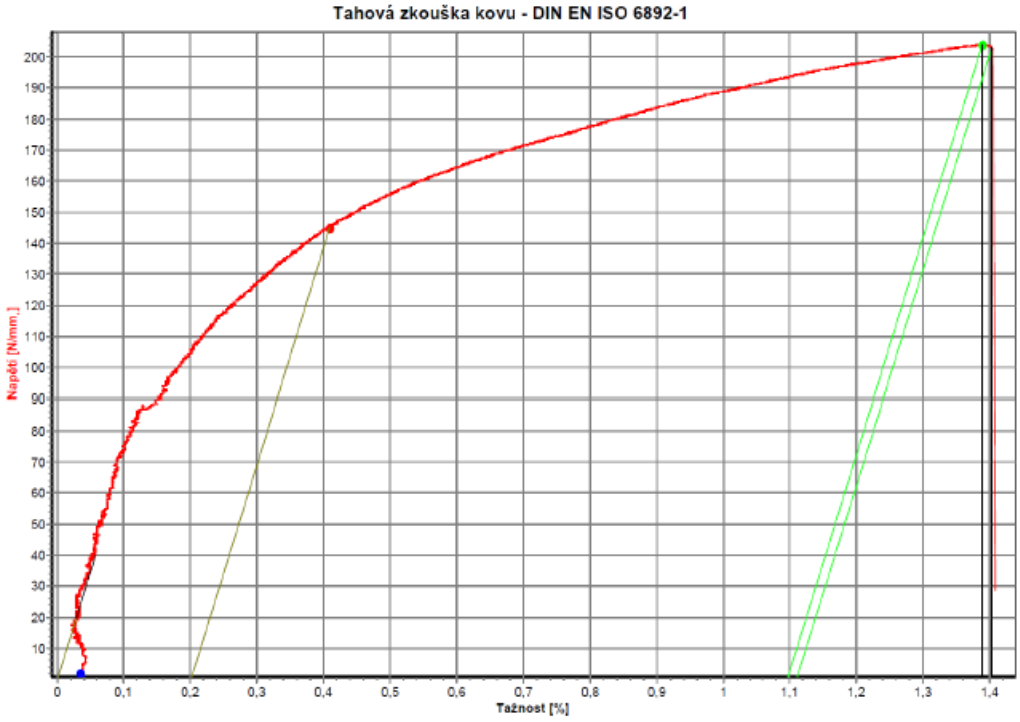
Příloha 51: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 36

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 36

Datum: 03.06.20
Čas: 14:58

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,1 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
36	x	03.06.20	14:58			69,468	145	7329,90	0	0	204

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
36		10302,60	1,10	1,11	1,39	1,40	

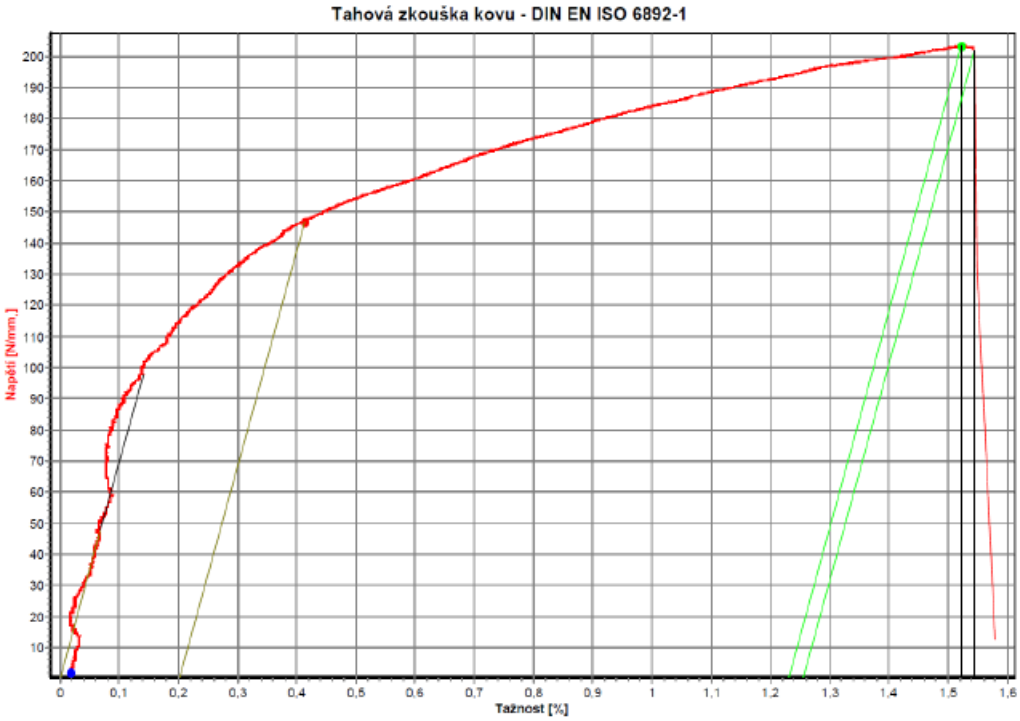
Příloha 52: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 37

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 37

Datum: 03.06.20
Čas: 15:09

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,05 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
37	x	03.06.20	15:09			69,625	147	7472,20	0	0	203

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
37		10353,60	1,23	1,26	1,52	1,55	

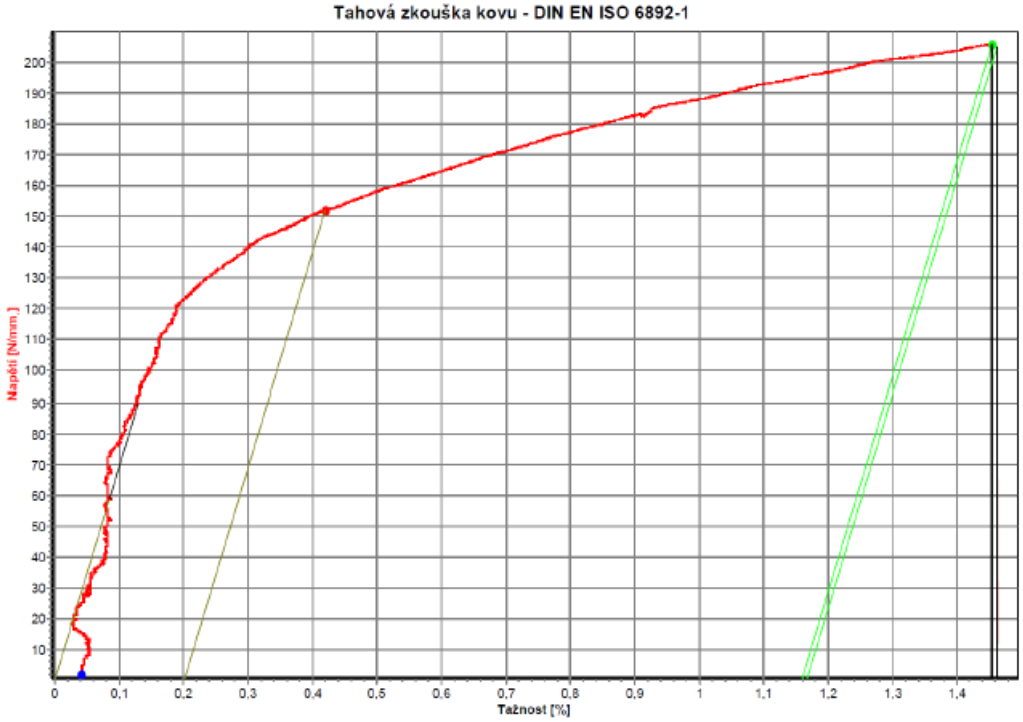
Příloha 53: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 38

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 38

Datum: 03.06.20
Čas: 15:21

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,11 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
38	x	03.06.20	15:21			69,588	152	7615,00	0	0	206

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
38		10319,10	1,16	1,17	1,45	1,46	

