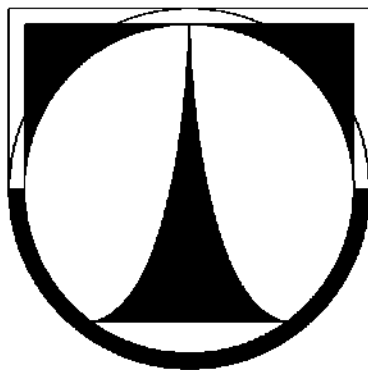


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálů



DIPLOMOVÁ PRÁCE

2009

Tomáš ŠPÁTA

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU**

**obor 2303 T 002
STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE**

**zaměření:
MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ**

**ANALÝZA DEFORMACÍ KORUNDOVÝCH VÝROBKŮ
V ZAVISLOSTI NA ZELENÉ HUSTOTĚ VÝLISKU, POLOZE
VÝPALU, TVARU VÝROBKU A ŠARŽI MATERIÁLU**

**ANALYSIS DEFORMATION OF CORUNDUM PRODUCTS
DEPENDING ON GREEN DENSITY OF FORMED PART,
POSITION IN SAGGERS, PRODUCT SHAPE AND BATCHES OF
MATERIAL**

**Tomáš ŠPÁTA
KMT- 252**

**Vedoucí diplomové práce: Dr.Ing.Daniel Šída
Konzultant diplomové práce : Ing. Liška Miroslav, SGAC-Turnov**

**Rozsah práce
Rozsah stran: 73
Počet obrázků: 28
Počet tabulek: 20
Počet příloh: 17**



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Bc. Tomáš Š P Á T A
studijní program	MN2301 Strojní inženýrství
obor	2303 T 002 Strojírenská technologie
zaměření	Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Analýza deformací korundových výrobků v závislosti na zelené hustotě výlisku, poloze výpalu, tvaru výrobku a šarži materiálu

Zásady pro vypracování:

(uved'te hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Charakteristika ideální zelené hustoty výlisku před výpalem a možné odchylky v různě prolisovaných místech výlisku
2. Charakteristika deformace během výpalu v závislosti na poloze výlisku vůči výpalovému pouzdru během výpalu a na tvaru výlisku (rozuměj složitosti).
3. Charakteristika změn během výpalu při různých vlastnostech granulátu (sypná hmotnost, tekutost, vlhkost)
4. Charakteristika rozdílů výpalu Al_2O_3 při 96%-ním obsahu Al_2O_3 v granulátu a při 99%-ním obsahu
5. Uvažovaná teplota výpalu 1570°C s výdrží 2hod.
6. Shrnutí výsledků a formulace závěru.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 40 - 50 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] Šašek,Ladislav.: Laboratorní metody v oboru silikátů, SNTL, Praha , 1981
- [2] Hlaváč, Jan.: Základy technologie silikátů,SNTL, Praha, 1988

Vedoucí diplomové práce: Dr.Ing.Daniel Šída
Konzultant diplomové práce : Ing. Liška Miroslav, SGAC-Turnov

L.S.

doc. Ing. František STUHLÍK,CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.
děkan

V Liberci dne 31.10. 2008

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ) Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Anotace

Téma: Analýza deformací korundových výrobků v závislosti na zelené hustotě výlisku, poloze výpalu, tvaru výrobku a šarži materiálu

ANOTACE

Tato diplomová práce se v teoretické části zabývá výrobou korundových hmot, základy technologie jejich zpracování a laboratorními metodami korundových hmot.

Praktická část se věnuje charakteristice ideální zelené hustoty korundových výlisků před výpalem, deformací během výpalu v závislosti na poloze výlisku vůči výpalovému pouzdru a tvaru výlisku. Dále se práce zabývá charakteristikou změn korundových výrobků během výpalu při různých vlastnostech granulátu a při různém obsahu Al_2O_3 .

Cílem diplomové práce je nalezení ideální zelené hustoty a výpalové polohy skutečného výrobku, posouzení změn při výpalu výrobku z různých šarží jednoho druhu granulátu a posouzení granulátu s různým obsahem Al_2O_3 .

KLÍČOVÁ SLOVA:

keramika, korund, zelená hustota, deformace, poloha při výpalu, šarže materiálu, obsah Al_2O_3

Annotation

Theme of work: Deformation analysis of corundum products depending on green density, position in saggars, shape of pieces and batches of material

ABSTRACT:

This graduation thesis deals with production of corundum matters, production technology and their laboratory methods.

The experimental part deals with description of ideal green density of corundum moulded pieces before firing, deformation during firing depending on position in saggars and shape of moulded piece. Next part of the thesis deals with description of changes during firing of corundum pieces depending on variety of granulate properties and depending on Al_2O_3 volume.

Objective of this thesis is to find ideal green density and firing position of real product, examination of changes during firing products from various batches and examination of granulate with various volume of Al_2O_3 .

KEY WORDS:

ceramics, corundum, green density, deformation, position during firing, batches of material, Al_2O_3 volume

Prohlášení

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

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

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

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

Datum

Podpis

Poděkování

V úvodu této práce bych rád poděkoval Dr. Ing. Danielu Šídovi a Marku Prynychovi z fy SGAC Turnov za odborné vedení a pánům Jiřímu Ragulíkovi, Romanu Fröhlichovi a především Jaromíru Červinkovi ze společnosti ŠKODA Auto, a.s. za odbornou pomoc při realizaci experimentů. Dále bych rád poděkoval rodičům za podporu během studia.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	9
1 Úvod	10
2 Teoretická část	11
2.1 Definice keramických materiálů	11
2.2 Rozdělení konstrukční keramiky	11
2.2.1 Oxidová keramika	12
2.2.2 Neoxidová keramika	12
2.4 Oxid hlinitý	13
2.5 Rozdělení oxidu hlinitého pro keramické účely	16
2.6 Keramika z oxidu hlinitého	20
2.7 Základy technologie výroby korundové keramiky	23
2.7.1 Výroba granulátu	23
2.7.1.1 Mletí v bubnových mlýnech	23
2.7.1.2 Rozprašovací sušení	24
2.7.2 Vytváření výrobků z korundových hmot	24
2.7.2.1 Lisování za sucha	24
2.7.2.2 Izostatické lisování	28
2.7.3 Výpal keramiky	28
2.8 Vybrané laboratorní metody korundových hmot	32
2.8.1 Obsah oxidu hlinitého	32
2.8.2 Tekutost korundového granulátu	33
2.8.3 Sytná hustota korundového prášku	33
2.8.4 Vlhkost granulátu	34
2.8.5 Hustota	34
2.8.5.1 Hustota vylisku za syrova (zelená hustota)	35
2.8.5.2 Hustota výpalku	35
2.8.6 Tvrdost	35
2.8.7 Přítomnost povrchových trhlin a pórů	35
2.8.8 Velikost zrna a přítomné póry	35
3 Praktická část	36
3.1 Použité přístroje	36
3.2 Zkoušky korundového granulátu.	42
3.3 Analýza systému měření (MSA) zelené hustoty	43

3.4 Charakteristika ideální zelené hustoty výlisku před výpalem a možné odchylky v různě prolisovaných místech výlisku _____	46
3.5 Charakteristika deformace během výpalu v závislosti na poloze výlisku vůči výpalovému pouzdru _____	56
3.6 Charakteristika změn během výpalu při různých vlastnostech granulátu _____	58
4 Diskuse _____	62
5 Závěr _____	70
6 Použitá literatura _____	72
7 Seznam příloh _____	73

Seznam použitých symbolů a zkratek

AV	...	reprodukovatelnost (Appraiser Variation)	
D	...	průměr tablety	[mm]
EV	...	opakovatelnost (Equipment Variation)	
FD	...	hustota výpalku	[g·cm ⁻³]
GD		Hustota výlisku	[g·cm ⁻³]
L _G	...	délka úseku na výlisku	[mm]
L _F	...	délka úseku na výpalku	[mm]
L _V	...	délka úseku na výkrese	[mm]
m	...	hmotnost tablety	[g]
MM	...	hmotnost vzorku v kapalině	[g]
MSA	...	analýza systému měření (Measurement System Analysis)	
P _{A,B, C, D}	...	poloha výpalu A, B, C, D	
R ²	...	koeficient spolehlivosti	
R&R	...	celková variabilita měření	
S	...	měrný povrch	[m ² ·g ⁻¹]
SM	...	hmotnost vzorku na vzduchu	[g]
V	...	objem tablety	[cm ³]
v	...	výška tablety	[mm]
x	...	délkové smrštění	[%]

1 Úvod

Tato diplomová práce je zaměřená na optimalizaci některých výrobních parametrů korundových těsnících destiček do kartuší (vloček) vodovodních baterií. Keramika s vysokým obsahem oxidu hlinitého (95%) je pro tento typ výrobku vhodná pro své výborné mechanické vlastnosti, vysokou odolnost vůči korozivnímu působení agresivních látek, vysokou otěruvzdornost, hygienickou nezávadnost a v neposlední řadě příhodnou ekonomii výroby.

Výroba korundových destiček je technologicky a energeticky náročný proces. Proto je velmi důležitá optimalizace vypalovacího procesu. Při suchém lisování je nutné dosáhnout optimální objemové hmotnosti syrového výrobku (zelené hustoty), čímž se získá konstantní smrštění při výpalu a také nižší vypalovací teplota. Při výpalu je velmi důležitá i poloha korundových výlisků vůči vypalovacímu pouzdru neboť ke smrštění a změně tvaru dochází nejen slinováním, ale i působením gravitace. Záleží tedy na složitosti a tvaru výlisku (hlavně u výlisků s velkým vnitřním vybráním).

Teoretická část se zabývá výrobou korundových hmot, základy technologie jejich zpracování a laboratorními metodami zkoušení korundových hmot.

Praktická část si bere za cíl charakterizovat ideální zelenou hustotu výlisku před výpalem a nalezení nejvhodnější polohy výpalu konkrétního výrobku. Dále se práce zabývá změnami během výpalu při různých vlastnostech granulátu (sytná hustota, tekutost, vlhkost) z různých šarží (výrobních dávek). Vliv na vlastnosti granulátu může ovlivnit jeho výroba, manipulace a skladování. Cílem práce je posoudit vliv variability vlastností různých šarží granulátu na konečné vlastnosti výrobků a charakteristiku rozdílů výpalu Al_2O_3 při 95%-ním obsahu Al_2O_3 v granulátu a při 99%-ním obsahu

2 Teoretická část

2.1 Definice keramických materiálů

Keramické materiály jsou materiály anorganické, nekovové, ve vodě nerozpustné a nejméně ze 30% krystalické. Výrobky z těchto materiálů zpravidla vznikají tak, že se při běžné teplotě ze surovinové směsi vytvarují tělesa, která po vysušení získají své typické materiálové vlastnosti tepelným zpracováním většinou při teplotách nad 800°C. Ve zvláštních případech se tvarování provádí také při zvýšených teplotách eventuelně z taveniny s následující řízenou krystalizací.

Keramiku charakterizuje její technologické schéma, kdy těleso vytvarované většinou ze směsi disperzních anorganických materiálů získá své konečné vlastnosti až při výpalu. Vlastnosti keramického materiálu jsou většinou složitou funkcí jeho surovinového i chemického složení a procesů při jednotlivých technologických operacích. [5]

Základní charakteristiky keramiky:

- Vysoký bod tání, netaje při jedné teplotě
- Vysoká chemická odolnost - především oxidy
- Vysoká žáruvzdornost – určí ji teplota výpalu
- Tepelný a často i elektrický izolátor
- Vysoká odolnost opotřebení – tvrdost
- Vysoká pevnost, především v tlaku
- Malá odolnost mechanickým rázům
- Značná křehkost, minimální trvalá deformace
- Vysoká odolnost tečení

2.2 Rozdělení konstrukční keramiky

Konstrukční keramické materiály se používají v řadě technických aplikací, kde svými určitými vlastnostmi mohou nahradit tradiční technické materiály (kovy, plasty). Patří k nim materiály z oxidové keramiky, z neoxidové keramiky a z kompozitních materiálů. [5]

2.2.1 Oxidová keramika

Oxidovou keramikou se rozumí keramické materiály tvořené jedním oxidem nebo směsí oxidů. Základní surovinou je syntetický práškový oxid. Příprava keramických směsí probíhá suchým nebo mokřým mletím. Směsi se dále tvarují lisováním za sucha, litím z vodní suspenze nebo plastickým způsobem. Dále se tyto směsi tvarují izostatickým lisováním (do mokré či suché formy), litím na pás, kalandrováním apod. Vytvarovaná tělesa se dále slinují většinou při teplotách větších než 1300°C, častěji však vyšších než 1500°C. Často se využívají netradiční postupy, jako je slinování pod tlakem, tj. žárové lisování (HP - hot pressing), nebo izostatické žárové lisování (HIP - hot isostatic pressing). [5]

Mezi základní oxidovou keramiku patří:

- Korundová keramika (Al_2O_3)
- Zirkoničitá keramika (ZrO_2)
- Rutilová keramika (TiO_2)
- Feritová keramika (Fe_2O_3)

2.2.2 Neoxidová keramika

Neoxidová keramika zahrnuje širokou škálu materiálů, které je možné považovat za nekovové a nebo kovové bez ostré hranice mezi uvedenými skupinami. Tyto materiály mají vysoké teploty tání nad 1800 °C a většinou vynikají vysokou tvrdostí. K nekovovým keramickým materiálům patří SiC, Si_3N_4 , AlN, B_4C a BN.

Mezi nejtvrdší anorganické materiály patří karbidy, boridy a silicidy přechodných prvků, tj. Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W.

Zvláště výhodné vlastnosti můžeme nalézt u keramiky z nitridu hliníku AlN, která má vysokou tepelnou vodivost. Nejvyšší tepelnou vodivost ze všech keramických materiálů má keramika z oxidu berylnatého BeO.

Zvláštní skupinu materiálů tvoří tzv. sialony (tuhé roztoky Si_3N_4 - Al_2O_3). [5]

Mezi základní neoxidovou keramiku patří:

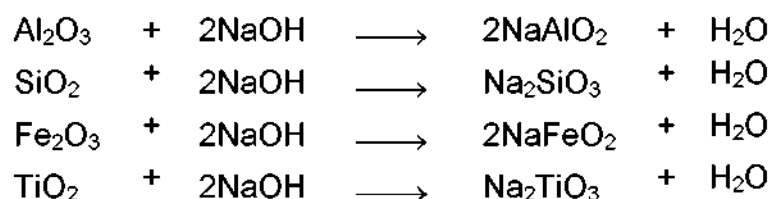
- Keramika karbidu křemíku (SiC)
- Keramika nitridu křemíku (Si₃N₄)
- Keramika nitridu hliníku (AlN)
- Boronitridová keramika (BN)
- Borokarbidová keramika (B₄C)

2.4 Oxid hlinitý

Oxid hlinitý je v keramické technologii nejpoužívanějším oxidem. Nejčastějším způsobem průmyslové výroby oxidu hlinitého je zpracování přírodního bauxitu dle tzv. **Bayerova postupu**.

Bauxit je hornina, která obsahuje hydroxid hlinitý jako gibbsit Al(OH)₃ nebo některý z hydroxidů-oxidů hlinitých, jako jsou např. boehmit γ-AlO·OH nebo diaspor α-AlO·OH. Dále může obsahovat podle lokality jílové minerály, zejména kaolinit, a jako pigment železité sloučeniny, např. goethit Fe₂O₃·H₂O, hematit Fe₂O₃ apod.

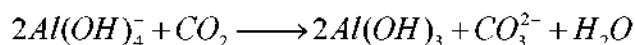
Při Bayerově postupu se vysušený jemně mletý bauxit rozkládá v ocelovém autoklávu koncentrovaným roztokem hydroxidu sodného při teplotě 160 - 250 °C a tlaku 0,4 - 0,8 MPa. V reakční směsi reagují nerozpustné oxidy s hydroxidem sodným na rozpustné soli podle následujících reakcí:



Následnou filtrací se oddělí hlinitanový roztok od tzv. červeného kalu. Odstraní se tak hlavní příměsi oxidu hlinitého v bauxitu tvořené oxidy křemičitým, železitým a titaničitým SiO₂, Fe₂O₃ a TiO₂. Hlinitanový roztok se zředí, aby dosáhl koncentrace 150 kg Al₂O₃ na m³ roztoku a přidají se zárodečné krystaly Al(OH)₃ pro požadovanou krystalizaci. Po průběhu této krystalizace se odfiltruje vykrystalovaný hydrargillit α-Al(OH)₃, který

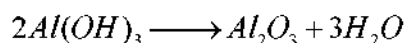
se po důkladném promytí kalcinuje na Al_2O_3 . Hlavní příměsí tímto postupem vyráběného oxidu hlinitého (min. 99,5 % Al_2O_3) je oxid sodný Na_2O .

Modifikací Bayerova postupu je vylučování trihydrátu oxidu hlinitého z alkalického roztoku plynným oxidem uhličitým:



(Správnější vyjádření je místo hydroxidu hlinitého $2\text{Al}(\text{OH})_3$ uvádět jako produkt trihydrát oxidu hlinitého $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, protože se jedná o hydratované oxidy hlinité).

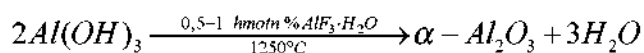
Výsledný oxid hlinitý se získá z hydratovaných forem kalcinací při teplotě cca 1200 °C podle rovnice:



Hlavní část světové produkce oxidu hlinitého cca 90 % se zpracovává při výrobě kovů. Dále se využívá při výrobě keramiky (cca 3,5 %), žárovzdorných materiálů (cca 3 %), brusiv (cca 2,5 %), skla a smaltů (cca 0,5%) a v dalších aplikacích.

Vysoká spotřeba a rozdílné požadavky na kvalitu Al_2O_3 v keramické technologii si vyžádala přípravu speciálních oxidů hlinitých pro keramické účely.

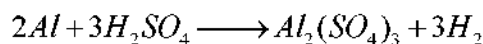
Jednou z nejjednodušších úprav běžné technologie výroby oxidu hlinitého je jeho příprava zajišťující vysoký obsah modifikace $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, tedy korundu. Je to tzv. mineralizace, **kalcinace**, oxidu hlinitého za malého přídatku mineralizátoru, tj. látky, která urychluje jeho přeměnu. Jako kalcinační přísada se často používá hydratovaný fluorid hlinitý $\text{AlF}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Potom reakce probíhá podle rovnice:



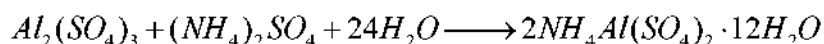
Krystaly takto připravovaného korundu mají destičkovitý tvar a jejich velikost se v závislosti na podmínkách procesu pohybuje v rozsahu $d = 5 - 10 \mu\text{m}$.

Velmi čisté oxidy hlinité pro keramické účely se získávají dalšími postupy. Jednou z častých metod je **tepelný rozklad podvojného síranu**

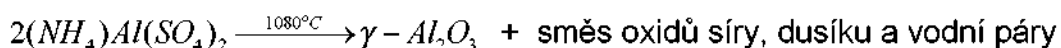
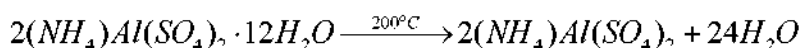
hlinito-amonného. Výchozí látkou je velmi čistý kovový hliník, který se rozpouští v kyselině sírové na síran hlinitý podle rovnice:



Krystalizace podvojného síranu hlinito-amonného se dosáhne přidavkem roztoku síranu amonného k roztoku síranu hlinitého:



Kalcinace podvojného síranu hlinito amonného probíhá podle následujícího schématu:



Produkt této kalcinace $\gamma-Al_2O_3$ se vyznačuje vysokým měrným povrchem $S = 140 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, tzn. velmi malou velikostí částic $d = 0,011 - 0,014 \text{ }\mu\text{m}$. [5]

Al_2O_3 , který byl v konečném stadiu výroby kalcinován asi na $1\,200^\circ\text{C}$, skládá se z pórovitých částic, jež se při výpalu na vyšší teploty smršťují, a tím zvětšují i smrštění keramických výrobků. Proto je v některých případech žádoucí oxid hlinitý ještě jednou kalcinovat, a to minimálně na takovou teplotu, jaká je vypalovací teplota výrobků. Je to obvykle 1400 až 1700°C .

Vysokoteplotní kalcinací $\alpha-Al_2O_3$ se ovlivní některé fyzikální vlastnosti jako např. měrný povrch, hustota a mechanické vlastnosti shluků, jež se uplatní při mletí.

Čím vyšší je teplota kalcinace, tím jsou menší rozdíly ve fyzikálních vlastnostech i v technologickém chování. Vysokoteplotní kalcinace je tedy způsob, jak získat surovinu konstantních vlastností a snížit rozptyl vlastností výrobků. Správná volba kalcinační teploty je tedy velmi důležitá.

Z těchto důvodů dodávají různé firmy na světový trh celou řadu různě kalcinovaných Al_2O_3 , lišících se čistotou, velikostí částic a jinými parametry. Každý z těchto druhů je určen pro zcela speciální a jasně určený účel. Při tom výrobce zaručuje dodržení všech vlastností, jež jsou pro dané použití významné.

Al_2O_3 je významnou keramickou surovinou; v menší míře se používá k tavení skel, smaltů a glazur. Ve velkém měřítku se používá jako brusivo a leštící prášky. Syntetické monokrystaly Al_2O_3 , vyráběné Verneuillovým postupem, se používají jako umělé drahokamy a pro různé technické aplikace, kde se využívá jejich vysoké pevnosti a tvrdosti. [3]

Oxid hlinitý je materiál dobře dostupný. V současné době dodávají oxidy hlinité pro korundové a jiné hmoty speciální firmy. Výrobci produkují různé typy α Al_2O_3 ve standardní kvalitě.

Tyto firmy dodávají také hotové korundové mleté hmoty, granulované, včetně přísad pro lisování a slinování. Je možné je bez dalších úprav použít pro lisování i jiné vytvářecí technologie. Granulované hmoty se vyrábí technologií mokrého mletí a rozprašovacím sušením. Hmoty mleté za sucha se granulují v granulovacích zařízeních. [1]

Největšími světovými výrobci oxidu hlinitého jsou firmy Alcoa, Alcan and Rusal. [4]

2.5 Rozdělení oxidu hlinitého pro keramické účely [1]

Oxid hlinitý pro keramiku třídíme podle:

1. reaktivita

- **Nereaktivní typy:** vhodné pro žáruvzdorné materiály, technickou keramiku se zvýšeným obsahem Al_2O_3 (porcelánové hmoty, kordieritové hmoty).
- **Reaktivní typy:** vhodné pro slinuté korundové materiály s nejrůznější aplikací ve strojírenství, v textilním a papírenském průmyslu, v automobilovém průmyslu.
- **Zvlášť reaktivní typy:** pro mikrokorund na výrobu řezných plátků pro obrábění kovů, k výrobě ložisek a trysek s mimořádnou odolností proti otěru, endoprotézy kyčelních kloubů, ...

2. chemického složení

Obsah Na_2O

- Výrazně ovlivňuje vlastnosti korundových hmot při výpalu. Zhoršuje slinování, protože blokuje tvorbu vnitřního uspořádání uzavřené poretity. Snižuje izolační odpor slinutých hmot a zvyšuje dielektrické ztráty. Obsah Na_2O je pokládán za jedno z hlavních kritérií při posuzování použitelnosti oxidu hlinitého v korundových hmotách.

Obsah SiO_2

- Pro běžné aplikace v korundových hmotách je přípustné množství SiO_2 do 0,1 %. Pro výrobky nejvyšší kvality (např. transparentní korund pro hořák sodíkové výbojky, endoprotézy) bývá přípustné množství do 0,01 %.

Obsah Fe_2O_3 , TiO_2

- Jako barevné oxidy ovlivňují negativně hmotu.

Obsah CaO

- Bývá v oxidu hlinitém v malém množství. Vyšší obsahy mohou zhoršovat korozní odolnost slinutých hmot.

Obsah MgO

- Je žádoucí příměsí, pokud je jeho obsah v jednotlivých dodávkách standardní. [1]

3. fyzikálních vlastností.

Tab.2.1 Základní třídění oxidu hlinitého pro keramiku [1]

Typ	Označení třídy oxidů	Měrný povrch $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ nemletý (m^2/g)	Obsah $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	Příklad komerčně dodávaných oxidů
I.	Nereaktivní méně čisté	0,2-0,5	0,15-0,6	- A 12 Showa - mineralizovaný Al_2O_3 fluoridem hlinitým
I.	Nereaktivní čisté	0,2-0,5	0,15	- T 61 Alcoa - A 10 Alcoa
I.-II.	Reaktivní méně čisté	0,5-2,0	0,15-0,6	- mineralizovaný Al_2O_3 - Schowa A 194
II.	Reaktivní čisté	0,5-2,0	0,15	- CT 1000 FS, Alcoa - CL 3000, WRA, Alcoa
III.	Zvlášť reaktivní čisté	2,0-20,0	0,05-0,15	- A 16 Alcoa - CT 3000 SG Alcoa - RC 172 Reynolds
III.	Zvlášť reaktivní zvlášť čisté	2,0-20,0	0,05	- XA 139 Alcoa - CT 8000 FS Alcoa - GE 6 Baikowski

Oxid hlinitý – typ I.

Použití:

- porcelánové hmoty, technická keramika se zvýšeným obsahem Al_2O_3 , žáruvzdorná keramika.

Charakteristika:

- vyšší obsah alkálií (max. 0,6 % hmotnostních Na_2O)
- doprovodné nečistoty menší než 1 % hmotnostní
- obsah $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ vyšší než 90 %
- velikost krystalů a Al_2O_3 5-8 μm
- měrný povrch 0,2-0,5 m^2/g
- měrná hmotnost 3,90 g/cm^3 .

Chemické složení:

Al_2O_3	min. . . .	99,00 %	CaO	max. . . .	0,02 %
Ztr.žih.	max. . . .	0,30 %	MgO	stopy	
SiO_2	max. . . .	0,10 %	Na_2O	max. . . .	0,50 %
TiO_2	stopy		F	max. . . .	0,20 %
Fe_2O_3	max. . . .	0,05 %	SO_3	max. . . .	0,20 %

Oxid hlinitý - typ II.

Použití:

- korundové hmoty s vysokými dielektrickými, mechanickými a tepelnými parametry, součástky pro elektroniku, konstrukční díly pro vysoké teploty, izolátory zapalovacích svíček.

Charakteristika:

- oxid hlinitý s nízkým obsahem nečistot, zejména alkálií
- obsah a Al_2O_3 min. 95,0 %
- velikost krystalů 3-4 μm
- měrný povrch 0,5-2,0 m^2/g
- měrná hmotnost 3,95 g/cm^3 .

Fyzikální vlastnosti:

- izometrické krystaly Al_2O_3 spojeny do snadno rozpojitelných agregátů.
- Tvar krystalů, velikost a pevnost agregátů konstantní, aby byla zaručena stabilita technologických vlastností.

Technologické vlastnosti:

- celkové lineární smrštění smí kolísat v rozmezí max. 1 %.

Chemické složení:

Al_2O_3	min. . . .	99,50%	CaO	max. . . .	0,05 %
Ztr.žih.	max. . . .	0,30 %	MgO	max. . . .	0,05 %
SiO_2	max. . . .	0,05 %	Na_2O	max. . . .	0,15 %
TiO_2	stopy		F	max. . . .	0,10 %
Fe_2O_3	max. . . .	0,05 %			

Oxid hlinitý - typ III.**Použití:**

- průsvitný korund, vakuotěsná korundová keramika s malými dielektrickými ztrátami, leštěné substráty, jemnozrnné nebroušené substráty, biokeramika, ...

Charakteristika:

- oxid hlinitý připravený tepelným rozkladem kamence hlinitoamonného s technologickou přísadou 0,1-0,15 MgO (zabraňuje nárůstu krystalů při výpalu)
- s obsahem alkálií max. 0,01 %
- obsah Al_2O_3 min. 99,93 % (bez MgO)
- obsah α Al_2O_3 min. 95,0 %
- měrný povrch 2,0-20,0 m^2/g .

Fyzikální vlastnosti:

- oxid sestává z porézních agregátů snadno držitelných částic, složených z přibližně izometrických krystalitů α oxidu hlinitého. Velikost agregátů je menší než 15 μm .

Chemické složení

Al_2O_3	min. . . .	99,93 %	CaO	max. . . .	0,01 %
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	max. . . .	0,05 %	Ti	max. . . .	1 ppm
SiO_2	max. . . .	0,01 %	Cr	max. . . .	1 ppm
Fe_2O_3	max. . . .	0,005 %	Pb	max. . . .	100 ppm

2.6 Keramika z oxidu hlinitého

Keramika z oxidu hlinitého (korundová keramika), je nejpoužívanější oxidovou keramikou. Podle obsahu oxidu hlinitého se korundová keramika dělí většinou do čtyř skupin. Jsou to materiály s obsahem 80 - 86 hmotn. % Al_2O_3 , s obsahem 87 - 95 hmotn. % Al_2O_3 , s obsahem 96 až 99 hmotn. % Al_2O_3 a s obsahem vyšším než 99 hmotn. % Al_2O_3 . Obsah oxidu hlinitého a tedy i příměsí v materiálu výrazně ovlivňuje vlastnosti korundové keramiky, viz. tab. 2.6 - 1. [5]

Tab. 2.2 Vlastnosti skupin korundové keramiky [5]

Vlastnost	Obsah Al_2O_3 (hmotn. %)			
	80-86	87-95	96-99	> 99
hustota d ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	3,5-3,6	3,6-3,7	3,7-3,8	3,8-3,9
objemová hmotnost ρ_H ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	3,2	3,4	3,5	3,7
Youngův modul E (GPa)	200	300	400	400
pevnost v ohybu R_f (MPa)	200	250	280	300
pevnost v tahu R_t (MPa)	120	130	140	150
pevnost v tlaku R_{pd} (MPa)	2000	2000	2000	3000
tvrdost dle Vickerse H_v (MPa)	1500	1500	1600	2000
koef. délkové teplotní roztažnosti $\alpha \cdot 10^{-6}$ (K^{-1})	6	7	7,5	8
tepelná vodivost λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	10-16	14-24	16-28	19-30

Se zvyšováním obsahu oxidu hlinitého roste mechanická pevnost a tvrdost korundové keramiky, zvyšuje se její koeficient délkové a teplotní roztažnosti a tepelná vodivost.

Slinování keramiky z oxidu hlinitého probíhá buď v přítomnosti kapalně fáze nebo v pevné. fázi. To záleží na obsahu příměsí ve směsi. Směsi s nižším obsahem oxidu hlinitého mají ve vsázce plavený kaolin či vysoce kaolinitický jíl, mastek nebo uhličitany alkalických zemin např. CaCO_3 , MgCO_3 a pod. Materiály s vysokým obsahem oxidu hlinitého nad 99 hmot. % slinují s přísadou 0,1 - 0,5 hmotn. % oxidu hořečnatého MgO nebo hořečnatých sloučenin, které se při výpalu rozloží na MgO . Přísadou MgO se blokuje nežádoucí růst velkých krystalů na úkor malých. Tato rekrytalizace, která je samovolným procesem, vede ke snížení mechanické pevností materiálu. Při použití velmi čistého výchozího oxidu hlinitého s přísadou MgO a při výpalu ve vakuu nebo v prostředí vodíku je možné docílit při vhodné velikosti zrn korundu vymizení všech pórů a získat tak průhledný korund.

Prakticky teoretické hustoty $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, tedy korundu, je možné dosáhnout pouze u korundové keramiky, která má obsah oxidu hlinitého vyšší než 99 hmotn. % s přidavkem 0,25 hmotn. % MgO a je vypalována buď ve vakuu, ve vodíku nebo v kyslíku. Není to možné při výpalu ve vzduchové atmosféře nebo v dusíku či v argonu. Příčinou je rozdílná rozpustnost a rychlost difúze uvedených plynů v Al_2O_3 . Příklady vlastností několika druhů korundové keramiky jsou uvedeny v tab. 2.6 - 2. [5]

Tab.2.3 Příklady vlastností několika druhů korundové keramiky [5]

Vlastnost	AF950	TS150	AF995	AF999
složení, obsah Al_2O_3 (hmotn. %)	95	97,7	99,5	99,9
hustota d ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	3,60	3,70	3,85	3,98
pórovitost P (%)	0	0	0	0
pevnost v ohybu R_f (MPa)	220	280	310	350/570*
pevnost v tlaku R_{pd} (MPa)	1500	2000	> 2000	> 2000
lomová houževnatost K_{IC} ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{0,5}$)	3,8	3,8	4,6	4,6
střední koeficient délkové teplotní roztažnosti $\alpha_{20-1000^\circ\text{C}}$ 10^{-6} (K^{-1})	8,5	8,5	8,6	8,5
měrné teplo $c_{p\ 20-100^\circ\text{C}}$ ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	980	850	1025	1025
střední tepelná vodivost $\lambda_{20-100^\circ\text{C}}$ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	22	30	29	29
měrný elektrický odpor R ($\Omega\cdot\text{cm}$)	> 10^{12}	> 10^{14}	> 10^{14}	> 10^{15}
dielektrická pevnost e ($\text{kV}\cdot\text{mm}^{-1}$)	14,2	20	20	20
max. teplota použití t_{max} ($^\circ\text{C}$)	1500	1700	1700	1700

Poznámka: * tvarováno žárovým izostatickým lisováním HIP. Příklady použití: AF 950 - těsnění, kelímky, trysky svařovací, TS 150 - součástí elektronických zařízení, spoje keramika - kov, AF 995 - kosmická technika, ložiskové kuličky, izolátory, AF 999 - biokeramika, písty vysoce namáhaných čerpadel

Korundová keramika je široce využívána v aplikacích, které vyžadují vysokou tvrdost, otěruvzdornost, chemickou odolnost (velmi dobrá odolnost vůči kyselinám a zásadám), možnost použití při vysokých teplotách. Nevýhodou je její slabší odolnost vůči teplotním šokům a relativně vysoká křehkost. Korund je levně a lehko vyrobitelná keramika. Vyrábí se z něho zapalovací svíčky, elektrické izolátory a keramické substráty pro mikroobvody. Čistý korund je bílý a s nečistotami může být růžový nebo zelený. Korund je dobrý elektrický izolant, má vysokou mechanickou pevnost, dobrou odolnost vůči otěru a teplotě, výbornou chemickou stabilitu a dobrou tepelnou vodivost, ale omezenou odolnost vůči tepelným rázům. Oxid chrómu se přidává na zvýšení odolnosti vůči abrazi, křemičitan sodný na zlepšení zpracovatelnosti. Konkurenční materiály jsou MgO, SiO₂ a borsilikátové sklo. [4]



Obr.2.1 Ukázka výrobků z korundové keramiky

2.7 Základy technologie výroby korundové keramiky

2.7.1 Výroba granulátu

Granulované hmoty se vyrábí technologií mokrého mletí a rozprašovacího sušení. Hmoty mleté za sucha se granulují v granulovacích zařízeních.

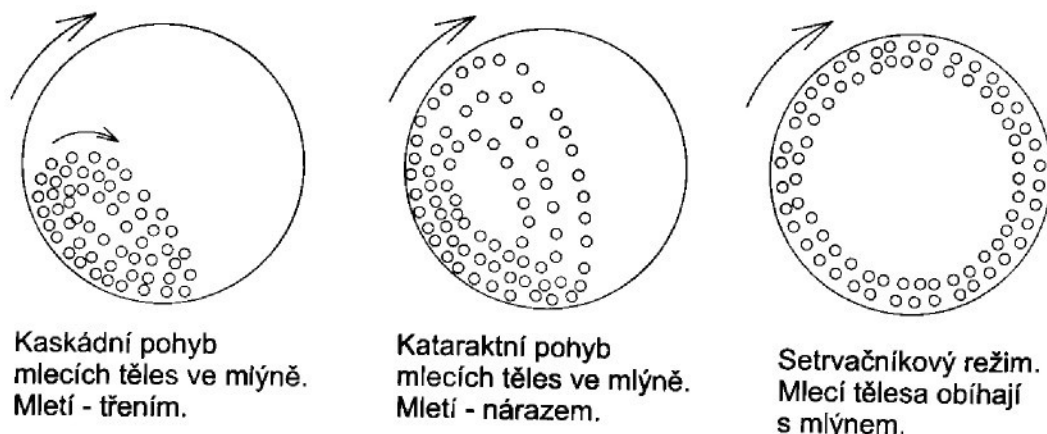
2.7.1.1 Mletí v bubnových mlýnech

Pro mletí keramických hmot se nejčastěji používá kulový bubnový mlýn. Bubnové mlýny mohou být periodické nebo kontinuální. Periodické se používají pro mletí za mokra i za sucha a kontinuální pro mletí za sucha. Tyto jsou upraveny tak, že nemletá surovina vstupuje do mlecího procesu středem boční strany bubnu a středem druhé strany je odsáván umletý produkt do zařízení vzdušné separace, kde je jemný podíl oddělován od hrubšího. Hrubý podíl se vrací zpět do mlýna.

Pokrokem v technologii mletí je oddělené suché mletí jednotlivých surovin. Při společném mletí není možné ovlivnit rozdělení částic jednotlivých surovin.

U jednotlivě surovin lze dobou mletí ovlivňovat jejich granulometrii. Takto upravené suroviny je již třeba pouze homogenizovat za sucha nebo za mokra ve vhodných agregátech (MESSER, EIRICH aj.). Tento způsob mletí je pro další zpracování hmot suchou cestou velmi vhodný, neboť odpadají náklady na vysušení hmot.

Modernizací v technologii přípravy keramických hmot je budování centrálních příprav, které připravují různé keramické hmoty a v rovnoměrné kvalitě je dodávají keramickým závodům. [1]



Obr.2.2 Pohyb mlecích těles v bubnovém mlýně [1]

Mletí velmi jemných hmot oxidové keramiky se provádí v bubnových mlýnech s pružnou pryžovou vložkou. Tento způsob umožňuje suché mletí jednotlivých surovin nebo hmot, které svou jemností a vlivem technologických přísad jsou natolik adhezivní, že je nelze mlít jiným způsobem. Princip této technologie spočívá v tom, že pružná pryžová stěna svými deformacemi zabraňuje nalepování meliva. Tato technologie se velmi dobře osvědčila při mletí korundových hmot jak hrubozrnných, tak hlavně mikrozrnných, kde konečná velikost částic je pod $1\mu\text{m}$. [1]

2.7.1.2 Rozprašovací sušení

Princip rozprašovacího sušení spočívá ve vstřikování keramické suspenze pomocí trysek do věže válcového tvaru, která je z nerezového materiálu. Keramická suspenze se rozprašuje proti proudu teplého vzduchu. Při tomto procesu se odpařuje voda a do kuželové spodní části věže dopadají duté kuličky granulátu o vlhkosti do 5 % podle potřeby návazné technologie zpracování. Regulace vlhkosti je možná od 0 %.

Rozprašovací sušení zlepšuje technickou úroveň výroby keramických hmot z hlediska standardní zrnitosti a rovnoměrné vlhkosti granulátu. Odstraňuje staré neproduktivní postupy jako je kalolisování, sušení, drcení hmoty, dále předlisování, znovu drcení a homogenizaci jednotlivých šarží. [1]

2.7.2 Vytváření výrobků z korundových hmot

Výrobky z korundových hmot s obsahem Al_2O_3 86,0 – 99,0 % jsou vytvářeny lisováním za sucha, izostatickým lisováním ve volné nebo pevné gumové formě, tažením ve vakuových a pístových lisech, obráběním za sucha z lisovaných, tažených nebo litých polotovarů, kalandrováním, litím fólie, litím do sádrových forem a nízkotlakým nebo vysokotlakým vstřikovým litím. [1&5]

2.7.2.1 Lisování za sucha

Výhodou lisování za sucha je rozměrová přesnost výrobků, úspora tepla při sušení a možnost automatizace. Formy pro lisování bývají ocelové nebo ze speciálních tvrdokovových materiálů. Díly lisovacích nástrojů mohou být také ze

slinutých karbidů z důvodu značného abrazivního účinku některých keramických hmot.

Pro lisování se používají **různé typy lisů**:

- **mechanické** - kloubové, vřetenové, vačkové a klikové
- **hydraulické** - používají se hlavně tam, kde je potřeba vysokého lisovacího tlaku. Výhodou je jednoduchost a rychlost dosažení vysokého tlaku, nevýhodou je pomalý chod.
- **izostatické** - hmota je uzavřena v gumové formě, která je ponořena do kapaliny a na ni působí tlak. Gumová forma přenáší tlak na keramickou hmotu ve všech směrech.

Granulát pro mechanické a hydraulické lisování se zvlhčuje lisovacími přísadami v množství 1-10 % a lisovací tlaky se pohybují u malých a středních velikostí výrobků v rozmezí 3-100 MPa. U izostatického lisování v rozmezí 50-300 MPa a vlhkost se pohybuje v 0-0,5 %.

K plastickým i neplastickým směsím keramických hmot se přidává voda a organické lisovací přísady (např. lisovací oleje, kyselina olejová, elain, parafinová disperze, emulze různých vosků, petrolej, n-alkány, ekonaftha, pyrofosforečnan sodný, aj.), které usnadní lisování.

Do suspenze před rozprašovací sušárnou se přidávají polyvinylalkohol (PVA), metylceluloza, tylosa aj., které zvyšují mechanickou pevnost hned po vylisování a po vysušení. Dále polyetylglykol (PEG), který změkčuje granule.

Přídavek 0,2 % PVA a 0,3 % parafinové disperze zvýší mechanickou pevnost a umožní výrobky opracovávat (např. řezat závit) hned po vylisování.

Prísady organických látek musí být v keramických hmotách rovnoměrně rozptýlené a celý lisovací postup nastaven tak, aby zajišťoval:

- nelepivost granulátu na lisovací nástroje v průběhu lisování
- dostatečnou plasticitu hmot
- potřebnou mechanickou pevnost výlisků
- optimální pevnost granulí, aby se nerozpadaly při manipulaci a transportu, ale aby měly dostatečnou měkkost a dobře se rozlisovaly.

- hladký povrch po výpalu, který je ovlivňován potřebnou granulací, ale také optimální jemností hmoty
- dobré plnění granulátu do lisovacího nástroje a jeho dobrou zatékavost
- snadný odvod vzduchu z granulátu v lisovacím nástroji během lisování
- odstranění jemného prachu z lisovací hmoty. Jemný prach znemožňuje odvod vzduchu z lisovacího nástroje a zabraňuje zatékání granulátu do lisovacího nástroje
- schopnost sublimace organických látek z výlisků během sušení a v počátku pálení
- netoxické vlastnosti organických látek

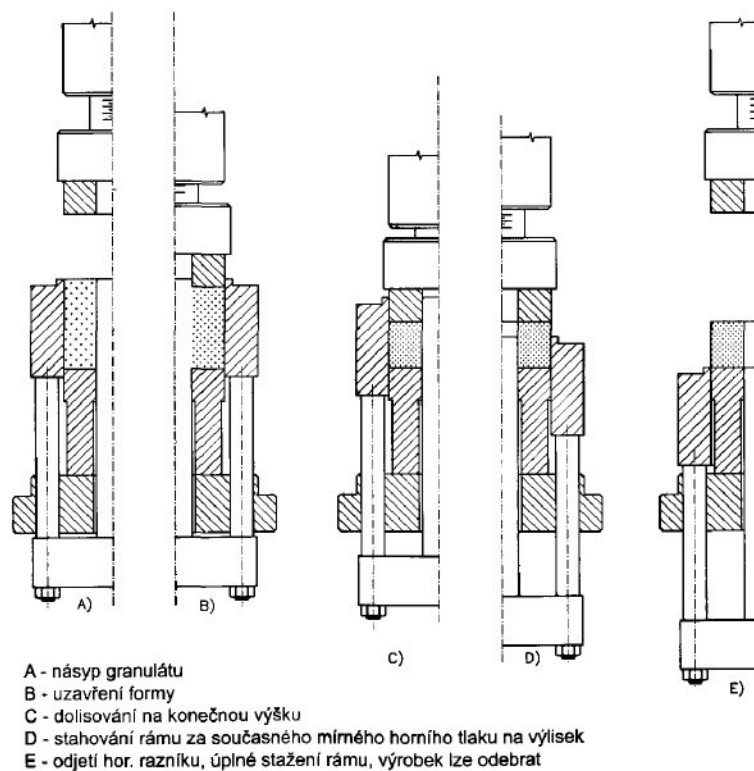
Lisování vyžaduje granulát téměř bez prachové složky, aby dobře zatekal do členitých lisovacích nástrojů a umožňoval odvod vzduchu z granulátu. Při suchém lisování je nutné dosáhnout optimální objemové hmotnosti (zelené hustoty) syrového výrobku, čímž se získá konstantní smrštění při výpalu a také nižší vypalovací teplota.

Při lisování suchých nebo polosuchých hmot se objem volně nasypaného granulátu zmenší zhruba o polovinu. Násypný prostor pro jednotlivé výrobky je možné vypočítat. U práškových hmot, které mají malý sklon k tečení, působí vždy v okolí razníku podstatně vyšší tlak než v hlubších vrstvách materiálu. Je to způsobeno třením hmoty o stěny formy. Tření hmoty lze snížit mazáním nebo vlhčením lisovací směsi olejovou emulzí.

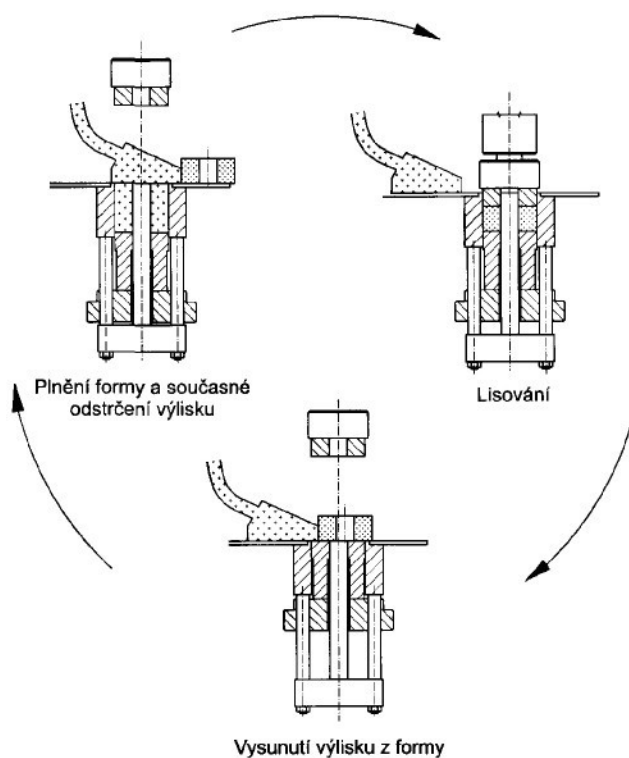
Lepšího rozložení tlaku v lisovacím nástroji se dosahuje oboustranným lisováním. Dno formy působí na hmotu stejným tlakem jako razník. Rozdíly zelené hustoty ve výrobku nebudou tak velké jako u jednostranného tlaku, kde je po výpalu výrobek ve svislém směru značně kuželovitý. Nerovnoměrné rozdělení tlaku může nastat také při nestejném zaplnění formy granulátem.

Při lisování musí být vytěsněn vzduch, který je uzavřen v pórech volně sypaného granulátu. Čím jemnější je granulát a čím rychleji se zvyšuje lisovací tlak, tím vzduch hůře odchází z lisovací formy. Část vzduchu, který zůstane v granulátu, po odlehčení výlisk poruší vznikem trhlinek. Lze tomu předejít

lisováním ve dvou cyklech. Po prvním mírném zalisování se uvolní tlak (dojde k odvzdušnění), pak se dolisuje na potřebný tlak. [1&5]



Obr.2.3 – Jednotlivé fáze lisování za sucha [5]



Obr. 2.4 Schéma plnění formy granulátem, zalisování, vysunutí výlisku, opětovné naplnění formy a odsunutí výlisku na automatickém lisu [5]

2.7.2.2 Izostatické lisování

Technologie izostatického lisování umožňuje lisovat výrobky nebo polotovary všestranným tlakem a odstraňuje rozdíly objemové hmotnosti v lisovaném materiálu. Izostatické lisování je jednou z nejvhodnějších metod pro vytváření výrobků z plastických i neplastických keramických hmot, zejména z oxidových a neoxidových materiálů. Dosahuje se při vyšších tlacích u keramických hmot po výpalu rovnoměrné smrštění a objemová hmotnost se blíží teoretickým hodnotám. Tato technologie je vhodná v případech, kdy ostatními způsoby lisování nelze dosáhnout kvalitního výrobku.

2.7.3 Výpal keramiky

Výpal keramiky patří mezi základní procesy v technologii keramiky. Tělesa vytvarovaná ze směsí disperzních ve vodě nerozpustných anorganických, převážně nekovových materiálů získávají při výpalu své charakteristické vlastnosti. Významnou podmínkou je zachování tvaru těchto těles. Výpal je nákladný proces, podílí se 30 - 50 % na ceně výrobku. V energetické bilanci keramických výrobků představuje cca 60 % spotřeby energie.

Výpal je tepelné zpracování keramického materiálu nebo vytvarovaného tělesa podle stanoveného režimu. Při výpalu probíhají - na hraničních plochách částic materiálu procesy tvorby jeho mikrostruktury. Jsou spojeny s fyzikálními pochody i chemickými reakcemi. Zvýšená teplota umožňuje zvýšenou pohyblivost atomů a dalších základních stavebních jednotek látek, jejich difúzi i chemické reakce v pevné fázi. Dále umožňuje jejich modifikační přeměny, rekrystalizaci i růst nově vzniklých krystalů, tvorbu kapalné fáze, zhutňování a slinování materiálu.

Výrobky z korundových hmot s obsahem Al_2O_3 86,0 – 99,0 % se vypalují v elektrických nebo plynových pecích na teplotu 1500-1700°C.

Významným procesem při výpalu keramiky je slinování. Je to proces, který se uplatňuje nad určitou teplotou a je procesem samovolným. Je důsledkem specifického chování zakřivených povrchů disperzních soustav. Hnací silou slinování je snižování povrchové energie soustavy.

Model slinování bez přítomnosti kapalné fáze představují dvě kulové částice na jejichž kontaktu se tvoří spoj, tzv. krček. Jsou možné dva případy:

a) krček se tvoří bez přibližování středu obou koulí, tzn. bez smršťování soustavy, viz obr. 2.5.a,

b) při tvorbě krčku se středy obou koulí přibližují, soustava se smršťuje, viz obr. 2.5.b.

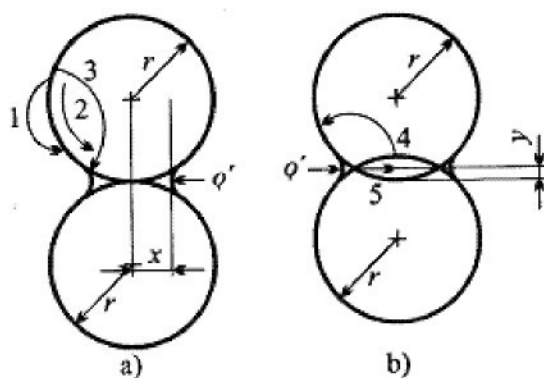
Slinování bez smrštění soustavy, podle modelu a) na obr. 2.5 se může uskutečnit třemi mechanismy:

- vypařováním a kondenzací,
- povrchovou difúzí,
- vnitřní difúzí z povrchu částic.

Slinování se smrštěním soustavy, podle modelu b) na obr. 2.5 se může uskutečnit dvěma mechanismy:

- objemovou difúzí z hranice mezi částicemi,
- hraniční difúzí podél hranice mezi částicemi.

Kromě vypařování a kondenzace jsou všechny ostatní mechanismy slinování založeny na difúzi. Difúzi umožňuje rozdílná koncentrace vakancí v mřížce slisované látky. Vakance difundují z oblastí s vysokou koncentrací na místa s koncentrací nízkou. V protisměru tohoto toku vakancí difundují částice hmoty. Hnací silou difúze vakancí je jejich koncentrační gradient. Ten se vytvoří že na zakřivených površích se koncentrace vakancí zvyšuje.



Obr. 2.5. Model slinování dvou kulových částic bez přítomnosti kapalné fáze: a) tvorba krčku bez smrštění soustavy: 1 – vypařování a kondenzace, 2 – povrchová difúze, 3 – vnitřní difúze z povrchu, b) tvorba krčku se smrštěním soustavy (y označuje velikost přiblížení středů koulí): 4 – objemová difúze, 5 – hraniční difúze

Slinování v pevné fázi jednosložkové, jednofázové disperzní soustavy je možné rozdělit na čtyři stadia.

Nulté stadium, které představuje slisování, kompaktaci, práškové soustavy za pokojové teploty. Bodový kontakt kulových částic se změní vlivem sil Van der Waalsova typu. Dojde k elastické deformaci částic a vznikne mezi nimi elementární krček.

Počáteční stadium slinování zahrnuje údobí, kdy krčky, které se tvoří zrna, dosahují asi 20 % plochy průřezů zrn. V tomto stadiu zrna nemění svůj počet, svoji velikost ani strukturu. Nemění se ani počet pórů.

Střední stadium slinování se vyznačuje dosažením asi 6 % lineárního smrštění slinovaného tělesa. Pórovitost materiálu v tomto stadiu se sníží z 20 % otevřené pórovitosti na cca 8 % (prakticky na 15 - 5 %). Během tohoto stadia slinování v materiálu nejen klesá počet pórů, ale vznikají i kanálkovité póry a začínají růst zrna. Plochy krčků se přibližně rovnají ploše průřezů zrn. Toto stadium končí počátkem tvorby uzavřených pórů.

Konečné stadium slinování je charakterizováno přerušováním kanálkovitých pórů a tvorbou kulovitých uzavřených pórů. Tyto póry se zmenšují a klesá jejich počet. Současně se zvyšuje rychlost růstu některých zrn. V dalším vývoji mohou nastat dva případy:

- 1) s růstem velikosti zrn, aniž by se změnilo rozdělení jejich velikosti, se zmenšují póry až do úplného vymizení. V tomto případě se dosáhne teoretické hustoty materiálu,
- 2) při dosažení 92 - 98 % teoretické hustoty ($0,92 - 0,98 d_{\text{max}}$) začnou růst v materiálu některá zrna tak rychle, že dojde k uzavření pórů, které jsou na jejich hranicích, do těchto zrn. V tomto případě se nedosáhne teoretické hustoty materiálu. [1,2,5]

Teoreticky by při slinování disperzních soustav měl vzniknout v konečném stadiu monokrystal. Ve skutečnosti se slinování zastaví na určitém rozdělení velikosti zrn. Pohyblivost hraničních ploch omezují jak nečistoty, tak póry v jejich blízkosti.

Při pórovitosti vyšší než 10 % je růst zrn řízen rychlostí zániku pórů. Při pórovitostech nižších však již póry nestačí bránit růstu zrn a jsou do nich dokonce pohlcovány. Dochází k tzv. abnormální rekrystalizaci, která je zejména typická pro slinování jednosložkových soustav. Výsledkem je, že v materiálu

vzniknou velká nepravidelně omezená zrna s uzavřenými póry. Abnormální růst krystalů je možné blokovat vnesením vhodných příměsí či přítomností pórů. Příměsi by měly komplikovat difúzi na hranici zrna a póry by měly být umístěny na hranicích zrn, neměly být příliš velké a nehomogenně rozložené.

Kromě dosažení požadovaného rozdělení velikosti zrn ve slinovaném materiálu je třeba často dosáhnout téměř teoretické hustoty materiálu. Je tedy třeba eliminovat zbylé póry. Především je třeba zabránit pohlcení pórů rostoucími zrny a docílit jejich eliminaci z hraničních ploch mezi zrny. Toho není možné vždy dosáhnout pouhým zvýšením teploty a doby slinování, protože zvyšování teploty také urychluje rekrystalizaci zrn. [1,2,5]

Energetická náročnost výpalu keramiky na požadovanou optimální teplotu nutí výrobce keramiky k jeho důsledné optimalizaci. Znamená to zajistit výpal na optimální teplotu bez porušení tvaru a celistvosti vypalovaného tělesa za co nejkratší dobu vypalovacího procesu. Optimální teplota výpalu představuje teplotu, při níž materiál dosáhne požadovaných vlastností při určité době výdrže na této teplotě. Často je třeba určit rozhodující, dominantní vlastnost materiálu, podle které se optimální teplota výpalu určuje.

Z hlediska stanovení optimální doby výpalu je účelné celý proces rozdělit pouze na čtyři základní úseky:

- 1) úsek ohřevu, kdy se vypalovaný materiál chová jako křehký,
- 2) úsek ohřevu, kdy materiál vykazuje nevratnou deformaci. V tomto úseku je třeba dosáhnout optimální teploty výpalu,
- 3) úsek chlazení, kdy se materiál ještě deformuje nevratně,
- 4) úsek chlazení, kdy materiál je opět křehký.

Při výpalu jsou kritickými takové úseky výpalu, kdy se materiál chová jako křehký. Při působení napětí se deformuje elasticky, vratně. Při překročení tzv. kritického napětí však dochází k náhlému křehkému lomu. Proto v těchto úsecích výpalu může dojít relativně snadno k porušení celistvosti vypalovaného tělesa. Toto nebezpečí roste se zvětšováním tloušťky stěny, velikosti a složitosti tvaru tělesa. Zejména pro tyto úseky výpalu je třeba stanovit limitní rychlost výpalu. To je rychlost výpalu, která představuje hranici, při jejímž překročení dojde k porušení celistvosti tělesa nebo ke snížení jeho užitných vlastností.

Moderní výpal keramiky vyžaduje také moderní pecní agregáty. Ty by se měly vyznačovat vysokou flexibilitou, možností přesného řízení teploty výpalu v

jednotlivých sekcích pece, možností použití řízené atmosféry s definovanou cirkulací a nízkými nároky na množství pálicích pomůcek. Tam, kde je nebezpečí úniku škodlivin ve spalínách, jsou zařazovány do komínových systémů vhodné katalytické spalovací (např. nespálené uhlovodíky) nebo zachycovací jednotky (např. jímání fluorovodíku).

Snížení energetické náročnosti výpalu lze dosáhnout: vhodnou volbou typu pece, snížením ztrát tepla stěnami pece, snížením hmotnosti nebo vyloučením pálicích pomůcek, využitím odpadního tepla z pece (tj. tepla chlazené vsázky a tepla odcházejících spalin), přesným vedení výpalu, snížením maximální teploty výpalu, zkrácením doby výpalu a snížením elektrického příkonu na pohon mechanismů pece. [5]

2.8 Vybrané laboratorní metody korundových hmot

2.8.1 Obsah oxidu hlinitého

Chemické složení korundové keramiky se zjišťuje na prášku získaném rozdrcením či rozemletím určitého množství keramiky. Zařízení sloužící k získání prášku nesmí kontaminovat vzorek. Velikost částic prášku nesmí být větší než 0,07 mm.

Obsah oxidu hlinitého a dalších příměsí se stanovuje buďto přímými metodami (emisní plasmovou spektroskopií, rentgenovou fluorescenční spektroskopií) nebo klasickou chemickou analýzou založenou na převedení korundového prášku do roztoku, který je následně analyzován standardními metodami, například titrací či atomovou absorpční spektroskopií. Použitá metoda musí zajistit určení obsahu Al_2O_3 ze vzorku s přesností minimálně 1,5%. Přesnost určení obsahu dalších příměsí musí být minimálně 10% (počítáno na obsah dané příměsi).

2.8.2 Tekutost korundového granulátu

K měření tekutosti korundových granulátů se používá výtokový (Fordův) pohárek. Je to jednoduchá kuželová nebo válcová nádoba přesně definovaných rozměrů s výtokovým otvorem v nejnižší části kelímku. Tekutost je měřena jako čas potřebný k výtoku určitého objemu granulátu z výtokového pohárku. Stanovením výtokové doby z výtokového pohárku se zabývá norma ČSN EN ISO 2431.



Obr. 2.6 Fordův pohárek

2.8.3 Sypná hustota korundového prášku

Sypná hustota je definována jako množství granulátu, které volně „nateče“ z Fordova pohárku do ocelového válce přesně definovaných rozměrů o objemu 100ml. Je to důležitý parametr vyjadřující množství granulátu, který se volně nasype do lisovací formy.



Obr.2.7 Fordův kelímek a odměrný válec na měření sypné hmotnosti

2.8.4 Vlhkost granulátu

Efektivním způsobem stanovení vlhkosti keramických směsí je měření halogenovým analyzátozem vlhkosti. Halogenové přístroje pracují na termogravimetrickém principu, kdy na začátku měření stanoví analyzátor vlhkosti hmotnost vzorku, který je následně vestavěným halogenovým topným modulem rychle zahříván a následně dochází k odpařování vlhkosti z daného vzorku. Přístroj během sušení stanovuje neustále hmotnost vzorku a po ukončení sušení se zobrazí výsledná hodnota obsahu vlhkosti. Obecně přístroje na měření vlhkosti určují vlhkost ze vztahu (2.8.4)

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (2.8.4)$$

kde: m_1 ... hmotnost vzorku před sušením

m_2 ... hmotnost vzorku po sušení

2.8.5 Hustota

Měření hustoty keramických výlisků a výpalků vychází z Archimedova zákona. Archimedův zákon říká, že těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, rovnající se tíze kapaliny stejného objemu jako je ponořená část tělesa. Keramický vzorek zvážíme na vzduchu a poté v kapalině, jejíž hustotu známe. Z hmotnosti vzorku na vzduchu, hmotnosti vzorku v kapalině a z hustoty kapaliny lze hustotu snadno dopočítat. Jednoduchým odvozením z Archimedova zákona:

$$\rho_{\text{vzorku}} = \frac{m_{\text{vz}}}{m_{\text{vz}} - m_{\text{kap}}} \cdot \rho_{\text{kap}} \quad (2.8.5)$$

kde	ρ_{vzorku}	...	hustota vzorku
	ρ_{kap}	...	hustota kapaliny
	m_{vz}	...	hmotnost vzorku na vzduchu
	m_{kap}	...	hmotnost vzorku v kapalině

Hustota kapalin závisí na teplotě, proto je třeba pečlivě teplotu měření sledovat a kontrolovat. Kromě teploty a povrchového napětí kapaliny měření hustoty nepříznivě ovlivňuje ponořování vlastního měřicího zařízení do

kapaliny, vzduchové bubliny, porozita měřeného vzorku a vibrace okolního prostředí.

2.8.5.1 Hustota výlisku za syrova (zelená hustota)

Objemová hustota za syrova je velmi důležitým kritériem u lisovaných výrobků. Pro následné technologické operace je nutné, aby výrobky měly stejnou objemovou hmotnost ve všech jeho částech. Z důvodů nasákavosti se pro měření syrových výrobků nehodí měření ve vodě. Dříve velmi používanou metodou je metoda vážení ve rtuti. Z ekologických důvodů je tato metoda v současnosti na ústupu, nebudeme se jí proto nadále zabývat. Do popředí se dostává metoda vážení syrových výrobků v ricinovém oleji, který je zdravotně nezávadný. Měrná hmotnost se vypočte ze vztahu (2.8.5).

2.8.5.2 Hustota výpalku

Objemová hustota výpalku se zjišťuje vážením v destilované vodě a výpočtem dle (2.8.5).

2.8.6 Tvrdost

Měření se provádí metodou podle normy ČSN EN 23878 Tvrdokovy – Zkouška tvrdosti podle Vickerse. Standardně se pro korundové hmoty s vysokým obsahem korundu používá zatížení HV1.

2.8.7 Přítomnost povrchových trhlin a pórů

Metoda je založena na zviditelnění trhlin keramických výrobků např. pomocí penetrační luminiscenční kapaliny a jejím zviditelnění v UV světle.

2.8.8 Velikost zrna a přítomné póry

Posuzuje se podle lomové plochy – rastrovací elektronový mikroskop 100x a 1000x.

3 Praktická část

3.1 Použité přístroje

3.1.1 Analyzátor vlhkosti HB-43

Halogenové analyzátory obsahu vlhkosti METTLER TOLEDO se vyznačují rychlostí, rovnoměrným ohřevem vzorku a vysokou přesností vážení. Jedná se o přesné měřicí zařízení ke stanovení vlhkosti v malých částech materiálů za použití halogenové lampy pro vysušení vzorku. Analyzátor vlhkosti se skládá z přesné váhy a sušící komory, ve které jsou umístěny halogenové lampy. Kruhová halogenová lampa se po zapnutí ihned nažhaví a zajišťuje tak rychlé a reprodukovatelné výsledky analýzy. Principem měření je porovnání hmotnosti vzorku před a po sušení. [12]



Obr. 3.1 Analyzátor vlhkosti HB-43[12]

Tab.3.1 Technické parametry analyzátoru vlhkosti HB-43 [12]

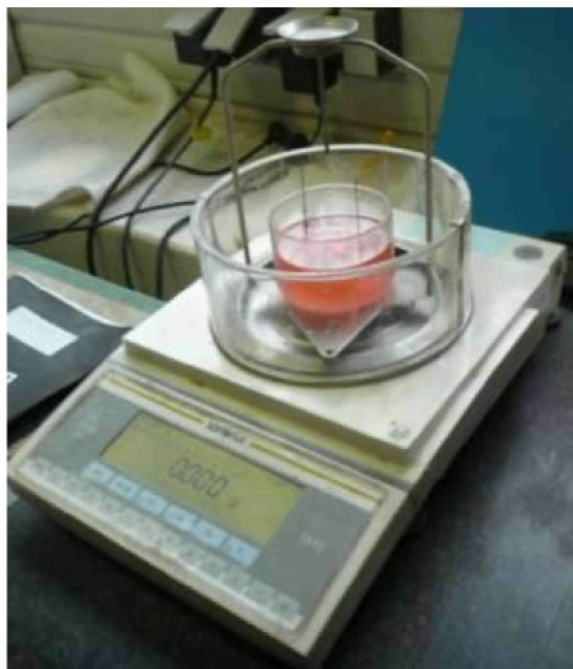
Mettler Toledo Halogen Moisture Analyzer HB43	
Maximální kapacita	41 g
Minimální kapacita	0.5 g
Rozlišení vlhkosti	0.01%
Rozlišení hmotnosti	0.001 g
Opakovatelnost (2 g vzorek)	0.15%
Opakovatelnost (10 g vzorek)	0.03%
Rozhraní	RS232C
Displej	podsvícený LCD
Tiskárna	externí
Rozsah teploty	50°C - 200°C (122°F - 392°F)
Nastavování teploty	po 5°C
Sušící programy	2 (standardní a rychlé sušení)
Rozměry (šxhvxv)	230 mm x 360 mm x 150 mm
Hmotnost	4.3 kg

3.1.2 Analytické váhy Sartorius LP620P pro měření zelené hustoty

Analytické váhy Sartorius LP620P s přídatným zařízením na měření zelené hustoty. Vážení se provádí na vzduchu a v ricinovém oleji. Z hmotností na vzduchu a v oleji se dle vztahu (2.6.5) dopočítá zelená hustota výlisku. Hustota použitého ricinového oleje je $0,96\text{g/cm}^3$.

Tab.3.2 Technické parametry vah LP620P [13]

Sartorius Milligram balances LP620P	
Maximální kapacita	620 g
Opakovatelnost měření	$\leq 0.005\text{ g}$
Rozlišení	0.005 g
Doba odezvy	$\leq 1,5\text{ s}$



Obr. 3.2 Analytické váhy Sartorius LP620P

3.1.3 Analytické váhy Mettler Toledo AG-204 pro měření hustoty výpalku

Analytické váhy AG-204 s přídatným zařízením na měření hustoty pevných vzorků. Váhy jsou určeny pro jednoduché laboratorní aplikace. Zabudovaný software vypočítává hustotu pevného vzorku a hustotu vody, dle tabulky hodnot hustoty vody pro rozsah teplot 10 až 30°C .



Obr.3.3 a Obr 3.4 - AG-204 pro měření hustoty výpalku

Tab.3.3 Technické parametry vah AG204 [12]

Mettler Toledo Analytical Balance AG204	
Maximální kapacita	210 g
Minimální kapacita	10 mg
Přesnost měření	1 mg
Rozlišení	0,1 mg

3.1.4 Analytické váhy Sartorius LP5200P

Tab.3.4 Technické parametry vah LP5200P[13]

Sartorius Milligram balances LP5200P	
Maximální kapacita	1200 g
Přesnost měření	$\leq 0,01$ g
Rozlišení	0,01 g
Doba odezvy	$\leq 1,5$ s

3.1.5 Multisenzorový měřicí systém Werth Video-Check IP

Ústřední rysem přístrojové řady Werth Video-Check je volně stavitelná pracovní vzdálenost zoom optiky v rozsahu od 20mm – 220mm. Této patentované

technologie se z úspěchem využívá u všech členitých součástí jenž vyžadují bezkontaktní metodu měření.

Základním senzorem této řady laboratorních, vysoce přesných přístrojů je optický senzor zpracování obrazu, který umožňuje scanování kontur a jejich následné vyhodnocení ve WinWerth. K tomuto optickému senzoru je možno připojit širokou škálu dalších senzorů (obecně všechny dostupné senzory firmy Werth).

Masivní granitová konstrukce přístroje zaručuje nejvyšší možnou přesnost dle ISO 10360 a VDI/VDE 2617. [14]



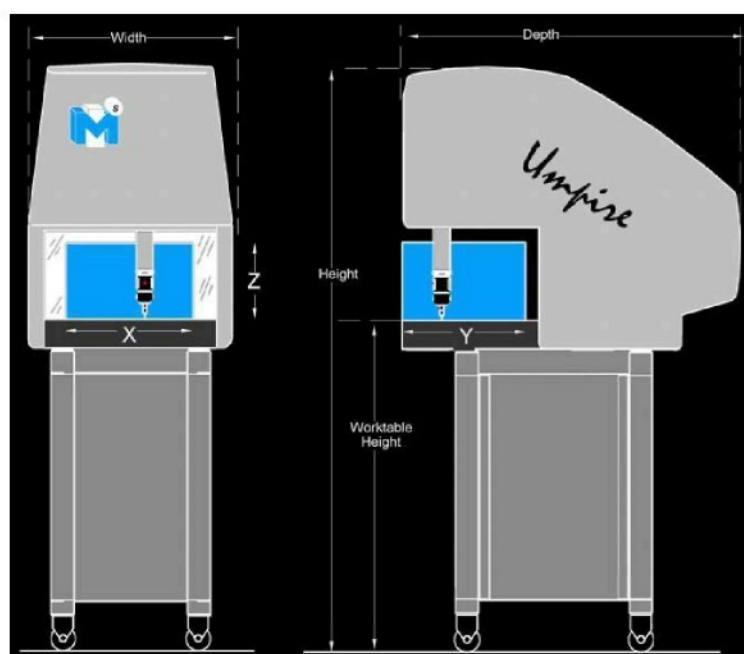
Obr.3.5 Werth Video-Check IP [14]

Tab.3.5 Technické parametry systému Video Check [14]

Model	Video Check IP 250/400
Měřicí rozsah	X=250/400mm Y=125/200mm Z=200mm
Nejistota měření	E1=1,4+L/300 μm E2=1,8+L/250 μm E3=2,5+L/150 μm
Rychlost	200 mm/sec
Akcelerace	300 mm/sec ²

3.1.6 Souřadnicový měřicí systém IMS-Umpire

Souřadnicové měřicí stroje IMS jsou standardně vybavovány snímacími systémy firmy Renishaw. Empire je nejmenší souřadnicový měřicí systém SMS. Jedná se o mnohostranné dílenské měřidlo. Jeho charakteristickým rysem je mnohem snazší nastavitelnost než je tomu u obvyklých portálových SMS. UMPIRE přichází na trh se softwarem s plně integrovanými CAD funkcemi a stává se revolucí při aplikaci technologie SMS. UMPIRE může být programován mimo rušné dílenské prostředí. [10]



Obr.3.6. IMS Umpire [10]

Tab.3.6 Technické parametry systému Umpire [10]

Umpire 350		
Zdvih	X	350 mm
	Y	350 mm
	Z	300 mm
Rozměry stroje	Výška	1978 mm
	Šířka	710 mm
	Hloubka	1186 mm
	Pracovní výška	1084 mm
Max. zatížení stolu		200 kg
Hmotnost stroje		220 kg
Příčná rychlost v ose		15 m/min
Zrychlení v ose		10 m/s ²
Rozlišení		0,001 mm
Přesnost	ISO 10360-2	3.3+L/250
Pracovní plocha		Žula se zapuštěnými závitmi M6
Přípustné prostředí		10 až 40°C, vlhkost 40 až 80%

3.1.7 Měřicí mikroskop Vision Engineering Kestrel Mono

2-osý bezkontaktní měřicí systém s patentovanou optickou projekční technologií.

Tab.3.7 Technické parametry mikroskopu Kestrel Mono [14]

Vision Engineering Kestrel Mono	
rozměry stolu	257 x 214 mm
nosnost stolu	10 kg
měřicí rozsah	150 x 100 mm
zvětšení	10x - 50x
měřicí osy	X, Y
přesnost měření	0,03 mm
vyhodnocovací jednotka	Quadra Chek 200



Obr.3.7 Kestrel Mono [14]

3.1.8 Úchylkoměr Mitutoyo ID-U1025 a Mitutoyo ID-F125 [9]

Tab.3.8 Technické parametry úchylkoměru ID-U a ID-F

	Rozsah měření [mm]	Mezní chyba [mm]	Měřicí síla [N]	Hmotnost [g]
ID-U1025	0 - 25	0,02	≤1,8	140
ID-F125	0 - 25	0,003	≤1,8	240

3.1.9 Posuvné měřidlo MITUTOYO 500-181U [9]

Rozsah měření: 0 - 150 mm / 0,01 mm
Mezní chyba: 0,03 mm

3.1.10 Fordův (výtokový) kelímek s odměrným válcem, digitální stopky

Fordův výtokový kelímek ke stanovení tekutosti a odměrný válec ke stanovení sypné hmotnosti o objemu 50ml.

3.1.13 Tvrdoměr Zwick 3212

Tvrdoměr Zwick s Vickersovým vnikacím tělískem a zatížením HV1

3.2 Zkoušky korundového granulátu.

V rámci této diplomové práce byla zjišťována tekutost, sypaná hustota, vlhkost a obsah Al_2O_3 v použitých korundových granulátech.

Měření tekutosti a sypané hustoty probíhá současně pomocí Fordova výtokového kelímku, odměrného válce (50mm) a stopek a vah Sartorius LP5200P. Před měřením je třeba vynulovat váhy s umístěným očištěným odměrným válcem (50ml). Poté se odměrný válec umístí pod Fordův výtokový kelímek (výtokový otvor musí být zaslepen prstem) do kterého je nasypané dostatečné množství granulátu (aby byl celý objem kelímku zaplněn). Přebytný granulát je setřen rovným pravítkem tak, aby byl granulát zarovnan s okrajem kelímku. Pomocí stopek měříme dobu vyprázdnění výtokového kelímku. Odměřený čas je viskozita **tekutost** granulátu. Současně dojde k naplnění odměrného válce. Z odměrného válce setřeme v horní části přebytek granulátu tak, aby byl odměrný válec zcela plný. Odměrný válec očištíme štětcem od přebytečného granulátu a zvážíme. Váhy nám ukazují hmotnost granulátu v 50ml [g/50ml]. Tuto hodnotu převedeme na [g/cm³], vynásobením hodnotou 0,02 – tato hodnota je **sypaná hustota**. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 3.2.

Vlhkost byla měřena halogenovým analyzátozem vlhkosti HB-43. Při měření bylo vždy umístěno $5 \pm 0,05$ g (dle podnikových standardů) korundového granulátu na sušící misku. Při analýze musí být granulát na sušící misce rovnoměrně rozprostřen, aby docházelo k rovnoměrnému ohřevu. Zapnutím přístroje se spustí sušící program. Sušení probíhalo při teplotě 100°C po dobu 5 minut. Vlhkost vzorku si přístroj počítá z hmotnosti před a po sušením. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce Tab.3.9. Při měření bylo zjištěno, že někteří pracovníci nedodržují technologický postup měření vlhkosti. Dochází zejména k tomu, že ač má v sobě analyzátor přesné váhy, někteří pracovníci navažují granulát určený k analýze na jiných vahách (Sartorius LP5200P), což může způsobovat větší chybu měření. V horším případě dochází

k nulování vah analyzátoru bez vložené sušící misky – tedy analyzátor vlhkost počítá z hmotnosti granulát + sušící miska, čímž dochází k naměření hodnot vlhkosti neodpovídající skutečnosti. Proto nejsou rozdíly ve vlhkosti jednotlivých šarží tak výrazné, tak se předpokládalo.

Obsah Al_2O_3 a příměsí v granulátu si firma nechává provádět u dodavatelské firmy metodou práškové rentgenové difrakce (XRD). K dispozici byla poskytnuta analýza pouze na granulát T195N. Bylo zjištěno, že obsah Al_2O_3 je u tohoto typu 94,3%. Protokol chemické analýzy je v příloze 1. Granulát se z důvodů zvýšení trvanlivosti lisovacího nástroje a lepší prolisovatelnosti dále povlakuje (směs minerálního oleje a dalších přísad).

Tab.3.9 Vlastnosti použitého granulátu

Typ granulátu	Šarže	Tekutost [s]	Sypná hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	Vlhkost [%]
T195N - 95%	8321	56	1,18	0,36
T195N - 95%	9016	57	1,18	0,38
T195N - 95%	9020	58	1,18	0,38
T195N - 95%	9002	58	1,19	0,34
T195N - 95%	9004	54	1,19	0,36
T195N - 95%	9019	56	1,18	0,4
T195N - 95%	8433	53	1,18	0,36
T195N - 95%	9032	56	1,18	0,36
NM9922F - 99%	8427	37	1,14	0,56

3.3 Analýza systému měření (MSA) zelené hustoty [7&8]

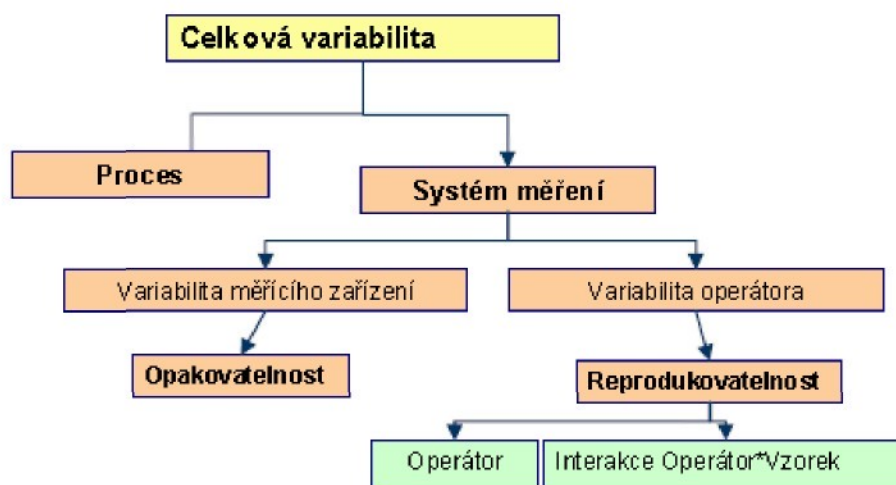
V technické praxi často narážíme na otázku zda lze naměřeným hodnotám věřit, zda nám popisují skutečný proces nebo zda dochází k významnému zkreslení hodnot systémem měření. [7]

Požadavkem firmy SGAC v rámci této diplomové práce bylo analyzovat systém měření zelené hustoty na analytických vahách Sartorius LP620P metodou R&R. Metoda R&R (nebo též v češtině R&O) je označením pro metodu průměrů a rozpětí (Gauge Repeatability and Reproducibility), která bývá také označována zkratkou GR&R nebo GRR. Tato metoda je druhou nejpoužívanější metodou používanou pro analýzu systému měření. Analýza systému měření je požadavkem normy ISO/TS 16949.

Při analýze měřicího systému zjistíme výpočtem empirické koeficienty jako je opakovatelnost, reprodukovatelnost a celková variabilita. **Opakovatelnost** (Equipment Variation - EV) se rozumí variabilita výsledků měření vyprodukovaná jedním měřicím přístrojem, použitým opakovaně jedním hodnotitelem měřicím jednu identickou charakteristiku na stejném výrobku. **Reprodukovatelnost** (Appraiser Variation - AV) se rozumí variabilita v průměrech měření provedených různými hodnotiteli za pomoci stejného měřicího přístroje pro měření stejné charakteristiky na stejném výrobku. [7]

V R&R analýze jsou zásadní následující podmínky: Měření musí být statisticky stabilní - to znamená, že rozptyl v měřicím systému má jen zcela obecné příčiny a žádnou příčinu speciální. Variabilita měřicího systému musí být malá ve srovnání s výrobním procesem. Kolísání měření musí být malé vzhledem k výrobnímu procesu. [8]

Pokud je chyba měřidla menší než 20% tolerance ($\%R\&R < 20\%$), systém měření je přípustný vzhledem k procesu, resp. tolerančnímu rozpětí. Pokud je $20\% < \%R\&R < 30\%$ systém měření je podmíněně přípustný vzhledem k procesu, resp. tolerančnímu rozpětí, závisí na poměru ceny nápravy a významnosti sledované veličiny. $\%R\&R > 30\%$ systém měření není přípustný vzhledem k procesu, resp. tolerančnímu rozpětí. [7]



Obr. 3.8 Rozdělení celkové variability zaznamenaných dat.[7]

Na tabletovacím lisu LBM bylo nalisováno 36 zkušebních tablet (vzorků) válcového tvaru. První čtyři nalisované tablety byly z analýzy vyloučeny. U dalších 32 tablet byly změřeny rozměry (průměr, výška – posuvné měřidlo

Mitutoyo 500-181U) a hmotnost (váhy Sartorius LP5200P). Ze teoretického objemu a hmotnosti byla stanovena zelená hustota tablet dle vzorce (3.3.1). Takto vypočítaná hustota však neodpovídá skutečné zelené hustotě, protože po vylišování korundových výrobků dochází k tzv. „nafouknutí“ výlisku – podstavy vylišované tablety získají „čočkovitý tvar“, čímž dochází ke zkreslení výsledků. Navíc je zřejmé, že takto nelze stanovit zelenou hustotu složitějších referencí.

Dále byla změřena na váhách Sartorius LP620P hmotnost tablety na vzduchu a v ricinovém oleji. Tabletám byly před měřením lehce sraženy hrany z důvodů vyšší nasákavosti ostrých hran olejem. Z počátku měření hmotnosti v oleji dochází k zvyšování rychlosti nárustu hmotnosti v důsledku mizení vzduchových bublinek z povrchu vzorku až do zastavení nárustu hmotnosti. Po krátké prodlevě následuje další nárůst hmotnosti zvyšováním nasákavosti vzorku olejem. Správná hodnota hmotnosti vzorku v oleji je ustálená hodnota při 2. prodlevě. Zelená hustota byla pro jednotlivé tablety vypočtena dle (2.6.5). Hustota ricinového oleje je $0,96 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Z dalších výpočtů byla vyražena minimální a maximální hodnota zelené hustoty. Z hodnot zelené hustoty byl sestaven histogram. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v příloze 2.

Z hodnot skutečné zelené hustoty byla provedena R&R analýza spolehlivosti měření. Zkoumané vzorky byly rozděleny do třech skupin po 10 kusech. Proti obecným zásadám měření nebylo provedeno třemi operátory, ale pouze jedním (úkol zadán jedné osobě). Opakovatelnost je nulová, neboť při každém měření dochází k znehodnocení vzorků olejem. Chyba měřidla v rámci jednoho operátora při měření zelené hustoty v oleji je pro toleranci $0,04 \text{ g}/\text{cm}^3$ vypočtena jako 23,85% tolerance, systém měření tedy **může být přijatelný**. Výpočty jsou uvedeny v příloze 2. Výpočty vycházejí ze standardní odchylky násobené 5,15. Hodnota 5,15 je hodnota standardních odchylek potřebných k posouzení 99% měření.

Pro porovnání byla provedena R&R analýza i pro zelenou hustotu vypočítanou z rozměrů i hmotnosti. Chyba měřidla v rámci jednoho operátora při měření teoretické zelené hustoty je pro toleranci $0,04 \text{ g}/\text{cm}^3$ vypočtena jako 15,53% tolerance, systém měření tedy je **přijatelný**. Výpočty jsou uvedeny v příloze 2.

Z tabulky 3.9.a je zřejmé, že průměrná zelená hustota je u tablet měřených v ricinovém oleji je větší o $0,072 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (tedy o 2,78 %) než zelená hustota vypočtená z rozměrů a hmotnosti. Při nastavování lisu se může zelená

hustota lišit maximálně o $0,03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ k požadované hodnotě. Proto je tento rozdíl zelené hustoty mezi dvěma metodami měření významný. Skutečné zelené hustotě více odpovídají hodnoty naměřené v ricinovém oleji. Při měření zelené hustoty z rozměrů a hmotnosti dochází v důsledku „nafouknutí“ tablety ke zkreslení výsledků (objem tablety vypočítaný z výšky a průměru ve středu je větší než skutečný objem).

Tab. 4.1 Porovnání metod měření zelené hustoty

	V ricinovém oleji	Výpočtem z rozměrů a hmotnosti
Průměrná GD [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	2,590	2,518
Sm. odchylka GD [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	0,002	0,002
Tolerance GD [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	0,040	0,040
Chyba měřidla [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	0,010	0,006
Chyba měřidla R&R%	23,85%	15,53%
Systém měření:	může být přijatelný	je přijatelný

$$GD = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot D^2 \cdot v} \quad (3.3.1.)$$

kde:	GD	...	zelená hustota	[$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
	m	...	hmotnost tablety	[g]
	V	...	objem tablety	[mm^3]
	D	...	průměr tablety	[mm]
	v	...	výška tablety	[mm]

3.4 Charakteristika ideální zelené hustoty výlisku před výpalem a možné odchylky v různě prolisovaných místech výlisku

Požadavkem bylo provést měření na složitějším výrobku u kterého dochází při lisování k rozdílnému napěchování granulátu v různých místech. Byla zvolena vodovodní destička **RO2268** (zjednodušený výkres konečného výrobku viz. příloha 3), granulát je z 95% korundu (T195, šarže 8321, tekutost 56s, sypná hustota $1,18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, vlhkost 0,36%)

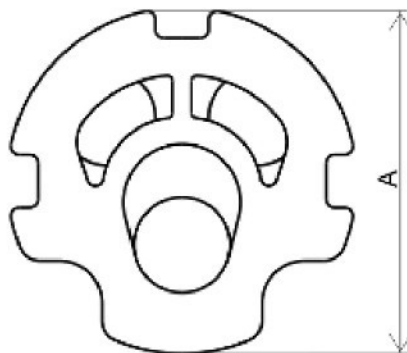
3.4.1 Nalisování vzorků

Všechny vzorky byly nalisovány v automatickém režimu na mechanickém lisu Dorst TPA-25, frekvence lisování 9ks/min. Postupně byla nastavována ovládacím kolem lisu výška lisovaných tablet (vždy o 0,5 otáčky). Pro každé z osmi nastavení lisovací síly bylo nalisováno vždy 10 kusů. Na nastavení č.1 bylo nalisováno 200ks (pro pozdější potřeby měření).

Tab.3.10 Přehled nalisovaných vzorků RO2268

č. nastavení lisu:	Pootočení kola na lisu (otáčky)	Výška vzorku ve středu [mm]	Hmotnost vzorku [g]
1	0	6,23	10,94
2	+0,5	6,26	10,92
3	+1	6,27	10,92
4	+1,5	6,29	10,95
5	+2	6,30	10,93
6	+2,5	6,32	10,93
7	+3,0	6,33	10,91
8	+3,5	6,34	10,92

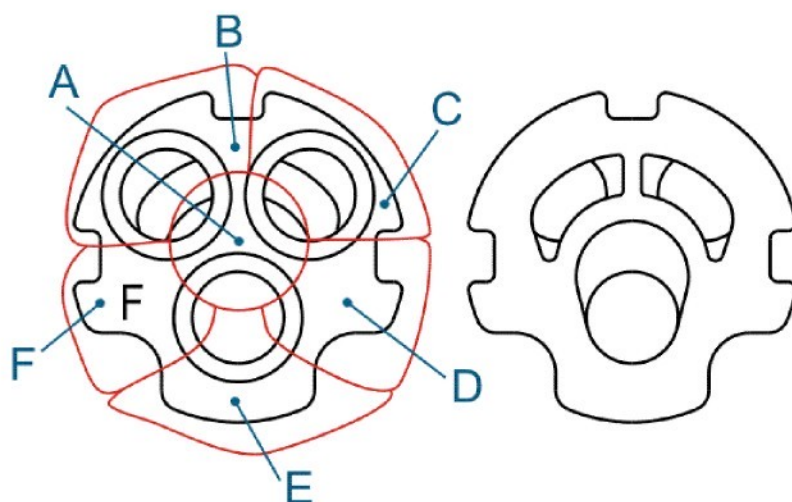
Všechny vzorky byly lisovány v automatickém režimu, měli by tedy být homogenní (vzorky by se měli lišit jen výškou a tedy i zelenou hustotou). Pro ověření tohoto předpokladu byl sestaven pro všechny vzorky histogram hmotnosti a rozměru A (dle schématu Obr.3.9). Histogramy jsou uvedeny v příloze 4. V histogramu hmotnosti lze vyčíst, že se jedná přibližně o normální rozdělení, v histogramu rozměru A je patrná prakticky úplná shoda, což je dáno i rozlišitelností posuvného měřítka.



Obr.3.9 Schéma RO2268

3.4.2 Zelená hustota a odchylky v různě prolisovaných místech výlisku

Měření zelené hustoty se provádělo na analytických vahách Sartorius LP620P. Ke zjištění zelené hustoty v různých místech výlisku bylo nutné destičku RO2268 rozdělit (rozlomit) vylamovacím nožem na 6 částí (A, B, C, D, E, D). Schéma rozdělení destičky a označení jednotlivých částí je na Obr. 3.10.



Obr. 3.10 Schéma RO2268 s označením jednotlivých částí



Obr.3.11 Rozdělení RO2268

Bylo nutné začistit všechny lomové plochy vzniklé rozdělením destičky, protože tyto pórovité povrchy mají zvýšenou nasákavost olejem než povrchy hladké. Z důvodů vyšší nasákavosti bylo nutné také srazit nožem všechny ostré hrany.

Postup vlastního měření zelené hustoty je již uveden v kapitole 3.3. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 3.11. Je zřejmé, že se zvyšující se lisovací silou roste i zelená hustota (GD). K největšímu napěchování dochází v části B a C.