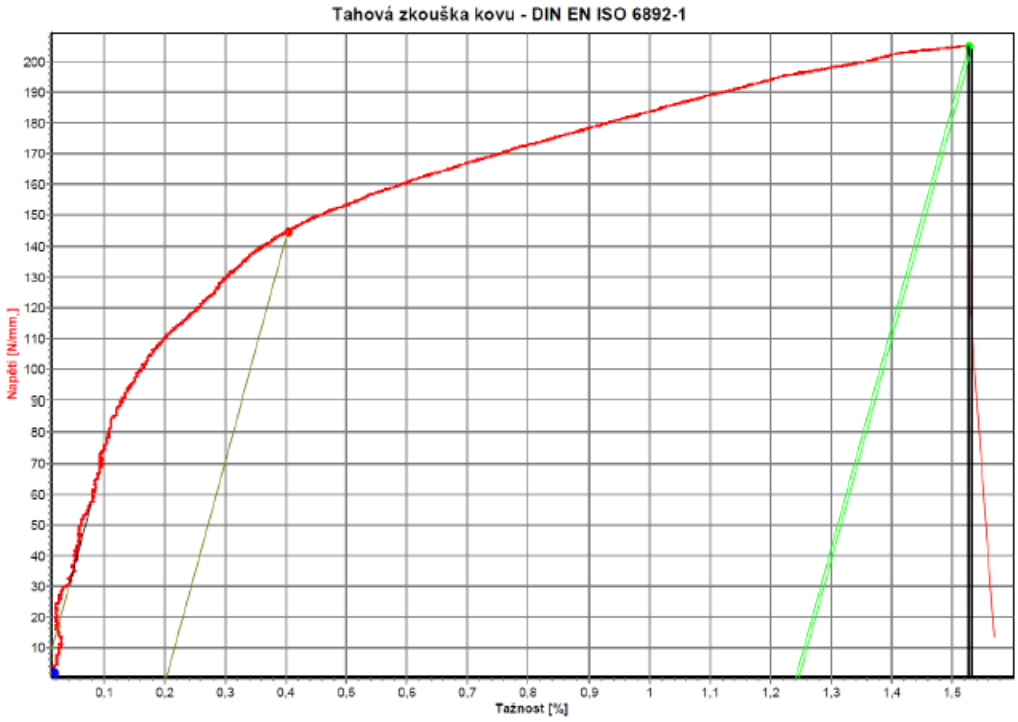
Příloha 54: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 39

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 39

Datum: 03.06.20
Čas: 15:33

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,13 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
39	x	03.06.20	15:33			71,454	145	7310,10	0	0	205

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
39		10356,80	1,24	1,25	1,53	1,53	

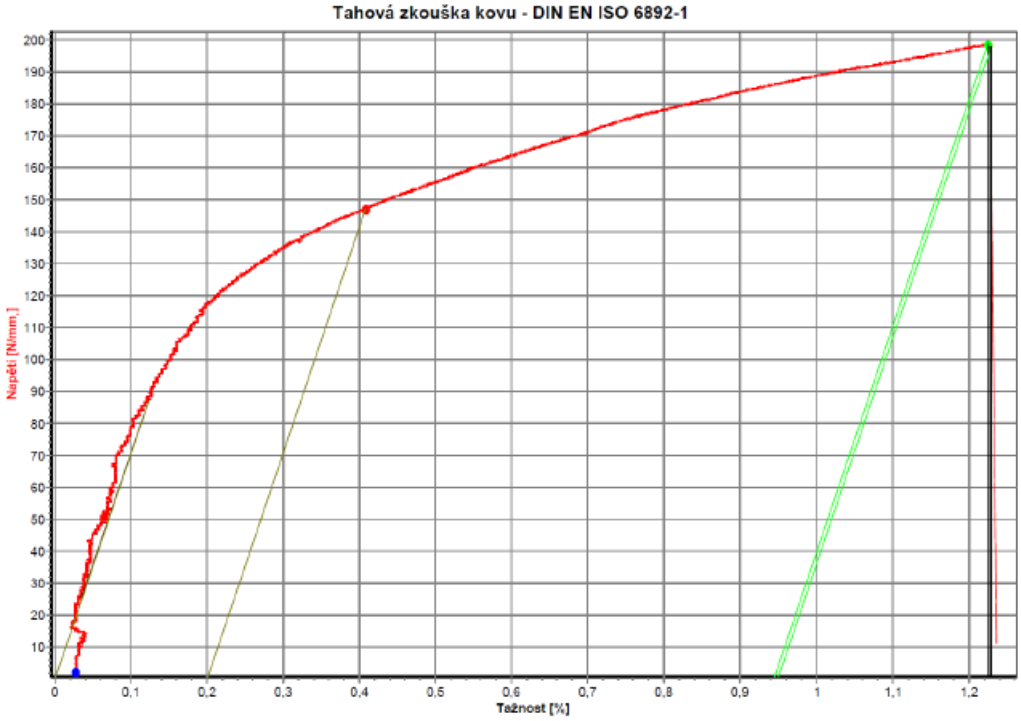
Příloha 55: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 40

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 40

Datum: 03.06.20
Čas: 15:43

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,94 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
40	x	03.06.20	15:43			70,660	147	7204,10	0	0	198

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
40		9729,30	0,94	0,95	1,23	1,23	

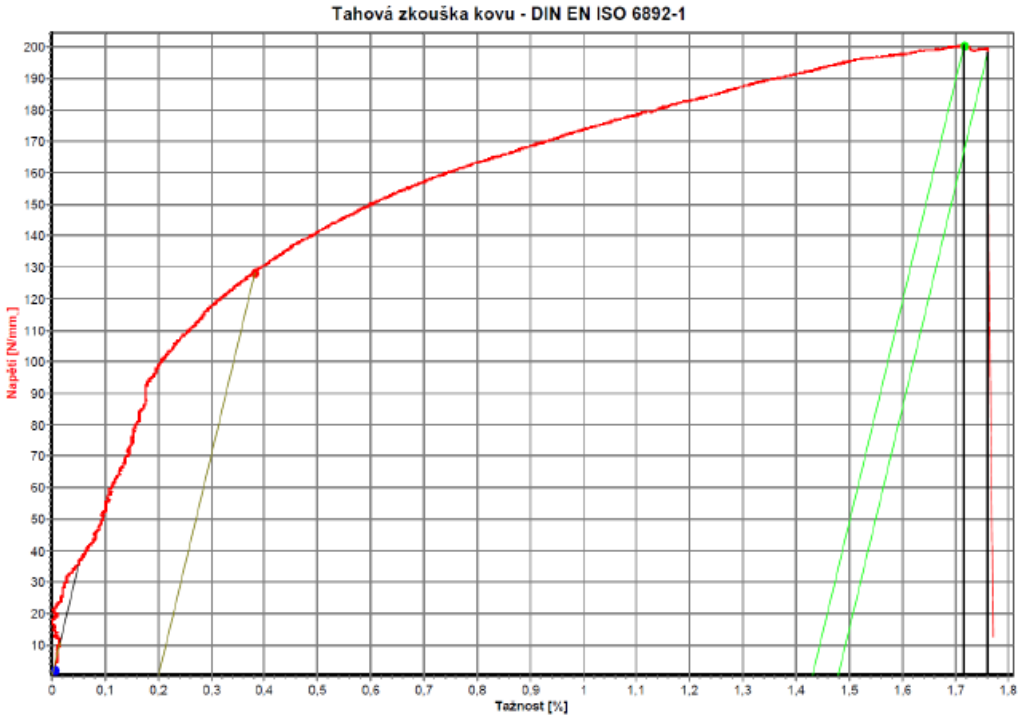
Příloha 56: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 41

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 41

Datum: 03.06.20
Čas: 15:52

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,08 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
41	x	03.06.20	15:52			70,499	128	6237,20	0	0	201

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
41		9756,60	1,43	1,48	1,72	1,76	