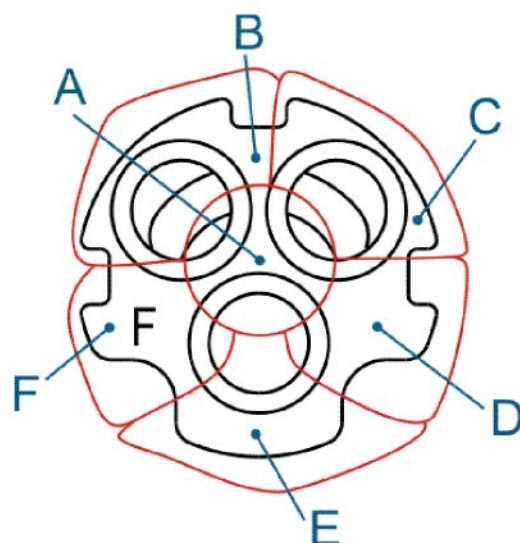
Tab.3.11 Tabulka GD v různých místech destičky RO2268

Nastavení č.1			
Část	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
A	1,042	0,648	2,539
B	1,999	1,278	2,662
C	1,891	1,207	2,654
D	1,926	1,186	2,499
E	1,909	1,172	2,487
F	1,831	1,136	2,529
Vážený průměr:			2,564

Nastavení č.2			
Část	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
A	1,042	0,641	2,495
B	2,053	1,309	2,649
C	1,87	1,193	2,652
D	1,89	1,164	2,499
E	1,913	1,178	2,499
F	1,77	1,095	2,517
Vážený průměr:			2,557

Nastavení č.3			
Část	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
A	1,008	0,618	2,481
B	2,007	1,279	2,647
C	1,87	1,192	2,648
D	1,931	1,176	2,455
E	1,889	1,161	2,491
F	1,805	1,111	2,497
Vážený průměr:			2,542

Nastavení č.4			
Část	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
A	1,068	0,653	2,471
B	1,997	1,268	2,630
C	1,882	1,196	2,634
D	1,833	1,119	2,465
E	1,891	1,157	2,473
F	1,809	1,117	2,510
Vážený průměr:			2,536

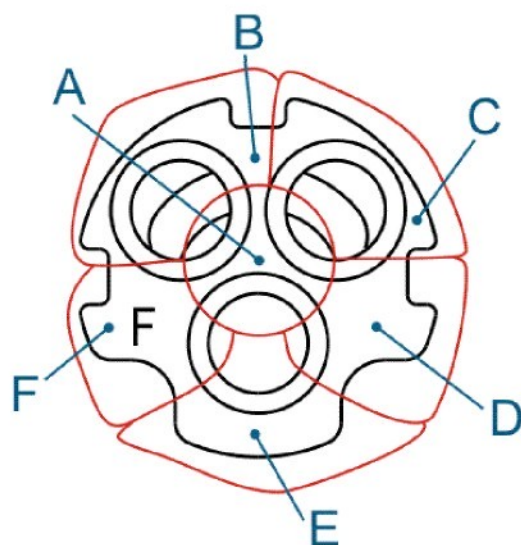


Nastavení č.5			
Část	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
A	0,954	0,583	2,469
B	2,047	1,298	2,624
C	1,887	1,197	2,625
D	1,917	1,177	2,487
E	1,872	1,143	2,465
F	1,796	1,103	2,488
Vážený průměr:			2,533

Nastavení č.6			
Část	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
A	1,054	0,643	2,462
B	1,952	1,237	2,621
C	1,896	1,201	2,619
D	1,897	1,161	2,474
E	1,862	1,136	2,462
F	1,781	1,093	2,485
Vážený průměr:			2,526

Nastavení č.7			
Část	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
A	1,114	0,682	2,476
B	2,13	1,345	2,605
C	1,844	1,163	2,599
D	1,755	1,065	2,442
E	1,81	1,106	2,468
F	1,696	1,035	2,463
Vážený průměr:			2,515

Nastavení č.8			
Část	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
A	0,852	0,52	2,464
B	2,04	1,283	2,587
C	1,845	1,163	2,597
D	1,816	1,109	2,466
E	1,868	1,138	2,457
F	1,724	1,05	2,456
Vážený průměr:			2,510

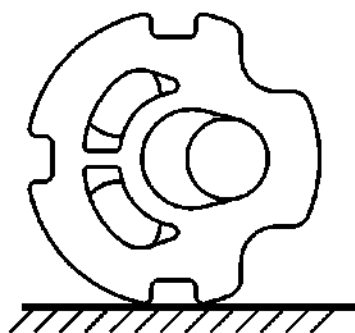


3.4.3 Výpal

Vzorky byly vypáleny v elektrické kontinuální peci. Parametry výpalu jsou v tabulce. Podle kapitoly 3.5. byla jako nejvhodnější poloha výpalu byla volena poloha B znázorněná na Obr.3.12. Teplota výpalu podle žároměrky byla 1578°C

Tab.3.12 Parametry výpalu při různé zelené hustotě

Zóna:	Zóna 1		Zóna 2		Zóna 3		Zóna 4	
Umístění čidla:	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole
Teplota	847°C	853°C	1529°C	1527°C	1570°C	1570°C	1571°C	1569°C
Rychlost průchodu pecí: 55 cm/hod								



Obr.3.12 Poloha výpalu RO2268

3.4.4 Deformace

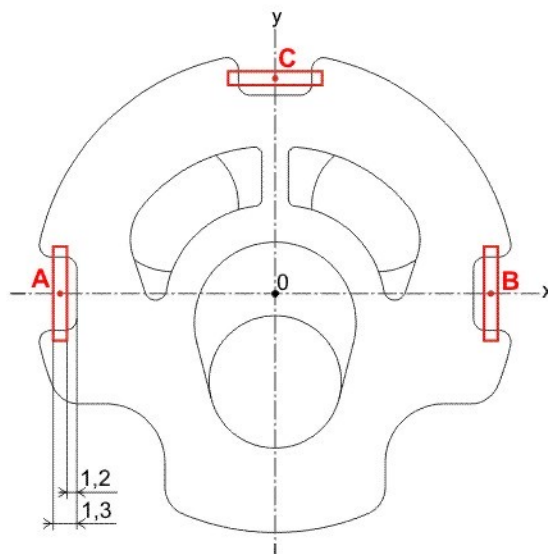
Původním záměrem bylo vytvoření deformační sítě na vylisovaném vzorku a jejím vyhodnocení na optickém měřicím mikroskopu. Uvažovalo se o nanesení deformační sítě razítkem, nástřikem (ARAMIS) nebo mechanickým vyrytím. Tyto metody byly ale brzy zavrhnuty. Všechny běžné barvy při výpalu 1500°C vyhoří. Existují barvy na keramiku, které se při výpalu mění např. na různé barevné kysličníky, zde ale dochází při výpalu ke změnám chemické a fyzikální podstaty barvy, k difúzním jevům (rozpíjení barvy). Mechanické narýpání deformační sítě také nepřichází v úvahu, neboť by se v případě keramiky jednalo o velký zásah do struktury, nehledě na obtíže při vlastní realizaci sítě. Vydrápání sítě (orýsovací přístroj + orýsovací deska) bylo neúspěšně zkoušeno

– docházelo k vydrolování materiálu, časově VELMI náročné. Dále se uvažovalo o těchto metodách měření:

- souřadnicový měřicí systém s dotykovou safírovou kuličkou. Problémem se ukázala nepřístupnost mělkých vybrání vodovodní destičky pro safírovou měřicí kuličku. Dostupná kulička měla průměr 1 mm. Použití menšího průměru kuličky nemá smysl (z hlediska přesnosti měření).
- optický měřicí mikroskop. Uvažovalo se o měření určitých významných bodů na destičce. Z důvodů „rozteklých“ tvarů destičky se měření na optickém měřicím systému v kartézských souřadnicích nejeví jako vhodné.
- odměřování rozměrů z makrofotografie pomocí grafického nebo CAD systému. Problémem bylo získat fotografii s dostatečnou hloubkou ostrosti, nemožnost zjistit chybu při softwarovém zpracování. Tento způsob měření byl časově velmi náročný a s nejistým výsledkem.
- Multisenzorový měřicí systém Werth Video Check. Bylo rozhodnuto o měření na to tomto měřicím systému, neboť umožňuje měření v polárních souřadnicích, které se pro zadaný problém zdají jako nejvhodnější, měření lze zautomatizovat napsáním programu, měřicí systém dokáže naměřená data sám zpracovat (odfiltrování nežádoucí šumu, ...).

K identifikaci hran optickým senzorem zpracování dat se využívá kontrast mezi neprůsvitným a průsvitnými plochami vzorku. K identifikaci hran mezi dvěma neprůsvitnými plochami bylo potřeba zvýšit kontrast černou barvou (lihová barva na výpalky a tuširovací barva na nevýpalky).

Určení počátku souřadného systému. Měřené destičky po výpalu mají obecné tvary. Vlivem výpalu dochází k „roztečení“ destičky – všechny kruhové plochy se mění na elipsy, rovné úseky ztrácí své původní geometrické vazby (rovnoběžnost, kolmost, ...). Při definování souřadného systému se vycházelo ze tří zubů na obvodě destičky. Postup je shodný s Obr.13. Nejdříve měřicí software vyhodnotil hrany uvnitř levého zubu v pomyslném obdélníku (vzdálenost obdélníku 1,2 a 1,3 mm od dna zubu). Z těchto hran byl určen středový bod A. Stejně byl získán středový bod B uvnitř pravého zubu. Spojením středového bodu A a B byla získána osa x. Dále byl stejným způsobem určen středový bod C uvnitř horního zubu. Spuštěním kolmice z bodu C k ose x byla definována osa y. Tím došlo k softwarovému vyrovnaní destičky pro další měření.



Obr.3.13 Definování souřadného systému RO2268

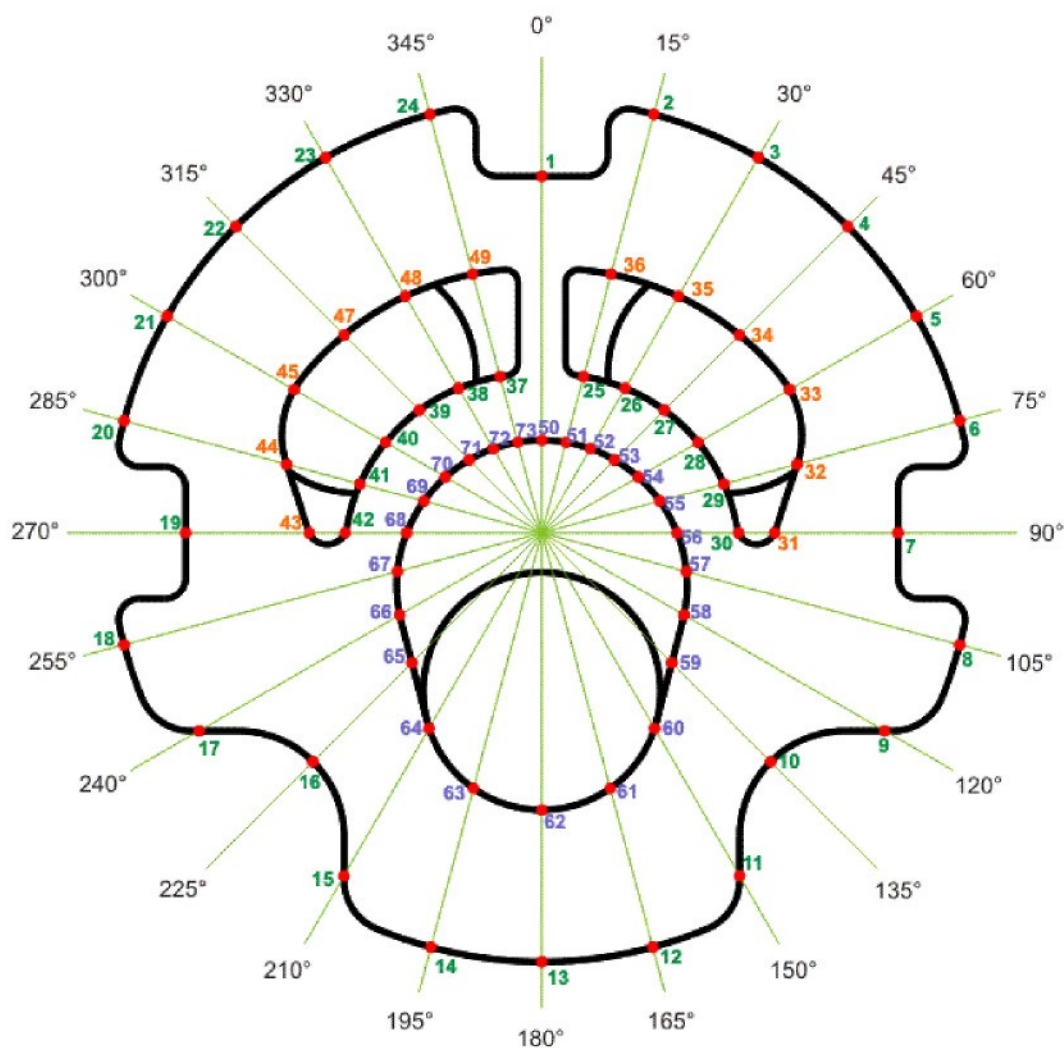
Změřeno bylo pět nevypálených destiček nalisovaných při nastavení lisu č.1 a vždy pět destiček od každého nastavení lisu.

Měření se provádělo v polárních souřadnicích, neboť se jedná o kruhovou destičku s předpokládaným smrštěním do středu součásti. Byly měřeny souřadnice průniku všech významných hran s průvodiči po 15° (24 průvodičů). Všechny měřené body a jejich indexace je na Obr.31.4. Lze tedy jednoznačně určit, k jaké změně rozměrů dochází při výpalu v určitých směrech. Smrštění jednotlivých úseků bylo počítáno dle vzorce 3.4.4. Dále byla změřena kruhovitost a poloha středů kružnice D_1 a D_2 (Obr.3.15).

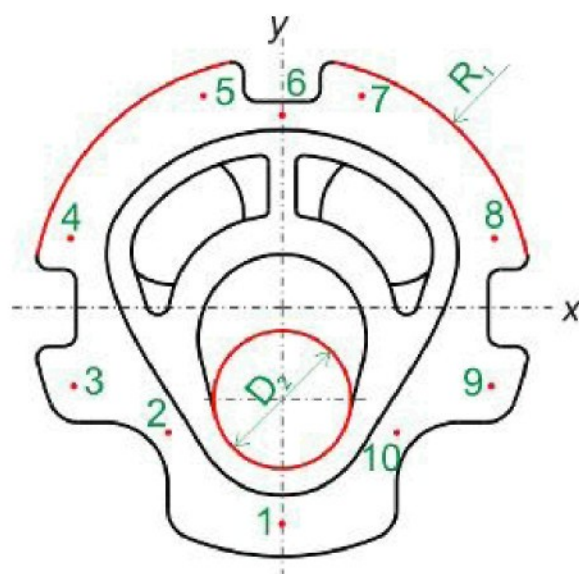
Dodatečně byl měřen největší rozměr díry D_2 v ose x a v ose y na optickém měřicím mikroskopu Kestrel Mono.

Pro posouzení rovnoběžnosti byly měřeny úchyly výšky v bodech 1 až 10 (v souladu s Obr.3.15). Úchylkoměr Mitutoyo ID-F125 byl vynulován v bodě 1 a byly měřeny úchyly od této polohy v bodech 2 až 10)

Všechny naměřené hodnoty, vypočtené smrštění, odchylky od výkresu konečného výrobku a grafické vyjádření výsledků je v příloze 7.



Obr.3.14 Měřené body RO2268 a jejich indexace



Obr.3.15 Indexace bodů při měření rovinnosti RO2268

$$x = \frac{L_G - L_F}{L_G} \quad (3.4.4)$$

kde:	x	...	smrštění úseku	[%]
	L _G	...	délka úseku na výlisku	[mm]
	L _F	...	délka úseku na výpalku	[mm]

3.4.5 Zdánlivá hustota výpalku

Zdánlivá hustota výpalku byla určována na analytických vahách AG-204. Měření spočívá ve vážení keramického vzorku na vzduchu a v destilované vodě. Váhy si podle hmotnosti na vzduchu, hmotnosti ve vodě a hustoty vody (s ohledem na korekci hustoty podle teploty) spočítají zdánlivou hustotu vzorku. Teplota destilované vody při měření byla 23,1°C. Od každého nastavení lisovací síly byly váženy tři vzorky. Je zřejmé že s rostoucí zelenou hustotou roste i zdánlivá hustota.

Tab.3.13 Zdánlivá hustota výpalků

Nastavení lisu č.:	Zdánlivá hustota [g·cm ³]			
	1. měření	2. měření	3. měření	průměr
1	3,714	3,715	3,714	3,714
2	3,713	3,712	3,715	3,713
3	3,712	3,711	3,711	3,711
4	3,709	3,710	3,710	3,710
5	3,711	3,711	3,710	3,711
6	3,708	3,710	3,711	3,709
7	3,710	3,706	3,709	3,708
8	3,705	3,706	3,709	3,707

3.4.6 Povrchová pórovitost a trhliny výpalku

Pórovitost a trhliny byly zviditelňovány fluorescenční penetrační kapalinou (název je tajemstvím firmy). Metoda zviditelnění povrchových vad je založena na smáčivosti a vzlínivosti penetrační kapaliny do otevřených dutin v materiálu.

Nejdříve byly čisté keramické vzorky ponořeny na 2 minuty do detekční kapaliny (penetrantu). Poté byly vzorky 10 minut proplachovány v čisté vodě, aby došlo k odstranění přebytečného penetrantu z povrchu. Po osušení

povrchu byly trhliny a póry zviditelněny pod UV lampou. Fotografie vzorků pod UV lampu jsou v příloze 9.

U všech vzorků jsou patrné trhlinky v ostrých rozích a trhlinky mezi „oky“. Z fotografií je zřejmé, že s klesající zelenou hustotou vzorků roste množství pórů. K trhlínám dochází v místech s předpokládaným největším napěchováním granulátu (mezi „oky“).

3.5 Charakteristika deformace během výpalu v závislosti na poloze výlisku vůči výpalovému pouzdru během výpalu a na tvaru výlisku

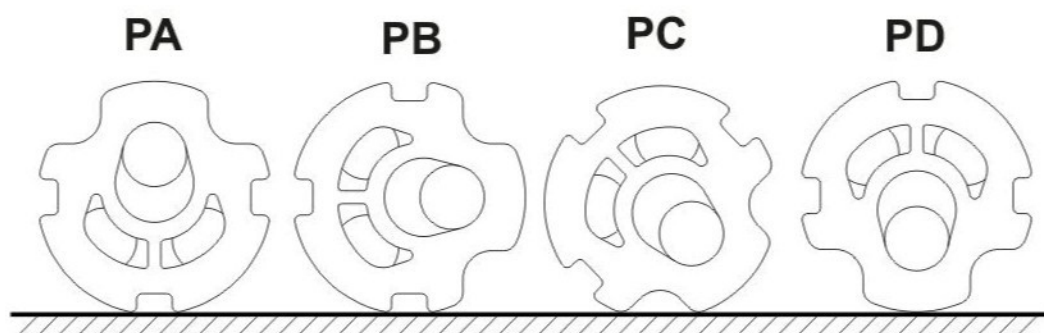
Účelem tohoto experimentu bylo nalezení nejvhodnější výpalové polohy destičky RO2268. Všechny vzorky byly nalisovány v rámci experimentu popsaného v kapitole 3.4. Byly použity vodovodní destičky RO2268 s průměrnou zelenou hustotou $2,564 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, použitý granulát T195-8321. Veškerá měření zelené hustoty, zdánlivé hustoty výpalku a deformací jsou shodná s kapitolou 3.4.

3.5.1 Výpal

Při výpalu se uvažovalo o čtyřech výpalových polohách dle Obr.3.16. Od každé polohy bylo vypáleno 20ks. Parametry výpalu jsou uvedeny v tabulce Tab.3.14.

Tab.3.14 Parametry výpalu RO2268 při různých polohách

Zóna:	Zóna 1		Zóna 2		Zóna 3		Zóna 4	
Umístění čidla:	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole
Teplota	848°C	854°C	1528°C	1530°C	1570°C	1569°C	1570°C	1569°C
Rychlost průchodu pecí: 55 cm/hod								



Obr.3.16 Označení poloh výpalu RO2268

3.5.2 Deformace

Všechny naměřené hodnoty, vypočtené smrštění, odchylky od výkresu konečného výrobku a grafické vyjádření výsledků je v příloze 11.

3.5.3 Zdánlivá hustota výpalků

Zdánlivá hustota výpalku byla určována na analytických vahách AG-204. Od každé výpalové polohy byly váženy tři vzorky. Naměřené hodnoty jsou v následující tabulce Tab.3.15. Poloha výpalu nemá na zdánlivou hustotu prakticky žádný vliv, tedy jak bylo předpokládáno.

Tab.3.15 Zdánlivá hustota výpalků

Poloha výpalu	Zdánlivá hustota [g·cm ³]			
	1. měření	2.měření	3.měření	průměr
PA	3,714	3,713	3,714	3,714
PB	3,714	3,714	3,713	3,714
PC	3,717	3,715	3,714	3,715
PD	3,715	3,717	3,716	3,716

3.5.4 Povrchová pórovitost a trhliny výpalků

Pórovitost a trhliny byly zviditelňovány fluorescenční penetrační kapalinou, tak jak je uvedeno v kapitole 3.4.6. Fotografie vzorků pod UV lampu jsou v příloze 13.

U všech vzorků jsou patrné trhlinky v ostrých rozích, trhlinky mezi „oky“ a mírná pórovitost. Není patrná žádná závislost mezi trhlínami/póry a polohou výpalu.

3.6 Charakteristika změn během výpalu při různých vlastnostech granulátu (sypná hustota, tekutost, vlhkost)

K experimentu bylo použito 8 různých výrobních šarží (dávek) korundového granulátu s 95% obsahem Al_2O_3 . Tekutost, sypná hustota a vlhkost byly již určeny v kapitole 3.2. (Měření vlastností korundového granulátu). Pro přehlednost jsou zjištěné vlastnosti granulátů uvedeny znovu v Tab.3.16.

Před vlastním experimentem se dle zaznamenaných zkoušek zdálo, že použité šarže granulátu vykazují velké rozdíly ve vlhkosti (např. 0,26% až 0,4 %). Z naměřených hodnot v rámci experimentu bylo zjištěno, že rozdíly vlhkosti použitých šarží jsou podstatně menší (0,36% až 0,4%). Tato neshoda je způsobena nedodržením technologického postupu měření vlhkosti jak je vysvětleno v kapitole 3.2.

Předmětem experimentu byla vodovodní destička RO2236 (výkres Příloha 14). Protože bylo lisováno pouze 10 ks destiček od každé šarže a úplná změna granulátu by při automatickém lisování nebyla možná, byly destičky lisovány v manuálním lisovacím režimu (s ručním násypem granulátu). Protože je návaznost lisovacích operací a doba lisování odvozena od polohy vačkového mechanismu (a poloha vačky je při ručním spouštění a zastavování lisu proměnná), nelze v manuálním režimu stroje lisovat konstantní silou. Protože nebyla zajištěna konstantní lisovací síla, není ani výška jednotlivých vzorků stejná.

Tab.3.16 Vlastnosti použitého granulátu

Typ granulátu	Šarže	Tekutost [s]	Sypná hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	Vlhkost [%]
T195N - 95%	8321	56	1,18	0,36
T195N - 95%	9016	57	1,18	0,38
T195N - 95%	9020	58	1,18	0,38
T195N - 95%	9002	58	1,19	0,34
T195N - 95%	9004	54	1,19	0,36
T195N - 95%	9019	56	1,18	0,4
T195N - 95%	8433	53	1,18	0,36
T195N - 95%	9032	56	1,18	0,36
NM9922F - 99%	8427	37	1,14	0,56

3.6.1 Zelená hustota RO2236

Měření zelené hustoty se provádělo na analytických vahách Sartorius LP620P. Byla měřena hmotnost na vzduchu (SM) a v oleji (MM) celé nedělené destičky RO2236, pouze byly sraženy ostré hrany kvůli vyšší nasákavosti olejem. Zelená hustota byla počítána dle vztahu (2.6.5). Naměřené a vypočtené hodnoty jsou v tabulce 3.17.

Tab.3.17 Zelená hustota RO2236

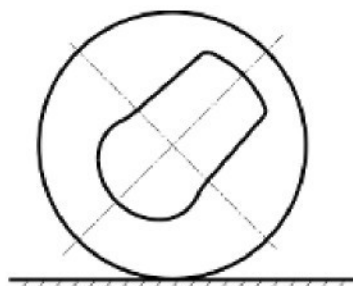
Typ granulátu	Šarže	SM [g]	MM [g]	GD [g·cm ³]
T195N - 95%	8321	23,209	14,252	2,488
T195N - 95%	9016	23,326	14,332	2,490
T195N - 95%	9020	23,363	14,367	2,493
T195N - 95%	9002	23,331	14,364	2,498
T195N - 95%	9004	23,224	14,274	2,491
T195N - 95%	9019	23,396	14,361	2,486
T195N - 95%	8433	23,274	14,314	2,494
T195N - 95%	9032	23,244	14,276	2,488
NM9922F - 99%	8427	22,701	13,477	2,363

3.6.2 Výpal

Vzorky byly vypáleny v elektrické kontinuální peci. Parametry výpalu jsou v tabulce. Poloha výpalu je dle Obr.3.17. Vypáleno bylo pět kusů od každé šarže granulátu.

Tab.3.18 Parametry výpalu RO2236

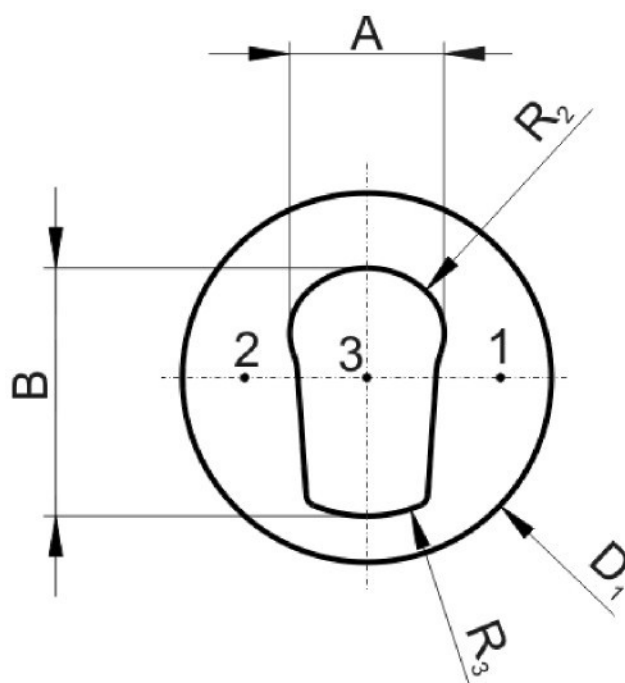
Zóna:	Zóna 1		Zóna 2		Zóna 3		Zóna 4	
Umístění čidla:	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole	Nahoře	Dole
Teplota	847°C	856°C	1518°C	1526°C	1567°C	1569°C	1567°C	1568°C
Rychlost průchodu pecí: 55 cm/hod								



Obr.3.17 Poloha výpalu RO2236

3.6.3 Měření deformací

Destičky RO2236 byly měřeny na souřadnicovém měřicím systému Umpire. Měření bylo provedeno vždy na pěti vypálených destičkách a na dvou nevypálených od každé šarže granulátu. Schéma měřených rozměrů je na Obr.3.18. V bodech 1,2 a 3 byla měřena výška úchylkoměrem Mitutoyo ID-F125.



Obr. Schéma měřených rozměrů RO2236

3.6.4 Zdánlivá hustota výpalku FD

Zdánlivá hustota výpalku byla určována na analytických vahách AG-204. Měřeny byly vždy tři vzorky od každé šarže granulátu.

Tab.3.13 Zdánlivá hustota výpalků

Typ granulátu	Šarže	Hustota výpalku FD [g·cm ³]			
		1. měření	2.měření	3.měření	průměr
T195N - 95%	8321	3,707	3,706	3,709	3,707
T195N - 95%	9016	3,708	3,708	3,709	3,708
T195N - 95%	9020	3,708	3,708	3,709	3,708
T195N - 95%	9002	3,710	3,708	3,709	3,709
T195N - 95%	9004	3,707	3,708	3,707	3,707
T195N - 95%	9019	3,708	3,707	3,707	3,707
T195N - 95%	8433	3,709	3,708	3,706	3,708
T195N - 95%	9032	3,707	3,706	3,707	3,707
NM9922F - 99%	8427	3,872	3,873	3,873	3,873

3.6.5 Tvrdost

K měření tvrdosti byl použit tvrdoměr Zwick 3212 s Vickersovým vnikacím tělískem. Použité zatížení HV1. Při nižším zatížení dochází k velmi malým vpichům, při zatížení větším dochází k drcení povrchu. Byly použity dva vzorky od každé šarže, na každém vzorku bylo provedeno osm vpichů. Naměřené hodnoty z měření na stejné šarži byly zprůměrnovány. Před vlastním měřením byly vzorky přilepeny šelakovým tmelem na ocelovou desku (tmelku) a vybroušeny do roviny na brusce B-62 a následně vyleštěny na leštičce Berney (Cu leštící kotouč + diamantová pasta). Tvrdost byla měřena na přilepených vzorcích, čímž byla zaručena rovinnost povrchu vzorků.

4 Diskuse

4.1 Analýza systému měření (MSA) zelené hustoty na vahách Sartorius LP620P

Analýzou systému měření R&R zelené hustoty v ricinovém oleji byla zjištěna chyba měřidla při toleranci $0,04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ jako 23,85 % tolerance. Při této toleranci tedy metoda měření **může být přijatelná**. Analýza nebyla dle obecných zásad prováděna třemi operátory postupně na 10 vzorcích, ale jedním operátorem na třech skupinách vzorcích (každá skupina 10 vzorků). Důvodem je znehodnocení vzorku při každém měření a samostatnost zadaného úkolu. Reprodukovatelností se tedy v tomto případě rozumí variabilita v průměrech měření provedených jedním hodnotitelem za pomoci stejného měřícího přístroje pro měření stejné charakteristiky na stejné skupině výrobku. Při předpokládaném malém kolísání měření vzhledem k výrobnímu procesu lze tento způsob analýzy považovat za dostačující. Opakovatelnost systému měření je nulová, neboť při každém měření dojde k znehodnocení vzorku (jeho nasáknutí olejem).

Analýzou systému měření R&R zelené hustoty výpočtem (z rozměrů a hmotnost) byla zjištěna chyba měřidla při toleranci $0,04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ jako 15,53 % tolerance, systém měření je **přijatelný**.

Všechny naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v příloze 2

Z tabulky 4.1 je zřejmé, že průměrná zelená hustota je u tablet měřených v ricinovém oleji je větší o $0,072 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (tedy o 2,78 %) než zelená hustota vypočtená z rozměrů a hmotnosti. Skutečné zelené hustotě více odpovídají hodnoty naměřené v ricinovém oleji. Při měření zelené hustoty z rozměrů a hmotnosti dochází v důsledku „nafouknutí“ tablety ke zkreslení výsledků (objem tablety vypočítaný z výšky a průměru ve středu je větší než skutečný objem).

Tab. 4.1 Porovnání metod měření zelené hustoty

	V ricinovém oleji	Výpočtem
Průměrná GD [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	2,590	2,518
Sm. odchylka GD [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	0,002	0,002
Tolerance GD [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	0,04	0,04
Chyba měřidla %R&R	23,85%	15,53%
Chyba měřidla R&R [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	0,010	0,006
Systém měření:	může být přijatelný	je přijatelný

4.2 Charakteristika deformace během výpalu v závislosti na poloze výlisku vůči výpalovému pouzdru během výpalu a na tvaru výlisku

Všechny vzorky RO2268 byly nalisovány v automatickém režimu na mechanickém lisu Dorst TPA-25 s frekvencí 9ks/min. Dle histogramů hmotnosti a rozměrů (viz. Příloha 4) jsou nalisované vzorky homogenní. Materiál vzorků granulát s 95% korundu (T195, šarže 8321, tekutost 56s, sytná hustota 1,18 g·cm⁻³, vlhkost 0,36%). Dalším měřením byla určena zelená hustota 2,564 g/cm³. Všechny vzorky byly vypáleny v elektrické kontinuální peci (parametry výpalu viz. Tab.3.14) v polohách PA, PB, PC, PD dle Obr.3.16.

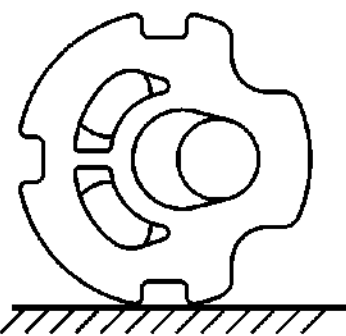
Původní záměr měření deformací destičky RO2268 předpokládal nanesení deformační sítě na výlisek a její vyhodnocení po výpalu na optickém měřicím mikroskopu Kestrel Mono. Z dříve uvedených skutečností toto nebylo možné realizovat. Po zvážení mnoha skutečností byl použit moderní optický systém Werth Video Check s měřením rozměrů destičky v polárních souřadnicích. Všechny naměřené hodnoty včetně vyhodnocení smrštění (a jeho grafického vyjádření) a odchylek od požadovaných rozměrů jsou uvedeny v příloze 11. Problémem zde byla volba počátku souřadného systému, neboť po výpalu má destičky těžko definovatelnou geometrii. Přesto je použitý způsob volby souřadného systému považován za nejvhodnější. Měřeno bylo pět vylišovaných destiček a pět destiček z každé polohy výpalu. Dodatečně byla měřena díra o průměru 9 mm na optickém měřicím mikroskopu Kestrel Mono a rovinnost pomocí úchylkoměru Mitutoyo ID-F125.

Při porovnání naměřených a vypočtených hodnot (viz. Příloha 13) vykazují nejmenší průměrnou míru smrštění vzorky vypálené v poloze B (12,61 %), největší v poloze C (12,73%). Vzorky A a D vykazují vysokou míru symetrie, vzorek C nízkou. Nejmenší odchylky rozměrů od výkresu konečného výrobku mají vzorky B a C. Poloha výpalu nemá zřejmý vliv rovnoběžnost destičky. S přihlédnutím k těmto aspektům byla jako nejvhodnější výpalová poloha zvolena poloha B. Průměrné, minimální a maximální hodnoty smrštění jsou uvedeny v tabulce Tab 4.2.

Mezi pórovitostí / trhlinkami a polohou výpalu není patrný vliv (viz. Příloha 13).

Tab.4.2 Hodnoty smrštění u různých poloh výpalu

Poloha výpalu	PA	PB	PC	PD
$X_{\min}$ [%]	8,971	7,708	8,848	8,550
$X_{\max}$ [%]	15,073	14,909	14,946	15,057
$X_{\text{prům}}$ [%]	12,697	12,610	12,734	12,661
$D_{2x}-D_{2y}$ [mm]	-0,242	-0,499	-0,373	-0,343



Obr. 3.18 Nejvhodnější výpalová poloha RO2268

4.3 Charakteristika ideální zelené hustoty výlisku před výpalem a možné odchylky v různě prolisovaných místech výlisku

Požadavkem bylo provést měření na složitějším výrobku u kterého dochází při lisování k rozdílnému napěchování granulátu v různých místech. Byla zvolena vodovodní destička RO2268, granulát je z 95% korundu (T195, šarže 8321, tekutost 56s, sypaná hustota $1,18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, vlhkost 0,36%)

Všechny vzorky byly nalisovány v automatickém režimu na mechanickém lisu Dorst TPA-25, frekvence lisování 9ks/min. Postupně byla nastavována ovládacím kolem výška nalisování (postupné pootáčení o 0,5 otáčky). Pro každé z osmi nastavení lisovací síly bylo nalisováno vždy 10 kusů. Pro ověření homogenity byl sestaven histogram hmotnosti a rozměru A (dle schématu Obr.3.9) - viz.příloha 4. Vzorky se liší jen výškou.

Pro měření zelené hustoty bylo třeba každou destičku rozdělit na 6 částí. Měřením jsme tedy zjistili průměrnou zelenou hustotu v každé této části. Označení částí je uvedeno v Obr.3.10 a naměřené hodnoty v Tab.3.11.

Všechny vzorky byly vypáleny v poloze B (Obr.3.18) a po výpalu byla změřena zdánlivá hustota. Tabulka základních charakteristik je v Tab.4.3.

Tab.4.3 Základní charakteristika nalisovaných RO2268

č. nastavení lisu:	Výška vzorku [mm]	Hmotnost vzorku [g]	Zelená hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	Hustota výpalku [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
1	6,23	10,94	2,564	3,714
2	6,26	10,92	2,557	3,713
3	6,27	10,92	2,542	3,711
4	6,29	10,95	2,536	3,710
5	6,30	10,93	2,533	3,711
6	6,32	10,93	2,526	3,709
7	6,33	10,91	2,515	3,708
8	6,34	10,92	2,510	3,707

Postup měření deformací je identický s předchozím bodem (multi-senzorový Werth Video Check, optický měřicí mikroskop Kestrel Mono, úchylkoměr Mitutoyo ID-F125). Z naměřených a vypočtených hodnot je zřejmé, že s klesající zelenou hustotou roste i průměrná míra smrštění, což zcela odpovídá teoretickým poznatkům. Symetrie je na zelené hustotě prakticky nezávislá. Z grafu odchylek ΔL v příloze 7, je zřejmé, že nejmenší míru odchylek od skutečné polohy vykazují vzorky s nejvyšší zelenou hustotou. Kruhovitost díry D_2 se s klesající zelenou hustotou zhoršuje a kruhovitost vnějšího obvodu D_1 se zlepšuje. V grafu je patrné vychýlení oblasti vymezující odchylky ve směru osy y . To může být způsobeno volbou souřadného systému nebo rozdílným smrštěním v různých místech. Předmětem dalšího obsáhlejšího studia by mělo být nalezení vhodné a stálé metodiky pro vyhodnocování deformací korundových destiček.

Dále byla provedena zkouška na trhlinky/póry penetrační flurescenční kapalinou (Příloha 9). Trhlinky jsou patrné u všech vzorků, hlavně mezi „oky“ a v ostrých rozích. Je zřejmé, že s klesající zelenou hustotou roste míra pórovitosti.

Po zvážení všech hledisek se jeví jako nejvhodnější používat vzorky s nejvyšší zelenou hustotou (v tomto experimentu tedy $2,564 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) s ohledem na rozměry a geometrie lisovacího nástroje.

Tab.4.4 Hodnoty smrštění u různých poloh výpalku

Nastavení:	1	2	3	4	5	6	7	8
$X_{\min}$ [%]	7,584	7,881	7,856	7,807	8,178	8,228	8,154	8,203
$x_{\max}$ [%]	14,732	14,774	15,037	15,107	15,218	15,371	15,662	15,871
$X_{\text{prům}}$ [%]	12,601	12,719	12,809	12,866	12,998	13,133	13,260	13,372
$D_{2x}-D_{2y}$ [mm]	-0,508	-0,524	-0,532	-0,529	-0,552	-0,554	-0,559	-0,570

4.4 Charakteristika změn během výpalu při různých vlastnostech granulátu (sypná hustota, tekutost, vlhkost) a rozdílů výpalu Al_2O_3 při 95%-ním obsahu Al_2O_3 v granulátu a při 99%-ním obsahu

4.4.1 Charakteristika změn během výpalu při různých vlastnostech granulátu (sypná hustota, tekutost, vlhkost)

K experimentu bylo použito 8 různých šarží (dávek) korundového granulátu s 95% obsahem Al_2O_3 a jedna šarže granulátu s 99% obsahem Al_2O_3 . U všech šarží byla změřena tekutost, sypná hustota a vlhkost. Hodnoty vlhkosti nevykazují tak velké rozdíly, jak se předpokládalo z dřívějších měření, protože při měření vlhkosti někteří pracovníci nedodržují technologický postup měření vlhkosti.

Z každé šarže materiálu bylo nalisováno 10ks vodovodních destiček RO2236. Destičky byly z výše uvedených důvodů lisovány v manuálním lisovacím režimu, takže nebyla zajištěna konstantní lisovací síla, což může mít vliv na interpretaci výsledků.

Všechny naměřené a vypočítané hodnoty z následujících měření jsou uvedeny v příloze 14.

Zelená hustota byla měřena pomocí vah Sartorius LP620P na celé nedělené destičky RO2236. Destičky byly vypáleny s parametry pece dle Tab.3.18.

Destičky RO2236 byly měřeny na souřadnicovém měřicím systému Umpire. Výška destiček byla měřena úchylkoměrem Mitutoyo ID-F125. Měření bylo provedeno vždy na pěti vypálených destičkách a na dvou nevypálených od každé šarže granulátu. Z naměřených rozměrů bylo vypočítáno smrštění.

Na výpalcích byla změřena zdánlivá hustota a provedena zkouška trhlinek/pórů pomocí fluorescenční penetrační kapaliny. Fotografie destiček RO2236 v UV světle jsou uvedeny v příloze 17. Vzorky z granulátu s 95% Al_2O_3 nevykazují žádné trhlinky nebo pórovitost. Vzorky z 99% Al_2O_3 vykazují velkou míru póru po celém povrchu s výraznými trhlkami na dně vzorku. Z toho je zřejmé, že destičky z granulátu o vyšším obsahu Al_2O_3 je potřeba lisovat větší silou (na vyšší zelenou hustotu).

Tvrdość byla měřena pomocí tvrdoměru Zwick s Vickersovým vnikacím tělískem (HV1) na vybroušeném a vyleštěném povrchu.

Všechny naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v příloze 14. Z hodnot naměřených na vzorcích s 95% Al₂O₃ byly sestaveny grafy závislosti na sypné hustotě, tekutosti a vlhkosti (Příloha 15).

4.4.1 Zjištění závislosti vlastností různých šarží granulátu

Tvrdość HV1 (y) – tekutost (x)	
$y = 1,1887x^2 - 131,61x + 5058,9$	$R^2 = 0,1864$
Tvrdość HV1 (y) – sypná hustota (x)	
$y = 1483,3x - 334,32$	$R^2 = 0,7318$
Tvrdość HV1 (y) – vlhkost (x)	
$y = 5700,9x^2 - 4499,4x + 2301,6$	$R^2 = 0,4514$

Směrodatná odchylka tvrdosti HV1 (y) – tekutost (x)	
$y = -2,0298x^2 + 227,55x - 6321,5$	$R^2 = 0,4463$
Směrodatná odchylka tvrdosti HV1 (y) – sypná hustota (x)	
$y = -479,84x + 617,29$	$R^2 = 0,0510$
Směrodatná odchylka tvrdosti HV1 (y) – vlhkost (x)	
$y = 8453x^2 - 6121x + 1155,2$	$R^2 = 0,1772$

Zelená hustota (y) – tekutost (x)	
$y = 0,0012x^2 - 0,1382x + 6,3188$	$R^2 = 0,8416$
Zelená hustota (y) – sypná hustota (x)	
$y = 0,4733x + 1,9312$	$R^2 = 0,3194$
Zelená hustota (y) – vlhkost (x)	
$y = -332,59x^3 + 370,5x^2 - 137,48x + 19,482$	$R^2 = 0,7193$

Zdánlivá hustota výpalku (y) – tekutost (x)	
$y = 0,0002x^2 - 0,0198x + 4,2502$	$R^2 = 0,7781$
Zdánlivá hustota výpalku (y) – sypná hustota (x)	
$y = 0,0556x + 3,6421$	$R^2 = 0,1174$
Zdánlivá hustota výpalku (y) – vlhkost (x)	
$y = 0,7321x^2 - 0,5508x + 3,8111$	$R^2 = 0,1658$

Smrštění (y) – tekutost (x)	
xA: $y = -0,0066x^2 + 0,7216x - 5,5715$	$R^2 = 0,1509$
xB: $y = -0,0122x^2 + 1,3459x - 23,389$	$R^2 = 0,3738$
xD1: $y = -0,0113x^2 + 1,2483x - 20,656$	$R^2 = 0,2932$
xR2: $y = 0,0064x^2 - 0,6123x + 26,916$	$R^2 = 0,6774$
xR3: $y = -0,0255x^2 + 2,8228x - 64,358$	$R^2 = 0,7194$

Smrštění (y) – sypná hustota (x)

$$\text{xA: } y = -1,3844x + 15,672 \quad R^2 = 0,0057$$

$$\text{xB: } y = -0,4173x + 14,208 \quad R^2 = 0,0010$$

$$\text{xD1: } y = 0,324x + 13,494 \quad R^2 = 0,0006$$

$$\text{xR2: } y = 0,1217x + 13,577 \quad R^2 = 0,0000$$

$$\text{xR3: } y = 19,67x - 10,494 \quad R^2 = 0,1732$$

Smrštění (y) – vlhkost (x)

$$\text{xA: } y = -5,8126x^2 + 6,1167x + 12,574 \quad R^2 = 0,1535$$

$$\text{xB: } y = -14,885x^2 + 12,035x + 11,307 \quad R^2 = 0,0932$$

$$\text{xD1: } y = 16,761x^2 - 11,206x + 15,727 \quad R^2 = 0,1496$$

$$\text{xR2: } y = -43,13x^2 + 31,083x + 8,1357 \quad R^2 = 0,0697$$

$$\text{xR3: } y = 222,18x^2 - 167,18x + 44,132 \quad R^2 = 0,1803$$

4.4.2 Zhodnocení zjištěných závislostí

Grafy závislostí mezi jednotlivými vlastnostmi jsou uvedeny v příloze 15.

Je zřejmé, že tvrdost výpalku má lineární závislost na sypné hustotě ($R^2 = 0,7318$). To odpovídá teoretickým předpokladům, neboť vyšší sypná hustota znamená více granulátu v lisovací formě a tím tedy menší míru pórovitosti. Rozdíl mezi minimální a maximální tvrdostí je 15 HV1. Tento rozdíl je z hlediska směrodatné odchylky při měření tvrdosti keramiky zcela nevýznamný.

Na zelenou hustotu má patrný vliv tekutost ($R^2 = 0,8416$) a vlhkost ($R^2 = 0,7193$). Jedná se ale o složitější polynomické funkce. Z hlediska spolehlivosti měření zelené hustoty v ricinovém oleji není tato závislost významná.

Na hustotě výpalku má tekutost polynomickou závislost druhého stupně ($R^2 = 0,7781$). Stejně jako u zelené hustoty je tato závislost z hlediska chyby měření nevýznamná.

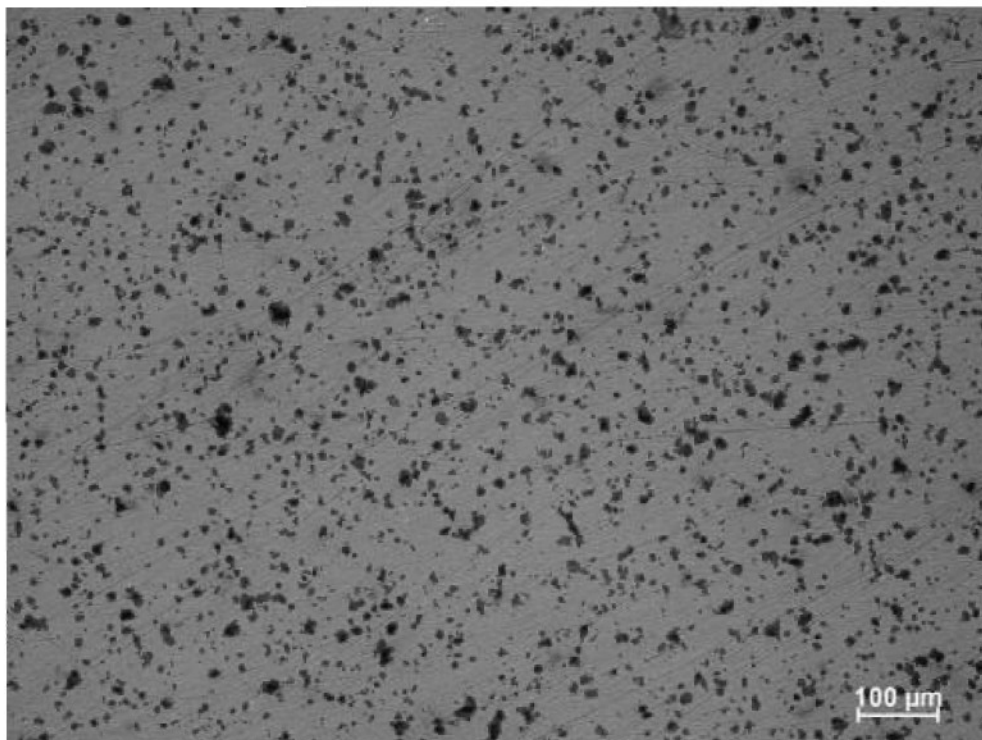
Tekutost, sypná hustota a vlhkost nemá vliv na smrštění výrobků. Rozptyl tvrdosti je také nevýznamný.