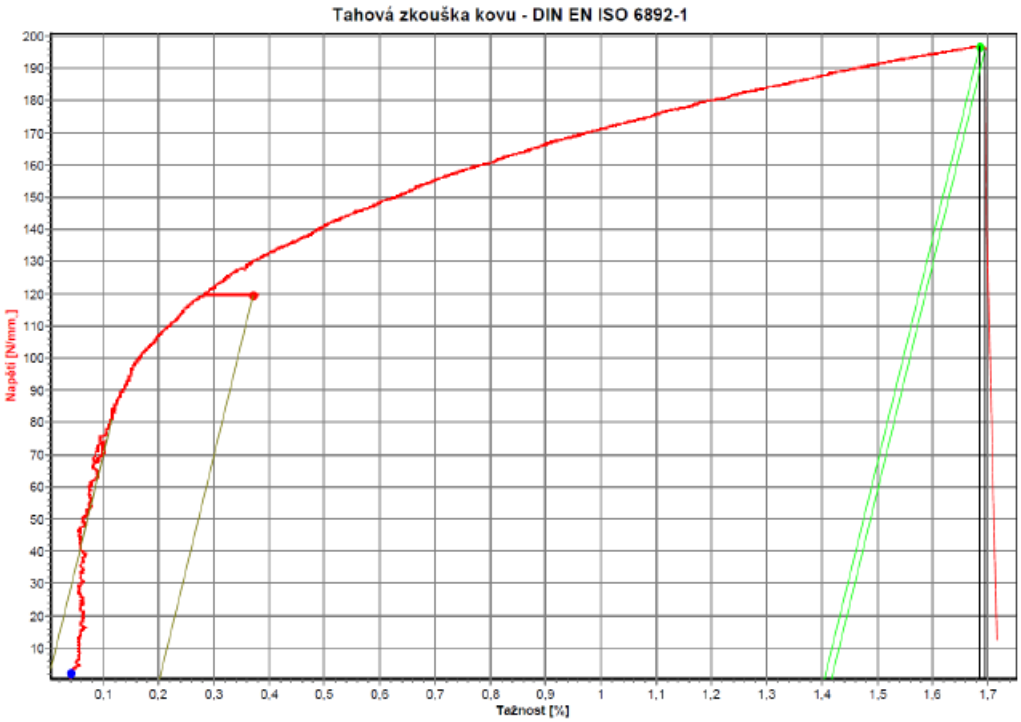
Příloha 57: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 42

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 42

Datum: 03.06.20
Čas: 16:02

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,03 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
42	x	03.06.20	16:02			70,048	119	5869,00	0	0	197

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
42		9671,80	1,40	1,42	1,68	1,70	

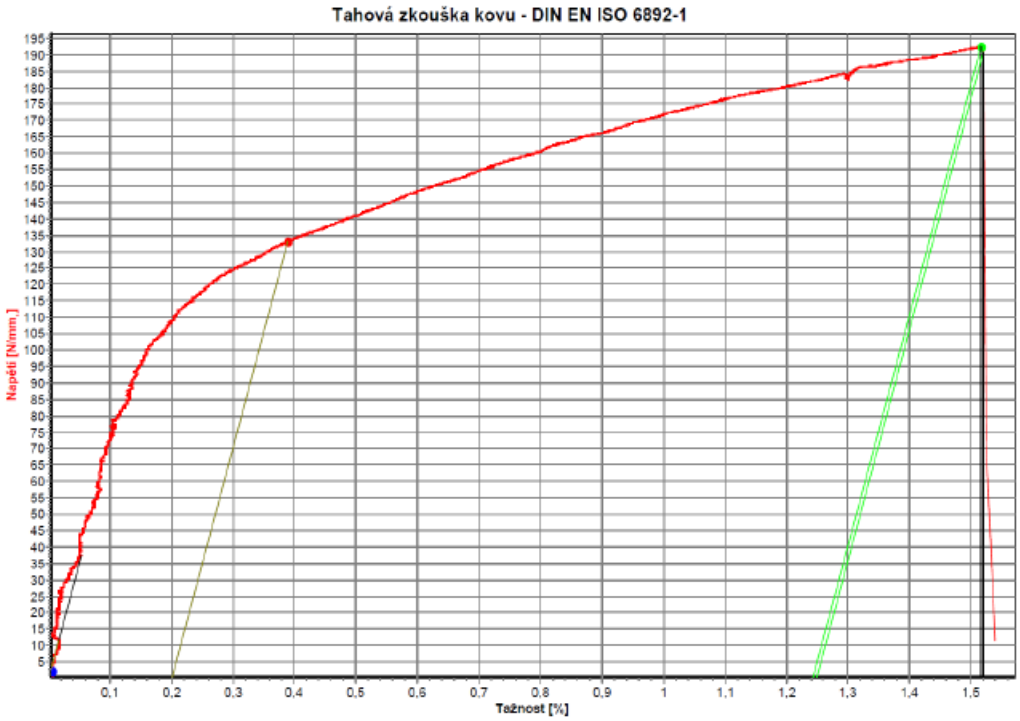
Příloha 58: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 43

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 43

Datum: 03.06.20
Čas: 16:11

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,02 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
43	x	03.06.20	16:11			70,169	133	6673,90	0	0	193

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
43		9653,80	1,24	1,25	1,52	1,52	

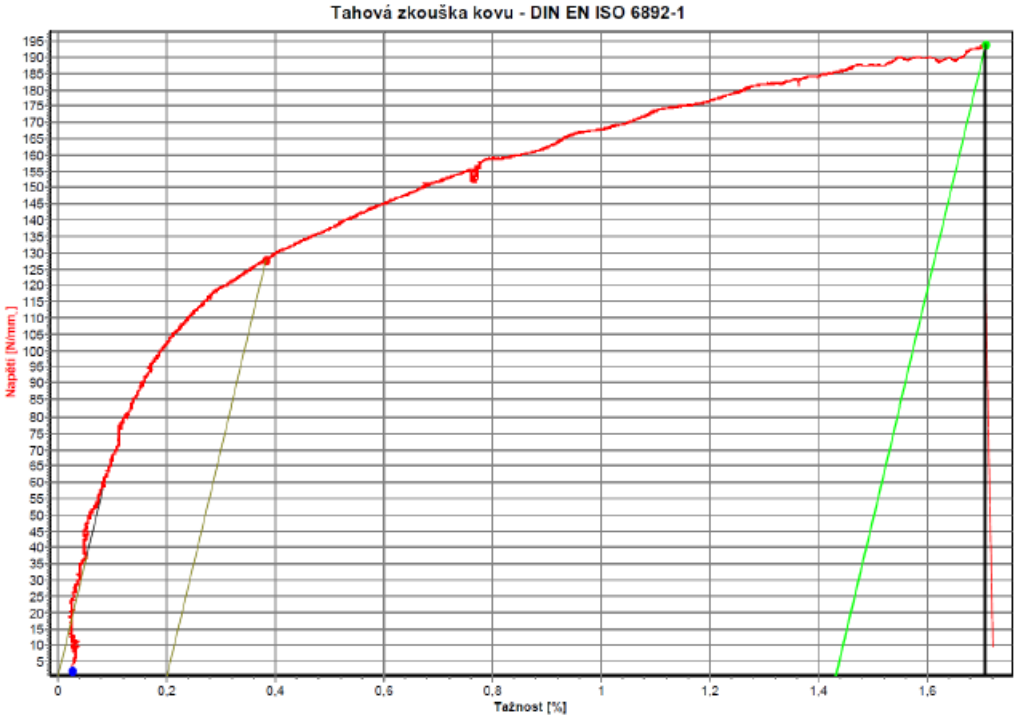
Příloha 59: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 44

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 44

Datum: 03.06.20
Čas: 16:19

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,96 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
44	x	03.06.20	16:19			70,290	128	6653,10	0	0	194

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
44		10099,20	1,43	1,43	1,71	1,71	

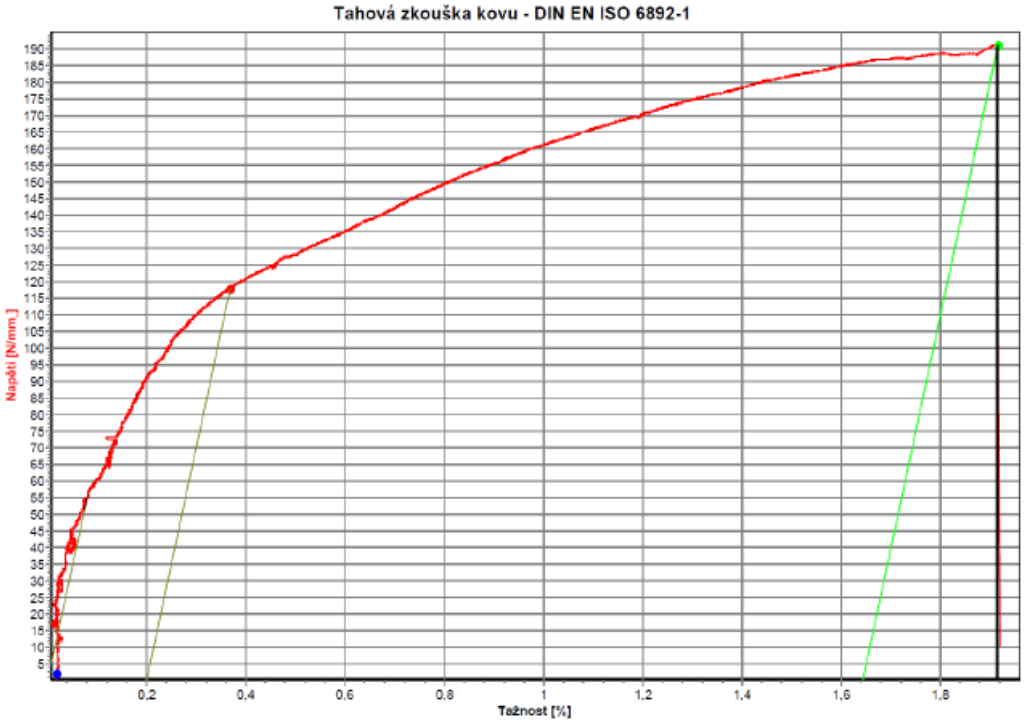
Příloha 60: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 45