4.4.3 Charakteristika rozdílů výpalku Al_2O_3 při 95%-ním obsahu Al_2O_3 v granulátu a při 99%-ním obsahu

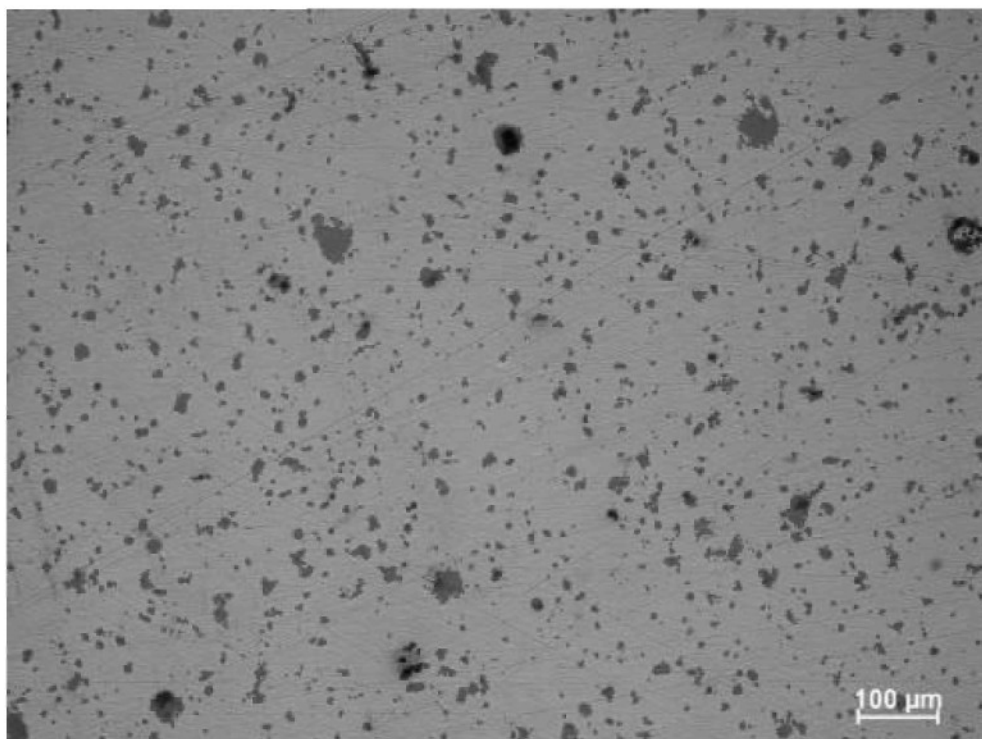
K porovnávání rozdílů vlastností mezi granulátem s 95% a 99% Al_2O_3 byl použit granulát T195 – 9019 a NM9922 – 8427.

Na vyleštěném povrchu je patrné, že vzorky z granulátu s 99% obsahem Al_2O_3 vykazují méně pórů než 95% Al_2O_3 (u vzorků 99% Al_2O_3 je tedy pórovitost jen povrchová). Z toho plyne i to, že vzorky s 99% Al_2O_3 vykazují o polovinu menší směrodatnou odchylku naměřených hodnot tvrdosti. Fotografie z optického mikroskopu obou materiálů s odbroušenou a vyleštěnou plochou je na Obr.3.19 a 3.20.

Ze základních vlastností byly sestaveny sloupkové grafy pro oba materiály (viz. Příloha 16)



Obr.3.19 Vybroušený a vyleštěný vzorek z granulátu s 95% Al_2O_3 , šarže 9019, zvětšení 100x



Obr.3.20 Vybroušený a vyleštěný vzorek z granulátu s 99% Al_2O_3 , šarže 8427, zvětšení 100x

5 Závěr

Požadavkem firmy SGAC v rámci této diplomové práce bylo analyzovat systém měření zelené hustoty na analytických vahách Sartorius LP620P metodou R&R.

Analýzou systému měření R&R zelené hustoty v ricinovém oleji byla zjištěna chyba měřidla při toleranci $0,04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ jako 23,85 % tolerance, systém měření je **může být přijatelná**.

Analýzou systému měření R&R zelené hustoty výpočtem (z rozměrů a hmotnost) byla zjištěna chyba měřidla při toleranci $0,04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ jako 15,53 % tolerance, systém měření je **přijatelný**.

Pro praktické měření doporučuji měření zelené hustoty v ricinovém oleji i přes jeho vyšší pracnost, protože měření zelené hustoty výpočtem z rozměrů a hmotnosti je zkreslené a nelze jím postihnout tvarově složité výrobky.

Z hlediska nejmenší průměrné míry smrštění při výpalu a nejmenší odchylek rozměrů od výkresu výpalku u destičky RO2268 se jako nejvhodnější použitá zelená hustota jeví hodnota $GD = 2,56 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Z výsledků měření je zřejmé nestejně prolisování destičky, kdy rozdíly zelené hustoty v jednotlivých místech mohou dosahovat až $\Delta GD = 0,15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Rovnoměrné rozložení zelené hustoty by měla řešit konstrukce lisovacího nástroje. U všech použitých hodnot zelené hustoty jsou patrné trhlinky a porezita. Vyšší porezita je u této reference stále přípustná. Zelená hustota nemá na rovnoběžnost destičky vliv.

Z hlediska nejmenší průměrné míry smrštění (12,61 %) při výpalu a malých odchylek rozměrů, od výkresu výpalku u destičky RO2268 se jako nejvhodnější poloha výpalu jeví poloha B dle Obr.3.18 (str.64). Poloha výpalu nemá vliv na rovnoběžnost destičky, ani na pórovitost/trhlinky.

Problémem při měření deformací desiček RO2268 byla volba počátku souřadného systému, neboť po výpalu má destičky těžko definovatelnou geometrii. Použitý způsob volby souřadného systému a měření je zde považován za nejvhodnější (z hlediska metrologie). Přesto by mělo být nalezení vhodné a stálé metodiky vyhodnocování deformací složitějších keramických výrobků předmětem dalšího obsáhlejšího studia. Po nalezení vhodné barvy odolávající výpalu by bylo vhodné použití moderních optických metod vyhodnocování – např. systémem ARAMIS pro měření reálných 3D deformací.

Byly charakterizovány změny během výpalu destiček RO2236 při různých vlastnostech granulátu. Nebyl zjištěn žádný významný vliv technologických vlastností granulátu (sypná hmotnost, tekutost, vlhkost) na tvrdost, zelenou hustotu, hustotu výpalku a smrštění. Pórovitost a trhlinky nejsou patrné u žádného výpalku destičky RO2236. Výsledky měření by bylo možné zpřesnit použitím výlisků destiček nalisovaných v automatickém režimu lisu. Z dříve popsaných důvodů byl při lisování použit manuální režim lisu s ručním násypem granulátu, takže nemohla být u všech vzorků zajištěna stejná lisovací síla. Variabilita vlhkosti u použitých granulátů nebyla tak vysoká, jak se předpokládalo, z důvodů nesprávného postupu při měření vlhkosti některými pracovníky.

Byly porovnány destičky RO2236 (lisovány na stejnou výšku) z granulátu s 95%-ním a 99%-ním obsahem Al_2O_3 . Destičky s vyšším obsahem Al_2O_3 je třeba lisovat vyšší silou ($\Delta F = 66,2\text{kN}$), ale vykazují vyšší tvrdost (1413 HV1 pro 95%; 1744 HV1 pro 99%; $\Delta 331 \text{ HV1}$), vyšší hustotu výpalku ($3,707 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ pro 95%; $3,873 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ pro 99%; $\Delta 0,166 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), a vyšší míru smrštění ($\Delta x = 2,5\%$). Vzorky z 95% granulátu nevykazují porezitu / trhlinky, vzorky z 99% mají velmi vysokou míru porezity a trhlín. Proto je třeba lisovat granulát s 99% Al_2O_3 na vyšší zelenou hustotu. Po odbroušení a vyleštění povrchové vrstvy byla patrná nižší míra pórovitosti u vzorku z 99% Al_2O_3 . Vzorky z 99% Al_2O_3 mají tedy povrchovou porezitu větší, ale ta je po obroušení odstraněna. Tím lze vysvětlit, proč směrodatná odchylka tvrdosti je u destiček z 99% Al_2O_3 nižší o 50%.

Závěrem lze říci, že cíl práce byl splněn. Byla provedena analýza systému měření zelené hustoty, charakterizována ideální zelená hustota a výpalová poloha. Bylo zjištěno, že variabilita vlastností používaných granulátů není významná. Dále byly popsány základní rozdíly výpalu Al_2O_3 při 96%-ním obsahu Al_2O_3 v granulátu a při 99%-ním obsahu

6 Použitá literatura

- [1] VALENTA, Ladislav. Keramická příručka. Praha : Silikátový svaz, 2007. 417 s.
- [2] ŠAŠEK, Ladislav. Laboratorní metody v oboru silikátů. Praha : SNTL, 1981. 319 s.
- [3] HLAVÁČ, Jan. Základy technologie silikátů. Praha : SNTL, 1981. 516 s.
- [4] MatNet [online]. 2006 [cit. 2009-03-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.matnet.sav.sk/>>.
- [5] HANYKÝŘ, Vladimír, KUTZENDÖRFER, Jaroslav. Technologie keramiky. Praha : Silikátový svaz, 2008. 387 s.
- [6] Doc. Ing. DAĐOUREK, Karel, přednášky z předmětu Nekovové materiály. 2009
- [7] Statspol [online]. 2007 [cit. 2009-03-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.statspol.cz/request/request2006/prezentace/bednar.pdf>>.
- [8] BALCÁREK, Jan. Stanovení nízkého obsahu rutilu v anatasovém kalcinátu. [s.l.], 2001. 35 s. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí závěrečné práce Prof. RNDr. Milan Meloun, DrSc.
- [9] Mitutoyo Česko s.r.o. [online]. 2003-2006 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.mitutoyo-czech.cz/>>.
- [10] Metrotest s.r.o. [online]. 2008-2009 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.metrotest.cz/sms.html>>.
- [11] MCCOLM, I. J. Ceramic Hardness. New York : Plenum Press, 1990. 324 s.
- [12] Mettler Toledo [online]. 2009 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://cs.mt.com/>>.
- [13] Sartorius [online]. 2009 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.sartorius.com/>>.
- [14] Prima Bilavčík s.r.o. [online]. 2002 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.merici-pristroje.cz/>>.

7 Seznam příloh

Příloha 1 – Chemická analýza T195

Příloha 2 – Protokoly z systému měření GD

Příloha 3 – Schéma destičky RO2268 po výpalu

Příloha 4 – Histogram nalisovaných RO2268

Příloha 5 – Zelená hustota v různě prolisovaných místech RO2268

Příloha 6 – Schéma měření RO2268

Příloha 7 – Soubor dat RO2268 při různé GD

Příloha 8 – Smrštění RO2268 při různé GD

Příloha 9 – Trhlínky a pórovitost RO2268 při různé GD

Příloha 10 – Průměrná míra smrštění RO2268

Příloha 11 - Soubor dat RO2268 při různé poloze

Příloha 12 - Smrštění RO2268 při různé poloze výpalu

Příloha 13 - Trhlínky a pórovitost RO2268 při různé poloze výpalu

Příloha 14 - Naměřené a vypočítané hodnoty RO2236

Příloha 15 – Charakteristika změn při různých vlastnostech granulátu

Příloha 16 - Porovnání granulátu s 95% a 99%Al₂O₃

Příloha 17 - Trhlínky a pórovitost RO2236 z různých šarží

Příloha 1 – Chemická analýza T195

Freigabeprotokoll

16. Mai 2008

SCHÜLE

Seite 1

Qualität	Revision	gültig von gültig bis	Grundicht 1580 °C/2	Isotrope lineare Schrumpfu	Glüverfu	Wasserau	Offene Porosität	Feuchte Schrumpfu (105 °C)	D50 (Granulati)	Siebanaly	Siebanaly	Siebanaly	Siebanaly	Siebanaly	Siebanaly	Siebanaly
Kundenvariante	502990	0/09.07	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi	nicht spezifizi
Standard		01.01.04 31.12.9999														
21.01.08 5028901000001	S1 08/0021 08/000002.08/000003 04/04/2008 (Rest: 0)	1.82 offen	2,34	3,69	15	3,4	0	0,22	1,130	116	0	2,2	17,9	68,6	85	92,5
NM Versuchsmaterial																
Analyse			Analysewert Einheit													
Al2O3			94,3 %													
chemische Analyse			0 %													
CaO			0,13 %													
Fe2O3			0,04 %													
MgO			1,33 %													
Na2O			0,14 %													
SiO2			3,06 %													
TiO2			0,49 %													
ZnO			0,28 %													
ZrO2			0,2 %													

Příloha 2.1 – Protokoly z analýza systému měření GD

Zelená hustota - teoretická (výpočet z hmotnosti a rozměrů)

materiál T195N-9002

laboratorní tablety

25.2.2009

vzorek č.	průměr [mm]	hmotnost [g]	výška [mm]	GD [g/cm ³]
1	25,430	7,396	5,780	2,519
2	25,430	7,414	5,800	2,517
3	25,430	7,412	5,790	2,520
4	25,430	7,492	5,860	2,517
5	25,430	7,406	5,790	2,518
6	25,430	7,411	5,790	2,520
7	25,430	7,419	5,800	2,518
8	25,430	7,443	5,820	2,518
9	25,430	7,428	5,800	2,522
10	25,430	7,426	5,810	2,516
11	25,430	7,458	5,830	2,519
12	25,430	7,439	5,810	2,521
13	25,430	7,430	5,810	2,518
14	25,430	7,435	5,810	2,520
15	25,430	7,437	5,810	2,520
16	25,430	7,412	5,800	2,516
17	25,430	7,427	5,810	2,517
18	25,430	7,445	5,810	2,523
19	25,430	7,517	5,880	2,517
20	25,430	7,464	5,830	2,521
21	25,430	7,515	5,880	2,516
22	25,430	7,413	5,790	2,521
23	25,430	7,476	5,850	2,516
24	25,430	7,453	5,830	2,517
25	25,430	7,431	5,810	2,518
26	25,430	7,411	5,800	2,516
27	25,430	7,430	5,810	2,518
28	25,430	7,433	5,810	2,519
29	25,430	7,470	5,850	2,514
30	25,430	7,430	5,820	2,514

průměr: 2,518

maximum: 2,523

minimum: 2,514

směrodatná odchylka: 0,002

Příloha 2.3 – Protokoly z analýza systému měření GD

Způsobilost systému a měřidel/Zkouška způsobilosti (analýza R & R)

Analýza měřidla		Faehigkeitsuntersuchung in Turnov		D							
Opakovatelnost - Equipment Variation (E.V.) $\frac{R \text{ quer}}{0,0000E+00} \times \frac{K1}{4,56} = \frac{E.V.}{0,0000E+00}$											
Reprodukovatelnost - Appraiser Variation (A.V.) $\left[\frac{X \text{ quer diff}}{2,3000E-03} \times \frac{K2}{2,7} \right]^2 - \frac{A.V.}{6,2100E-03} = \frac{A.V.}{6,2100E-03}$ n = počet vzorků r = počet měření											
Celkový rozptyl $\left[\frac{E.V.}{0,0000E+00} \right]^2 + \left[\frac{A.V.}{3,8564E-05} \right]^2 = \frac{R \& R}{6,2100E-03}$											
Procentuální analýza chyb měření $\frac{100}{\frac{E.V.}{0,0000E+00}} = \frac{\% E.V.}{0,00\%}$											
Výsledek měření <table border="1"> <tr> <td>% R & R < 20 Přijatelné</td> <td>20 > % R & R < 30 Může být přijatelné</td> <td>% R & R > 30 Nepřijatelné</td> </tr> <tr> <td>Datum</td> <td>Spolehlivost</td> <td>Korekční zásah</td> </tr> </table>						% R & R < 20 Přijatelné	20 > % R & R < 30 Může být přijatelné	% R & R > 30 Nepřijatelné	Datum	Spolehlivost	Korekční zásah
% R & R < 20 Přijatelné	20 > % R & R < 30 Může být přijatelné	% R & R > 30 Nepřijatelné									
Datum	Spolehlivost	Korekční zásah									
Poznámka: Všechny výpočty jsou založeny na hodnotě 5,15 sigma (99%) A.V. - Pokud je pod odmocninou záporná hodnota, reprodukovatelnost (A.V.) je nula.											
Schválil		Datum		6.2.2009							

PŘIJATELNÉ

Příloha 2.4 – Protokoly z analýzy systému měření GD

Zákazník	
Zákaznický výkres	
Výkres - KX	
Stroj	
Znak	GD výpočtem
Horní tolerance	2,540
Spodní tolerance	2,500
Číslo zakázky	
Datum	25.2.09
Zkoušející	Špáta T.
Měřidlo	Sartorius LP5200P, posuvné měřítko
Nastavení histogramu	Über Toleranz
Vyhodnocení	CPK
Poznámka	

KUS Č.	HODNOTA
1	2,519
2	2,517
3	2,52
4	2,517
5	2,518
6	2,52
7	2,518
8	2,518
9	2,522
10	2,516
11	2,519
12	2,521
13	2,514
14	2,52
15	2,52
16	2,516
17	2,517
18	2,523
19	2,517
20	2,521
21	2,516
22	2,521
23	2,516
24	2,517
25	2,518
26	2,516
27	2,518
28	2,519
29	2,514
30	2,514

Příloha 2.5 – Protokoly z analýzy systému měření GD

SPC Vyhodnocení SGAC Turnov Útvar 5500

Data :

Stroj :
Znak : GD výpočtem
Měřidlo : Sartorius LP5200P, posuvné měřítko
Horní tolerance : 2,540

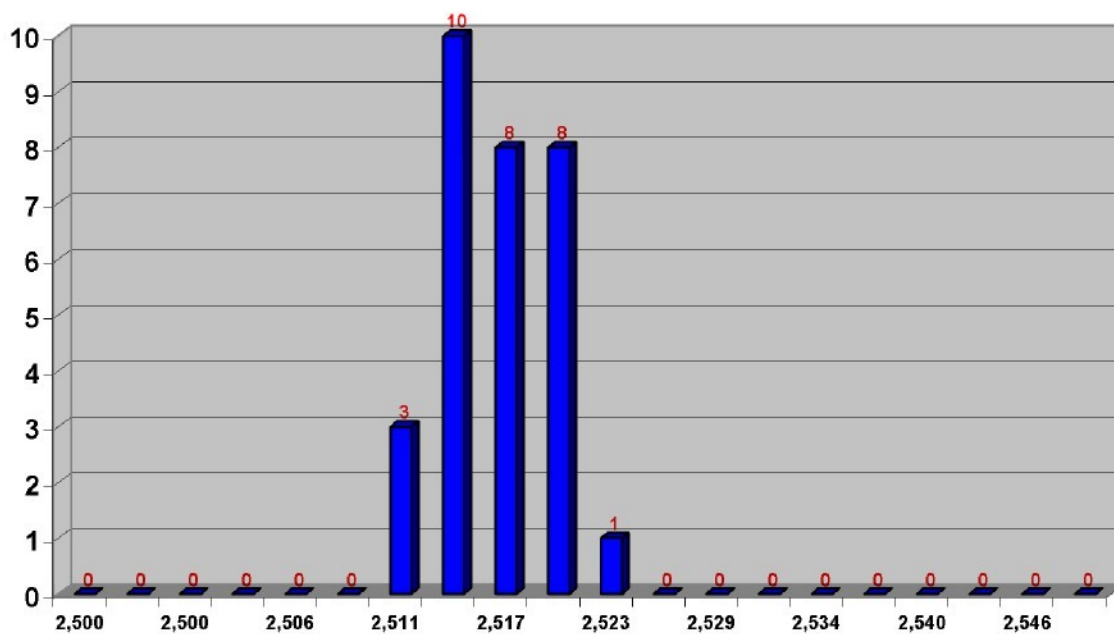
Číslo zakázky:
Zkoušející Špáta T.
Datum : 25.2.09
Dolní tolerance: 2,500

Vyhodnocení :

Xquer : 2,5181
R : 0,0090
Rquer : 0,0055
Sigma : 0,0024
CPK : 2,55

Max : 2,523
Min : 2,514
N : 30
Stichproben : 6
CP : 2,82

Díly v toleranci : 30 100,00%
Díly nad toleranci :
Díly pod toleranci :



Poznámka : Zelená hustota měřená v ricinovém oleji

Příloha 2.6 – Protokoly z analýzy systému měření GD

Zelená hustota - měřeno v ricínovém oleji

materiál T195N-9002

laboratorní tablety

25.2.2009

vzorek č.	SM [g]	MM [g]	GD [g/cm ³]
1	7,428	4,672	2,587
2	7,394	4,652	2,589
3	7,401	4,658	2,590
4	7,422	4,670	2,589
5	7,385	4,647	2,589
6	7,481	4,706	2,588
7	7,390	4,649	2,588
8	7,405	4,658	2,588
9	7,424	4,671	2,589
10	7,415	4,668	2,591
11	7,410	4,661	2,588
12	7,446	4,685	2,589
13	7,427	4,672	2,588
14	7,406	4,660	2,589
15	7,420	4,671	2,591
16	7,423	4,672	2,590
17	7,399	4,659	2,592
18	7,415	4,668	2,591
19	7,433	4,677	2,589
20	7,506	4,722	2,588
21	7,455	4,695	2,593
22	7,510	4,729	2,592
23	7,405	4,662	2,592
24	7,465	4,702	2,594
25	7,422	4,675	2,594
26	7,493	4,716	2,590
27	7,507	4,728	2,593
28	7,419	4,672	2,593
29	7,456	4,696	2,593
30	7,414	4,666	2,590

průměr: 2,590

maximum: 2,594

minimum: 2,587

směrodatná odchylka: 0,002

Způsobilost systému a měřidel/Zkouška způsobilosti (Gauge R & R Study)

Měření		Název měření	Číslo měření	Datum	Tolerance
		Turnov		25.2.2009	
Vzorek		Popis	Číslo dílu	Vlastnost	Specifikace
		Tablety		GD v oleji	
Měřené vzorky		vzorky č. 1 - 10			vzorky č. 11 - 20
vzorek číslo	výsledek měření	výsledek měření	výsledek měření		výsledek měření
1	2,587	2,588	2,593		2,593
2	2,589	2,589	2,592		2,592
3	2,590	2,588	2,592		2,592
4	2,589	2,589	2,594		2,594
5	2,589	2,591	2,594		2,594
6	2,588	2,590	2,590		2,590
7	2,588	2,592	2,593		2,593
8	2,588	2,591	2,593		2,593
9	2,589	2,589	2,593		2,593
10	2,591	2,588	2,590		2,590
Suma	25,8890	25,8965	25,9243		
X quer A	2,5889			X quer C	2,5924

Max X quer
2,592435

Min X quer
2,588901

X quer diff
3,5336E-03

RA + RB + RC
30

R quer =
0

Příloha 2.8 – Protokoly z analýzy systému měření GD

Způsobilost systému a měřidel/Zkouška způsobilosti (analýza R & R)

Analýza měřidla		Faehigkeitsuntersuchung in Turnov		D							
Opakovatelnost - Equipment Variation (E.V.) $\frac{R \text{ quer}}{0,0000E+00} \times \frac{K1}{4,56} = \frac{E.V.}{0,0000E+00}$											
Reprodukovatelnost - Appraiser Variation (A.V.) $\left[\frac{X \text{ quer diff}}{3,5336E-03} \times \frac{K2}{2,7} \right]^2 - \frac{A.V.}{9,5407E-03} = \frac{A.V.}{9,5407E-03}$ n = počet vzorků r = počet měření											
Celkový rozptyl $\left[\frac{E.V.}{0,0000E+00} \right]^2 + \left[\frac{A.V.}{9,1025E-05} \right]^2 = \frac{R \& R}{9,5407E-03}$											
Procentuální analýza chyb měření $\frac{100}{\frac{E.V.}{0,0000E+00}} = \frac{\% E.V.}{0,00\%}$											
Výsledek měření <table border="1"> <tr> <td>% R & R < 20 Přijatelné</td> <td>20 > % R & R < 30 Může být přijatelné</td> <td>% R & R > 30 Nepřijatelné</td> </tr> <tr> <td>Datum</td> <td>Spolehlivost</td> <td>Korekční zásah</td> </tr> </table>						% R & R < 20 Přijatelné	20 > % R & R < 30 Může být přijatelné	% R & R > 30 Nepřijatelné	Datum	Spolehlivost	Korekční zásah
% R & R < 20 Přijatelné	20 > % R & R < 30 Může být přijatelné	% R & R > 30 Nepřijatelné									
Datum	Spolehlivost	Korekční zásah									
Poznámka: Všechny výpočty jsou založeny na hodnotě 5,15 sigma (99%) A.V. - Pokud je pod odmocninou záporná hodnota, reprodukovatelnost (A.V.) je nula.											
Schválil		Datum		6.2.2009							

MUŽE BÝT PŘIJATELNÉ

Příloha 2.9 – Protokoly z analýzy systému měření GD

SPC Vyhodnocení SGAC Turnov Útvar 5500

Data :

Stroj :
Znak : GD v oleji
Měřidlo : Sartorius LP620P
Horní tolerance : 2,610

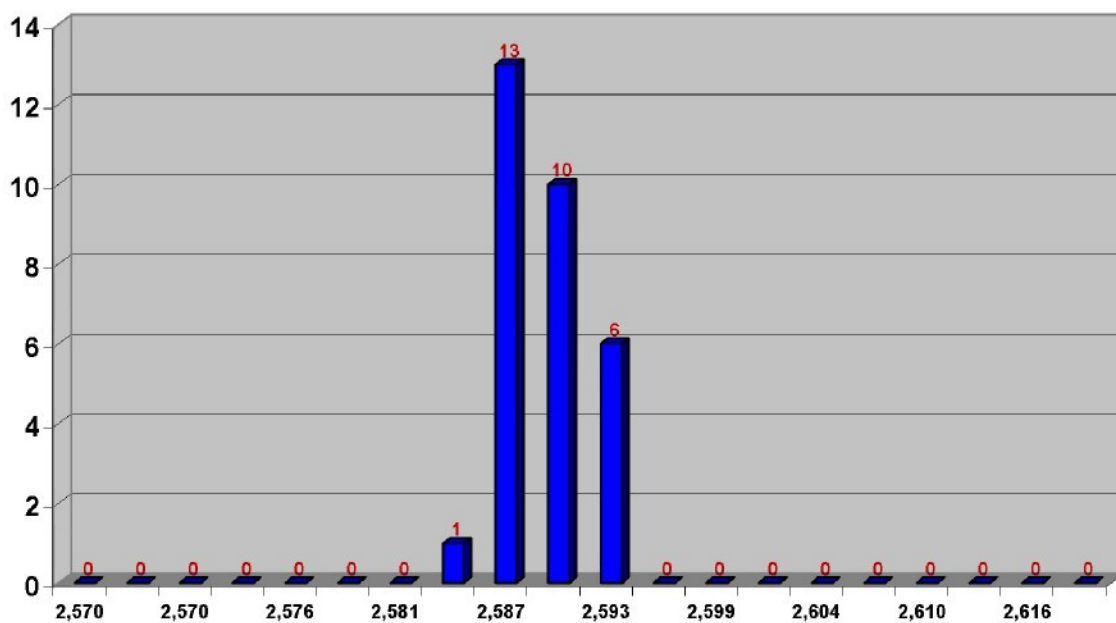
Číslo zakázky:
Zkoušející Špáta T.
Datum : 25.2.09
Dolní tolerance: 2,570

Vyhodnocení :

Xquer : 2,5902
R : 0,0070
Rquer : 0,0030
Sigma : 0,0013
CPK : 5,11

Max : 2,594
Min : 2,587
N : 30
Stichproben : 6
CP : 5,17

Díly v toleranci : 30 100,00%
Díly nad tolerancí :
Díly pod tolerancí :



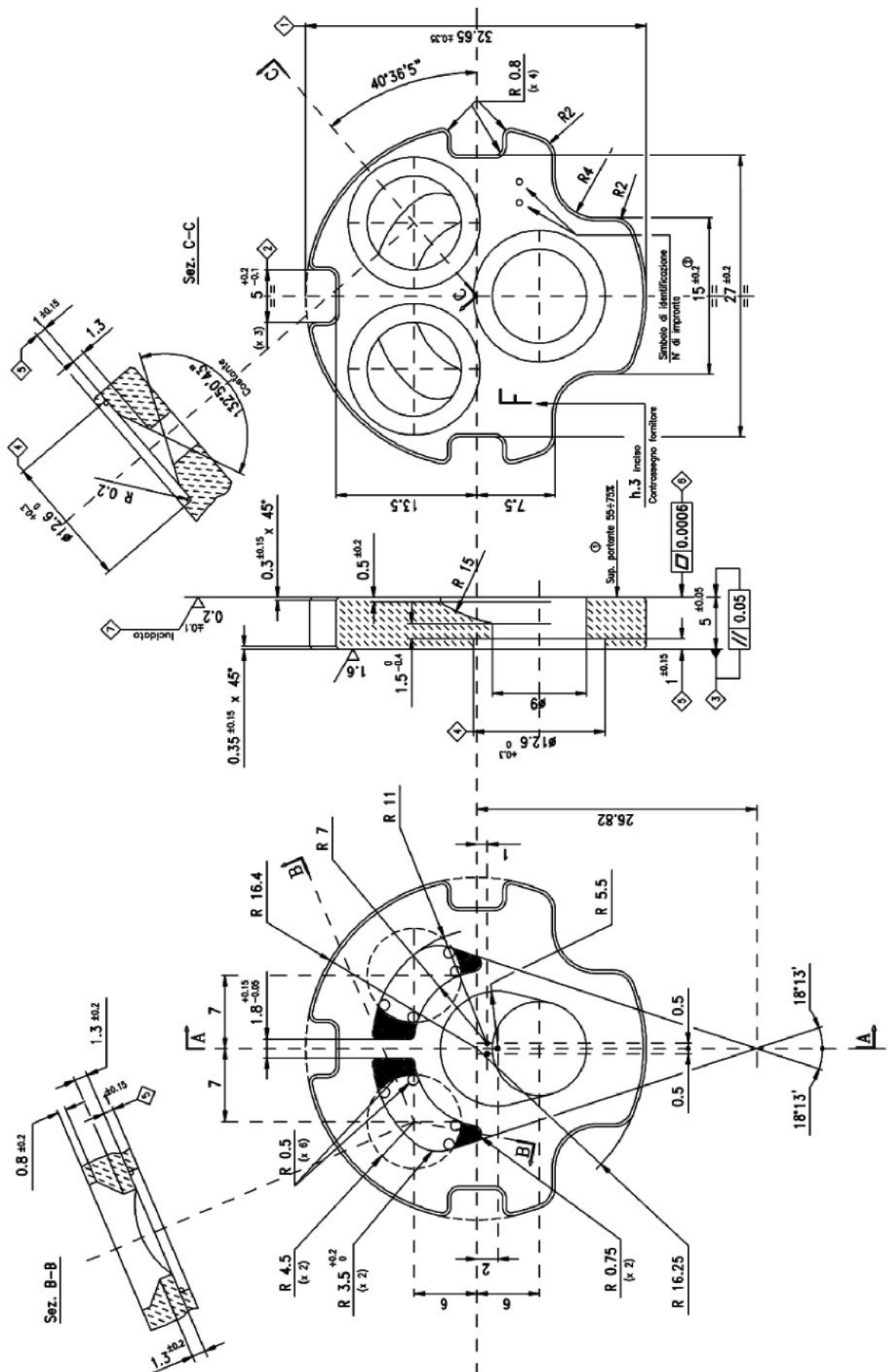
Poznámka : Zelená hustota vypočtená z hmotnosti a rozměrů

Příloha 2.10 – Protokoly z analýzy systému měření GD

Zákazník	
Zákaznický výkres	
Výkres - KX	
Stroj	
Znak	GD výpočtem
Horní tolerance	2,540
Spodní tolerance	2,500
Číslo zakázky	
Datum	25.2.09
Zkoušející	Špáta T.
Měřidlo	Sartorius LP5200P, posuvné měřítko
Nastavení histogramu	Über Toleranz
Vyhodnocení	CPK
Poznámka	

KUS Č.	HODNOTA
1	2,519
2	2,517
3	2,52
4	2,517
5	2,518
6	2,52
7	2,518
8	2,518
9	2,522
10	2,516
11	2,519
12	2,521
13	2,514
14	2,52
15	2,52
16	2,516
17	2,517
18	2,523
19	2,517
20	2,521
21	2,516
22	2,521
23	2,516
24	2,517
25	2,518
26	2,516
27	2,518
28	2,519
29	2,514
30	2,514

Příloha 3 – Schéma destičky RO2268 – po výpalu



Příloha 4/1 – Histogram nalisovaných RO2268

Vzorek č.	Hmotnost m [g]	Rozměr A [mm]
1	10,89	37,52
2	10,89	37,51
3	10,89	37,52
4	10,91	37,51
5	10,89	37,51
6	10,9	37,51
7	10,89	37,51
8	10,91	37,51
9	10,91	37,51
10	10,9	37,51
11	10,9	37,51
12	10,9	37,51
13	10,87	37,51
14	10,89	37,51
15	10,92	37,51
16	10,88	37,52
17	10,91	37,51
18	10,91	37,51
19	10,87	37,51
20	10,87	37,51
21	10,89	37,51
22	10,9	37,52
23	10,92	37,51
24	10,92	37,51
25	10,9	37,51
26	10,89	37,51
27	10,91	37,51
28	10,89	37,51
29	10,89	37,51
30	10,92	37,51
31	10,92	37,51
32	10,91	37,51
33	10,92	37,51
34	10,91	37,51
35	10,91	37,51
36	10,9	37,51
37	10,9	37,51
38	10,89	37,51
39	10,9	37,51
40	10,92	37,51
41	10,89	37,51
42	10,89	37,51
43	10,91	37,51
44	10,89	37,51
45	10,9	37,51
46	10,91	37,51
47	10,91	37,51
48	10,88	37,51
49	10,86	37,51
50	10,87	37,52

Příloha 4/2 – Histogram nalisovaných RO2268

SPC Vyhodnocení SGAC Turnov Útvar 5500

RO 2268

Data :

Stroj :
Znak : hmotnost
Měřidlo : Sartorius LP5200P
Horní tolerance : 11,000

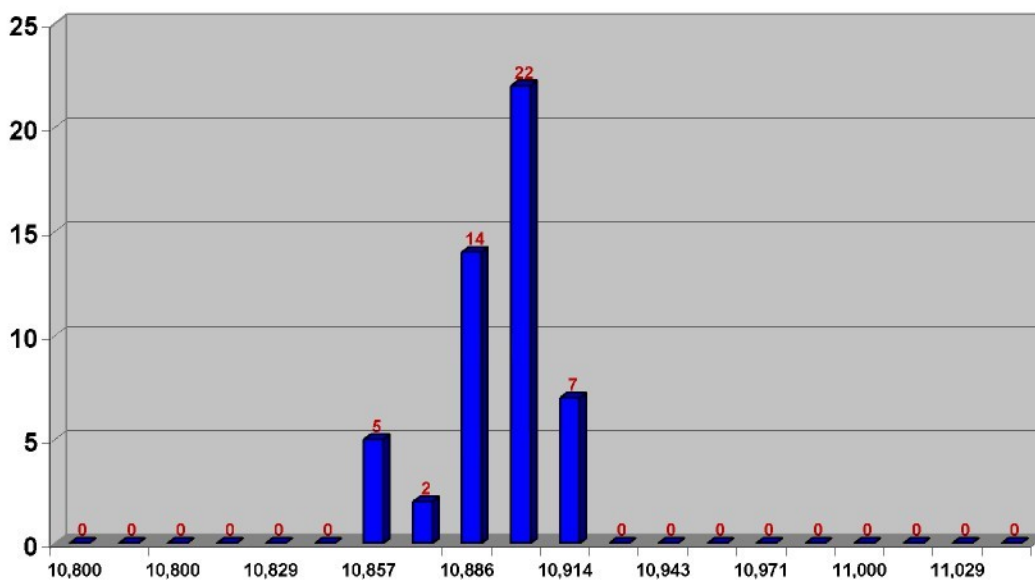
Číslo zakázky:
Zkoušející Špáta
Datum : 16.2.09
Dolní tolerance: 10,800

Vyhodnocení :

Xquer : 10,8984
R : 0,0600
Rquer : 0,0300
Sigma : 0,0129
CPK : 2,54

Max : 10,920
Min : 10,860
N : 50
Stichproben : 10
CP : 2,58

Díly v toleranci : 50 100,00%
Díly nad toleranci :
Díly pod toleranci :



Příloha 4/3 – Histogram nalisovaných RO2268

SPC Vyhodnocení SGAC Turnov Útvar 5500

RO 2268

Data :

Stroj :
Znak : rozměr A
Měřidlo : posuvné měřidlo
Horní tolerance : 37,520

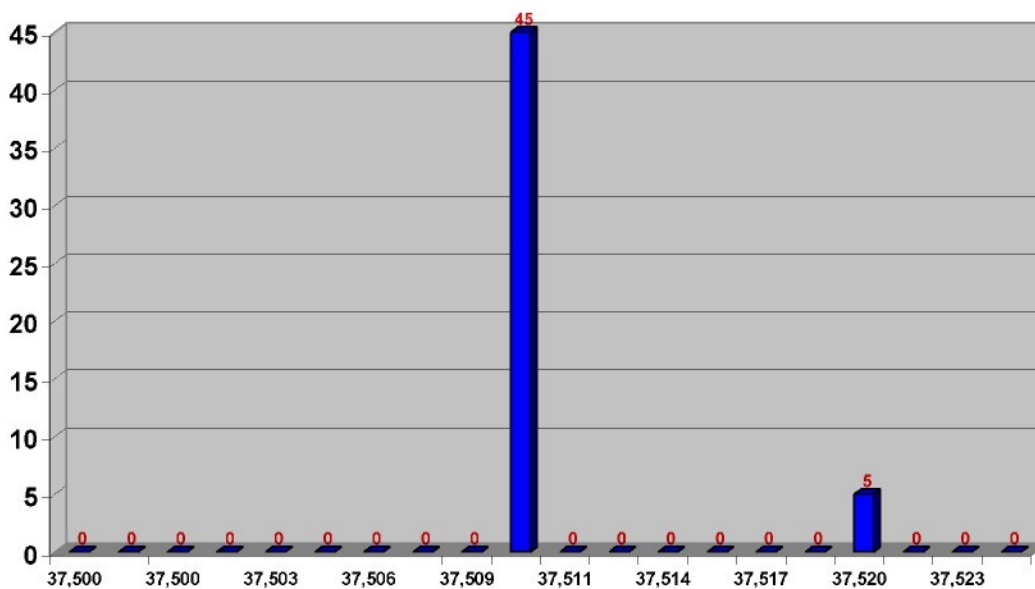
Číslo zakázky:
Zkoušející Špáta
Datum : 16.2.09
Dolní tolerance: 37,500

Vyhodnocení :

Xquer : 37,5110
R : 0,0100
Rquer : 0,0040
Sigma : 0,0017
CPK : 1,74

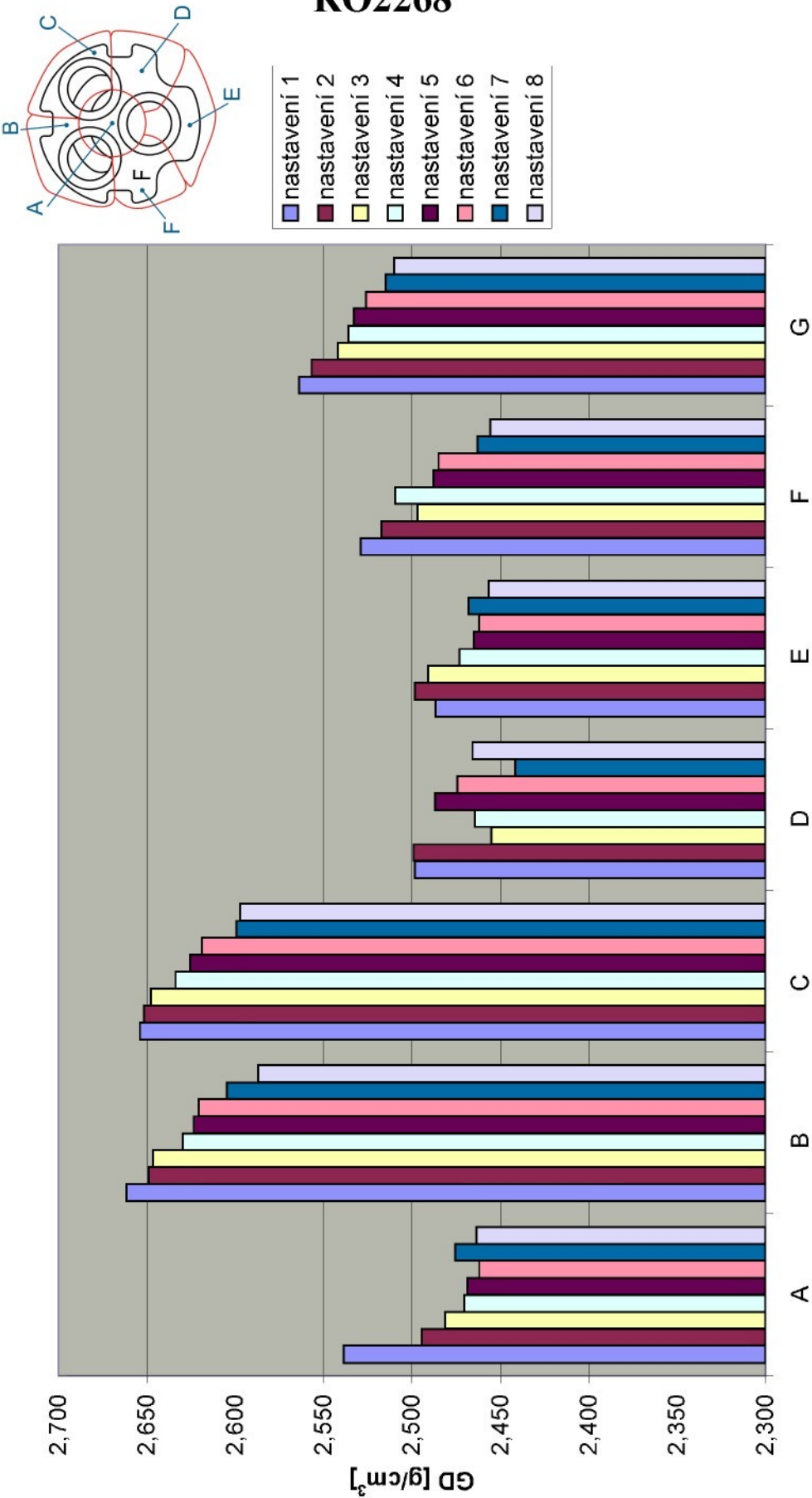
Max : 37,520
Min : 37,510
N : 50
Stichproben : 10
CP : 1,94

Díly v toleranci : 50 100,00%
Díly nad toleranci :
Díly pod toleranci :

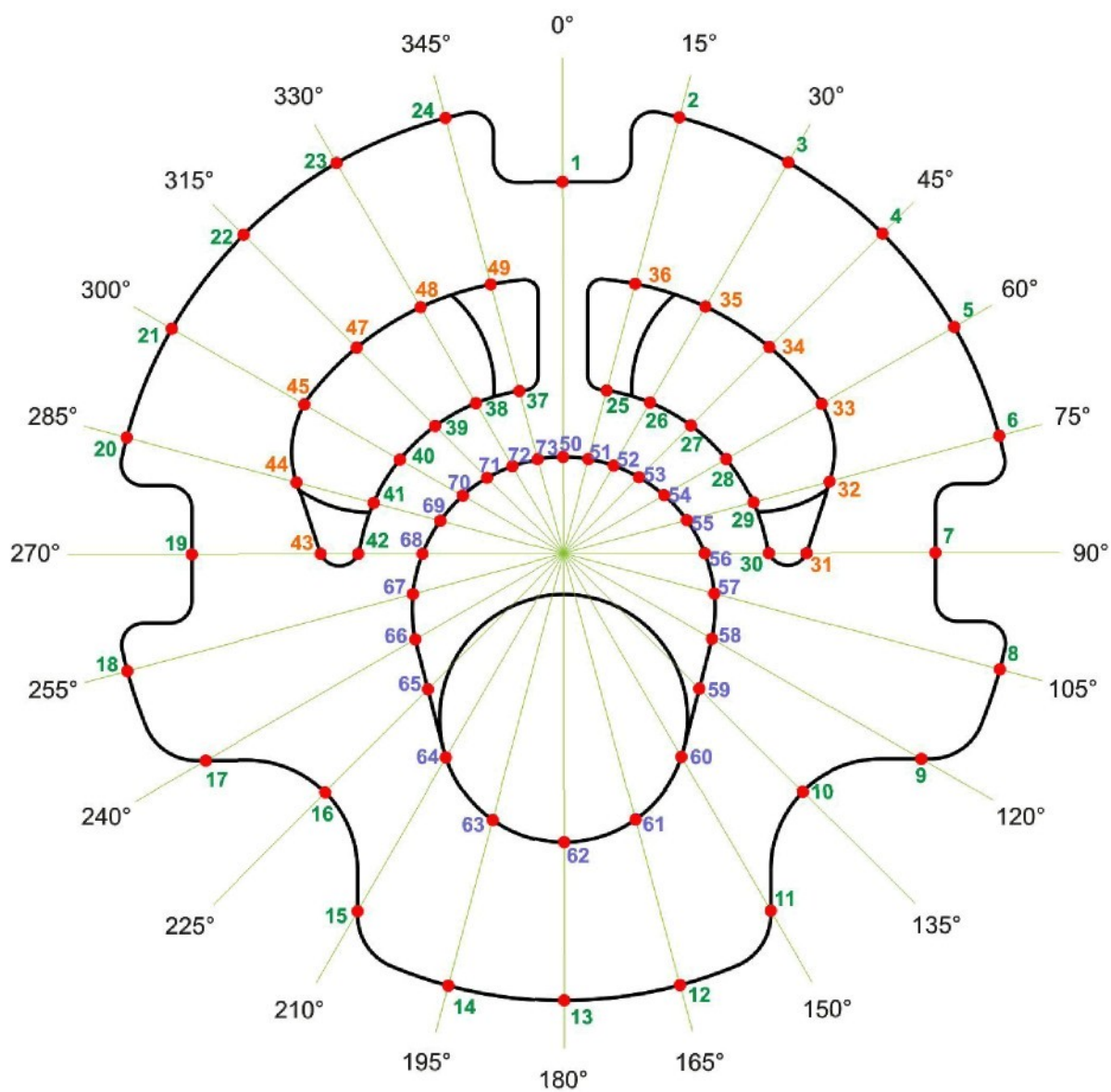


Příloha 5 – Zelená hustota v různě prolisovaných místech **RO2268**

Zelená hustota v různě prolisovaných místech



Příloha 6 – Schéma měřených bodů RO2268



Příloha 7.1 – Soubory dat RO2268 při různé GD

Souřadnice naměřených bodů RO2268

bod č.	fi [°]	R _G [mm]	R _V [mm]	R ₁ [mm]	R ₂ [mm]	R ₃ [mm]	R ₄ [mm]	R ₅ [mm]	R ₆ [mm]	R ₇ [mm]	R ₈ [mm]
1	0	15,693	13,500	13,841	13,823	13,807	13,797	13,777	13,756	13,734	13,716
2	15	19,051	16,400	16,749	16,728	16,709	16,702	16,679	16,654	16,635	16,614
3	30	19,052	16,400	16,736	16,718	16,702	16,693	16,673	16,650	16,633	16,612
4	45	19,047	16,400	16,709	16,694	16,677	16,666	16,647	16,627	16,606	16,590
5	60	19,050	16,400	16,643	16,631	16,613	16,597	16,576	16,560	16,535	16,522
6	75	19,049	16,400	16,554	16,541	16,524	16,498	16,475	16,465	16,429	16,418
7	90	15,570	13,500	13,452	13,429	13,421	13,408	13,387	13,373	13,344	13,333
8	105	19,049	16,400	16,351	16,318	16,311	16,307	16,278	16,258	16,222	16,200
9	120	17,439	15,000	14,978	14,953	14,936	14,923	14,902	14,882	14,853	14,847
10	135	14,328	12,260	12,233	12,215	12,202	12,202	12,181	12,160	12,141	12,117
11	150	17,659	15,000	15,170	15,139	15,138	15,132	15,114	15,092	15,077	15,057
12	165	18,862	16,250	16,148	16,130	16,110	16,108	16,081	16,057	16,037	16,019
13	180	18,862	16,250	16,149	16,133	16,113	16,107	16,086	16,056	16,038	16,022
14	195	18,865	16,250	16,129	16,116	16,093	16,093	16,065	16,038	16,014	15,998
15	210	17,653	15,000	15,107	15,106	15,072	15,070	15,046	15,022	14,996	14,985
16	225	14,327	12,260	12,214	12,205	12,179	12,170	12,151	12,130	12,108	12,091
17	240	17,436	15,000	14,937	14,925	14,901	14,888	14,867	14,844	14,821	14,800
18	255	19,040	16,400	16,326	16,313	16,279	16,273	16,247	16,221	16,196	16,172
19	270	15,573	13,500	13,426	13,415	13,390	13,377	13,362	13,337	13,316	13,294
20	285	19,051	16,400	16,542	16,530	16,504	16,491	16,472	16,450	16,427	16,404
21	300	19,052	16,400	16,626	16,608	16,586	16,576	16,559	16,538	16,517	16,494
22	315	19,050	16,400	16,686	16,667	16,647	16,636	16,619	16,598	16,578	16,557
23	330	19,051	16,400	16,713	16,696	16,677	16,665	16,646	16,624	16,604	16,581
24	345	19,049	16,400	16,736	16,714	16,695	16,684	16,660	16,638	16,618	16,593
25	15	7,126	6,120	6,410	6,401	6,393	6,386	6,375	6,367	6,356	6,349
26	30	7,348	6,320	6,577	6,566	6,561	6,556	6,544	6,537	6,523	6,516
27	45	7,630	6,570	6,783	6,768	6,766	6,759	6,747	6,738	6,724	6,714
28	60	7,954	6,840	7,014	6,998	6,996	6,987	6,977	6,971	6,950	6,944
29	75	8,297	7,140	7,253	7,237	7,235	7,227	7,213	7,204	7,188	7,178
30	90	8,669	7,430	7,576	7,559	7,563	7,551	7,539	7,535	7,515	7,507
31	90	10,217	8,830	8,779	8,770	8,761	8,757	8,736	8,729	8,701	8,691
32	75	11,598	10,020	10,033	10,021	10,009	9,990	9,972	9,969	9,939	9,935
33	60	12,576	10,850	10,946	10,940	10,927	10,916	10,901	10,890	10,872	10,862