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 45

Datum: 03.06.20
Čas: 16:29

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,03 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
45	x	03.06.20	16:29			70,052	118	5958,70	0	0	191

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
45		9675,60	1,64	1,64	1,92	1,92	

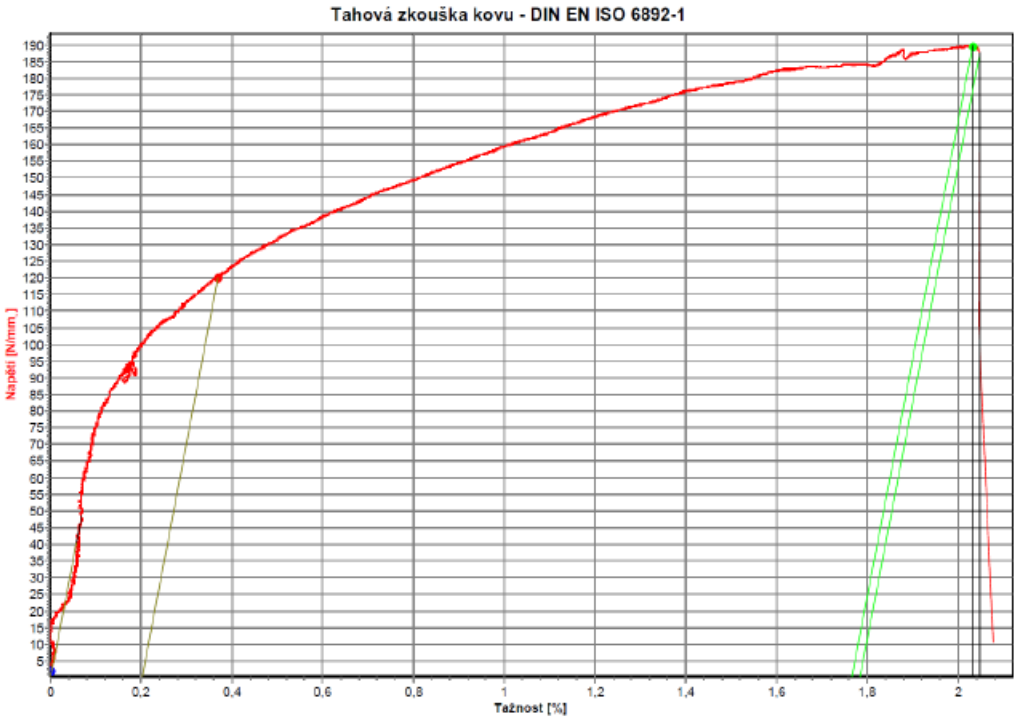
Příloha 61: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 46

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 46

Datum: 03.06.20
Čas: 16:41

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,04 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
46	x	03.06.20	16:41			70,874	120	6081,20	0	0	190

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
46		9602,20	1,77	1,78	2,03	2,05	

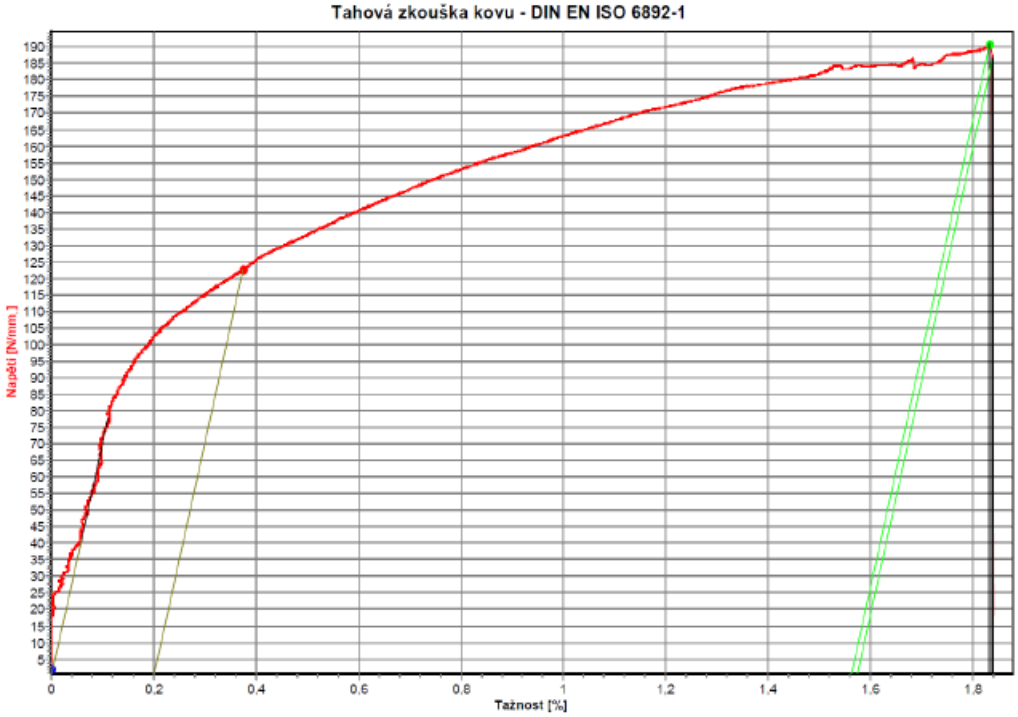
Příloha 62: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 47

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 47

Datum: 03.06.20
Čas: 16:56

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,01 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
47	x	03.06.20	16:56			70,376	123	6209,80	0	0	191

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
47		9670,10	1,56	1,57	1,83	1,84	

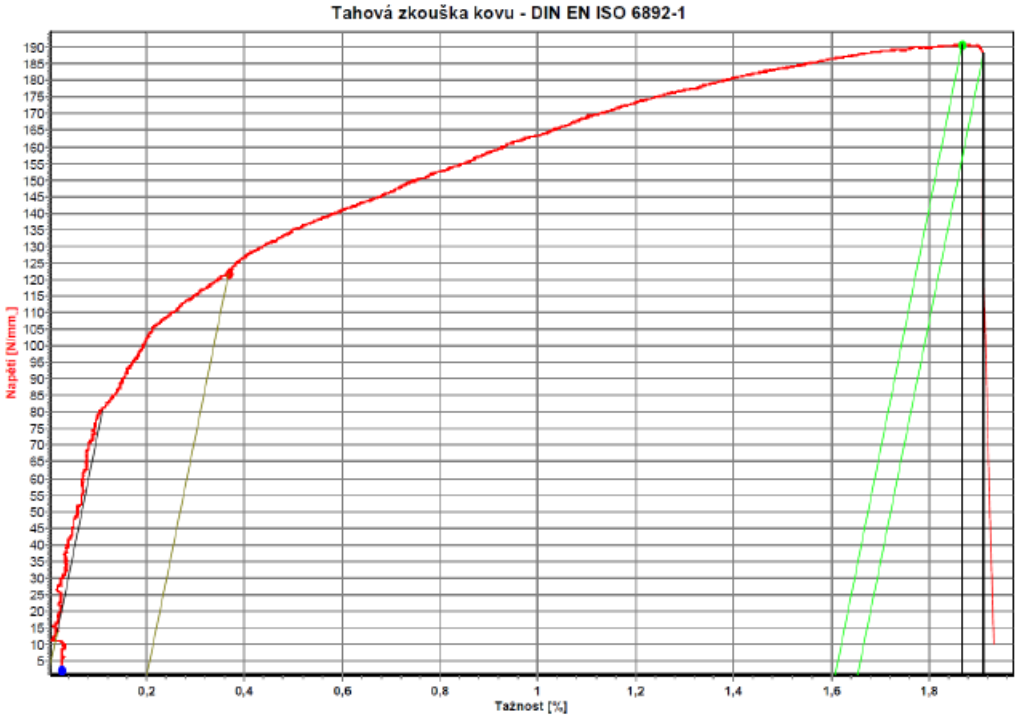
Příloha 63: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 48