Příloha 7.2 – Soubory dat RO2268 při různé GD

34	45	12,300	10,600	10,773	10,761	10,748	10,742	10,729	10,717	10,707	10,691
35	30	12,006	10,340	10,587	10,573	10,564	10,560	10,541	10,528	10,517	10,504
36	15	11,760	10,140	10,429	10,415	10,406	10,399	10,383	10,367	10,351	10,338
37	345	7,124	6,120	6,403	6,392	6,384	6,379	6,366	6,357	6,352	6,344
38	330	7,350	6,320	6,569	6,561	6,551	6,542	6,530	6,518	6,512	6,503
39	315	7,633	6,570	6,775	6,766	6,754	6,743	6,735	6,720	6,710	6,696
40	300	7,957	6,840	7,001	6,992	6,976	6,966	6,958	6,941	6,931	6,913
41	285	8,300	7,140	7,240	7,234	7,219	7,205	7,194	7,181	7,171	7,147
42	270	8,674	7,430	7,560	7,555	7,539	7,526	7,517	7,506	7,494	7,479
43	270	10,218	8,830	8,757	8,750	8,729	8,718	8,706	8,688	8,670	8,653
44	285	11,614	10,020	10,025	10,020	9,997	9,984	9,971	9,959	9,943	9,925
45	300	12,579	10,850	10,947	10,935	10,920	10,911	10,900	10,887	10,874	10,857
47	315	12,300	10,600	10,757	10,744	10,731	10,723	10,713	10,698	10,686	10,670
48	330	12,012	10,340	10,571	10,552	10,543	10,535	10,521	10,507	10,494	10,479
49	345	11,765	10,140	10,424	10,406	10,396	10,386	10,371	10,350	10,338	10,322
50	0	4,035	3,500	3,729	3,717	3,718	3,720	3,705	3,703	3,706	3,704
51	15	4,089	3,540	3,766	3,756	3,758	3,753	3,742	3,742	3,739	3,733
52	30	4,238	3,680	3,879	3,867	3,865	3,867	3,855	3,855	3,845	3,844
53	45	4,499	3,900	4,074	4,061	4,060	4,061	4,053	4,044	4,042	4,042
54	60	4,864	4,220	4,358	4,347	4,345	4,344	4,335	4,327	4,318	4,320
55	75	5,339	4,630	4,725	4,714	4,715	4,710	4,698	4,693	4,673	4,686
56	90	5,914	5,120	5,169	5,156	5,158	5,148	5,133	5,132	5,115	5,126
57	105	6,546	5,670	5,663	5,649	5,647	5,642	5,627	5,622	5,600	5,604
58	120	7,185	6,220	6,157	6,144	6,142	6,133	6,118	6,108	6,090	6,087
59	135	8,105	6,970	6,924	6,908	6,905	6,899	6,877	6,871	6,855	6,841
60	150	10,038	8,550	8,560	8,541	8,529	8,520	8,506	8,500	8,487	8,464
61	165	11,724	10,020	10,033	10,023	10,009	10,006	9,991	9,970	9,953	9,940
62	180	12,284	10,500	10,518	10,512	10,496	10,487	10,471	10,454	10,435	10,426
63	195	11,730	10,020	10,013	10,011	9,991	9,991	9,964	9,952	9,925	9,914
64	210	10,032	8,550	8,530	8,529	8,506	8,502	8,479	8,466	8,442	8,422
65	225	8,122	6,970	6,905	6,903	6,879	6,873	6,864	6,851	6,831	6,812
66	240	7,202	6,220	6,141	6,138	6,119	6,114	6,106	6,095	6,074	6,057
67	255	6,553	5,670	5,640	5,637	5,623	5,618	5,611	5,603	5,589	5,567
68	270	5,931	5,120	5,153	5,147	5,135	5,131	5,126	5,118	5,111	5,089
69	285	5,363	4,630	4,704	4,700	4,689	4,685	4,681	4,674	4,669	4,651
70	300	4,870	4,220	4,337	4,331	4,322	4,320	4,314	4,308	4,307	4,292

Příloha 7.3 – Soubory dat RO2268 při různé GD

71	315	4,500	3,900	4,057	4,049	4,045	4,039	4,036	4,031	4,028	4,015
72	330	4,243	3,680	3,865	3,858	3,852	3,854	3,841	3,841	3,840	3,833
73	345	4,088	3,540	3,758	3,752	3,747	3,747	3,739	3,733	3,736	3,729

Poloha středu S, průměr D a kruhovitosť FT

	G	V	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
S1 x	0,001	0,000	-0,005	-0,012	-0,006	-0,004	-0,005	-0,005	-0,004	0,001
S2 y	-6,888	-6,000	-5,768	-5,766	-5,753	-5,751	-5,736	-5,726	-5,708	-5,697
D1	10,772	9,000	9,341	9,328	9,318	9,314	9,304	9,290	9,278	9,265
FT1	0,053	0,000	0,227	0,227	0,232	0,236	0,240	0,240	0,247	0,249
S2 x	-0,003	0,000	0,012	0,016	0,019	0,018	0,016	0,017	0,016	0,019
S2 y	0,110	0,000	0,326	0,318	0,318	0,312	0,323	0,325	0,326	0,324
D2	37,947	32,800	32,936	32,899	32,860	32,846	32,803	32,756	32,714	32,678
FT2	0,051	0,000	0,060	0,052	0,047	0,039	0,052	0,054	0,045	0,043

Příloha 7.4 – Soubory dat RO2268 při různé GD

Délka úseků RO2268

úsek	bod 1	bod 2	L _G [mm]	L _V [mm]	L ₁ [mm]	L ₂ [mm]	L ₃ [mm]	L ₄ [mm]	L ₅ [mm]	L ₆ [mm]	L ₇ [mm]	L ₈ [mm]
000-0A	0	50	4,035	3,500	3,729	3,717	3,718	3,720	3,705	3,703	3,706	3,704
000-AD	50	1	11,658	10,000	10,112	10,106	10,089	10,077	10,072	10,053	10,028	10,012
015-0A	0	51	4,089	3,540	3,766	3,756	3,758	3,753	3,742	3,742	3,739	3,733
015-AB	51	25	3,037	2,580	2,644	2,645	2,635	2,633	2,633	2,625	2,617	2,616
015-BC	25	36	4,634	4,020	4,019	4,014	4,013	4,013	4,008	4,000	3,995	3,989
015-CD	36	2	7,045	6,060	6,162	6,155	6,145	6,142	6,138	6,126	6,118	6,110
030-0A	0	52	4,238	3,680	3,879	3,867	3,865	3,867	3,855	3,855	3,845	3,845
030-AB	52	26	3,110	2,640	2,698	2,699	2,696	2,689	2,689	2,682	2,678	2,668
030-CD	35	3	7,046	6,060	6,149	6,145	6,138	6,133	6,132	6,122	6,116	6,108
045-0A	0	53	4,499	3,900	4,074	4,061	4,060	4,061	4,053	4,044	4,042	4,044
045-AB	53	27	3,131	2,670	2,709	2,707	2,706	2,698	2,694	2,694	2,682	2,672
045-CD	34	4	6,747	5,800	5,936	5,933	5,929	5,924	5,918	5,910	5,899	5,900
060-0A	0	54	4,864	4,220	4,358	4,347	4,345	4,344	4,335	4,327	4,318	4,323
060-AB	54	28	3,090	2,620	2,656	2,651	2,651	2,643	2,642	2,644	2,632	2,624
060-CD	33	5	6,474	5,550	5,697	5,691	5,686	5,681	5,675	5,670	5,663	5,660
075-0A	0	55	5,339	4,630	4,725	4,714	4,715	4,710	4,698	4,693	4,673	4,686
075-AB	55	29	2,958	2,510	2,528	2,523	2,520	2,517	2,515	2,511	2,515	2,493
075-CD	32	6	7,451	6,380	6,521	6,520	6,515	6,508	6,503	6,496	6,490	6,483
090-0A	0	56	5,914	5,120	5,169	5,156	5,158	5,148	5,133	5,132	5,115	5,126
090-AB	56	30	2,755	2,310	2,407	2,403	2,405	2,403	2,406	2,403	2,400	2,383
090-BC	30	31	1,548	1,400	1,203	1,211	1,198	1,206	1,197	1,194	1,186	1,184
090-CD	31	7	5,353	4,670	4,673	4,659	4,660	4,651	4,651	4,644	4,643	4,640
105-0A	0	57	6,546	5,670	5,663	5,649	5,647	5,642	5,627	5,622	5,600	5,606
105-AD	57	8	12,503	10,730	10,688	10,669	10,664	10,665	10,651	10,636	10,622	10,598
120-0A	0	58	7,185	6,220	6,157	6,144	6,142	6,133	6,118	6,108	6,090	6,090
120-AD	58	9	10,254	8,780	8,821	8,809	8,794	8,790	8,784	8,774	8,763	8,758
135-AD	59	10	6,223	5,290	5,309	5,307	5,297	5,303	5,304	5,289	5,286	5,272
150-AD	11	60	7,621	6,450	6,610	6,598	6,609	6,612	6,608	6,592	6,590	6,591
165-AD	12	61	7,138	6,230	6,115	6,107	6,101	6,102	6,090	6,087	6,084	6,079
180-AD	13	62	6,578	5,750	5,631	5,621	5,617	5,620	5,615	5,602	5,603	5,597
195-AD	14	63	7,135	6,230	6,116	6,105	6,102	6,102	6,101	6,086	6,089	6,083
210-AD	15	64	7,621	6,450	6,577	6,577	6,566	6,566	6,567	6,556	6,554	6,557
225-AD	65	16	6,205	5,290	5,309	5,302	5,300	5,298	5,287	5,279	5,277	5,276

Příloha 7.5 – Soubory dat RO2268 při různé GD

240-0A	0	66	7,202	6,220	6,141	6,138	6,119	6,114	6,106	6,095	6,074	6,059
240-AD	66	17	10,234	8,780	8,796	8,787	8,782	8,774	8,761	8,749	8,747	8,742
255-0A	0	67	6,553	5,670	5,640	5,637	5,623	5,618	5,611	5,603	5,589	5,569
255-AD	67	18	12,487	10,730	10,686	10,676	10,656	10,655	10,636	10,618	10,607	10,603
270-0A	0	68	5,931	5,120	5,153	5,147	5,135	5,131	5,126	5,118	5,111	5,093
270-AB	68	42	2,743	2,310	2,407	2,408	2,404	2,395	2,391	2,388	2,383	2,389
270-BC	42	43	1,544	1,400	1,197	1,195	1,190	1,192	1,189	1,182	1,176	1,171
270-CD	43	19	5,355	4,670	4,669	4,665	4,661	4,659	4,656	4,649	4,646	4,641
285-0A	0	69	5,363	4,630	4,704	4,700	4,689	4,685	4,681	4,674	4,669	4,653
285-AB	69	41	2,937	2,510	2,536	2,534	2,530	2,520	2,513	2,507	2,502	2,499
285-CD	44	20	7,437	6,380	6,517	6,510	6,507	6,507	6,501	6,491	6,484	6,479
300-0A	0	70	4,870	4,220	4,337	4,331	4,322	4,320	4,314	4,308	4,307	4,292
300-AB	70	40	3,087	2,620	2,664	2,661	2,654	2,646	2,644	2,633	2,624	2,622
300-CD	45	21	6,473	5,550	5,679	5,673	5,666	5,665	5,659	5,651	5,643	5,637
315-0A	0	71	4,500	3,900	4,057	4,049	4,045	4,039	4,036	4,031	4,028	4,018
315-AB	71	39	3,133	2,670	2,718	2,717	2,709	2,704	2,699	2,689	2,682	2,678
315-CD	47	22	6,750	5,800	5,929	5,923	5,916	5,913	5,906	5,900	5,892	5,887
330-CD	0	72	4,243	3,680	3,865	3,858	3,852	3,854	3,841	3,841	3,840	3,833
330-AB	72	38	3,107	2,640	2,704	2,703	2,699	2,688	2,689	2,677	2,672	2,670
330-0A	48	23	7,039	6,060	6,157	6,144	6,134	6,130	6,125	6,117	6,110	6,102
345-0A	0	73	4,088	3,540	3,758	3,752	3,747	3,747	3,739	3,733	3,736	3,730
345-AB	73	37	3,036	2,580	2,645	2,640	2,637	2,632	2,627	2,624	2,616	2,614
345-BC	37	49	4,641	4,020	4,021	4,014	4,012	4,007	4,005	3,993	3,986	3,978
345-CD	49	24	7,284	6,260	6,312	6,308	6,299	6,298	6,291	6,288	6,280	6,271

Příloha 7.6 – Soubory dat RO2268 při různé GD

Smrštění úseků RO2268

úsek	bod 1	bod 2	x_v [%]	x_1 [%]	x_2 [%]	x_3 [%]	x_4 [%]	x_5 [%]	x_6 [%]	x_7 [%]	x_8 [%]
000-0A	0	50	13,25898	7,5836	7,8810	7,8563	7,8067	8,1784	8,2280	8,1537	8,2032
000-AD	50	1	14,22199	13,2613	13,3127	13,4586	13,5615	13,6044	13,7674	13,9818	14,1191
015-0A	0	51	13,42627	7,8992	8,1438	8,0949	8,2172	8,4862	8,4862	8,5596	8,7063
015-AB	51	25	15,04774	12,9404	12,9075	13,2367	13,3026	13,3026	13,5660	13,8294	13,8624
015-BC	25	36	13,24989	13,2715	13,3794	13,4009	13,4009	13,5088	13,6815	13,7894	13,9189
015-CD	36	2	13,98155	12,5337	12,6331	12,7750	12,8176	12,8744	13,0447	13,1583	13,2718
030-0A	0	52	13,16659	8,4710	8,7541	8,8013	8,7541	9,0373	9,0373	9,2732	9,2732
030-AB	52	26	15,11254	13,2476	13,2154	13,3119	13,5370	13,5370	13,7621	13,8907	14,2122
030-CD	35	3	13,99376	12,7306	12,7874	12,8867	12,9577	12,9719	13,1138	13,1990	13,3125
045-0A	0	53	13,31407	9,4465	9,7355	9,7577	9,7355	9,9133	10,1134	10,1578	10,1134
045-AB	53	27	14,72373	13,4781	13,5420	13,5739	13,8294	13,9572	13,9572	14,3405	14,6599
045-CD	34	4	14,03587	12,0202	12,0646	12,1239	12,1980	12,2869	12,4055	12,5685	12,5537
060-0A	0	54	13,24013	10,4030	10,6291	10,6702	10,6908	10,8758	11,0403	11,2253	11,1225
060-AB	54	28	15,21036	14,0453	14,2071	14,2071	14,4660	14,4984	14,4337	14,8220	15,0809
060-CD	33	5	14,27247	12,0019	12,0945	12,1718	12,2490	12,3417	12,4189	12,5270	12,5734
075-0A	0	55	13,27964	11,5003	11,7063	11,6876	11,7812	12,0060	12,0996	12,4742	12,2308
075-AB	55	29	15,14537	14,5368	14,7059	14,8073	14,9087	14,9763	15,1116	14,9763	15,7201
075-CD	32	6	14,37391	12,4815	12,4950	12,5621	12,6560	12,7231	12,8171	12,8976	12,9915
090-0A	0	56	13,42577	12,5972	12,8170	12,7832	12,9523	13,2060	13,2229	13,5103	13,3243
090-AB	56	30	16,15245	12,6316	12,7768	12,7042	12,7768	12,6679	12,7768	12,8857	13,5027
090-CD	31	7	12,7592	12,7032	12,9647	12,9460	13,1141	13,1141	13,2449	13,2636	13,3196
105-0A	0	57	13,38222	13,4892	13,7030	13,7336	13,8100	14,0391	14,1155	14,4516	14,3599
105-AD	57	8	14,1806	14,5165	14,6685	14,7085	14,7005	14,8124	14,9324	15,0444	15,2363
120-0A	0	58	13,43076	14,3076	14,4885	14,5164	14,6416	14,8504	14,9896	15,2401	15,2401
120-AD	58	9	14,37488	13,9750	14,0921	14,2383	14,2774	14,3359	14,4334	14,5407	14,5894
135-AD	59	10	14,99277	14,6874	14,7196	14,8803	14,7839	14,7678	15,0088	15,0570	15,2820
150-AD	11	60	15,36544	13,2660	13,4234	13,2791	13,2397	13,2922	13,5022	13,5284	13,5153
165-AD	12	61	12,72065	14,3317	14,4438	14,5279	14,5139	14,6820	14,7240	14,7660	14,8361
180-AD	13	62	12,58741	14,3965	14,5485	14,6093	14,5637	14,6397	14,8373	14,8221	14,9133
195-AD	14	63	12,68395	14,2817	14,4359	14,4779	14,4779	14,4919	14,7022	14,6601	14,7442
210-AD	15	64	15,36544	13,6990	13,6990	13,8433	12,6624	13,8302	13,9745	14,0008	13,9614
225-AD	65	16	14,74617	14,4400	14,5528	14,5850	14,6172	14,7945	14,9234	14,9557	14,9718
240-0A	0	66	13,6351	14,7320	14,7737	15,0375	15,1069	15,2180	15,3707	15,6623	15,8706

Příloha 7.7 – Soubory dat RO2268 při různé GD

240-AD	66	17	14,20754	14,0512	14,1391	14,1880	14,2662	14,3932	14,5105	14,5300	14,5789
255-0A	0	67	13,47474	13,9325	13,9783	14,1920	14,2683	14,3751	14,4972	14,7108	15,0160
255-AD	67	18	14,07063	14,4230	14,5031	14,6632	14,6713	14,8234	14,9676	15,0557	15,0877
270-0A	0	68	13,67392	13,1175	13,2187	13,4210	13,4885	13,5728	13,7076	13,8257	14,1292
270-AB	68	42	15,78564	12,2494	12,2129	12,3587	12,6868	12,8327	12,9420	13,1243	12,9056
270-CD	43	19	12,79178	12,8105	12,8852	12,9599	12,9972	13,0532	13,1839	13,2400	13,3333
285-0A	0	69	13,66772	12,2879	12,3625	12,5676	12,6422	12,7168	12,8473	12,9405	13,2389
285-AB	69	41	14,53864	13,6534	13,7215	13,8577	14,1982	14,4365	14,6408	14,8110	14,9132
285-CD	44	20	14,21272	12,3706	12,4647	12,5050	12,5050	12,5857	12,7202	12,8143	12,8815
300-0A	0	70	13,34702	10,9446	11,0678	11,2526	11,2936	11,4168	11,5400	11,5606	11,8686
300-AB	70	40	15,12796	13,7026	13,7998	14,0266	14,2857	14,3505	14,7068	14,9984	15,0632
300-CD	45	21	14,25923	12,2663	12,3590	12,4672	12,4826	12,5753	12,6989	12,8225	12,9152
315-0A	0	71	13,33333	9,8444	10,0222	10,1111	10,2444	10,3111	10,4222	10,4889	10,7111
315-AB	71	39	14,77817	13,2461	13,2780	13,5334	13,6929	13,8525	14,1717	14,3951	14,5228
315-CD	47	22	14,07407	12,1630	12,2519	12,3556	12,4000	12,5037	12,5926	12,7111	12,7852
330-CD	0	72	13,26891	8,9088	9,0738	9,2152	9,1680	9,4744	9,4744	9,4980	9,6630
330-AB	72	38	15,03058	12,9707	13,0029	13,1316	13,4857	13,4535	13,8397	14,0006	14,0650
330-0A	48	23	13,90823	12,5302	12,7149	12,8569	12,9138	12,9848	13,0985	13,1979	13,3115
345-0A	0	73	13,40509	8,0724	8,2192	8,3415	8,3415	8,5372	8,6840	8,6106	8,7573
345-AB	73	37	15,01976	12,8788	13,0435	13,1423	13,3070	13,4717	13,5705	13,8340	13,8999
345-BC	37	49	13,38074	13,3592	13,5100	13,5531	13,6608	13,7039	13,9625	14,1133	14,2857
345-CD	49	24	14,05821	13,3443	13,3992	13,5228	13,5365	13,6326	13,6738	13,7836	13,9072

MAX	16,152	14,732	14,774	15,037	15,107	15,218	15,371	15,662	15,871
MIN	12,587	7,584	7,881	7,856	7,807	8,178	8,228	8,154	8,203
PRUMĚ	14,041	12,601	12,719	12,809	12,866	12,998	13,133	13,260	13,372
SMODC	0,846	1,799	1,761	1,779	1,795	1,754	1,781	1,810	1,838
MAX-MIN	3,565	7,148	6,893	7,181	7,300	7,040	7,143	7,509	7,667
ROZPTY	0,716	3,236	3,099	3,165	3,222	3,076	3,172	3,277	3,379

$$x_i = 100 \cdot (1 - L_i / L_G)$$

i = 1 až 8

Příloha 7.8 – Soubory dat RO2268 při různé GD

Smrštění obvodu destičky vůči středu [%]

Úhel úseku [°]	Body úseku	Smrštění [%]	X _{s1}	X _{s2}	X _{s3}	X _{s4}	X _{s5}	X _{s6}	X _{s7}	X _{s8}
0	0-1		11,799	11,915	12,017	12,078	12,208	12,341	12,478	12,597
15	0-2		12,083	12,194	12,289	12,329	12,449	12,579	12,679	12,791
30	0-3		12,155	12,250	12,337	12,383	12,488	12,611	12,699	12,809
45	0-4		12,273	12,352	12,444	12,501	12,598	12,707	12,812	12,901
60	0-5		12,636	12,698	12,794	12,879	12,989	13,072	13,204	13,274
75	0-6		13,099	13,163	13,255	13,389	13,511	13,563	13,755	13,811
90	0-7		13,603	13,748	13,799	13,882	14,022	14,106	14,297	14,364
105	0-8		14,163	14,338	14,376	14,396	14,549	14,654	14,844	14,957
120	0-9		14,114	14,257	14,355	14,428	14,550	14,665	14,829	14,866
135	0-10		14,624	14,746	14,835	14,839	14,987	15,132	15,264	15,433
150	0-11		14,094	14,268	14,277	14,312	14,411	14,534	14,621	14,733
165	0-12		14,388	14,485	14,592	14,603	14,743	14,872	14,977	15,072
180	0-13		14,386	14,469	14,576	14,607	14,720	14,877	14,975	15,059
195	0-14		14,505	14,573	14,694	14,692	14,844	14,985	15,111	15,199
210	0-15		14,423	14,431	14,623	14,634	14,770	14,904	15,051	15,118
225	0-16		14,750	14,815	14,995	15,057	15,190	15,339	15,491	15,611
240	0-17		14,328	14,402	14,536	14,613	14,731	14,862	14,999	15,116
255	0-18		14,253	14,320	14,500	14,531	14,668	14,803	14,937	15,060
270	0-19		13,786	13,859	14,020	14,100	14,196	14,354	14,493	14,635
285	0-20		13,170	13,234	13,368	13,437	13,535	13,652	13,770	13,891
300	0-21		12,731	12,827	12,942	12,998	13,086	13,197	13,306	13,428
315	0-22		12,406	12,510	12,611	12,668	12,759	12,869	12,973	13,083
330	0-23		12,270	12,361	12,458	12,522	12,620	12,738	12,845	12,960
345	0-24		12,143	12,256	12,356	12,418	12,540	12,660	12,765	12,893
MAX			14,750	14,815	14,995	15,057	15,190	15,339	15,491	15,611
MIN			11,799	11,915	12,017	12,078	12,208	12,341	12,478	12,597
PRUMĚR			13,424	13,520	13,627	13,679	13,798	13,920	14,049	14,153
SMODCH			0,979	0,978	0,987	0,975	0,986	0,995	1,006	1,005
MAX-MIN			2,952	2,899	2,978	2,979	2,982	2,998	3,013	3,013
ROZPTYL			0,959	0,956	0,975	0,951	0,973	0,991	1,013	1,011

Příloha 7.9 – Soubory dat RO2268 při různé GD

Smrštění obvodu destičky přes střed [%]

Úhel úseku [°]	Body úseku	Smrštění [%]	X _{so1}	X _{so2}	X _{so3}	X _{so4}	X _{so5}	X _{so6}	X _{so7}	X _{so8}
0	1-13		13,56	13,67	13,84	13,94	14,07	14,21	14,36	14,47
15	2-14		12,95	13,00	13,15	13,27	13,34	13,44	13,54	13,74
30	3-15		12,25	-50,62	-50,43	-50,22	-50,15	-49,94	-49,80	-49,52
45	4-16		12,13	12,25	12,34	12,47	12,49	12,62	12,73	12,84
60	5-17		11,63	11,77	11,84	12,02	12,02	12,14	12,26	12,39
75	6-18		10,99	11,12	11,21	11,51	11,45	11,59	11,69	11,89
90	7-19		9,49	9,61	9,67	10,23	10,00	10,12	10,12	10,28
105	8-20		9,79	9,92	9,96	10,56	10,30	10,46	10,55	10,73
120	9-21		10,26	10,34	10,63	11,12	10,72	10,93	11,09	11,22
135	10-22		10,62	10,85	11,12	11,20	11,07	11,31	11,43	11,46
150	11-23		10,37	10,67	10,77	10,77	10,77	11,08	11,32	11,04
165	12-24		11,49	11,73	11,81	11,85	11,92	12,23	12,45	12,17
MAX			13,560	13,670	13,840	13,940	14,070	14,210	14,360	14,470
MIN			9,490	-50,620	-50,430	-50,220	-50,150	-49,940	-49,800	-49,520
PRUMĚR			11,294	6,193	6,326	6,560	6,500	6,683	6,812	6,893
SMODCH			1,212	17,169	17,152	17,152	17,120	17,110	17,108	17,049
MAX-MIN			4,070	64,290	64,270	64,160	64,220	64,150	64,160	63,990
ROZPTYL			1,469	294,765	294,201	294,183	293,097	292,768	292,692	290,674

Příloha 7.10 – Soubory dat RO2268 při různé GD

**Odchylka vzdálenosti bodů
od středu součásti**

$L_V \dots$ požadovaná délka dle výkresu

Bod č.	Odchylka Δ L [mm]		Δ L = L _{1,2,3 ...} - L _V					
	Δ L ₁ [mm]	Δ L ₂ [mm]	Δ L ₃ [mm]	Δ L ₄ [mm]	Δ L ₅ [mm]	Δ L ₆ [mm]	Δ L ₇ [mm]	Δ L ₈ [mm]
1	0,341	0,323	0,307	0,297	0,277	0,256	0,234	0,216
2	0,349	0,328	0,309	0,302	0,279	0,254	0,235	0,214
3	0,336	0,318	0,302	0,293	0,273	0,25	0,233	0,212
4	0,309	0,294	0,277	0,266	0,247	0,227	0,206	0,19
5	0,243	0,231	0,213	0,197	0,176	0,16	0,135	0,122
6	0,154	0,141	0,124	0,098	0,075	0,065	0,029	0,018
7	-0,048	-0,071	-0,079	-0,092	-0,113	-0,127	-0,156	-0,167
8	-0,049	-0,082	-0,089	-0,093	-0,122	-0,142	-0,178	-0,2
9	-0,022	-0,047	-0,064	-0,077	-0,098	-0,118	-0,147	-0,153
10	-0,027	-0,045	-0,058	-0,058	-0,079	-0,1	-0,119	-0,143
11	0,17	0,139	0,138	0,132	0,114	0,092	0,077	0,057
12	-0,102	-0,12	-0,14	-0,142	-0,169	-0,193	-0,213	-0,231
13	-0,101	-0,117	-0,137	-0,143	-0,164	-0,194	-0,212	-0,228
14	-0,121	-0,134	-0,157	-0,157	-0,185	-0,212	-0,236	-0,252
15	0,107	0,106	0,072	0,07	0,046	0,022	-0,004	-0,015
16	-0,046	-0,055	-0,081	-0,09	-0,109	-0,13	-0,152	-0,169
17	-0,063	-0,075	-0,099	-0,112	-0,133	-0,156	-0,179	-0,2
18	-0,074	-0,087	-0,121	-0,127	-0,153	-0,179	-0,204	-0,228
19	-0,074	-0,085	-0,11	-0,123	-0,138	-0,163	-0,184	-0,206
20	0,142	0,13	0,104	0,091	0,072	0,05	0,027	0,004
21	0,226	0,208	0,186	0,176	0,159	0,138	0,117	0,094
22	0,286	0,267	0,247	0,236	0,219	0,198	0,178	0,157
23	0,313	0,296	0,277	0,265	0,246	0,224	0,204	0,181
24	0,336	0,314	0,295	0,284	0,26	0,238	0,218	0,193
25	0,29	0,281	0,273	0,266	0,255	0,247	0,236	0,229
26	0,257	0,246	0,241	0,236	0,224	0,217	0,203	0,196
27	0,213	0,198	0,196	0,189	0,177	0,168	0,154	0,144
28	0,174	0,158	0,156	0,147	0,137	0,131	0,11	0,104
29	0,113	0,097	0,095	0,087	0,073	0,064	0,048	0,038
30	0,146	0,129	0,133	0,121	0,109	0,105	0,085	0,077
31	-0,051	-0,06	-0,069	-0,073	-0,094	-0,101	-0,129	-0,139
32	0,013	0,001	-0,011	-0,03	-0,048	-0,051	-0,081	-0,085
33	0,096	0,09	0,077	0,066	0,051	0,04	0,022	0,012
34	0,173	0,161	0,148	0,142	0,129	0,117	0,107	0,091
35	0,247	0,233	0,224	0,22	0,201	0,188	0,177	0,164
36	0,289	0,275	0,266	0,259	0,243	0,227	0,211	0,198
37	0,283	0,272	0,264	0,259	0,246	0,237	0,232	0,224
38	0,249	0,241	0,231	0,222	0,21	0,198	0,192	0,183
39	0,205	0,196	0,184	0,173	0,165	0,15	0,14	0,126
40	0,161	0,152	0,136	0,126	0,118	0,101	0,091	0,073
41	0,1	0,094	0,079	0,065	0,054	0,041	0,031	0,007
42	0,13	0,125	0,109	0,096	0,087	0,076	0,064	0,049
43	-0,073	-0,08	-0,101	-0,112	-0,124	-0,142	-0,16	-0,177
44	0,005	0	-0,023	-0,036	-0,049	-0,061	-0,077	-0,095
45	0,097	0,085	0,07	0,061	0,05	0,037	0,024	0,007
47	0,157	0,144	0,131	0,123	0,113	0,098	0,086	0,07
48	0,231	0,212	0,203	0,195	0,181	0,167	0,154	0,139
49	0,284	0,266	0,256	0,246	0,231	0,21	0,198	0,182
50	0,229	0,217	0,218	0,22	0,205	0,203	0,206	0,204
51	0,226	0,216	0,218	0,213	0,202	0,202	0,199	0,193

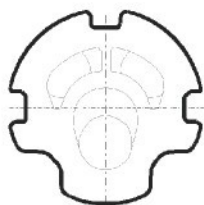
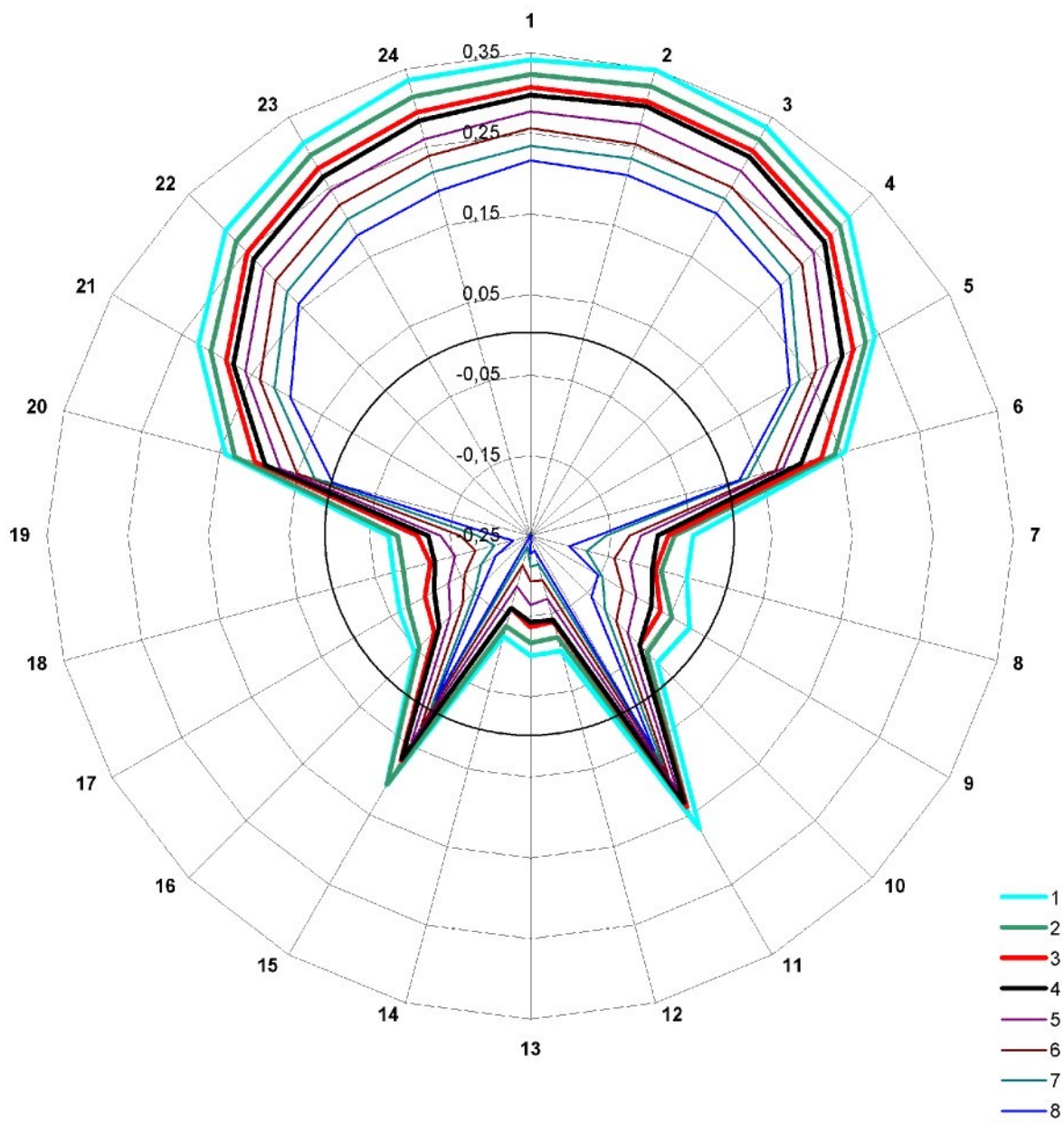
Příloha 7.11 – Soubory dat RO2268 při různé GD

52	0,199	0,187	0,185	0,187	0,175	0,175	0,165	0,164
53	0,174	0,161	0,16	0,161	0,153	0,144	0,142	0,142
54	0,138	0,127	0,125	0,124	0,115	0,107	0,098	0,1
55	0,095	0,084	0,085	0,08	0,068	0,063	0,043	0,056
56	0,049	0,036	0,038	0,028	0,013	0,012	-0,005	0,006
57	-0,007	-0,021	-0,023	-0,028	-0,043	-0,048	-0,07	-0,066
58	-0,063	-0,076	-0,078	-0,087	-0,102	-0,112	-0,13	-0,133
59	-0,046	-0,062	-0,065	-0,071	-0,093	-0,099	-0,115	-0,129
60	0,01	-0,009	-0,021	-0,03	-0,044	-0,05	-0,063	-0,086
61	0,013	0,003	-0,011	-0,014	-0,029	-0,05	-0,067	-0,08
62	0,018	0,012	-0,004	-0,013	-0,029	-0,046	-0,065	-0,074
63	-0,007	-0,009	-0,029	-0,029	-0,056	-0,068	-0,095	-0,106
64	-0,02	-0,021	-0,044	-0,048	-0,071	-0,084	-0,108	-0,128
65	-0,065	-0,067	-0,091	-0,097	-0,106	-0,119	-0,139	-0,158
66	-0,079	-0,082	-0,101	-0,106	-0,114	-0,125	-0,146	-0,163
67	-0,03	-0,033	-0,047	-0,052	-0,059	-0,067	-0,081	-0,103
68	0,033	0,027	0,015	0,011	0,006	-0,002	-0,009	-0,031
69	0,074	0,07	0,059	0,055	0,051	0,044	0,039	0,021
70	0,117	0,111	0,102	0,1	0,094	0,088	0,087	0,072
71	0,157	0,149	0,145	0,139	0,136	0,131	0,128	0,115
72	0,185	0,178	0,172	0,174	0,161	0,161	0,16	0,153
73	0,218	0,212	0,207	0,207	0,199	0,193	0,196	0,189
MAX	0,349	0,328	0,309	0,302	0,279	0,256	0,236	0,229
MIN	-0,121	-0,134	-0,157	-0,157	-0,185	-0,212	-0,236	-0,252
PRUMĚR	0,111	0,098653	0,086097	0,078681	0,063208	0,049681	0,033292	0,020014
SMODCH	0,134903	0,133856	0,136282	0,136089	0,137661	0,139205	0,143417	0,144919
MAX-MIN	0,47	0,462	0,466	0,459	0,464	0,468	0,472	0,481
ROZPTYL	0,018199	0,017917	0,018573	0,01852	0,018951	0,019378	0,020568	0,021001

Příloha 7.12 – Soubory dat RO2268 při různé GD

Odchyłky vzdálenosti obvodových bodů od
středu součásti

$$\Delta L = L_{\text{skutečná}} - L_{\text{výkres}}$$



Příloha 7.13 – Soubory dat RO2268 při různé GD

Rozdíly v symetrii součástí (přes osu y)

Body symetrie		$\Delta L_{\text{symetrie}} = L_{\text{bod1}} - L_{\text{bod2}}$							
		Odchyly symetrie $\Delta L_{\text{symetrie}}$ [mm]							
č.1	č.2	1	2	3	4	5	6	7	8
2	24	0,013	0,014	0,014	0,018	0,019	0,016	0,017	0,021
3	23	0,023	0,022	0,025	0,028	0,027	0,026	0,029	0,031
4	22	0,023	0,027	0,030	0,030	0,028	0,029	0,028	0,033
5	21	0,017	0,023	0,027	0,021	0,017	0,022	0,018	0,028
6	20	0,012	0,011	0,020	0,007	0,003	0,015	0,002	0,014
7	19	0,026	0,014	0,031	0,031	0,025	0,036	0,028	0,039
8	18	0,025	0,005	0,032	0,034	0,031	0,037	0,026	0,028
9	17	0,041	0,028	0,035	0,035	0,035	0,038	0,032	0,047
10	16	0,019	0,010	0,023	0,032	0,030	0,030	0,033	0,026
11	15	0,063	0,033	0,066	0,062	0,068	0,070	0,081	0,072
12	14	0,019	0,014	0,017	0,015	0,016	0,019	0,023	0,021
25	37	0,007	0,009	0,009	0,007	0,009	0,010	0,004	0,005
26	38	0,008	0,005	0,010	0,014	0,014	0,019	0,011	0,013
27	39	0,008	0,002	0,012	0,016	0,012	0,018	0,014	0,018
28	40	0,013	0,006	0,020	0,021	0,019	0,030	0,019	0,031
29	41	0,013	0,003	0,016	0,022	0,019	0,023	0,017	0,031
30	42	0,016	0,004	0,024	0,025	0,022	0,029	0,021	0,028
31	43	0,022	0,020	0,032	0,039	0,030	0,041	0,031	0,038
32	44	0,008	0,001	0,012	0,006	0,001	0,010	-0,004	0,010
33	45	-0,001	0,005	0,007	0,005	0,001	0,003	-0,002	0,005
34	47	0,016	0,017	0,017	0,019	0,016	0,019	0,021	0,021
35	48	0,016	0,021	0,021	0,025	0,020	0,021	0,023	0,025
36	49	0,005	0,009	0,010	0,013	0,012	0,017	0,013	0,016
51	73	0,008	0,004	0,011	0,006	0,003	0,009	0,003	0,004
52	72	0,014	0,009	0,013	0,013	0,014	0,014	0,005	0,011
53	71	0,017	0,012	0,015	0,022	0,017	0,013	0,014	0,027
54	70	0,021	0,016	0,023	0,024	0,021	0,019	0,011	0,028
55	69	0,021	0,014	0,026	0,025	0,017	0,019	0,004	0,035
56	68	0,016	0,009	0,023	0,017	0,007	0,014	0,004	0,037
57	67	0,023	0,012	0,024	0,024	0,016	0,019	0,011	0,037
58	66	0,016	0,006	0,023	0,019	0,012	0,013	0,016	0,030

[illegible]

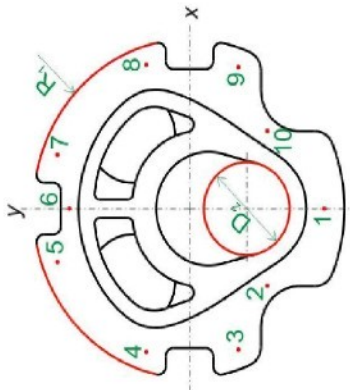
Příloha 7.15 – Soubory dat RO2268 při různé GD

Odchylky výšky vztažené k bodu 1

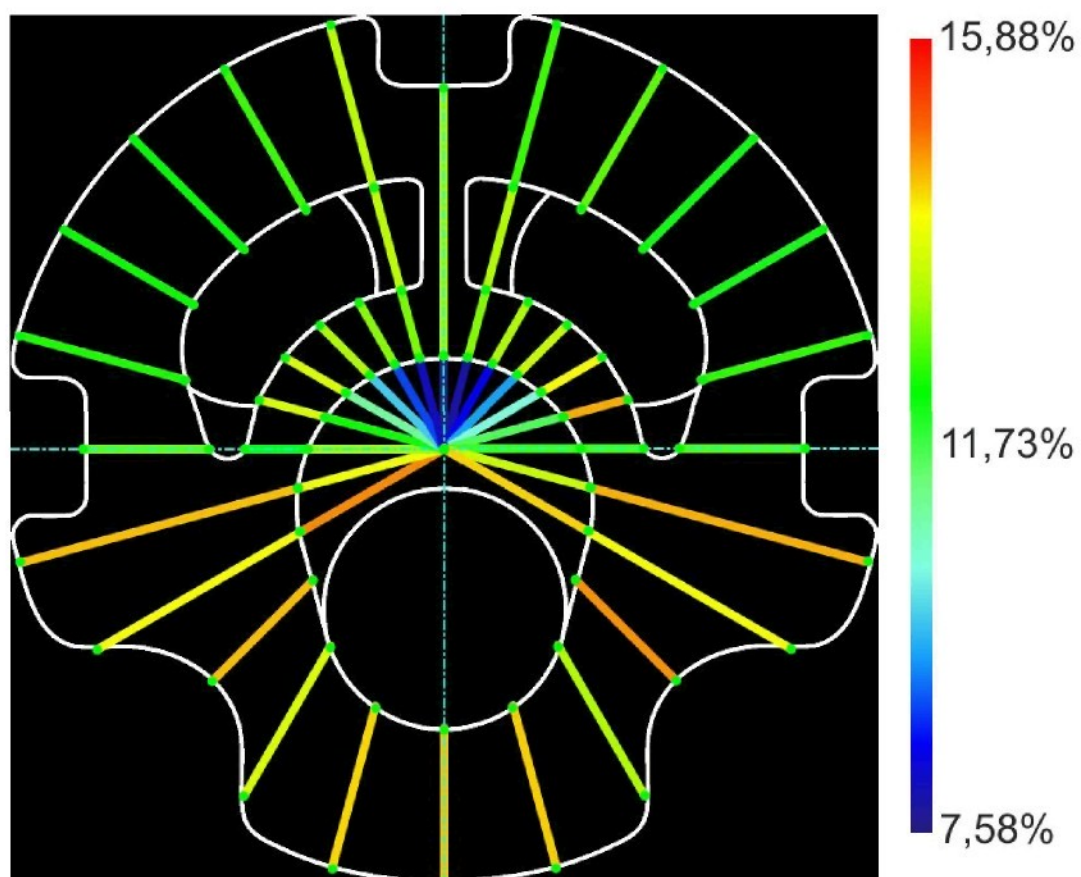
nastavení 1	k _G [mm]	k ₁ [mm]	k ₂ [mm]	k ₃ [mm]	k ₄ [mm]	k ₅ [mm]	k ₆ [mm]	k ₇ [mm]	k ₈ [mm]
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,041	0,097	0,103	0,103	0,080	0,115	0,099	0,100	0,091
3	-0,006	-0,010	-0,006	-0,002	-0,021	0,000	-0,021	-0,002	-0,008
4	-0,083	0,003	0,005	0,000	-0,018	0,006	-0,014	0,000	-0,009
5	-0,058	0,022	0,016	-0,003	0,000	0,003	-0,003	0,013	0,001
6	-0,064	0,029	0,031	0,027	0,003	0,051	0,002	0,017	0,006
7	-0,062	0,026	0,025	0,039	0,000	0,028	0,006	0,015	0,014
8	-0,098	0,034	0,006	-0,009	-0,006	0,017	-0,025	0,015	0,005
9	-0,013	-0,011	0,000	0,007	-0,015	0,009	0,001	0,002	0,010
10	0,037	0,113	0,109	0,116	0,096	0,120	0,108	0,106	0,091
ROZPTYL	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001