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 48

Datum: 03.06.20
Čas: 17:05

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,03 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
48	x	03.06.20	17:05			73,455	122	5960,90	0	0	191

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
48		9333,60	1,61	1,65	1,87	1,91	

Test&Motion

Stránka 1 z 1

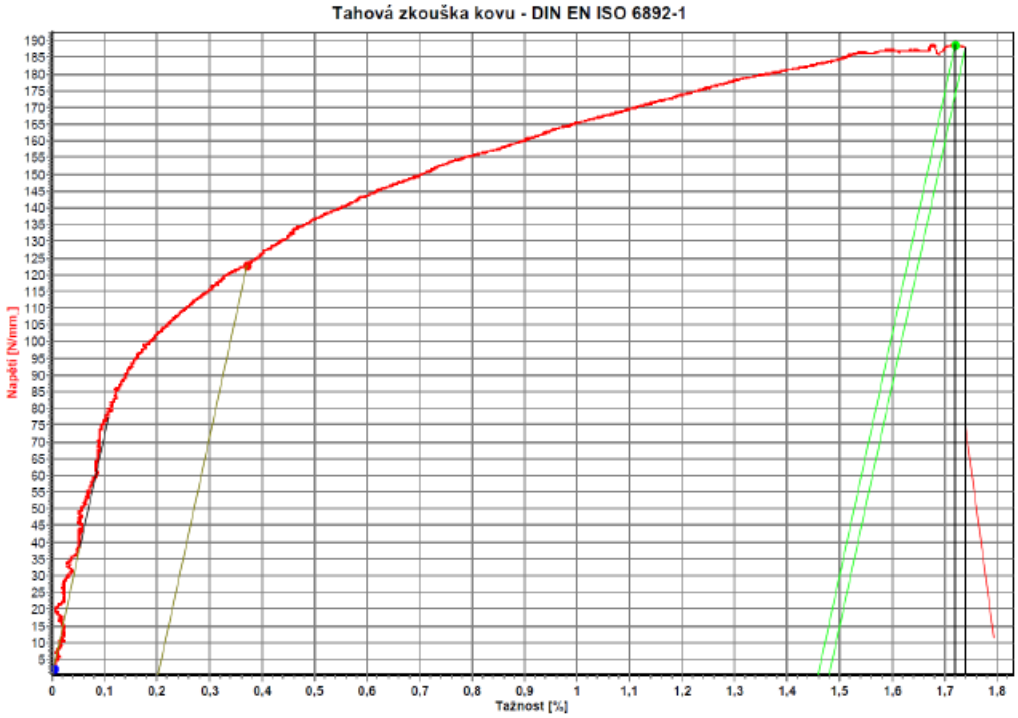
Příloha 64: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 49

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 49

Datum: 03.06.20
Čas: 17:13

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,01 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm	Rp0,2 N/mm	Fp0,2 N	ReH N/mm	ReL N/mm	Rm N/mm
49	x	03.06.20	17:13			72,462	123	6186,30	0	0	189

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
49		9512,00	1,46	1,48	1,72	1,74	

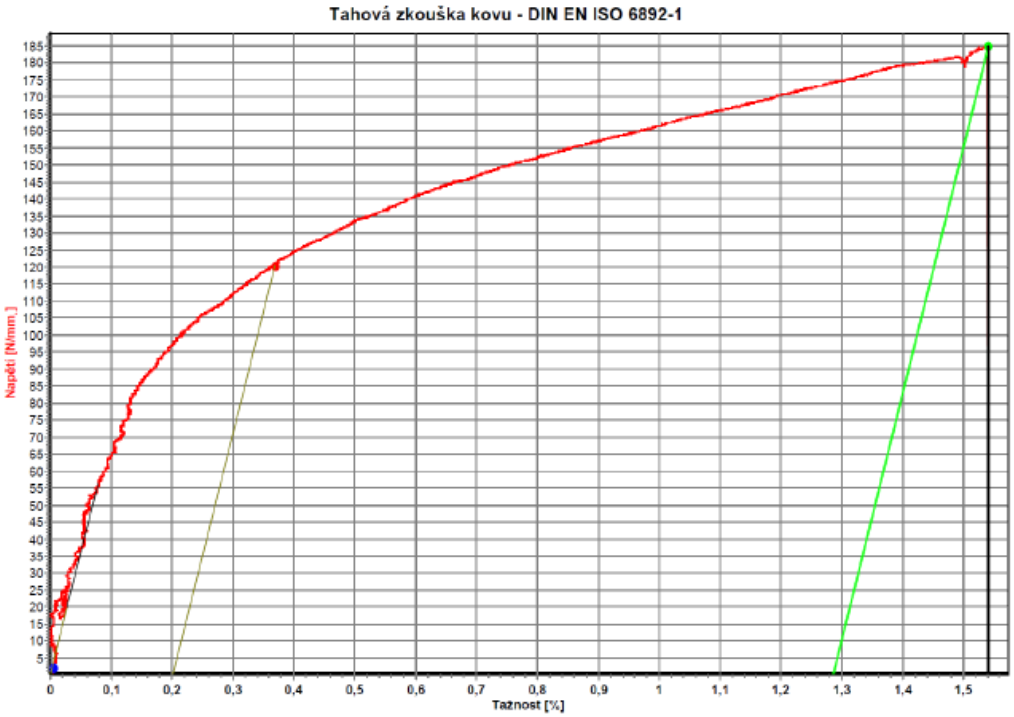
Příloha 65: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 50

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 50

Datum: 03.06.20
Čas: 17:22

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,91 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
50	x	03.06.20	17:22			72,354	120	6050,10	0	0	185

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
50		9303,00	1,28	1,29	1,54	1,54	

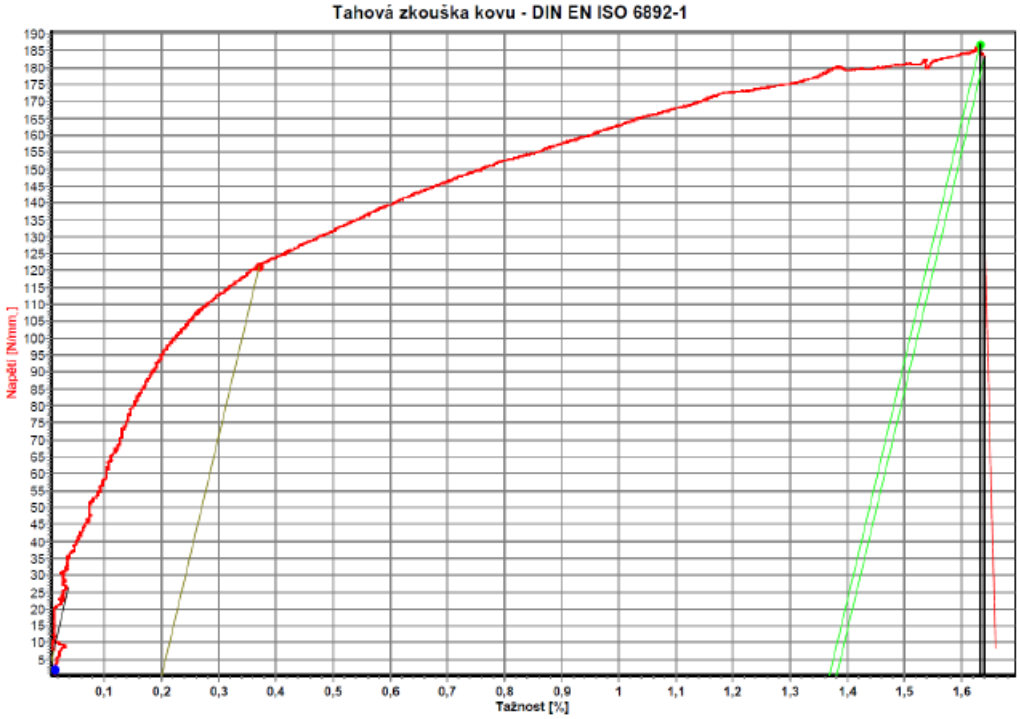
Příloha 66: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 51