Průměr díry D (D_V = 9 mm) ve směru osy x a y

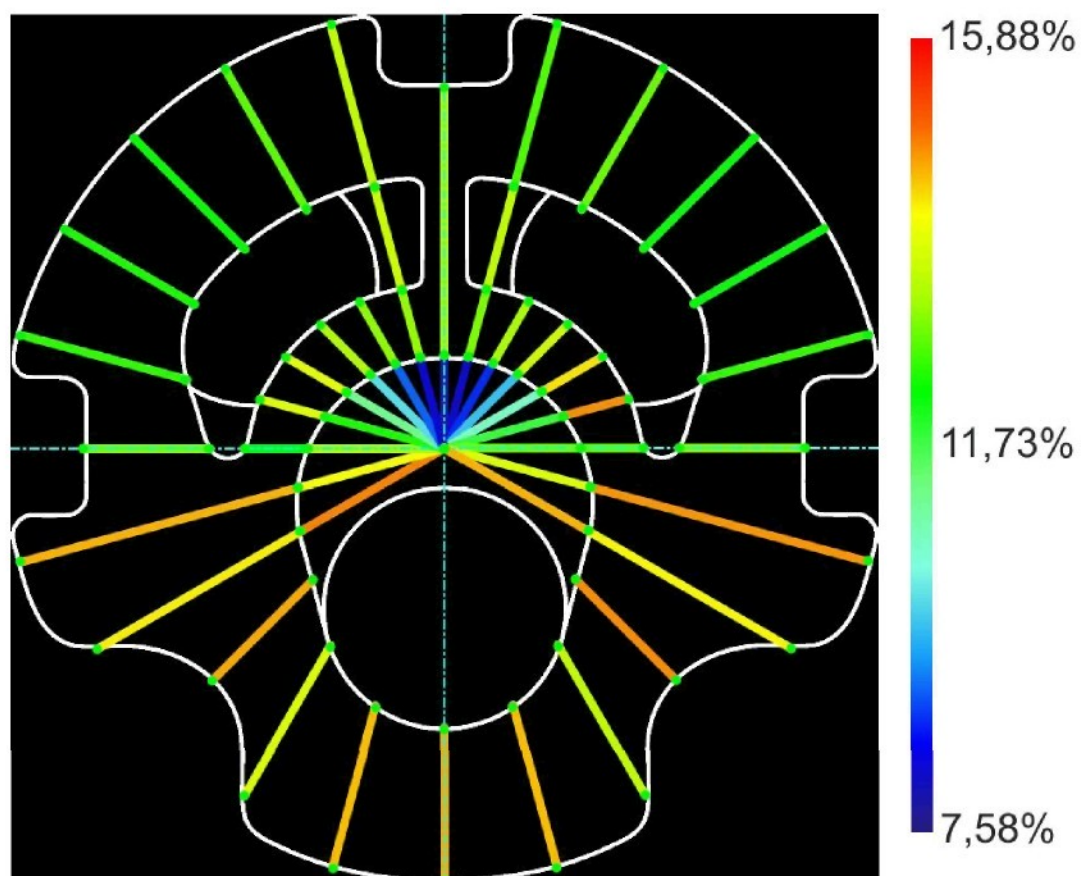
	D ₁ [mm]	D ₂ [mm]	D ₃ [mm]	D ₄ [mm]	D ₅ [mm]	D ₆ [mm]	D ₇ [mm]	D ₈ [mm]
Dx	8,896	8,873	8,86	8,868	8,8344	8,819	8,8094	8,7926
Dy	9,404	9,3974	9,3928	9,3974	9,387	9,3736	9,3684	9,3628
ΔDxy	-0,508	-0,5244	-0,5328	-0,5294	-0,5526	-0,5546	-0,559	-0,5702



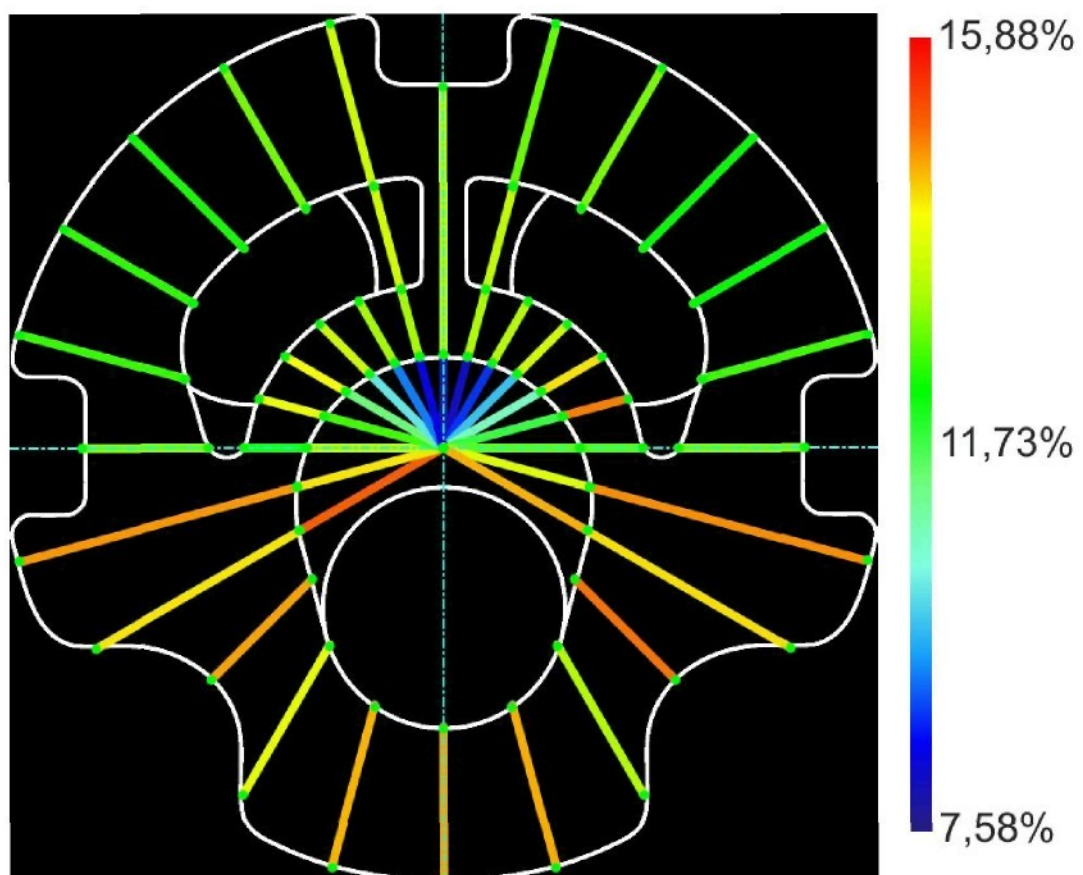
Příloha 8 – Smrštění RO2268 při různé GD



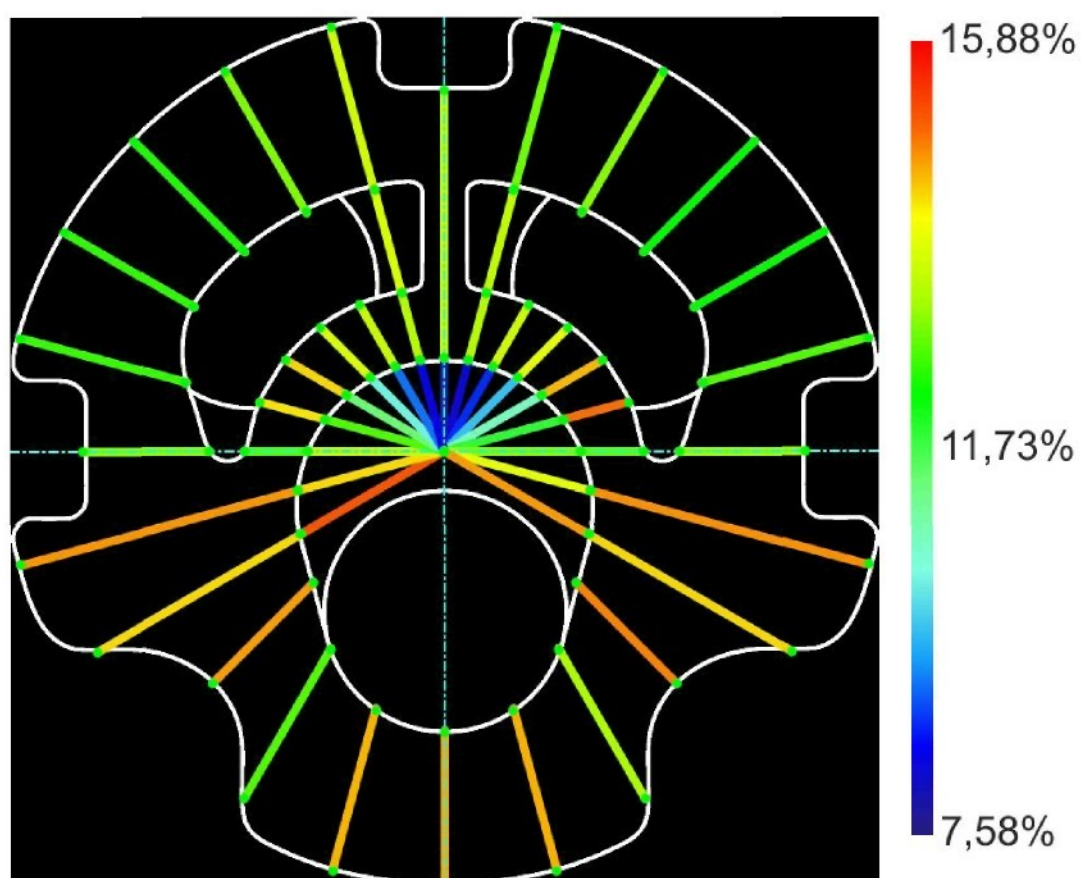
Obr. Nastavení lisu č.1, $GD = 2,564 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



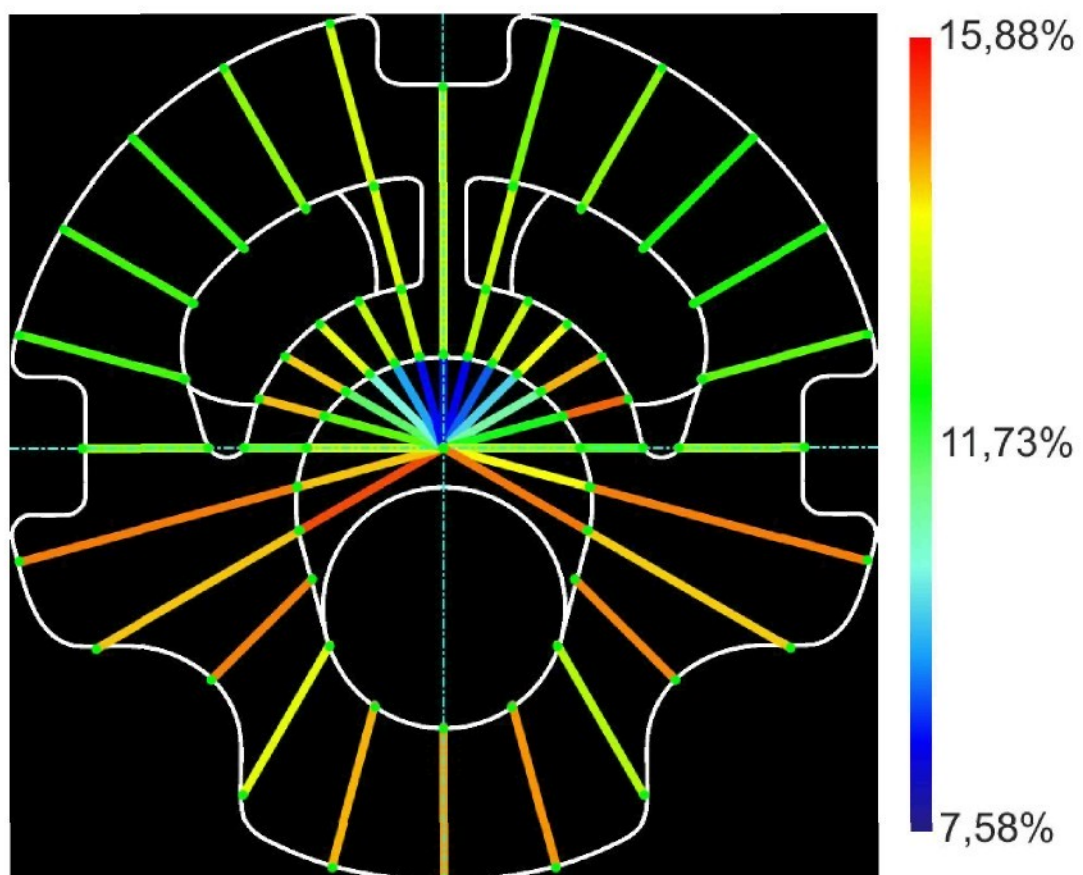
Obr. Nastavení lisu č.2, $GD = 2,557 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



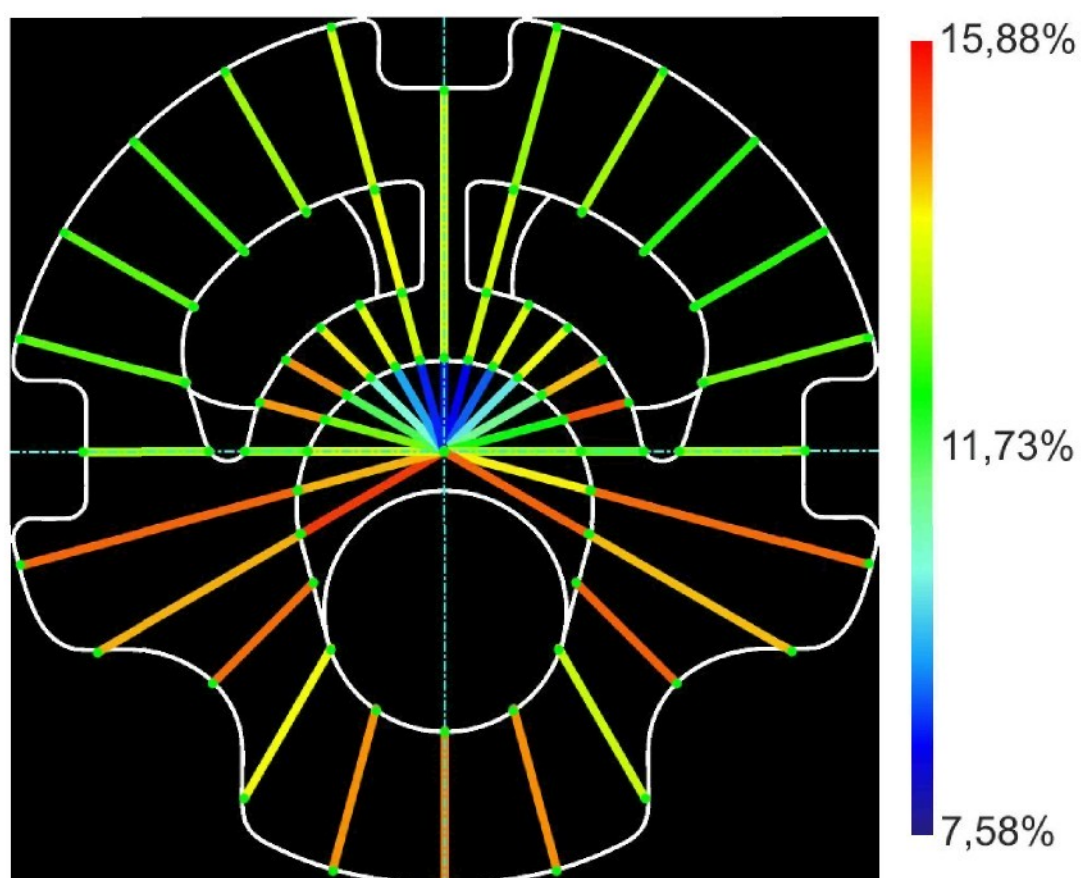
Obr. Nastavení lisu č.3, $GD = 2,542 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



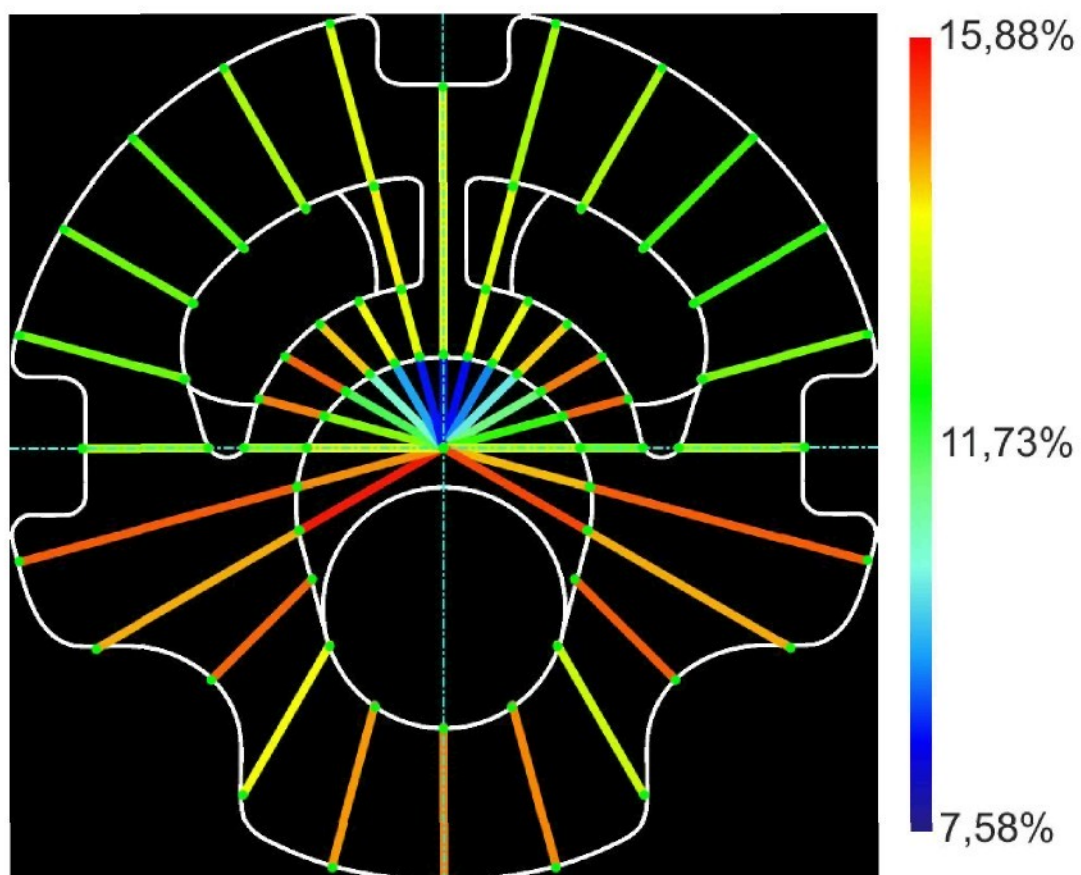
Obr. Nastavení lisu č.4, $GD = 2,536 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



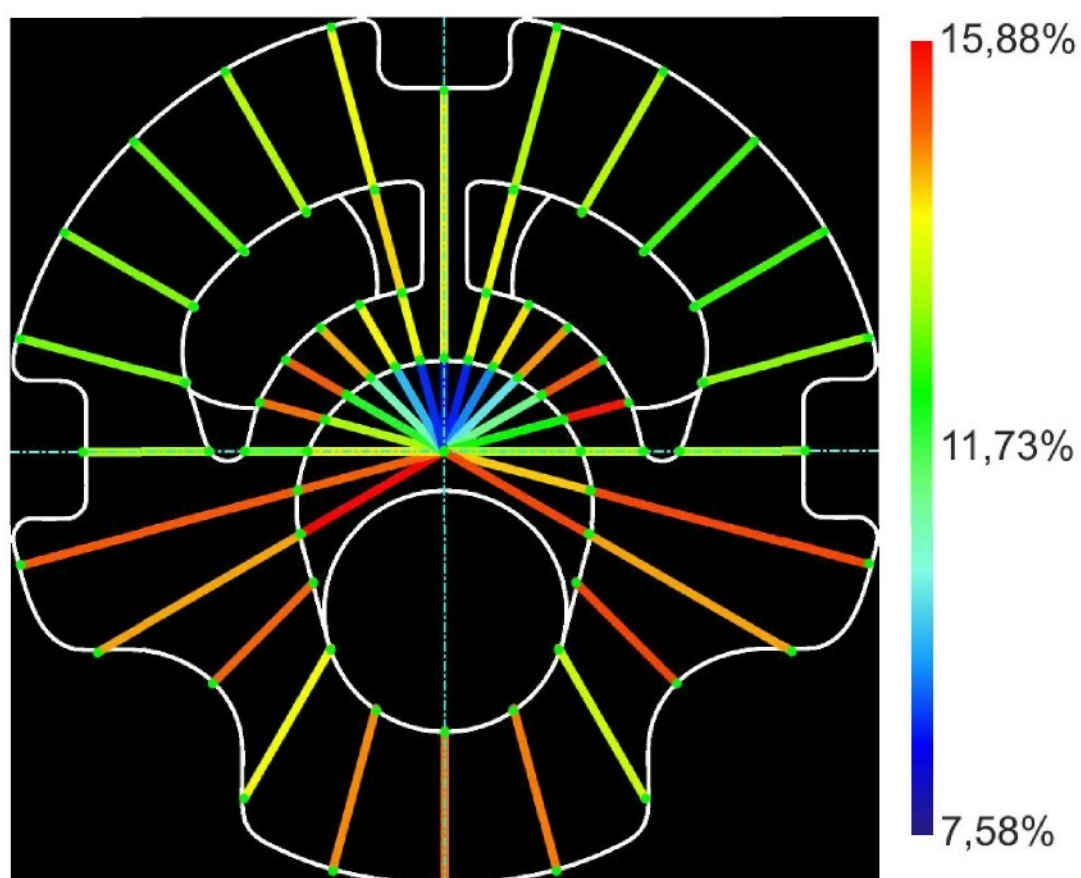
Obr. Nastavení lisu č.5, $GD = 2,533 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



Obr. Nastavení lisu č.6, $GD = 2,526 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



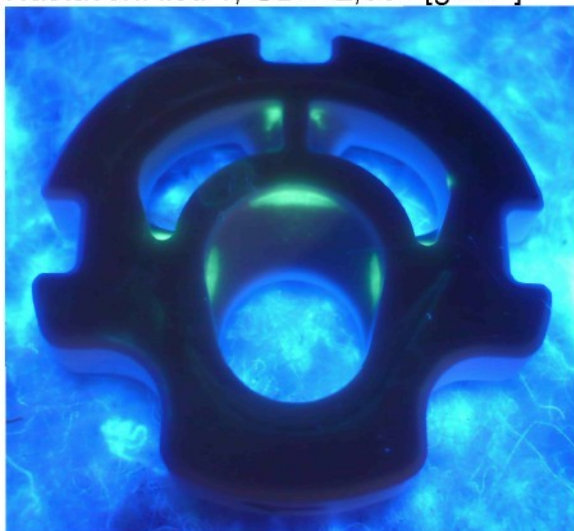
Obr. Nastavení lisu č.7, $GD = 2,515 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



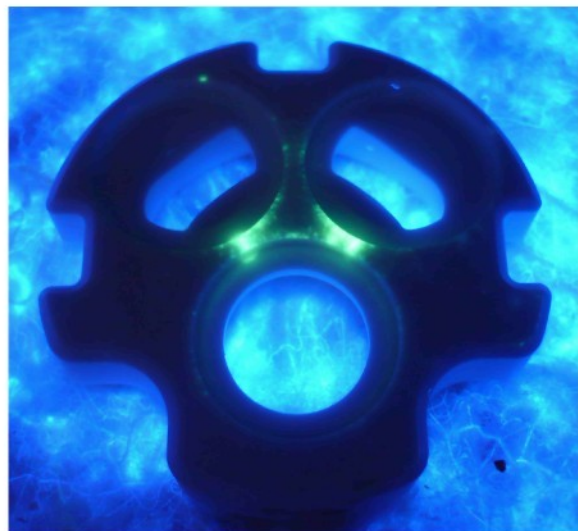
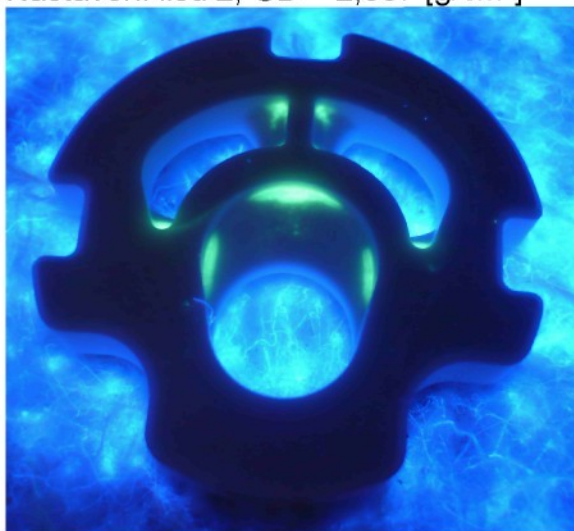
Obr. Nastavení lisu č.8, $GD = 2,510 \text{ [g/cm}^3\text{]}$

Příloha 9 – Trhlinky a pórovitost RO2268 při různé GD

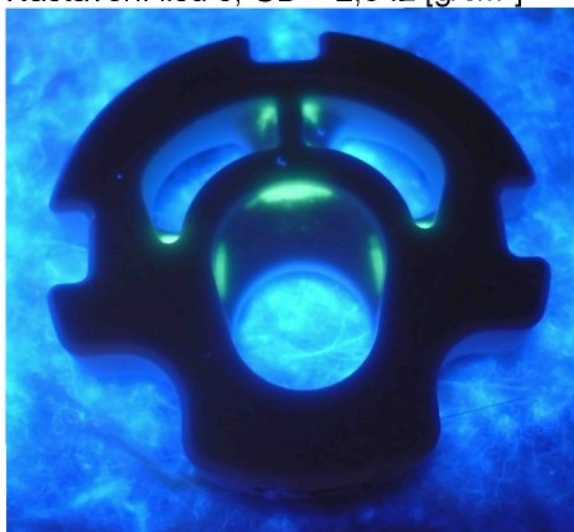
Nastavení lisu 1, $GD = 2,564 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



Nastavení lisu 2, $GD = 2,557 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



Nastavení lisu 3, $GD = 2,542 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



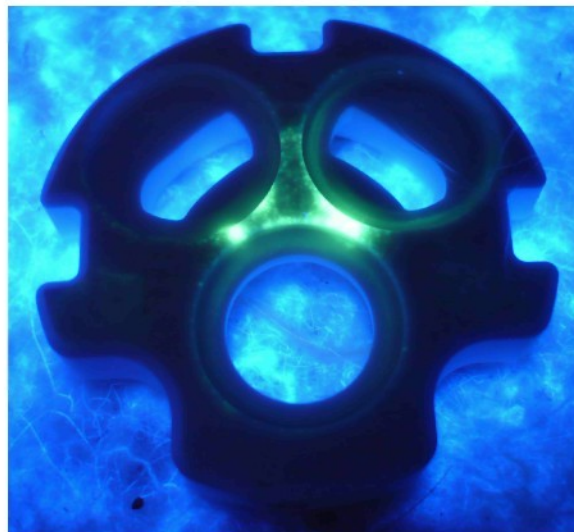
Nastavení lisu 4, $GD = 2,536 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



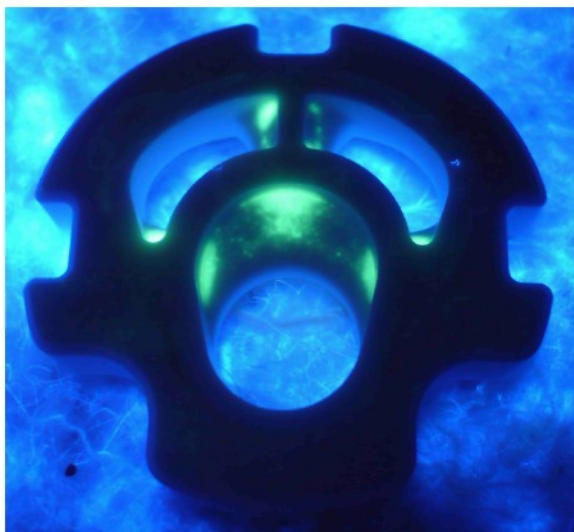
Nastavení lisu 5, $GD = 2,533 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



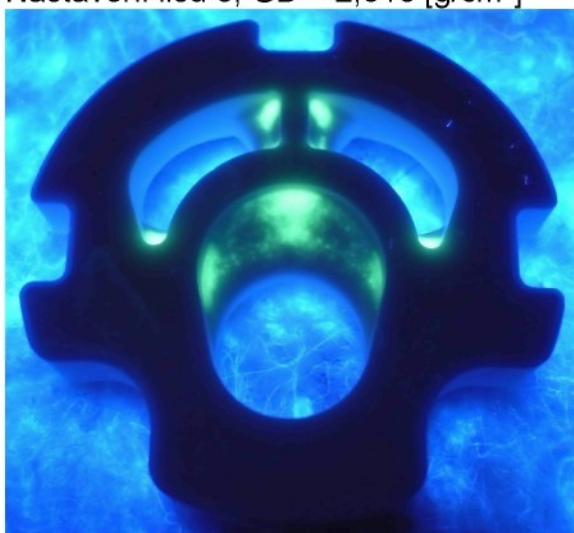
Nastavení lisu 6, $GD = 2,526 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



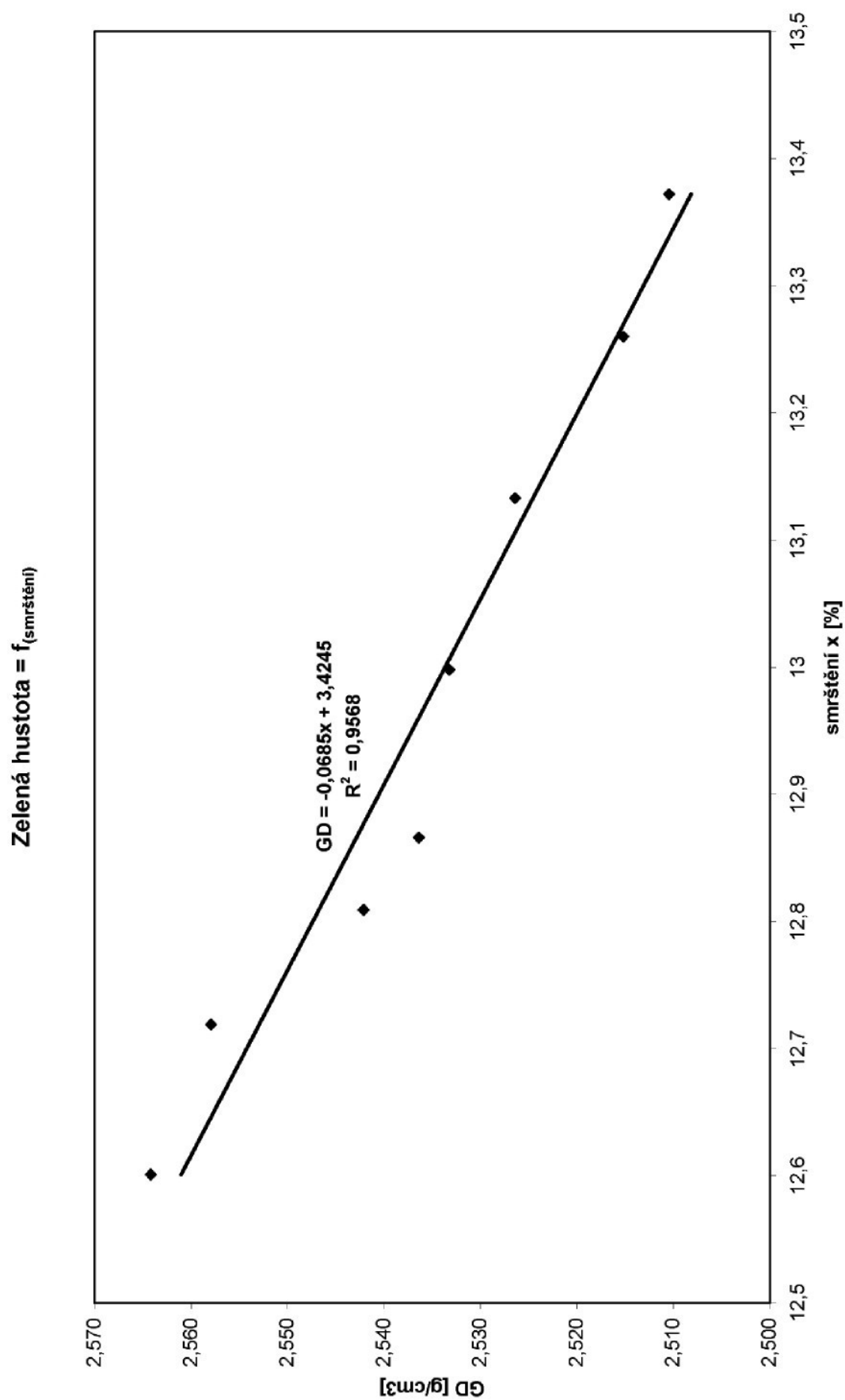
Nastavení lisu 7, $GD = 2,515 \text{ [g/cm}^3\text{]}$



Nastavení lisu 8, GD = 2,510 [g/cm³]



Příloha 10 – Průměrná míra smrštění RO2268



Příloha 11.1 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

Souřadnice naměřených bodů RO2268

bod č.	fi [°]	R _G [mm]	R _V [mm]	R _{PA} [mm]	R _{PB} [mm]	R _{PC} [mm]	R _{PD} [mm]
1	0	15,693	13,500	13,777	13,836	13,790	13,791
2	15	19,051	16,400	16,685	16,749	16,698	16,688
3	30	19,052	16,400	16,692	16,740	16,700	16,699
4	45	19,047	16,400	16,701	16,715	16,695	16,705
5	60	19,050	16,400	16,673	16,652	16,658	16,678
6	75	19,049	16,400	16,617	16,566	16,598	16,611
7	90	15,570	13,500	13,510	13,460	13,495	13,494
8	105	19,049	16,400	16,419	16,352	16,412	16,395
9	120	17,439	15,000	14,971	14,987	14,965	14,956
10	135	14,328	12,260	12,276	12,233	12,291	12,250
11	150	17,659	15,000	15,156	15,174	15,249	15,155
12	165	18,862	16,250	16,102	16,150	16,173	16,119
13	180	18,862	16,250	16,060	16,154	16,160	16,116
14	195	18,865	16,250	16,102	16,136	16,136	16,110
15	210	17,653	15,000	15,148	15,110	15,042	15,131
16	225	14,327	12,260	12,267	12,216	12,250	12,243
17	240	17,436	15,000	14,953	14,948	14,939	14,944
18	255	19,040	16,400	16,396	16,331	16,337	16,377
19	270	15,573	13,500	13,490	13,428	13,430	13,478
20	285	19,051	16,400	16,597	16,544	16,551	16,598
21	300	19,052	16,400	16,656	16,625	16,630	16,662
22	315	19,050	16,400	16,688	16,686	16,681	16,697
23	330	19,051	16,400	16,687	16,714	16,693	16,698
24	345	19,049	16,400	16,682	16,731	16,694	16,694
25	15	7,126	6,120	6,349	6,405	6,368	6,369
26	30	7,348	6,320	6,526	6,572	6,543	6,533
27	45	7,630	6,570	6,755	6,785	6,759	6,762
28	60	7,954	6,840	7,008	7,018	7,012	7,008
29	75	8,297	7,140	7,274	7,245	7,268	7,268
30	90	8,669	7,430	7,622	7,584	7,603	7,611
31	90	10,217	8,830	8,841	8,787	8,828	8,810
32	75	11,598	10,020	10,105	10,042	10,084	10,093
33	60	12,576	10,850	10,984	10,957	10,967	10,987
34	45	12,300	10,600	10,758	10,776	10,754	10,765
35	30	12,006	10,340	10,541	10,587	10,547	10,545
36	15	11,760	10,140	10,370	10,428	10,380	10,379
37	345	7,124	6,120	6,348	6,398	6,354	6,368
38	330	7,350	6,320	6,525	6,561	6,520	6,545
39	315	7,633	6,570	6,747	6,771	6,733	6,764
40	300	7,957	6,840	6,996	6,997	6,968	7,007
41	285	8,300	7,140	7,265	7,238	7,223	7,267
42	270	8,674	7,430	7,609	7,559	7,549	7,605
43	270	10,218	8,830	8,821	8,760	8,773	8,809
44	285	11,614	10,020	10,092	10,032	10,041	10,091
45	300	12,579	10,850	10,976	10,944	10,954	10,986
47	315	12,300	10,600	10,751	10,751	10,746	10,759
48	330	12,012	10,340	10,537	10,570	10,542	10,542
49	345	11,765	10,140	10,370	10,419	10,377	10,381
50	0	4,035	3,500	3,673	3,724	3,678	3,690
51	15	4,089	3,540	3,712	3,763	3,720	3,730
52	30	4,238	3,680	3,833	3,877	3,839	3,844
53	45	4,499	3,900	4,040	4,074	4,045	4,046
54	60	4,864	4,220	4,341	4,361	4,343	4,346

Příloha 11.2 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

55	75	5,339	4,630	4,735	4,728	4,724	4,731
56	90	5,914	5,120	5,206	5,172	5,192	5,194
57	105	6,546	5,670	5,722	5,666	5,704	5,701
58	120	7,185	6,220	6,221	6,158	6,212	6,195
59	135	8,105	6,970	6,991	6,924	6,991	6,964
60	150	10,038	8,550	8,615	8,556	8,641	8,587
61	165	11,724	10,020	9,999	10,032	10,072	10,014
62	180	12,284	10,500	10,446	10,519	10,515	10,483
63	195	11,730	10,020	10,004	10,015	10,009	10,002
64	210	10,032	8,550	8,608	8,532	8,560	8,577
65	225	8,122	6,970	6,987	6,908	6,936	6,961
66	240	7,202	6,220	6,218	6,148	6,166	6,201
67	255	6,553	5,670	5,704	5,644	5,650	5,696
68	270	5,931	5,120	5,192	5,156	5,142	5,195
69	285	5,363	4,630	4,714	4,705	4,678	4,728
70	300	4,870	4,220	4,322	4,337	4,301	4,340
71	315	4,500	3,900	4,025	4,056	4,014	4,045
72	330	4,243	3,680	3,820	3,863	3,817	3,842
73	345	4,088	3,540	3,708	3,756	3,709	3,726

Poloha středu S, průměr D a kruhovitost FT

	G	V	PA	PB	PC	PD
S1 x	0,001	0,000	-0,010	-0,003	0,019	-0,010
S2 y	-6,888	-6,000	-5,7665	-5,771067	-5,795867	-5,7631
D1	10,772	9,000	9,327	9,342	9,343	9,339
FT1	0,053	0,000	0,120	0,224	0,177	0,144
S2 x	-0,003	0,000	0,003	0,019	0,009	0,001
S2 y	0,110	0,000	0,3555	0,3227	0,307067	0,3402
D2	37,947	32,800	32,879	32,939	32,931	32,914
FT2	0,051	0,000	0,133	0,046	0,096	0,128

Příloha 11.3 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

Délka úseků RO2268

úsek	bod 1	bod 2	L _G [mm]	L _V [mm]	L _A [mm]	L _B [mm]	L _C [mm]	L _D [mm]
000-OA	0	50	4,035	3,500	3,673	3,724	3,678	3,690
000-AD	50	1	11,658	10,000	10,104	10,112	10,112	10,101
015-OA	0	51	4,089	3,540	3,712	3,763	3,720	3,730
015-AB	51	25	3,037	2,580	2,637	2,642	2,648	2,639
015-BC	25	36	4,634	4,020	4,021	4,023	4,012	4,010
015-CD	36	2	7,045	6,060	6,144	6,162	6,151	6,143
030-OA	0	52	4,238	3,680	3,833	3,877	3,839	3,844
030-AB	52	26	3,110	2,640	2,693	2,695	2,704	2,689
030-CD	35	3	7,046	6,060	6,151	6,153	6,153	6,154
045-OA	0	53	4,499	3,900	4,040	4,074	4,045	4,046
045-AB	53	27	3,131	2,670	2,715	2,711	2,714	2,716
045-CD	34	4	6,747	5,800	5,943	5,939	5,941	5,940
060-OA	0	54	4,864	4,220	4,341	4,361	4,343	4,346
060-AB	54	28	3,090	2,620	2,667	2,657	2,669	2,662
060-CD	33	5	6,474	5,550	5,689	5,695	5,691	5,691
075-OA	0	55	5,339	4,630	4,735	4,728	4,724	4,731
075-AB	55	29	2,958	2,510	2,539	2,517	2,544	2,537
075-CD	32	6	7,451	6,380	6,512	6,524	6,514	6,518
090-OA	0	56	5,914	5,120	5,206	5,172	5,192	5,194
090-AB	56	30	2,755	2,310	2,416	2,412	2,411	2,417
090-BC	30	31	1,548	1,400	1,219	1,203	1,225	1,199
090-CD	31	7	5,353	4,670	4,669	4,673	4,667	4,684
105-OA	0	57	6,546	5,670	5,722	5,666	5,704	5,701
105-AD	57	8	12,503	10,730	10,697	10,686	10,708	10,694
120-OA	0	58	7,185	6,220	6,221	6,158	6,212	6,195
120-AD	58	9	10,254	8,780	8,750	8,829	8,753	8,761
135-AD	59	10	6,223	5,290	5,285	5,309	5,300	5,286
150-AD	11	60	7,621	6,450	6,541	6,618	6,608	6,568
165-AD	12	61	7,138	6,230	6,103	6,118	6,101	6,105
180-AD	13	62	6,578	5,750	5,614	5,635	5,645	5,633
195-AD	14	63	7,135	6,230	6,098	6,121	6,127	6,108
210-AD	15	64	7,621	6,450	6,540	6,578	6,482	6,554
225-AD	65	16	6,205	5,290	5,280	5,308	5,314	5,282
240-OA	0	66	7,202	6,220	6,218	6,148	6,166	6,201
240-AD	66	17	10,234	8,780	8,735	8,800	8,773	8,743
255-OA	0	67	6,553	5,670	5,704	5,644	5,650	5,696
255-AD	67	18	12,487	10,730	10,692	10,687	10,687	10,681
270-OA	0	68	5,931	5,120	5,192	5,156	5,142	5,195
270-AB	68	42	2,743	2,310	2,417	2,403	2,407	2,410
270-BC	42	43	1,544	1,400	1,212	1,201	1,224	1,204
270-CD	43	19	5,355	4,670	4,669	4,668	4,657	4,669
285-OA	0	69	5,363	4,630	4,714	4,705	4,678	4,728
285-AB	69	41	2,937	2,510	2,551	2,533	2,545	2,539
285-CD	44	20	7,437	6,380	6,505	6,512	6,510	6,507
300-OA	0	70	4,870	4,220	4,322	4,337	4,301	4,340
300-AB	70	40	3,087	2,620	2,674	2,660	2,667	2,667
300-CD	45	21	6,473	5,550	5,680	5,681	5,676	5,676
315-OA	0	71	4,500	3,900	4,025	4,056	4,014	4,045
315-AB	71	39	3,133	2,670	2,722	2,715	2,719	2,719
315-CD	47	22	6,750	5,800	5,937	5,935	5,935	5,938
330-CD	0	72	4,243	3,680	3,820	3,863	3,817	3,842
330-AB	72	38	3,107	2,640	2,705	2,698	2,703	2,703
330-OA	48	23	7,039	6,060	6,150	6,144	6,151	6,156

Příloha 11.4 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

345-OA	0	73	4,088	3,540	3,708	3,756	3,709	3,726
345-AB	73	37	3,036	2,580	2,640	2,642	2,645	2,642
345-BC	37	49	4,641	4,020	4,022	4,021	4,023	4,013
345-CD	49	24	7,284	6,260	6,312	6,312	6,317	6,313