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 51

Datum: 03.06.20
Čas: 17:31

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,97 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
51	x	03.06.20	17:31			70,829	121	6114,70	0	0	187

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
51		9421,70	1,37	1,38	1,63	1,64	

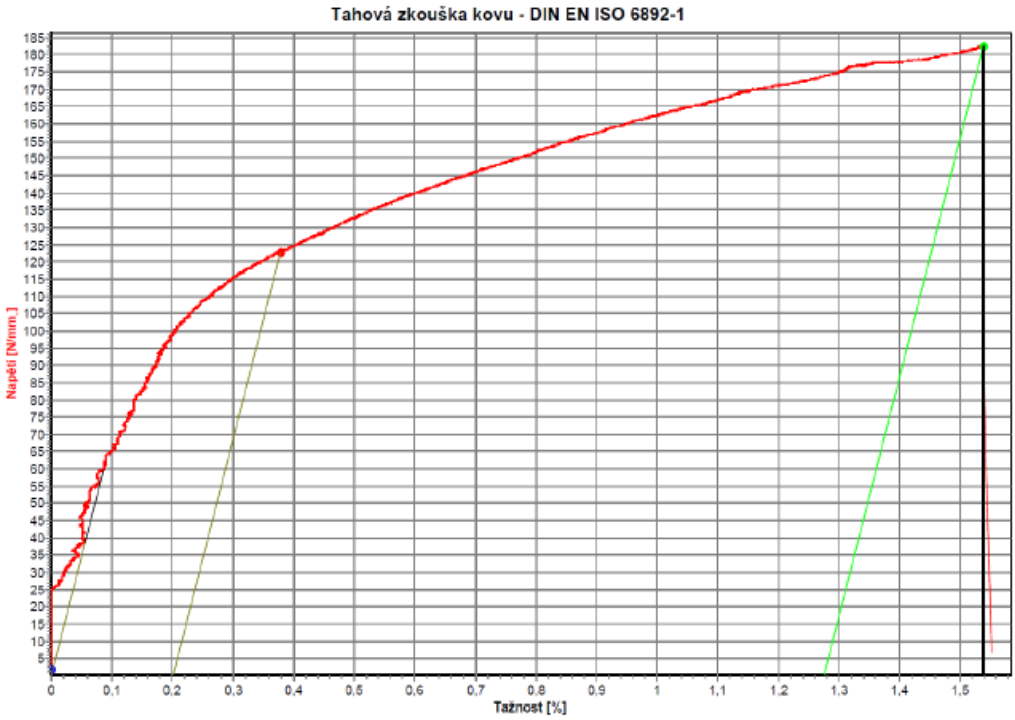
Příloha 67: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 52

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 52

Datum: 03.06.20
Čas: 17:39

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 40,05 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
52	x	03.06.20	17:39			69,268	123	6286,40	0	0	183

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
52		9341,80	1,27	1,28	1,54	1,54	

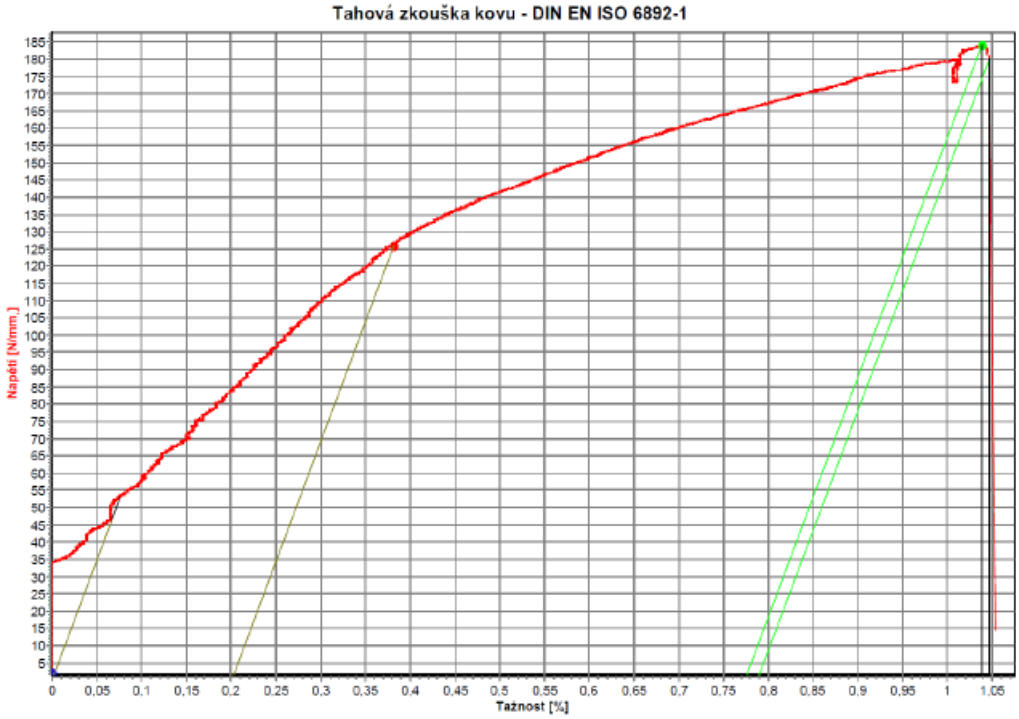
Příloha 68: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 53

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 53

Datum: 31.08.20
Čas: 09:51

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,88 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
53	x	31.08.20	09:51			69,578	126	6099,30	0	0	184

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
53		8914,50	0,77	0,79	1,04	1,05	

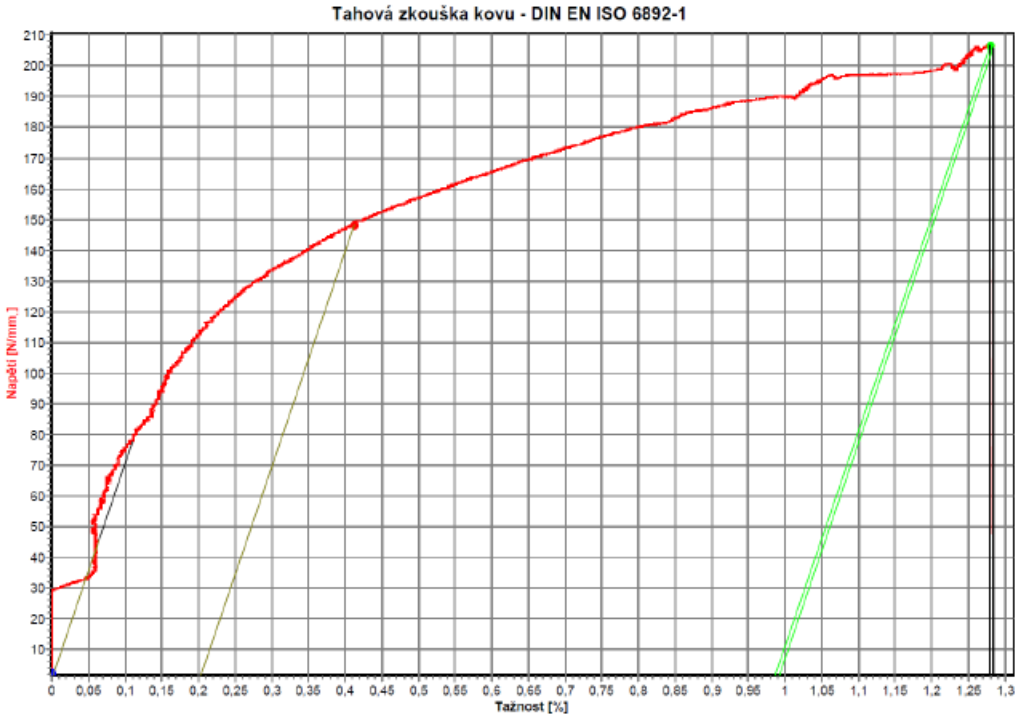
Příloha 69: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 54

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 54

Datum: 31.08.20
Čas: 10:03

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 38,33 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
54	x	31.08.20	10:03			70,255	148	6838,70	0	0	207