Příloha 11.5 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

Smrštění úseků RO2268

úsek	bod 1	bod 2	x_V [%]	x_A [%]	x_B [%]	x_C [%]	x_D [%]
000-0A	0	50	13,25898	8,9715	7,7076	8,8476	8,5502
000-AD	50	1	14,22199	13,3299	13,2613	13,2613	13,3556
015-0A	0	51	13,42627	9,2199	7,9726	9,0242	8,7797
015-AB	51	25	15,04774	13,1709	13,0063	12,8087	13,1050
015-BC	25	36	13,24989	13,2283	13,1852	13,4225	13,4657
015-CD	36	2	13,98155	12,7892	12,5337	12,6899	12,8034
030-0A	0	52	13,16659	9,5564	8,5182	9,4148	9,2968
030-AB	52	26	15,11254	13,4084	13,3441	13,0547	13,5370
030-CD	35	3	13,99376	12,7022	12,6739	12,6739	12,6597
045-0A	0	53	13,31407	10,2023	9,4465	10,0911	10,0689
045-AB	53	27	14,72373	13,2865	13,4142	13,3184	13,2546
045-CD	34	4	14,03587	11,9164	11,9757	11,9461	11,9609
060-0A	0	54	13,24013	10,7525	10,3413	10,7113	10,6497
060-AB	54	28	15,21036	13,6893	14,0129	13,6246	13,8511
060-CD	33	5	14,27247	12,1254	12,0327	12,0945	12,0945
075-0A	0	55	13,27964	11,3130	11,4441	11,5190	11,3879
075-AB	55	29	15,14537	14,1650	14,9087	13,9959	14,2326
075-CD	32	6	14,37391	12,6023	12,4413	12,5755	12,5218
090-0A	0	56	13,42577	11,9716	12,5465	12,2083	12,1745
090-AB	56	30	16,15245	12,3049	12,4501	12,4864	12,2686
090-CD	31	7	12,7592	12,7779	12,7032	12,8152	12,4977
105-0A	0	57	13,38222	12,5878	13,4433	12,8628	12,9086
105-AD	57	8	14,1806	14,4445	14,5325	14,3566	14,4685
120-0A	0	58	13,43076	13,4168	14,2937	13,5421	13,7787
120-AD	58	9	14,37488	14,6674	13,8970	14,6382	14,5602
135-AD	59	10	14,99277	15,0731	14,6874	14,8321	15,0570
150-AD	11	60	15,36544	14,1714	13,1610	13,2922	13,8171
165-AD	12	61	12,72065	14,4999	14,2897	14,5279	14,4718
180-AD	13	62	12,58741	14,6549	14,3357	14,1836	14,3661
195-AD	14	63	12,68395	14,5340	14,2116	14,1275	14,3938
210-AD	15	64	15,36544	14,1845	13,6859	14,9455	14,0008
225-AD	65	16	14,74617	14,9073	14,4561	14,3594	14,8751
240-0A	0	66	13,6351	13,6629	14,6348	14,3849	13,8989
240-AD	66	17	14,20754	14,6473	14,0121	14,2759	14,5691
255-0A	0	67	13,47474	12,9559	13,8715	13,7799	13,0780
255-AD	67	18	14,07063	14,3749	14,4150	14,4150	14,4630
270-0A	0	68	13,67392	12,4600	13,0669	13,3030	12,4094
270-AB	68	42	15,78564	11,8848	12,3952	12,2494	12,1400
270-CD	43	19	12,79178	12,8105	12,8291	13,0345	12,8105
285-0A	0	69	13,66772	12,1014	12,2693	12,7727	11,8404
285-AB	69	41	14,53864	13,1427	13,7555	13,3470	13,5512
285-CD	44	20	14,21272	12,5319	12,4378	12,4647	12,5050
300-0A	0	70	13,34702	11,2526	10,9446	11,6838	10,8830
300-AB	70	40	15,12796	13,3787	13,8322	13,6054	13,6054
300-CD	45	21	14,25923	12,2509	12,2354	12,3127	12,3127
315-0A	0	71	13,33333	10,5556	9,8667	10,8000	10,1111
315-AB	71	39	14,77817	13,1184	13,3418	13,2142	13,2142
315-CD	47	22	14,07407	12,0444	12,0741	12,0741	12,0296
330-CD	0	72	13,26891	9,9694	8,9559	10,0401	9,4509
330-AB	72	38	15,03058	12,9385	13,1638	13,0029	13,0029
330-0A	48	23	13,90823	12,6296	12,7149	12,6154	12,5444
345-0A	0	73	13,40509	9,2955	8,1213	9,2710	8,8552
345-AB	73	37	15,01976	13,0435	12,9776	12,8788	12,9776

Příloha 11.6 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

345-BC	37	49	13,38074	13,33764	13,35919	13,3161	13,53157
345-CD	49	24	14,05821	13,34432	13,34432	13,27567	13,33059

MAX	16,152	15,073	14,909	14,946	15,057
MIN	12,587	8,971	7,708	8,848	8,550
PRUMĚR	14,041	12,697	12,610	12,734	12,661
SMODCH	0,846	1,502	1,788	1,480	1,609
MAX-MIN	3,565	6,102	7,201	6,098	6,507
ROZPTYL	0,716	2,255	3,198	2,189	2,590

$$x_i = 100 \cdot (1 - L_i / L_G)$$

i = 1 až 8

Příloha 11.7 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

Smrštění obvodu destičky vůči středu [%]

Úhel úseku [°]	Body úseku	Smrštění [%]			
		X _{SPA}	X _{SPB}	X _{SPC}	X _{SPD}
0	0-1	12,209	11,832	12,126	12,119
15	0-2	12,420	12,081	12,350	12,401
30	0-3	12,388	12,138	12,346	12,352
45	0-4	12,315	12,242	12,348	12,294
60	0-5	12,479	12,588	12,557	12,455
75	0-6	12,765	13,033	12,867	12,796
90	0-7	13,227	13,548	13,324	13,329
105	0-8	13,806	14,160	13,846	13,933
120	0-9	14,152	14,058	14,184	14,240
135	0-10	14,322	14,621	14,214	14,503
150	0-11	14,174	14,072	13,649	14,178
165	0-12	14,633	14,378	14,258	14,542
180	0-13	14,858	14,357	14,328	14,558
195	0-14	14,647	14,465	14,465	14,604
210	0-15	14,191	14,406	14,794	14,286
225	0-16	14,382	14,734	14,503	14,548
240	0-17	14,236	14,265	14,317	14,292
255	0-18	13,885	14,226	14,197	13,983
270	0-19	13,376	13,771	13,761	13,448
285	0-20	12,882	13,158	13,124	12,875
300	0-21	12,575	12,741	12,713	12,542
315	0-22	12,398	12,409	12,435	12,351
330	0-23	12,408	12,264	12,373	12,349
345	0-24	12,424	12,167	12,366	12,365
MAX		14,858	14,734	14,794	14,604
MIN		12,209	11,832	12,126	12,119
PRUMĚR		13,381	13,405	13,393	13,389
SMODCH		0,905	0,969	0,880	0,928
MAX-MIN		2,648	2,902	2,668	2,485
ROZPTYL		0,819	0,940	0,774	0,861

Příloha 11.8 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

Smrštění obvodu destičky přes střed [%]

Úhel úseku [°]	Body úseku	Smrštění [%]			
		X _{soPA}	X _{soPB}	X _{soPC}	X _{soPD}
0	0-180	13,655	13,21	13,328	13,451
15	15-195	13,528	13,267	13,402	13,498
30	30-210	13,255	13,229	13,523	13,282
45	45-225	13,203	13,312	13,273	13,262
60	60-240	13,319	13,39	13,398	13,333
75	75-255	13,325	13,629	13,531	13,39
90	90-270	13,302	13,659	13,542	13,389
105	105-285	13,344	13,659	13,485	13,404
120	120-300	13,328	13,37	13,416	13,353
135	135-315	13,224	13,359	13,198	13,275
150	150-330	13,257	13,134	12,987	13,229
165	165-345	13,523	13,267	13,307	13,448
MAX		13,655	13,659	13,542	13,498
MIN		13,203	13,134	12,987	13,229
PRUMĚR		13,355	13,374	13,366	13,359
SMODCH		0,134	0,173	0,155	0,081
MAX-MIN		0,453	0,526	0,555	0,269
ROZPTYL		0,018	0,03	0,024	0,007

Příloha 11.9 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

**Odchylka vzdálenosti bodů
od středu součásti**

L_V ... požadovaný rozměr dle výkresu

Bod č.	Odchylka ΔL [mm]		$\Delta L = L_{A,B,C,D} - L_V$	
	ΔL_A [mm]	ΔL_B [mm]	ΔL_C [mm]	ΔL_D [mm]
1	0,277	0,336	0,290	0,291
2	0,285	0,349	0,298	0,288
3	0,292	0,340	0,300	0,299
4	0,301	0,315	0,295	0,305
5	0,273	0,252	0,258	0,278
6	0,217	0,166	0,198	0,211
7	0,010	-0,040	-0,005	-0,006
8	0,019	-0,048	0,012	-0,005
9	-0,029	-0,013	-0,035	-0,044
10	0,016	-0,027	0,031	-0,010
11	0,156	0,174	0,249	0,155
12	-0,148	-0,100	-0,077	-0,131
13	-0,190	-0,096	-0,090	-0,134
14	-0,148	-0,114	-0,114	-0,140
15	0,148	0,110	0,042	0,131
16	0,007	-0,044	-0,010	-0,017
17	-0,047	-0,052	-0,061	-0,056
18	-0,004	-0,069	-0,063	-0,023
19	-0,010	-0,072	-0,070	-0,022
20	0,197	0,144	0,151	0,198
21	0,256	0,225	0,230	0,262
22	0,288	0,286	0,281	0,297
23	0,287	0,314	0,293	0,298
24	0,282	0,331	0,294	0,294
25	0,229	0,285	0,248	0,249
26	0,206	0,252	0,223	0,213
27	0,185	0,215	0,189	0,192
28	0,168	0,178	0,172	0,168
29	0,134	0,105	0,128	0,128
30	0,192	0,154	0,173	0,181
31	0,011	-0,043	-0,002	-0,020
32	0,085	0,022	0,064	0,073
33	0,134	0,107	0,117	0,137
34	0,158	0,176	0,154	0,165
35	0,201	0,247	0,207	0,205
36	0,230	0,288	0,240	0,239
37	0,228	0,278	0,234	0,248
38	0,205	0,241	0,200	0,225
39	0,177	0,201	0,163	0,194
40	0,156	0,157	0,128	0,167
41	0,125	0,098	0,083	0,127
42	0,179	0,129	0,119	0,175
43	-0,009	-0,070	-0,057	-0,021
44	0,072	0,012	0,021	0,071
45	0,126	0,094	0,104	0,136
47	0,151	0,151	0,146	0,159
48	0,197	0,230	0,202	0,202
49	0,230	0,279	0,237	0,241
50	0,173	0,224	0,178	0,190
51	0,172	0,223	0,180	0,190

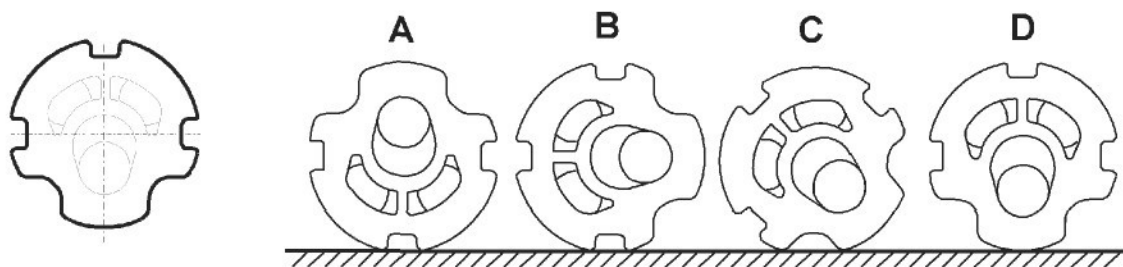
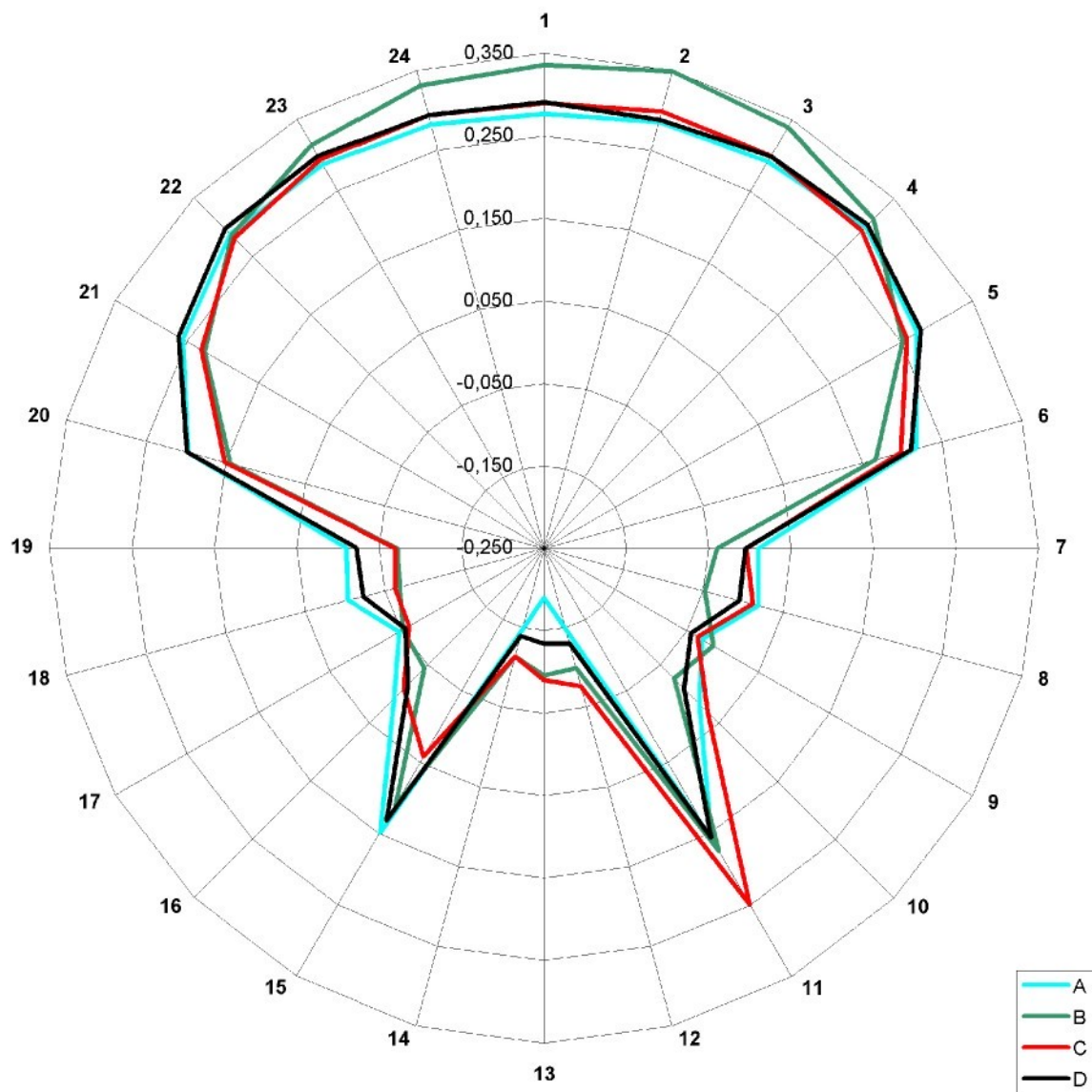
Příloha 11.10 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

52	0,153	0,197	0,159	0,164
53	0,140	0,174	0,145	0,146
54	0,121	0,141	0,123	0,126
55	0,105	0,098	0,094	0,101
56	0,086	0,052	0,072	0,074
57	0,052	-0,004	0,034	0,031
58	0,001	-0,062	-0,008	-0,025
59	0,021	-0,046	0,021	-0,006
60	0,065	0,006	0,091	0,037
61	-0,021	0,012	0,052	-0,006
62	-0,054	0,019	0,015	-0,017
63	-0,016	-0,005	-0,011	-0,018
64	0,058	-0,018	0,010	0,027
65	0,017	-0,062	-0,034	-0,009
66	-0,002	-0,072	-0,054	-0,019
67	0,034	-0,026	-0,020	0,026
68	0,072	0,036	0,022	0,075
69	0,084	0,075	0,048	0,098
70	0,102	0,117	0,081	0,120
71	0,125	0,156	0,114	0,145
72	0,140	0,183	0,137	0,162
73	0,168	0,216	0,169	0,186
MAX	0,301	0,349	0,300	0,305
MIN	-0,190	-0,114	-0,114	-0,140
PRUMĚR	0,115	0,112	0,108	0,116
SMODCH	0,112	0,133	0,113	0,117
MAX-MIN	0,491	0,463	0,414	0,445
ROZPTYL	0,013	0,018	0,013	0,014

Příloha 11.11 - Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

Odchyly vzdálenosti obvodových bodů od středu součásti

$$\Delta L = L_{\text{skutečná}} - L_{\text{výkres}}$$



Příloha 11.12 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

Rozdíly v symetrii součásti (přes osu y)

Body symetrie	$\Delta L_{\text{symetrie}} = L_{\text{bod1}} - L_{\text{bod2}}$				
	Odchylky symetrie $\Delta L_{\text{symetrie}}$ [mm]				
	PA	PB	PC	PD	
2	24	0,003	0,018	0,004	-0,006
3	23	0,005	0,026	0,007	0,001
4	22	0,013	0,029	0,014	0,008
5	21	0,017	0,027	0,028	0,016
6	20	0,020	0,022	0,047	0,013
7	19	0,020	0,032	0,065	0,016
8	18	0,023	0,021	0,075	0,018
9	17	0,018	0,039	0,026	0,012
10	16	0,009	0,017	0,041	0,007
11	15	0,008	0,064	0,207	0,024
12	14	0,000	0,014	0,037	0,009
25	37	0,001	0,007	0,014	0,001
26	38	0,001	0,011	0,023	-0,012
27	39	0,008	0,014	0,026	-0,002
28	40	0,012	0,021	0,044	0,001
29	41	0,009	0,007	0,045	0,001
30	42	0,013	0,025	0,054	0,006
31	43	0,020	0,027	0,055	0,001
32	44	0,013	0,010	0,043	0,002
33	45	0,008	0,013	0,013	0,001
34	47	0,007	0,025	0,008	0,006
35	48	0,004	0,017	0,005	0,003
36	49	0,000	0,009	0,003	-0,002
51	73	0,004	0,007	0,011	0,004
52	72	0,013	0,014	0,022	0,002
53	71	0,015	0,018	0,031	0,001
54	70	0,019	0,024	0,042	0,006
55	69	0,021	0,023	0,046	0,003
56	68	0,014	0,016	0,050	-0,001
57	67	0,018	0,022	0,054	0,005
58	66	0,003	0,010	0,046	-0,006
59	65	0,004	0,016	0,055	0,003
60	64	0,007	0,024	0,081	0,010
61	63	-0,005	0,017	0,063	0,012
MAX		0,023	0,064	0,207	0,024
MIN		-0,005	0,007	0,003	-0,012
PRUMĚR		0,010	0,020	0,041	0,005
SMODCH		0,007	0,011	0,036	0,007
MAX-MIN		0,028	0,057	0,204	0,036
ROZPTYL		0,000	0,000	0,001	0,000

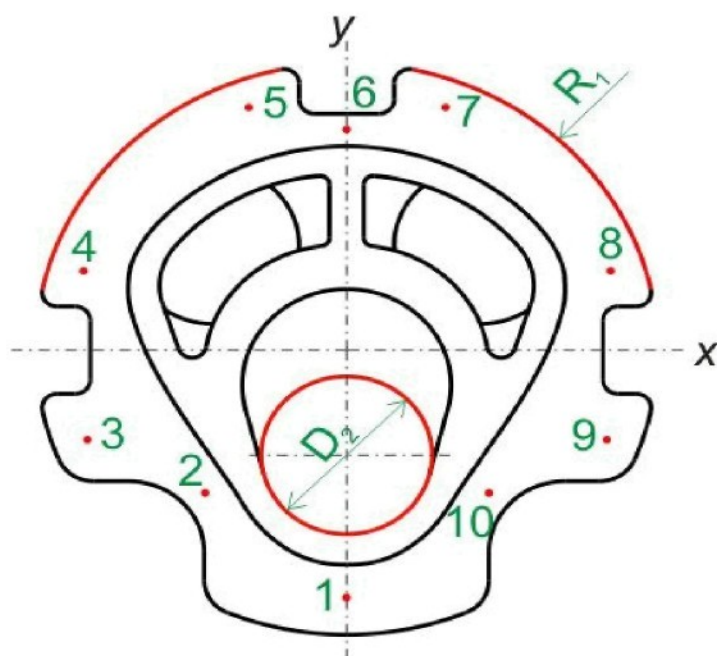
Příloha 11.13 – Soubory dat RO2268 při různé poloze výpalu

Odchyly výšky vztažené k bodu 1

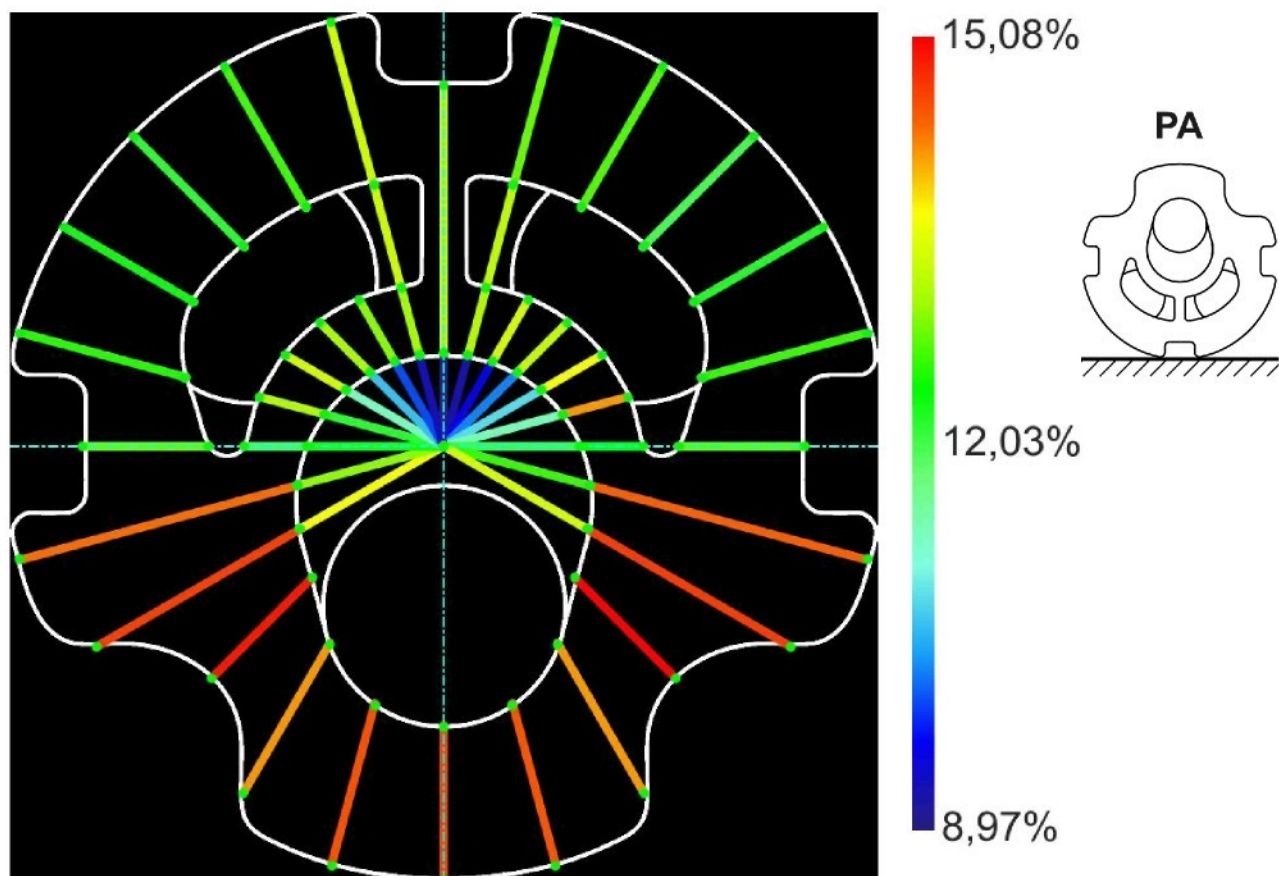
		k_G [mm]	k_{PA} [mm]	k_{PB} [mm]	k_{PC} [mm]	k_{PD} [mm]
nastavení 1	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2	0,041	0,097	0,105	0,104	0,110
	3	-0,006	-0,018	-0,012	-0,004	0,005
	4	-0,083	-0,008	0,008	-0,001	0,026
	5	-0,058	0,001	0,011	0,006	0,036
	6	-0,064	0,002	0,021	0,017	0,040
	7	-0,062	-0,006	0,027	0,007	0,037
	8	-0,098	-0,009	0,031	0,001	0,027
	9	-0,013	-0,025	-0,001	-0,017	-0,006
	10	0,037	0,100	0,097	0,113	0,118
	ROZPTYL	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002

Průměr díry D ($D_V = 9$ mm) ve směru osy x a y

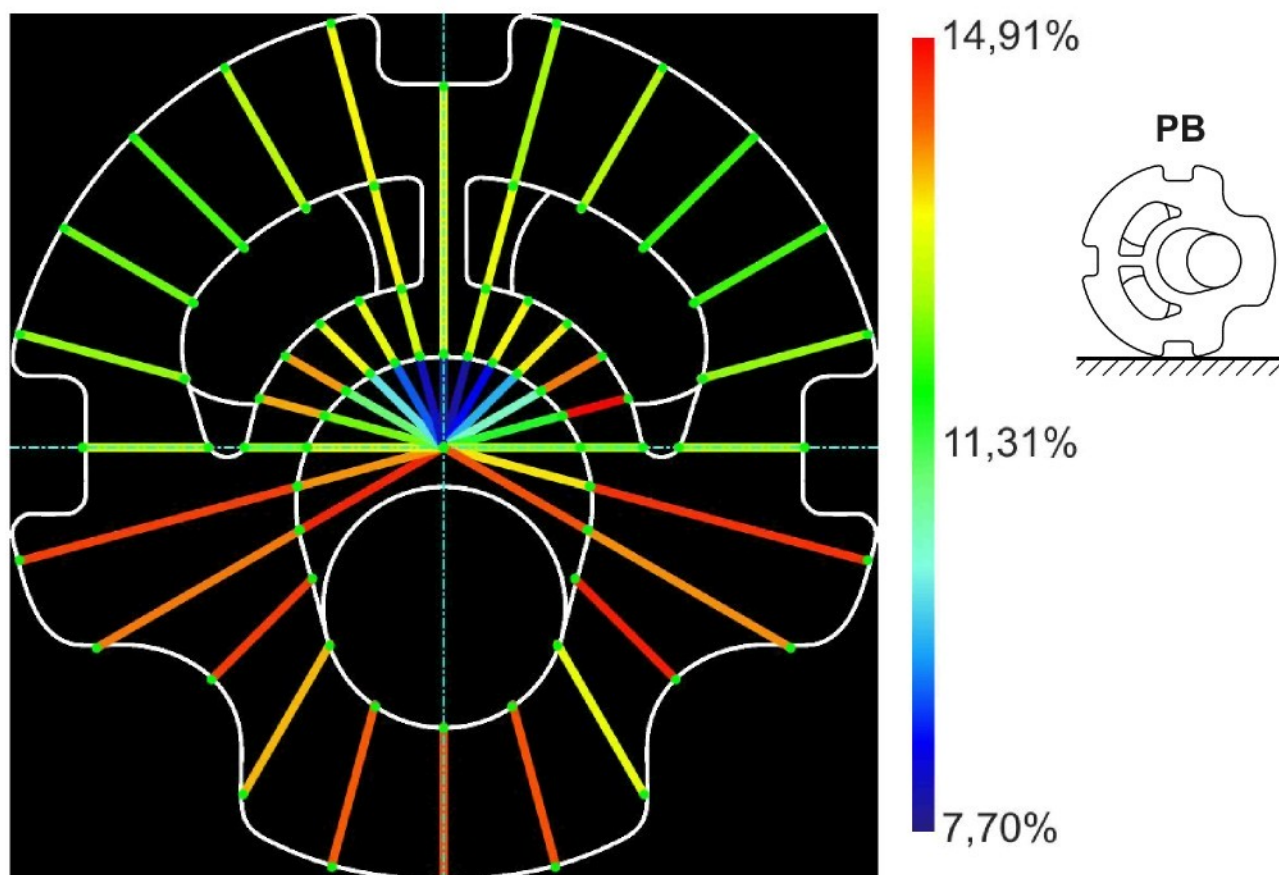
	D_{PA} [mm]	D_{PB} [mm]	D_{PC} [mm]	D_{PD} [mm]
Dx	9,036	8,908	8,976	8,984
Dy	9,277	9,407	9,349	9,328
ΔD_{xy}	-0,242	-0,499	-0,373	-0,343



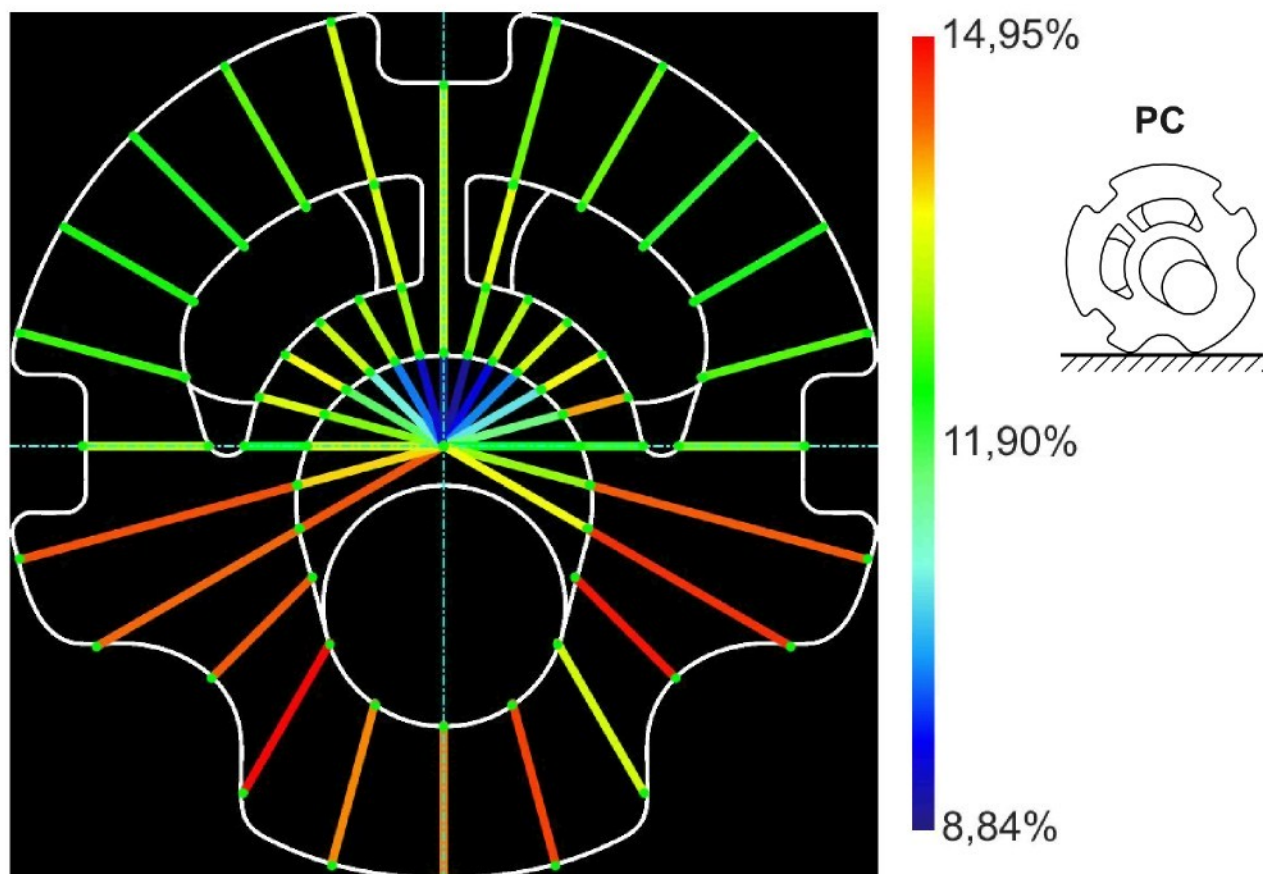
Příloha 12 – Smrštění RO2268 při různé poloze výpalu



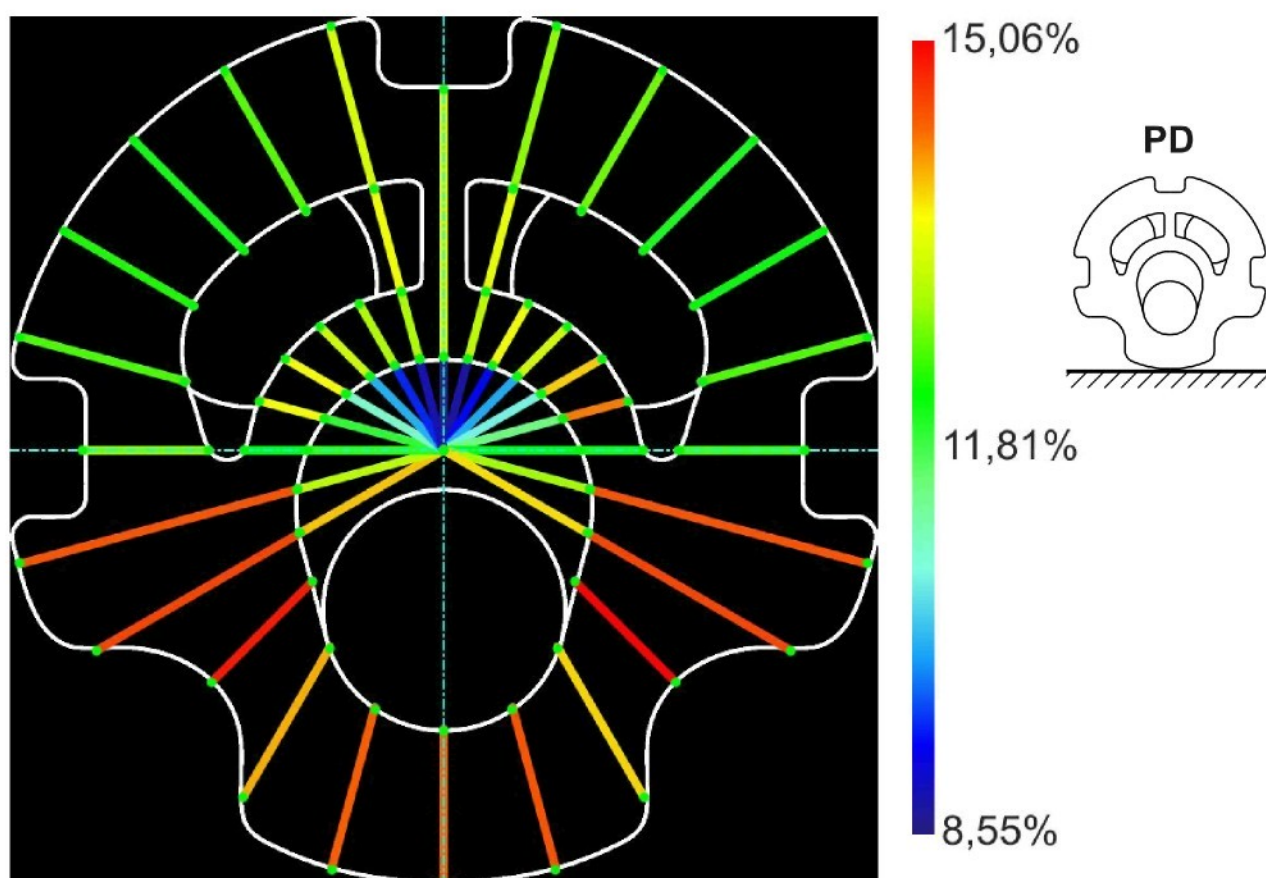
Obr. Výpalová poloha PA



Obr. Výpalová poloha PB



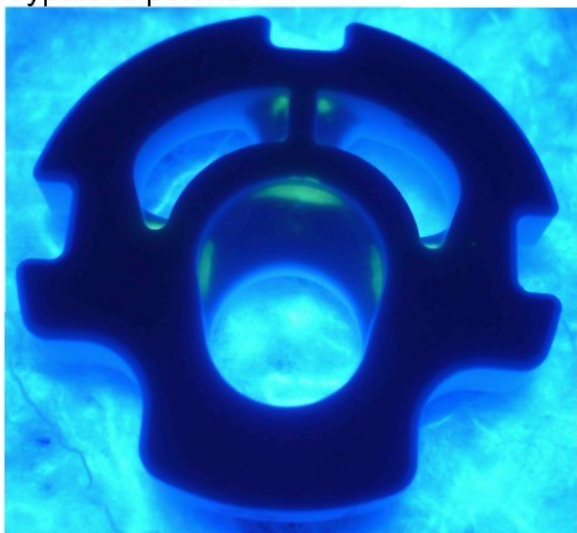
Obr. Výpalová poloha PC



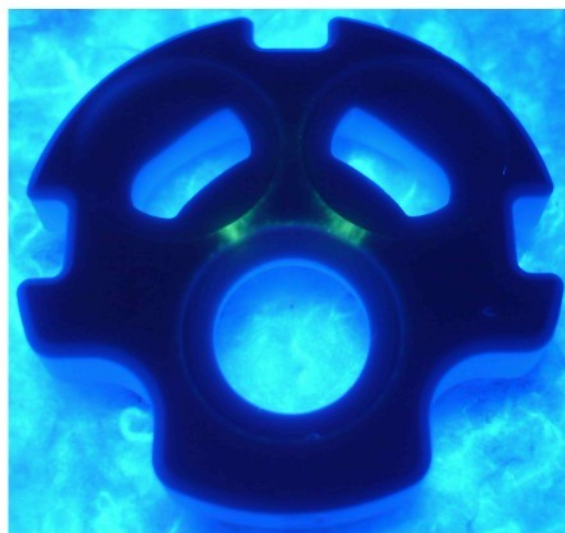
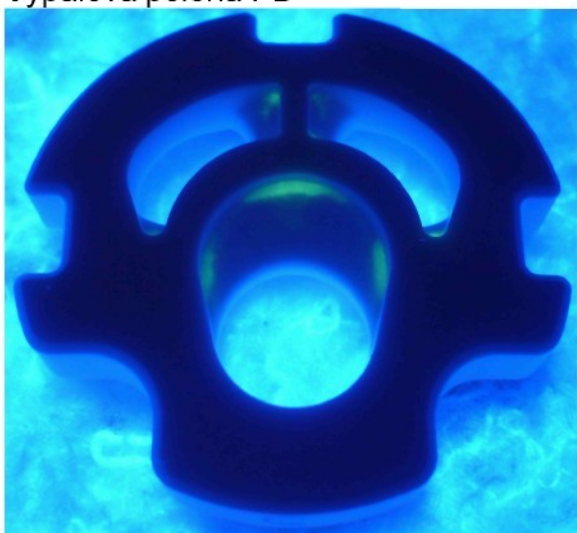
Obr. Výpalová poloha PD

Příloha 13 – Trhlinky a pórovitost RO2268 při různé poloze výpalu

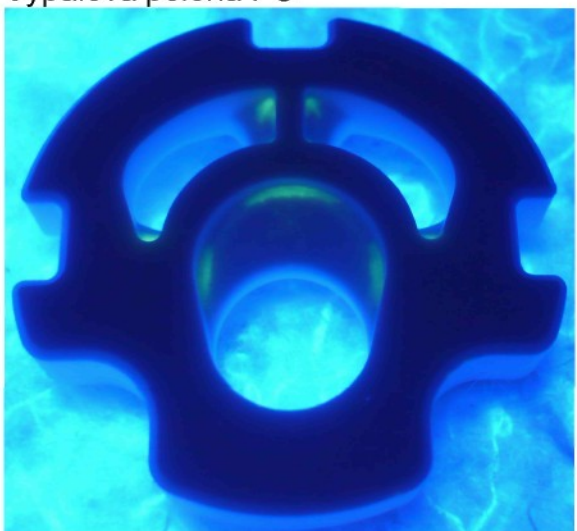
Výpalová poloha PA



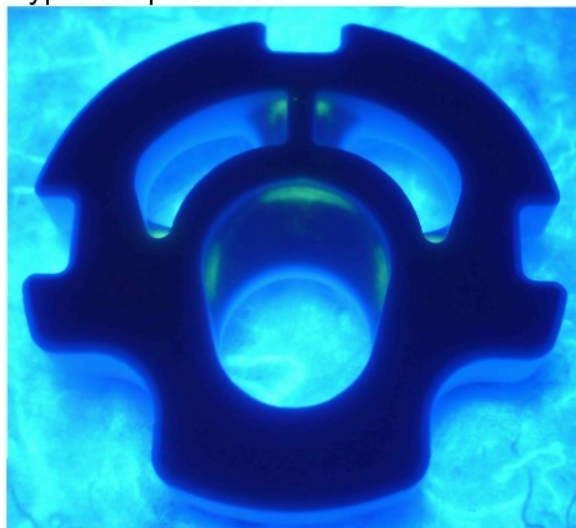
Výpalová poloha PB



Výpalová poloha PC



Výpalová poloha PD



RO2236 z různých šarží materiálu

lis č. 43

	T195	T195	T195	T195	T195	T195	T195	T195	T195	T195	T195	NM9922
Šarže materiálu	8321	9016	9020	9002	9004	9019	8433	9032	8427			
Tekutost [s]	56	57	58	58	54	56	53	56	37			
Sypná hust [g·cm ⁻³]	1,18	1,18	1,18	1,19	1,19	1,18	1,18	1,18	1,14			
Vlhkost [%]	0,36	0,38	0,38	0,34	0,36	0,4	0,36	0,36	0,56			
Lisovací síl [kN]	95,02	89,66	92,74	94,16	96,56	97,96	98,5	115	164,16			
Hmotnost [kg]	23,4	23,3	23,49	23,52	23,62	23,56	23,46	23,39	23			
Hustota zel [g/cm3]	2,488	2,490	2,493	2,498	2,491	2,486	2,494	2,488	2,363			
Hustota výj [g/cm3]	3,707	3,708	3,708	3,709	3,707	3,707	3,708	3,707	3,873			
Tvrdost HV1	1411,94	1411,38	1422,00	1431,94	1429,75	1412,94	1415,88	1421,94	1743,88			
SMODCH	45,9	63,4	38,4	51,9	40,6	58,6	40,6	59,5	29,5			
hG1 [mm]	11,7350	11,7325	11,7500	11,7700	11,7850	11,7500	11,7800	11,8800	12,2200			
hG2 [mm]	11,7225	11,7200	11,7425	11,7600	11,7750	11,7400	9,2700	11,8675	12,2150			
hG3 [mm]	3,1275	3,1175	3,1400	3,1300	3,1750	3,1150	3,1275	2,8275	2,9900			
D ₁ [mm]	37,1380	37,1321	37,1317	37,1431	37,1395	37,1372	37,1415	37,1268	37,0826			
FT _{D1} [mm]	0,0048	0,0048	0,0051	0,0046	0,0068	0,0068	0,0054	0,0056	0,0049			
R2 [mm]	8,7139	8,7135	8,7144	8,7165	8,7131	8,7143	8,7155	8,7149	8,7052			
FT _{R2} [mm]	0,0012	0,0012	0,0010	0,0011	0,0005	0,0007	0,0013	0,0013	0,0014			
R ₃ [mm]	13,9193	13,9231	13,9194	13,9267	13,9275	13,9200	13,9205	13,9296	13,9175			
FT _{R3} [mm]	0,0013	0,0007	0,0007	0,0006	0,0008	0,0009	0,0003	0,0007	0,0013			
DIST [mm]	2,4347	2,4262	2,4292	2,4261	2,4260	2,4315	2,4327	2,4149	2,3887			
A [mm]	25,0669	25,0618	25,0617	25,0685	25,0659	25,0652	25,0677	25,0589	25,0109			
B [mm]	15,6425	15,6384	15,6391	15,6412	15,6396	15,6390	15,6414	15,6367	15,6060			
rovinnost [mm]	0,0387	0,0624	0,0563	0,0399	0,0490	0,0833	0,0416	0,0525	0,0530			

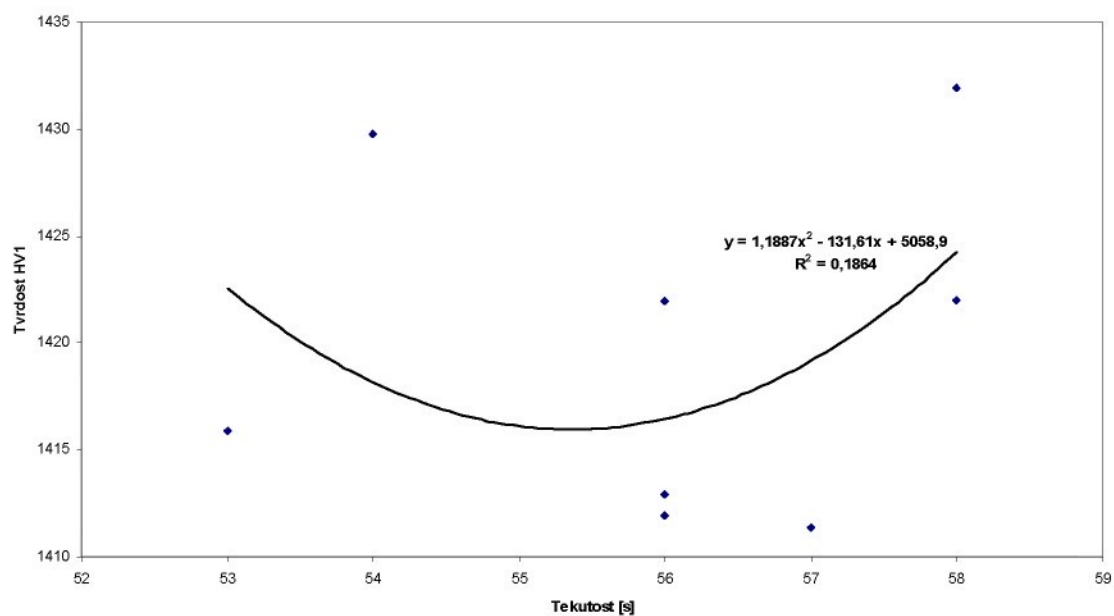
rozměry zelené

Příloha 14 – Naměřené a vypočítané hodnoty RO2236

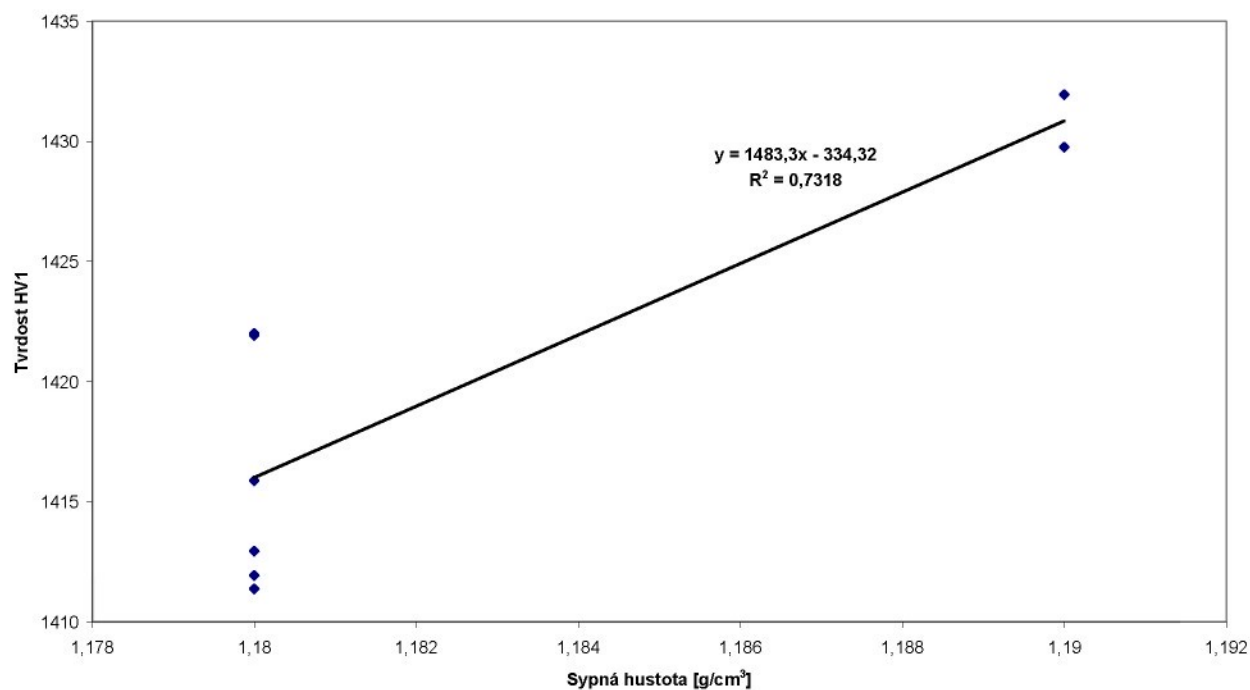
rozměry výpalků	h V1	[mm]	10,1827	10,1187	10,1837	10,1790	10,1793	10,1613	10,1800	10,1843	10,1513
	h V2	[mm]	10,2103	10,1443	10,2253	10,1930	10,2087	10,1823	10,1953	10,2123	10,1693
	h V3	[mm]	2,8597	2,6777	2,8713	2,4983	2,8613	2,8703	2,8103	2,8403	2,5527
	D ₁	[mm]	31,9578	31,9627	32,0003	32,0016	31,9705	31,9606	32,0021	32,0050	30,9381
	FT _{D1}	[mm]	8,0618	0,1101	0,1093	0,1076	0,1131	0,1176	0,1925	0,1263	0,0444
	R ₂	[mm]	7,5108	7,5188	7,5299	7,5247	7,5131	7,5192	7,5262	7,5073	7,2727
	FT _{R2}	[mm]	0,0060	0,0066	0,0066	0,0052	0,0056	0,0066	0,0046	0,0063	0,0043
	R ₃	[mm]	12,1646	12,1172	12,1323	12,0994	12,1577	12,1571	12,1920	12,1459	11,6460
	FT _{R3}	[mm]	0,0046	0,0016	0,0022	0,0014	0,0065	0,0016	0,0023	0,0031	0,0017
	DIST	[mm]	1,8559	1,9026	1,8981	1,9473	1,8667	1,8570	1,8315	1,9324	1,9492
	A	[mm]	21,5252	21,5338	21,5556	21,5678	21,5353	21,5290	21,5455	21,5810	20,8637
	B	[mm]	13,4839	13,4859	13,5049	13,5044	13,4871	13,4876	13,5004	13,5034	13,0301
	rovinnost	[mm]	0,0987	0,1732	0,1036	0,0897	0,1358	0,1027	0,1053	0,1226	0,0762
	XD1	[%]	13,9483	13,9214	13,8193	13,8422	13,9179	13,9391	13,8373	13,7953	16,5699
smrštění	xR2	[%]	13,8070	13,7109	13,5919	13,6729	13,7715	13,7137	13,6458	13,8566	16,4561
	xR3	[%]	12,6061	12,9700	12,8389	13,1203	12,7070	12,6648	12,4169	12,8050	16,3209
	xA	[%]	14,1288	14,0770	13,9896	13,9647	14,0853	14,1081	14,0506	13,8788	16,5816
	xB	[%]	13,7993	13,7640	13,6461	13,6609	13,7627	13,7561	13,6878	13,6423	16,5058
	xprůměr	[%]	13,6579	13,6887	13,5772	13,6522	13,6489	13,6364	13,5277	13,5956	16,4868