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
54		9531,80	0,98	0,99	1,28	1,28	

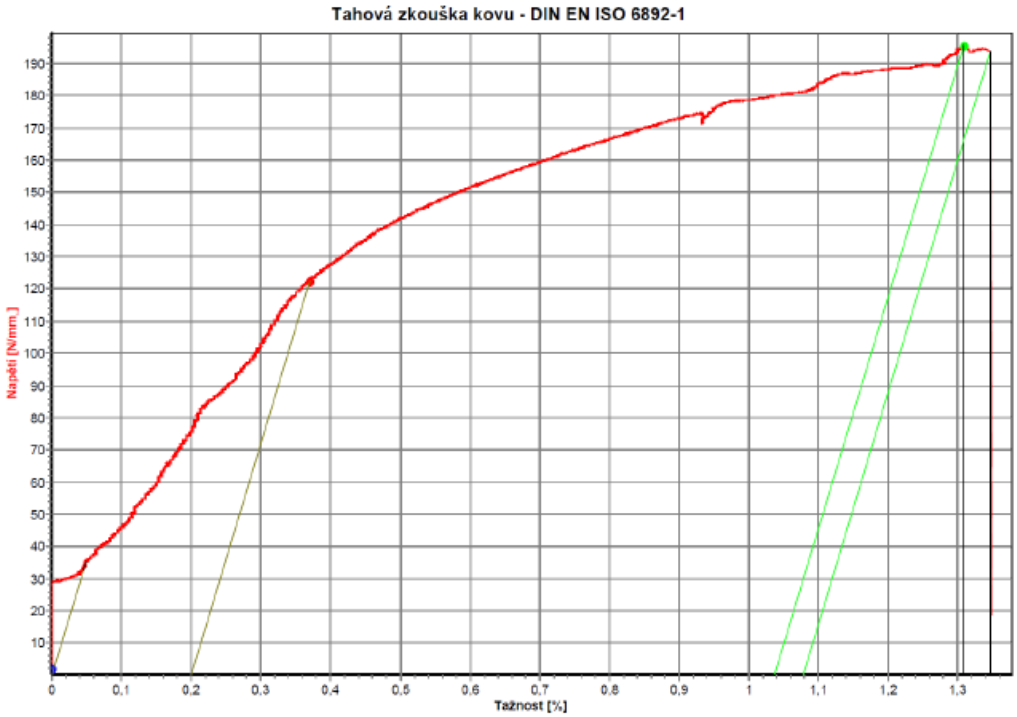
Příloha 70: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 55

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 55

Datum: 31.08.20
Čas: 10:13

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 38,64 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm²	Rp0,2 N/mm²	Fp0,2 N	ReH N/mm²	ReL N/mm²	Rm N/mm²
55	x	31.08.20	10:13			72,002	122	6005,20	0	0	196

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
55		9610,00	1,04	1,08	1,31	1,35	

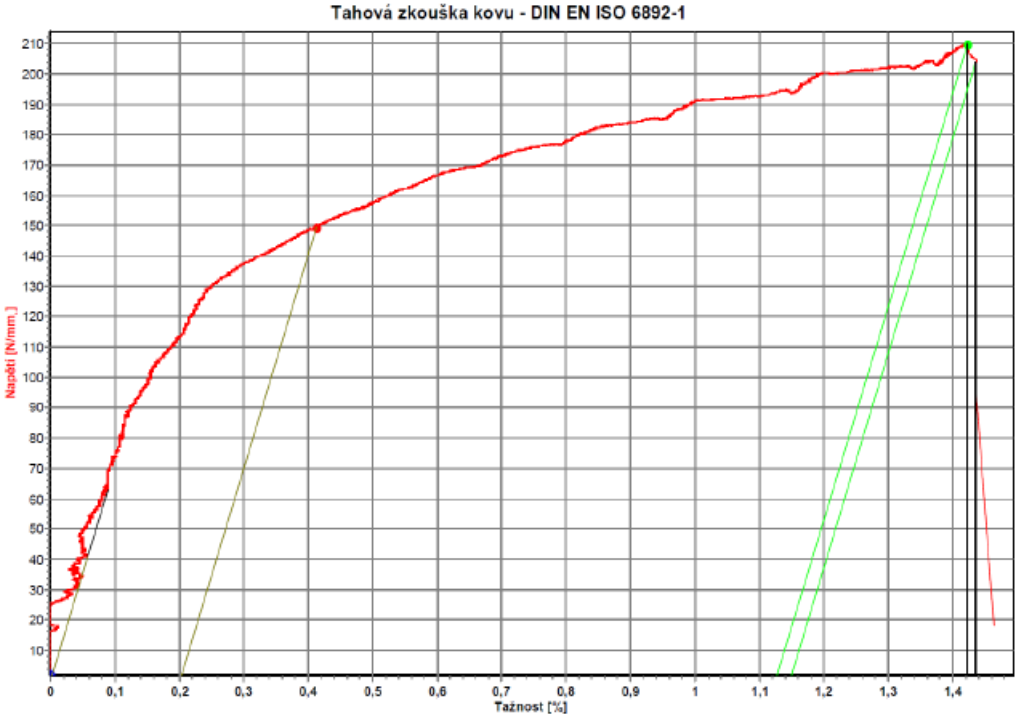
Příloha 71: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 56

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 56

Datum: 31.08.20
Čas: 10:47

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 38,75 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm_	Rp0,2 N/mm_	Fp0,2 N	ReH N/mm_	ReL N/mm_	Rm N/mm_
56	x	31.08.20	10:47			70,445	149	6514,10	0	0	210

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
56		9146,50	1,13	1,15	1,42	1,44	

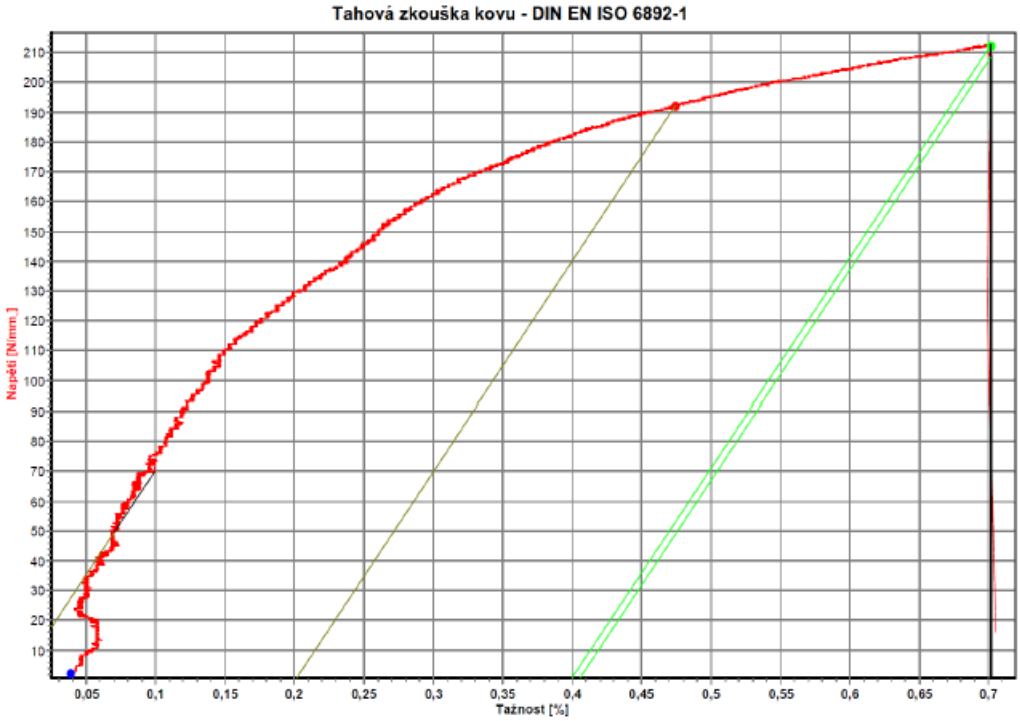
Příloha 72: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 57

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 57

Datum: 31.08.20
Čas: 12:36

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,78 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
57	x	31.08.20	12:36			70,219	192	8943,50	0	0	213

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
57		9900,10	0,40	0,40	0,70	0,70	

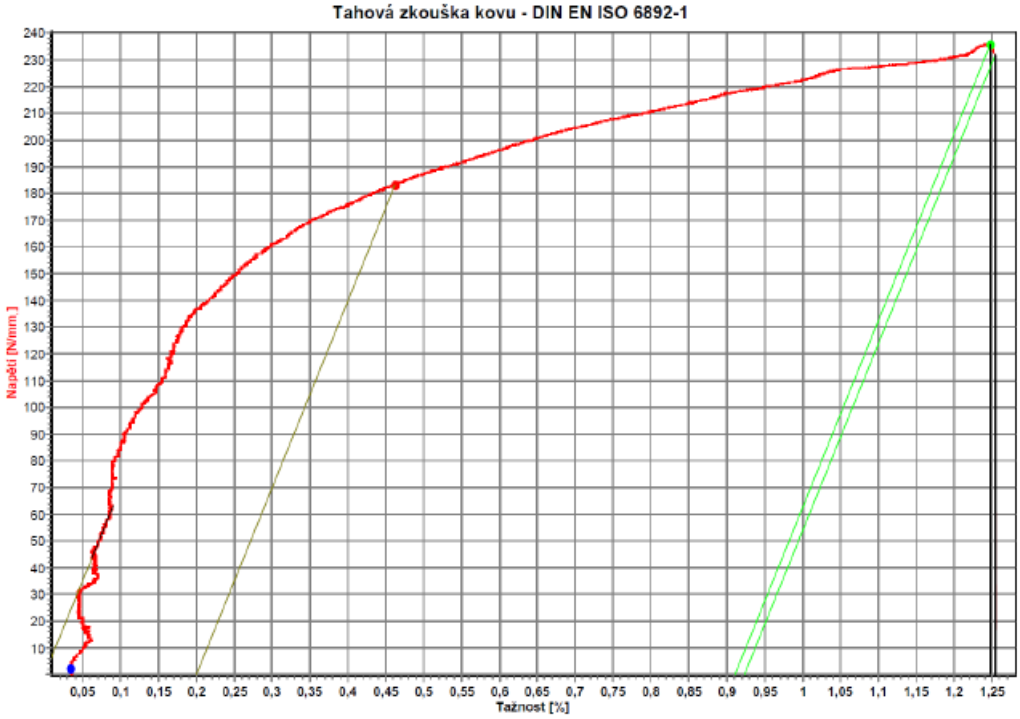
Příloha 73: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 58

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 58

Datum: 31.08.20
Čas: 12:45

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,22 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm	Rp0,2 N/mm	Fp0,2 N	ReH N/mm	ReL N/mm	Rm N/mm
58	x	31.08.20	12:45			69,991	183	8533,00	0	0	236

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
58		10986,40	0,91	0,92	1,25	1,25	

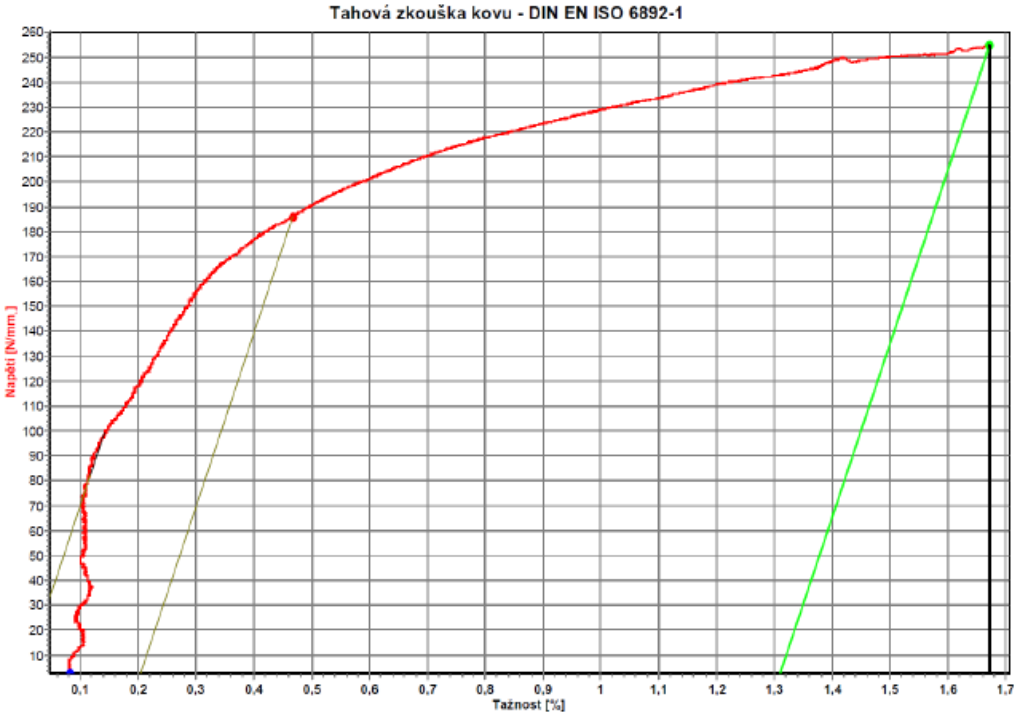
Příloha 74: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 59

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 59

Datum: 31.08.20
Čas: 12:55

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,05 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
59	x	31.08.20	12:55			69,578	186	8710,30	0	0	255

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
59		11943,60	1,30	1,31	1,67	1,67	

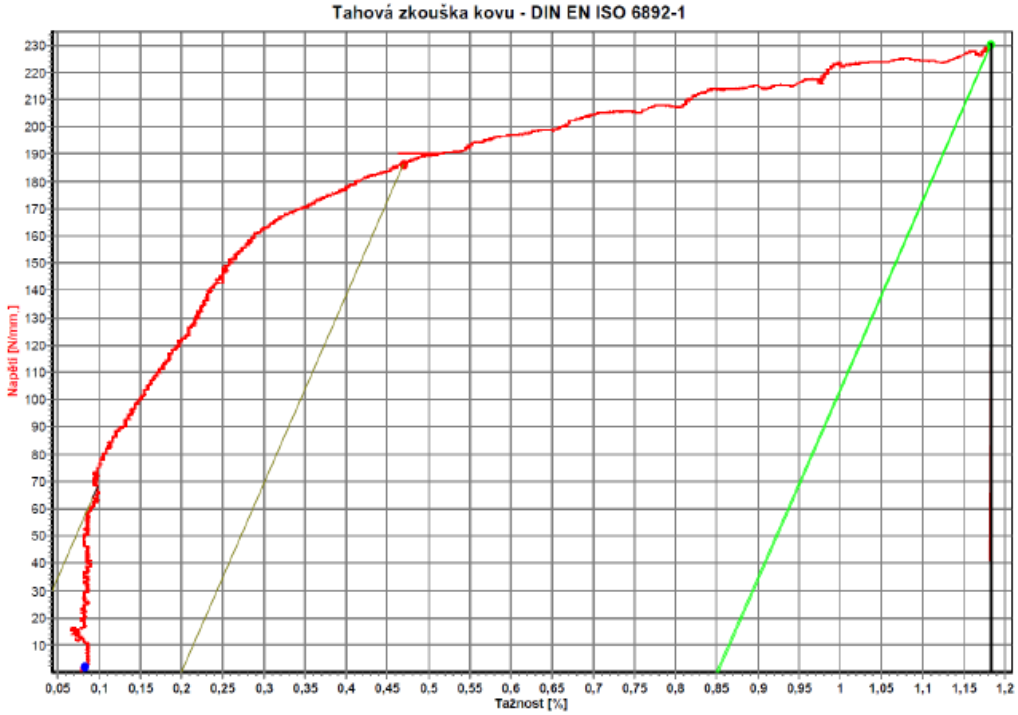
Příloha 75: Protokol o tahové zkoušce - vzorek 60

Zkoušející: Novák
Materiál: Magsimal+
Název souboru: vzorek 60

Datum: 31.08.20
Čas: 14:33

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	48/17
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	h = 1 mm; m = 1 g
Zadání délek:	Le = 39,87 mm; Lc = 50 mm; L0 = 50 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 1 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 70000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E kN/mm.	Rp0,2 N/mm.	Fp0,2 N	ReH N/mm.	ReL N/mm.	Rm N/mm.
60	x	31.08.20	14:33			69,178	186	8946,20	0	0	230

		Fm N	Ag %	A %	Agt %	At %	
60		11064,70	0,85	0,85	1,18	1,18	