Příloha 15 – Charakteristika změn při různých vlastnostech granulátu

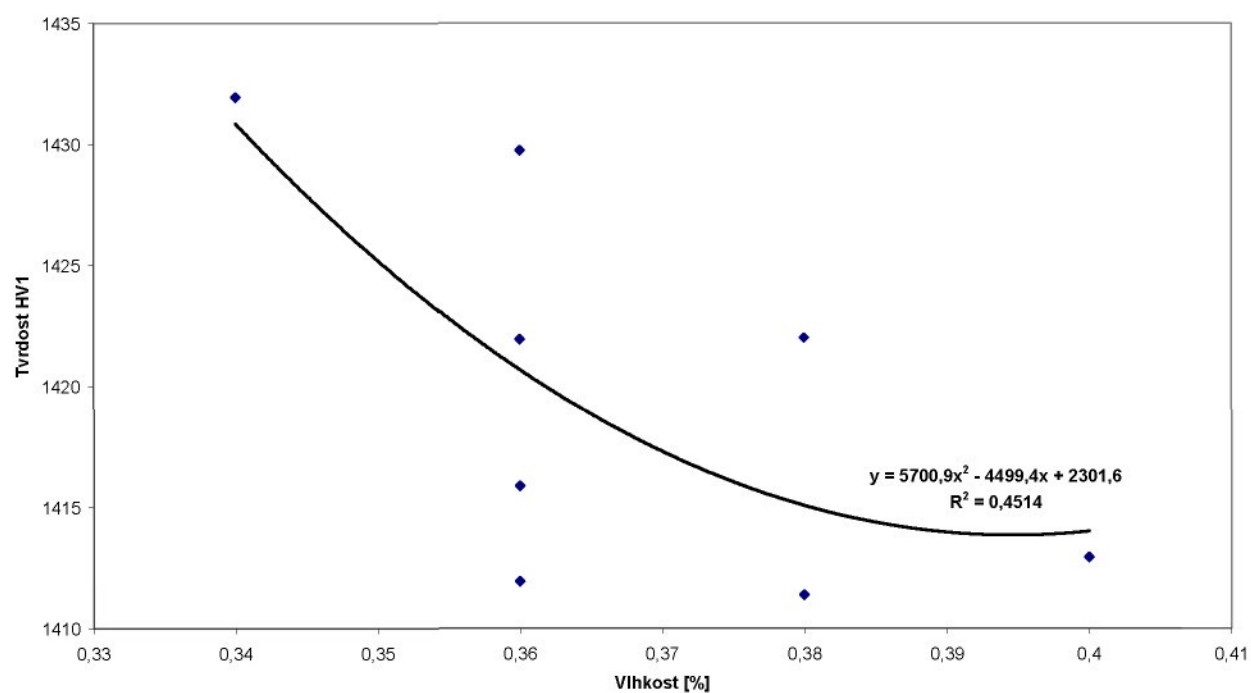
Tvrdost HV1 - tekutost



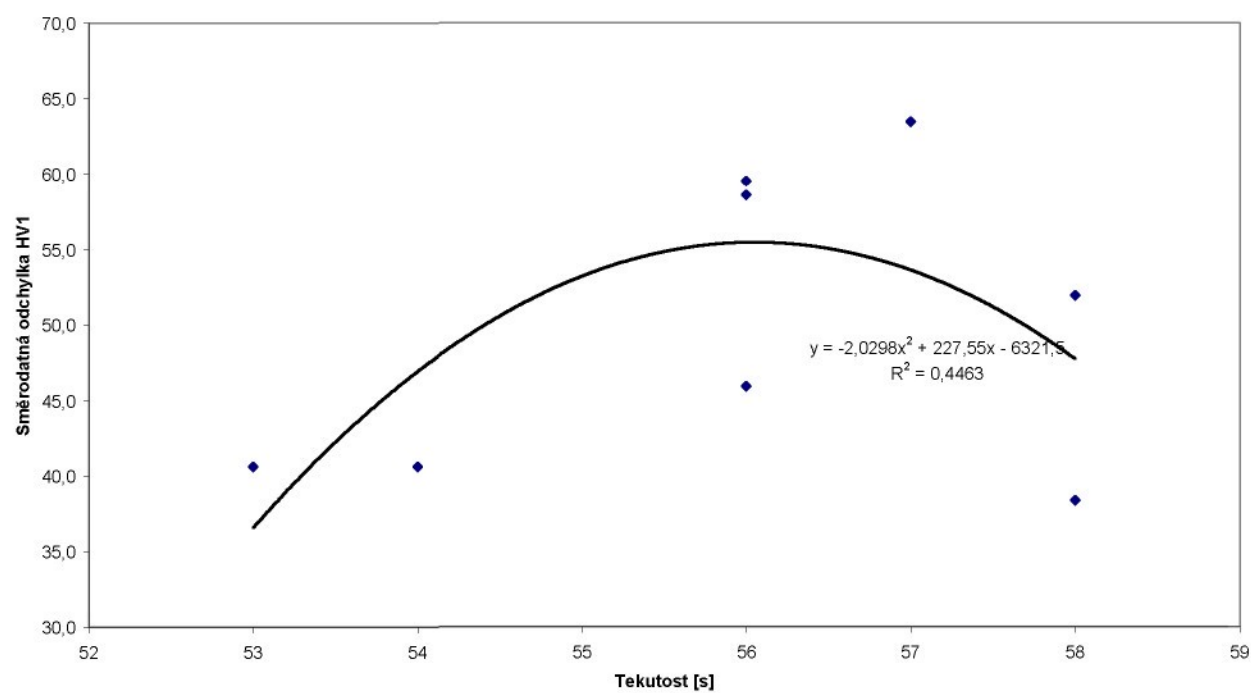
Tvrdost HV1 - sypaná hustota



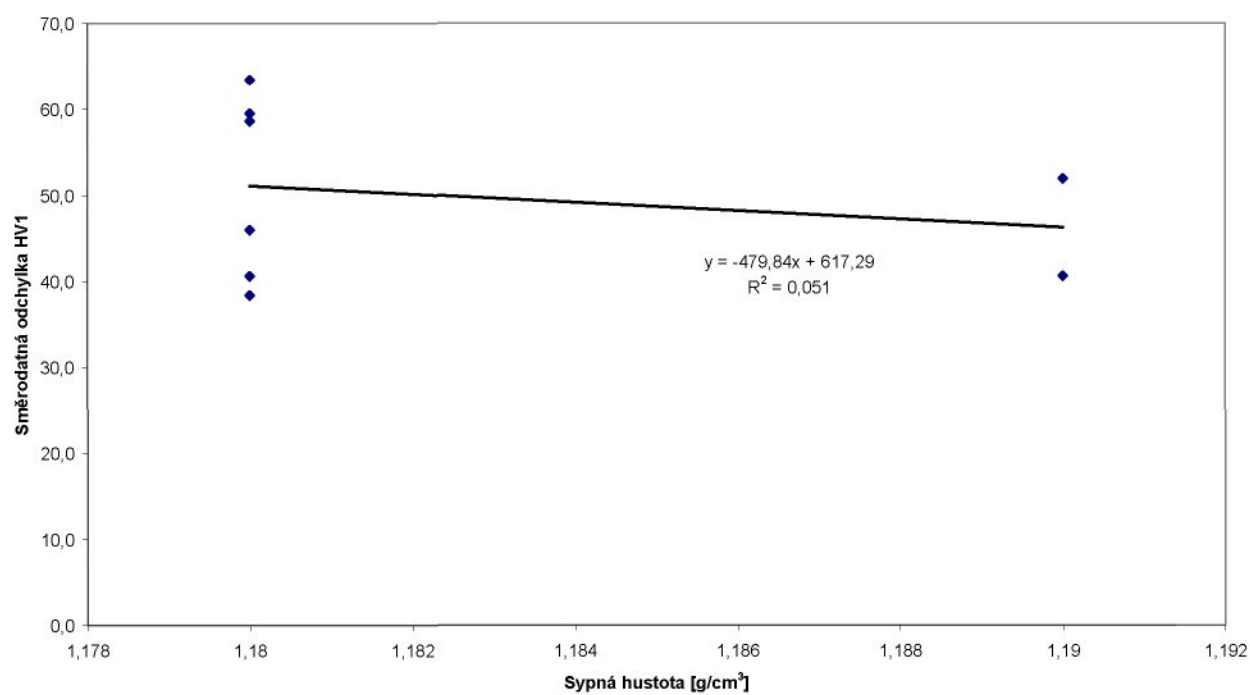
Tvrdost HV1 - vlhkost



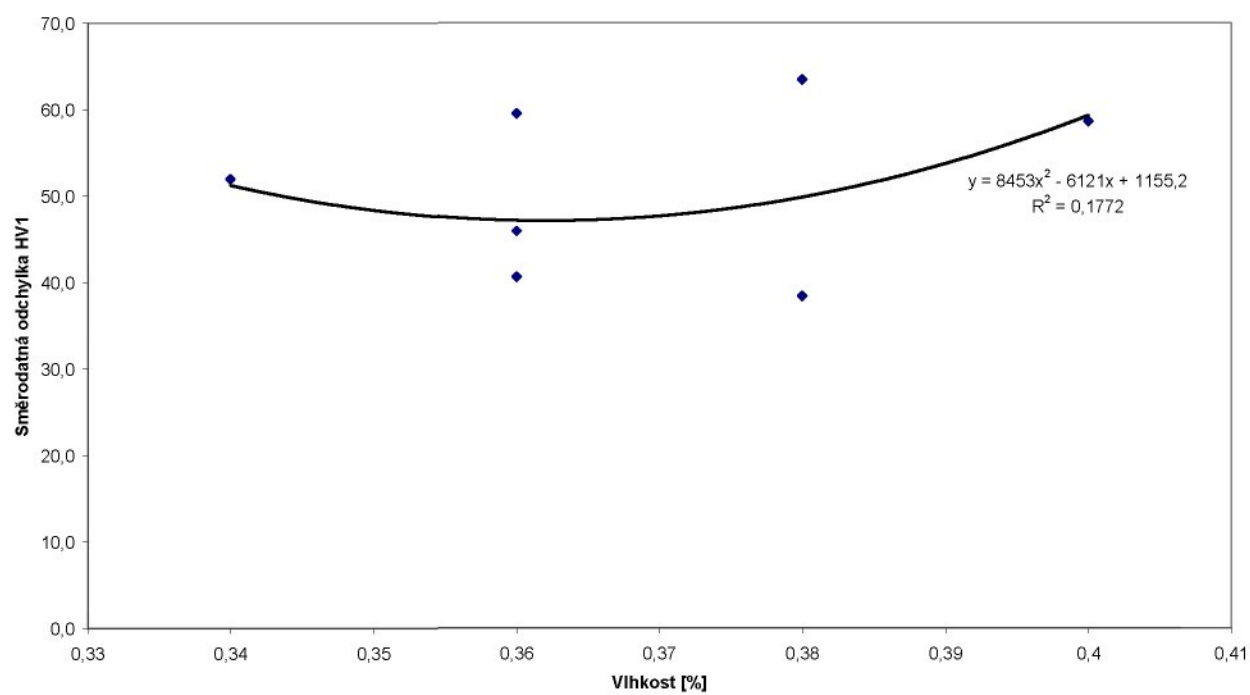
Směrodatná odchylka HV1 - tekutost



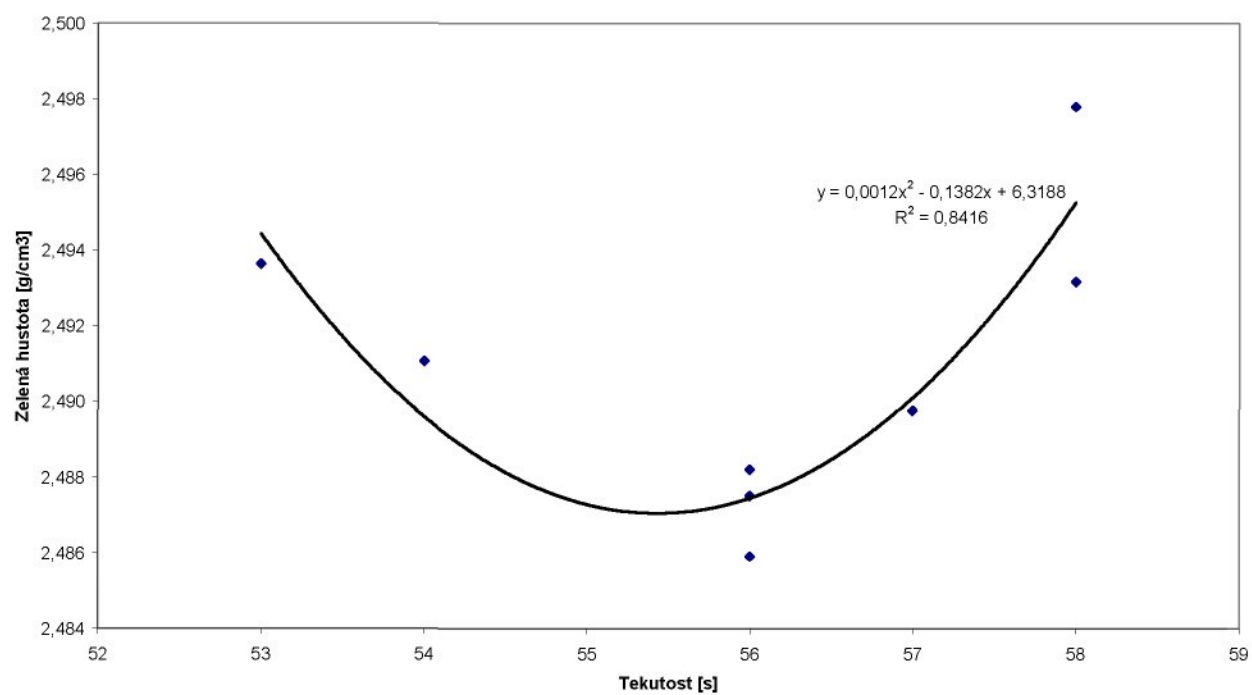
Směrodatná odchylka HV1 - sypná hmotnost



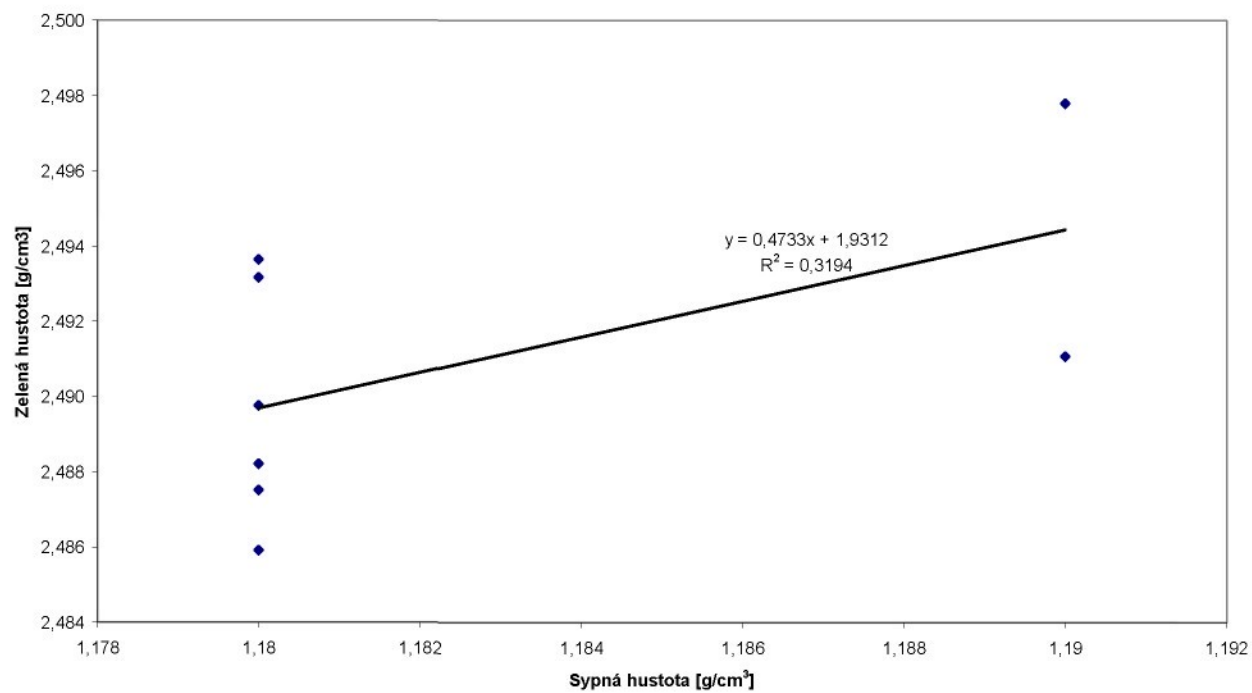
Směrodatná odchylka HV1 - vlhkost



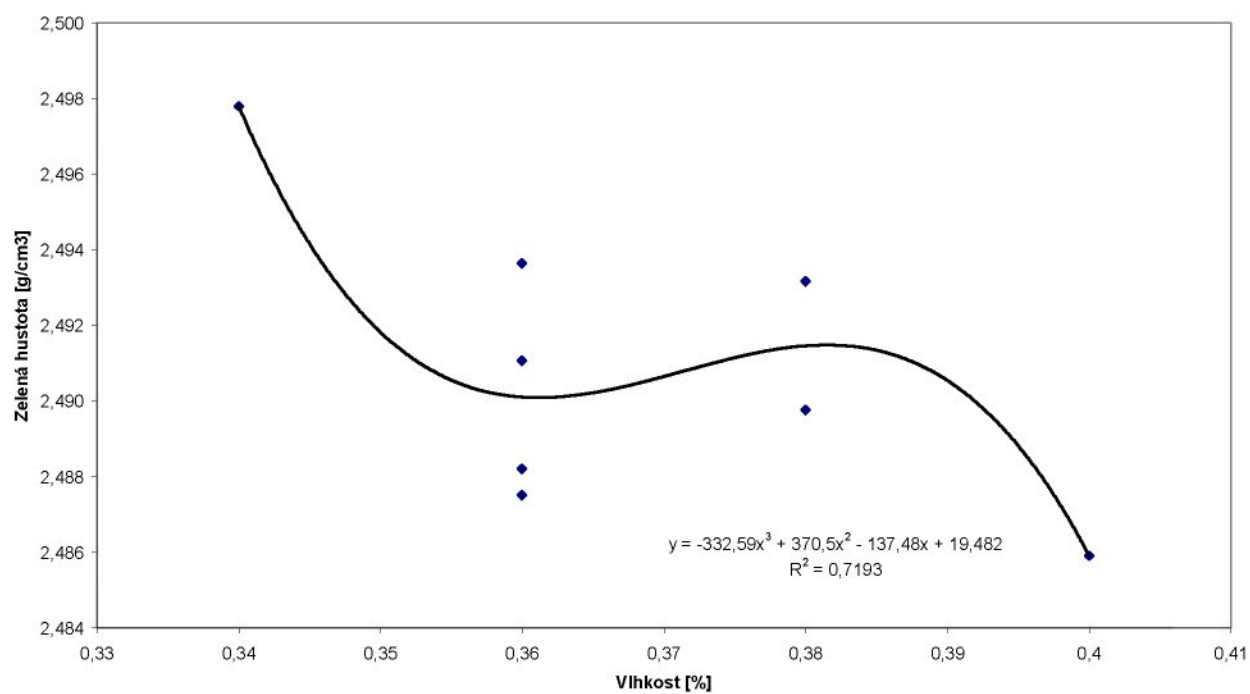
GD - tekutost



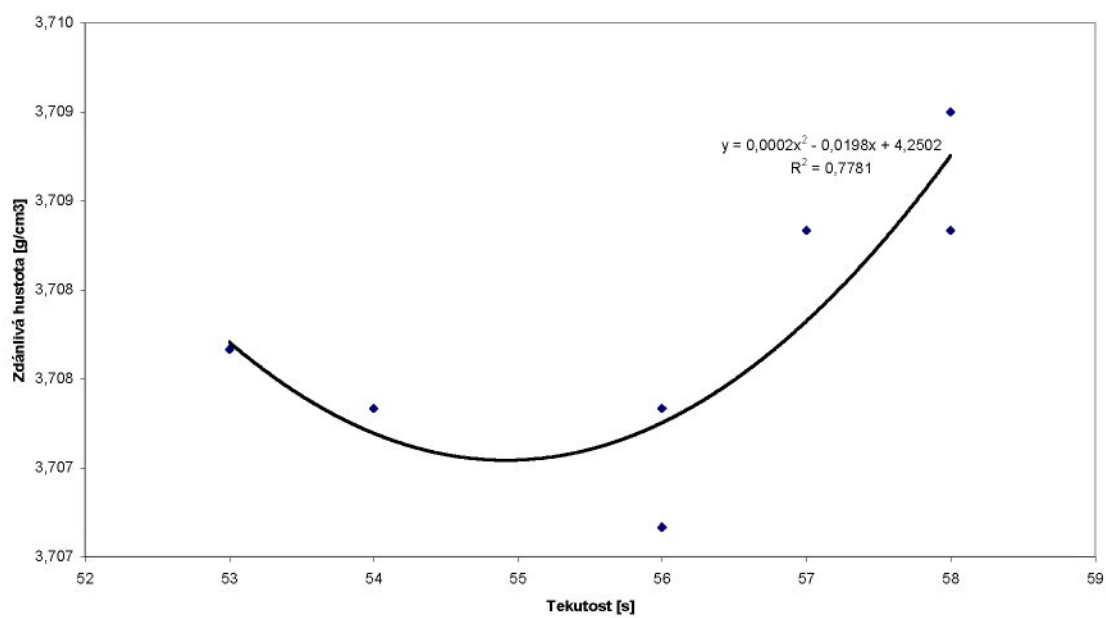
GD - sypná hmotnost



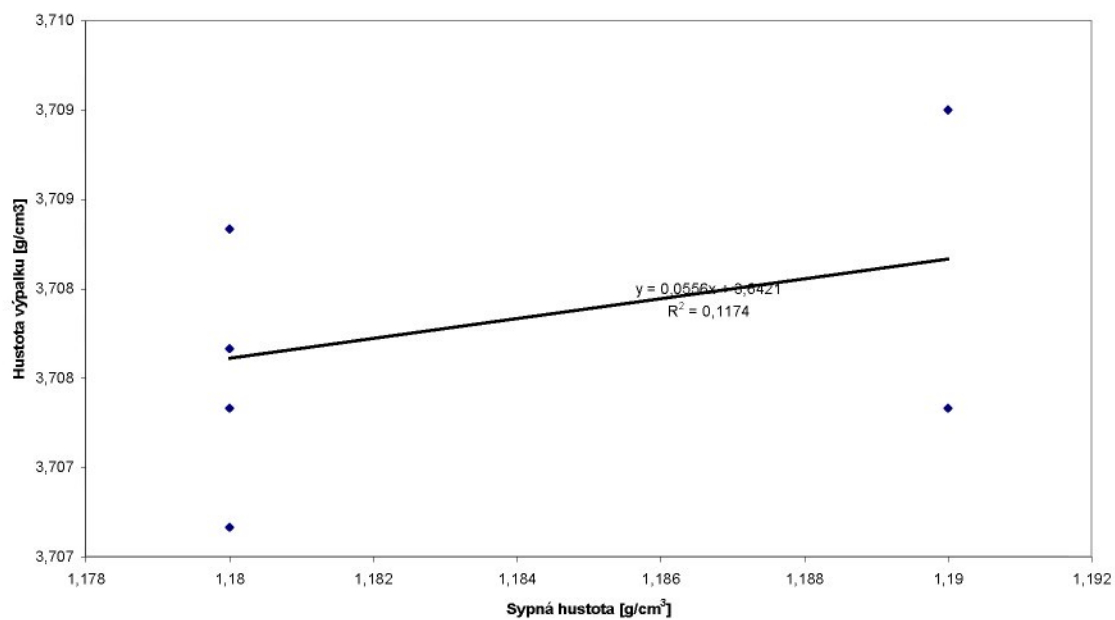
GD - vlhkost



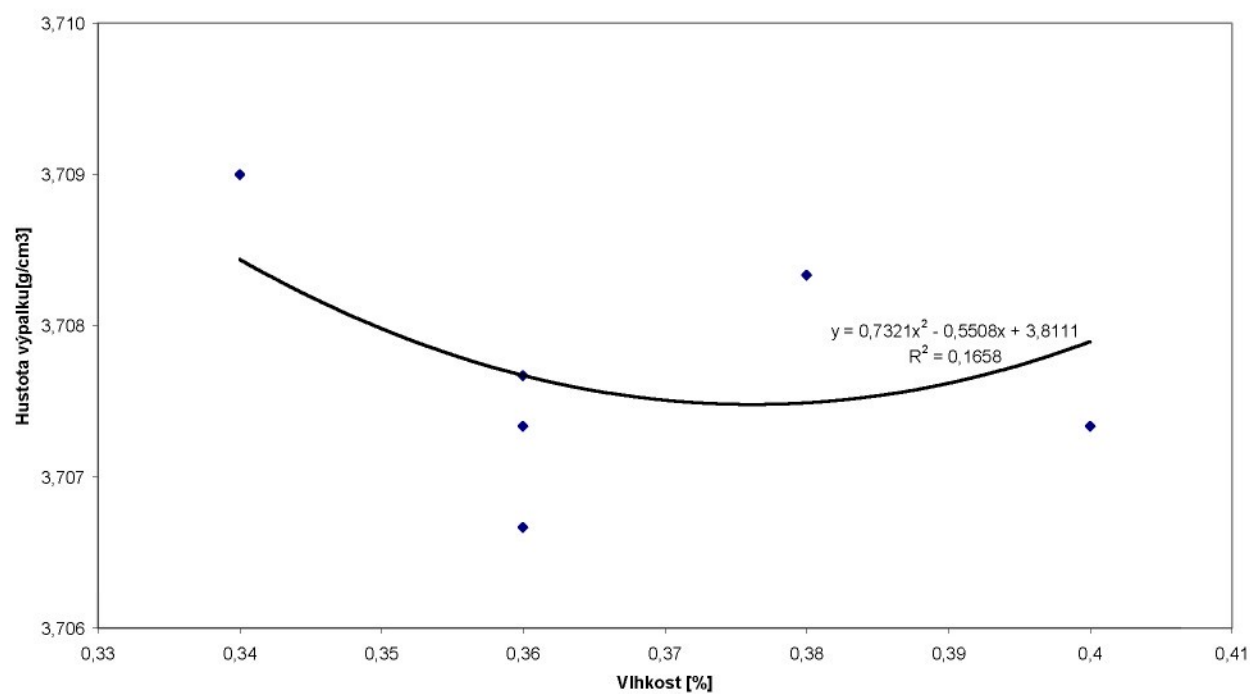
Zdánlivá hustota výpalku - tekutost



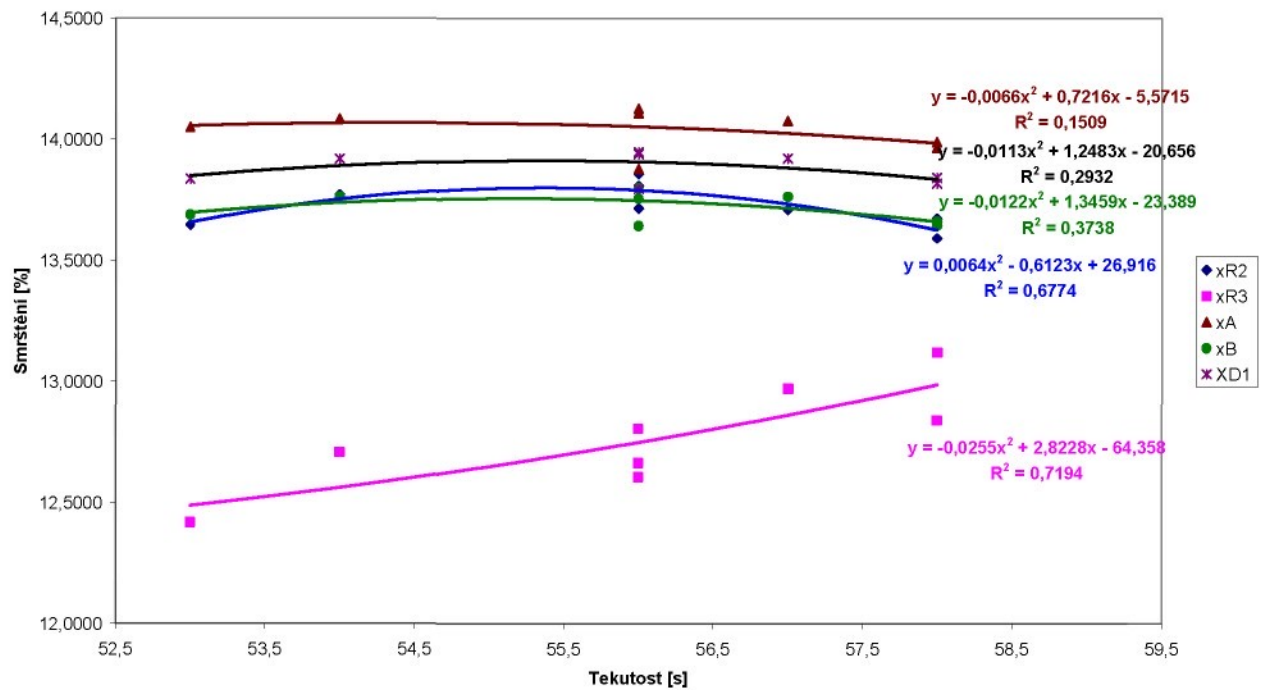
Hustota výpalku FD - sypná hustota



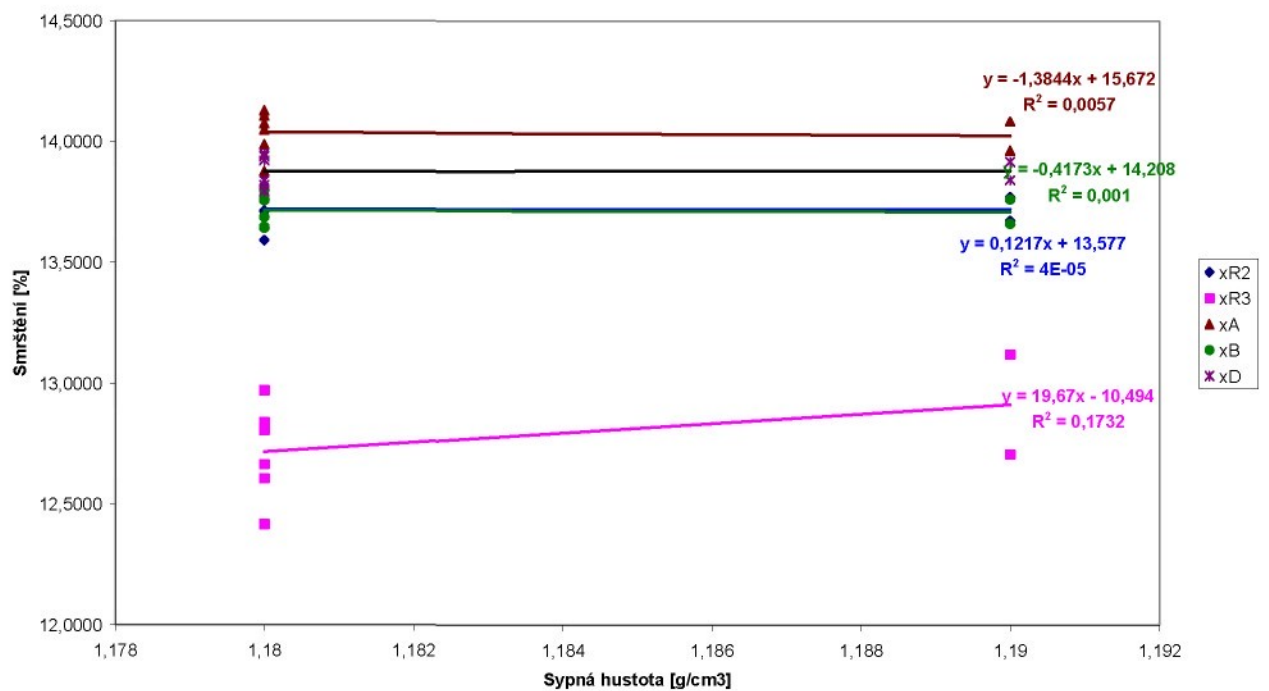
Hustota výpalku FD- vlhkost



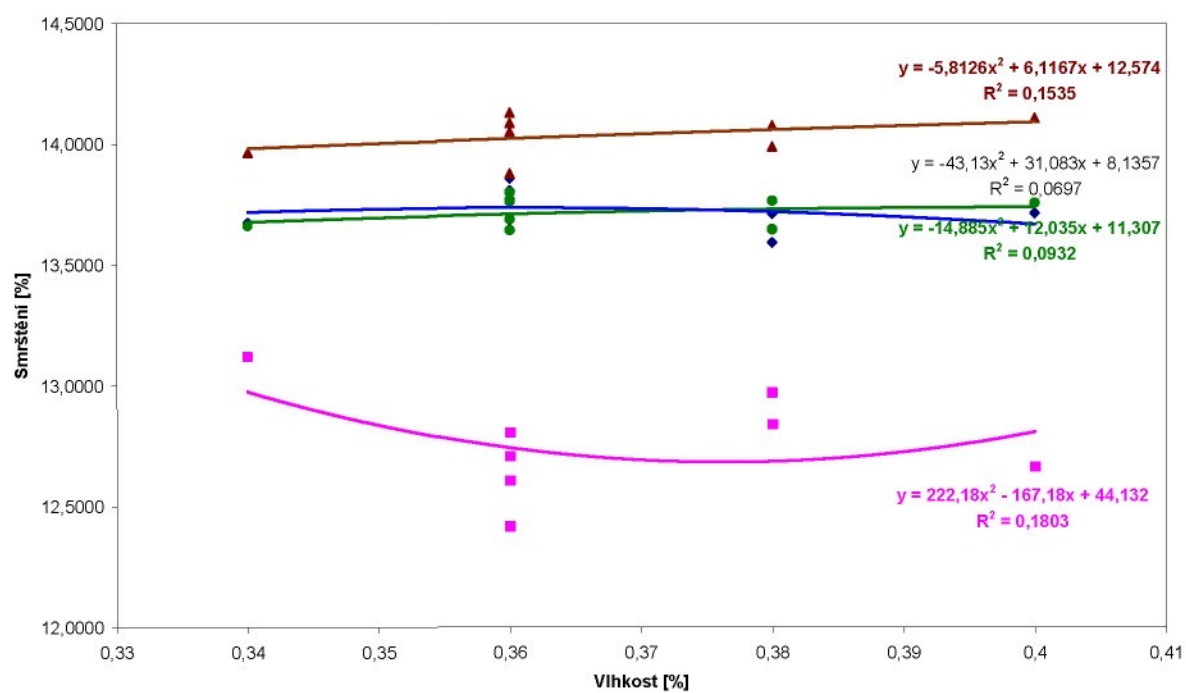
Smrštění - tekutost



Smrštění - sypná hustota

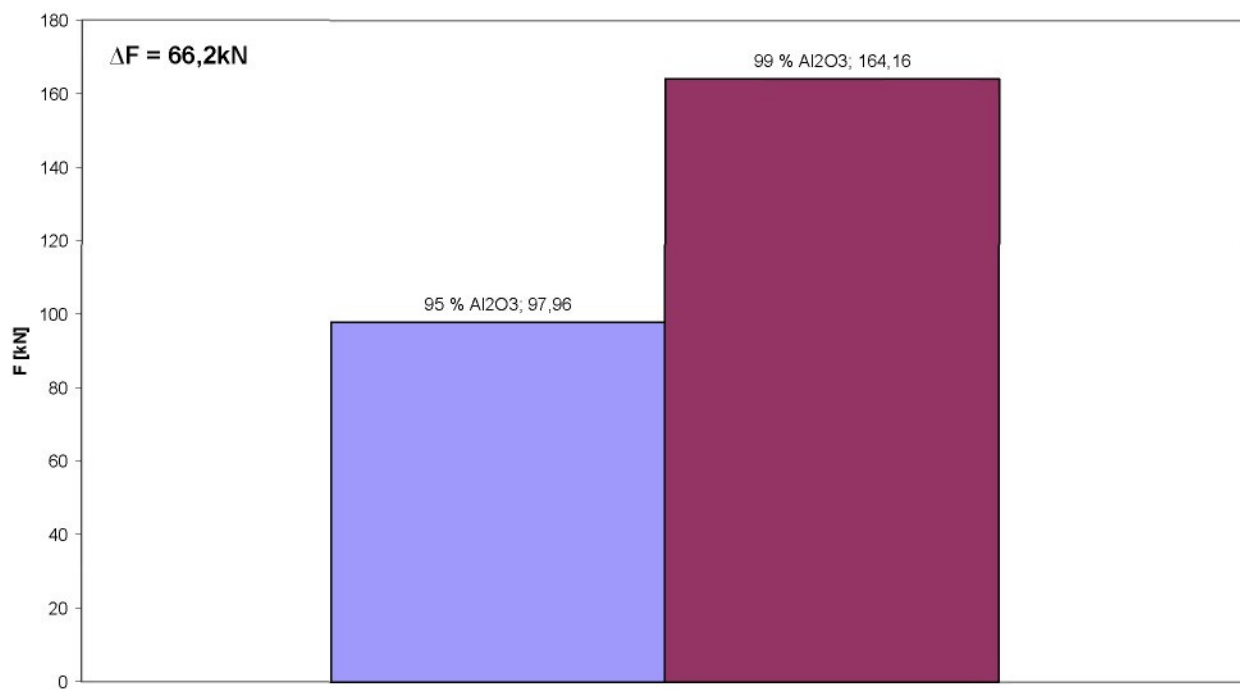


Smrštění - vlhkost

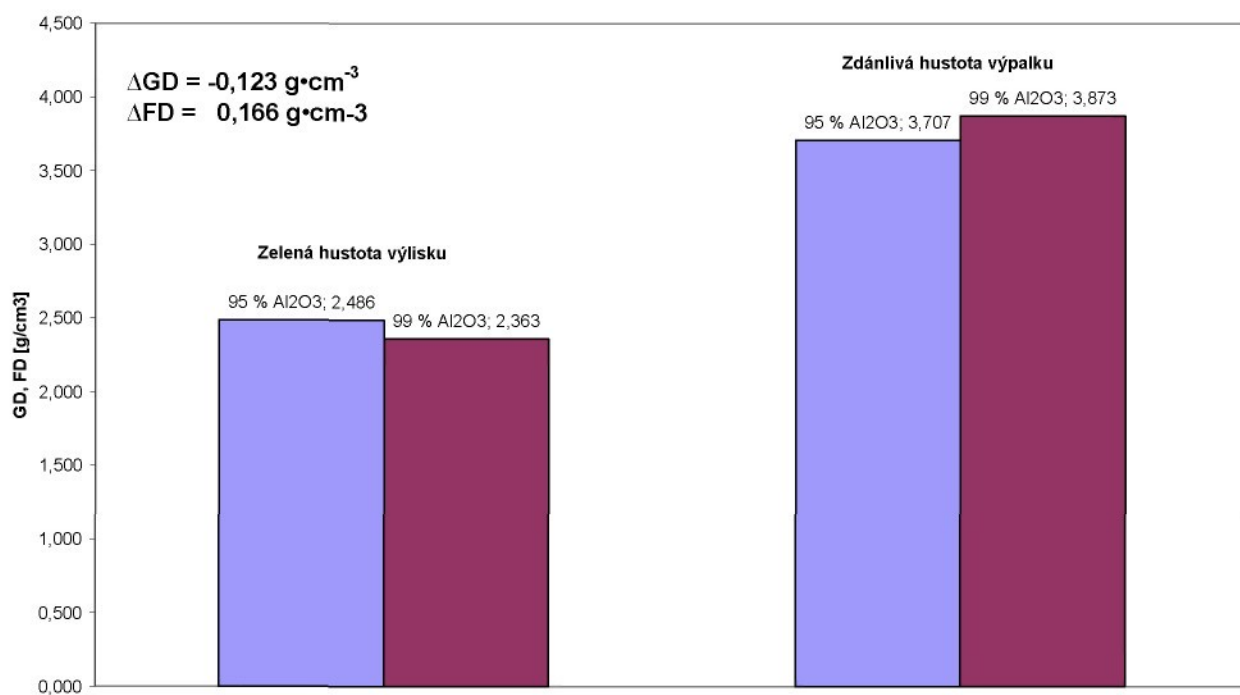


Příloha 16 – Porovnání granulátu s 95% a 99%Al₂O₃

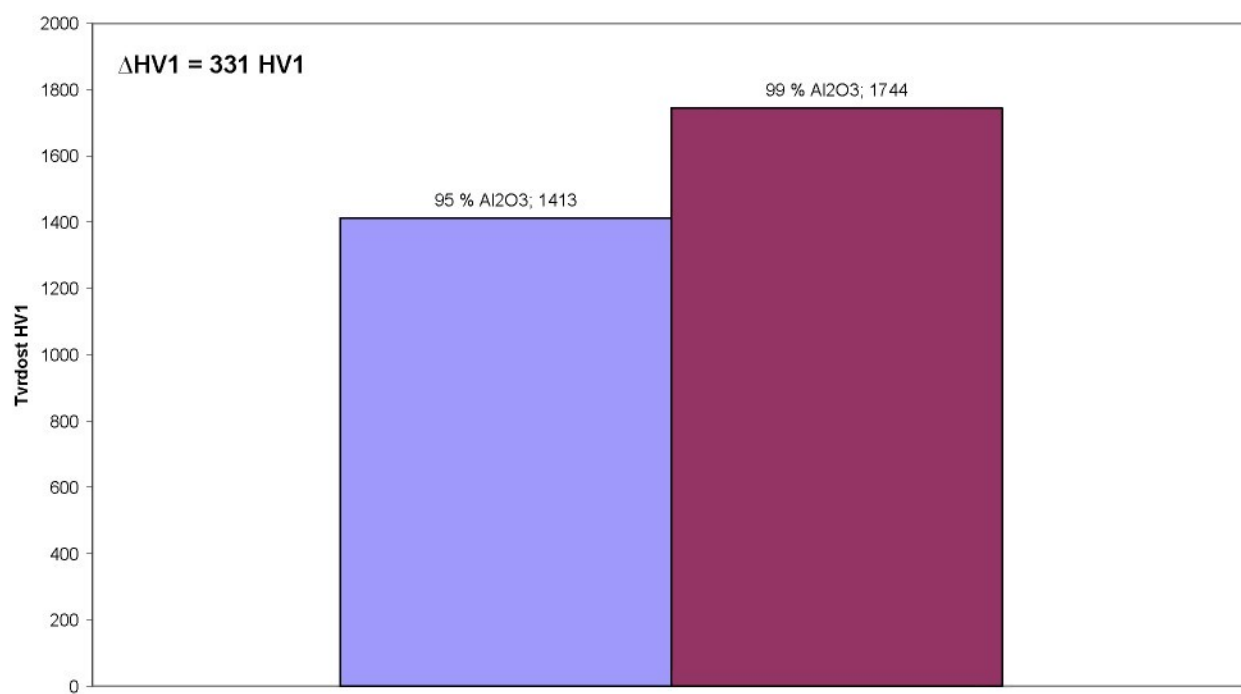
Lisovací síla - obsah Al₂O₃



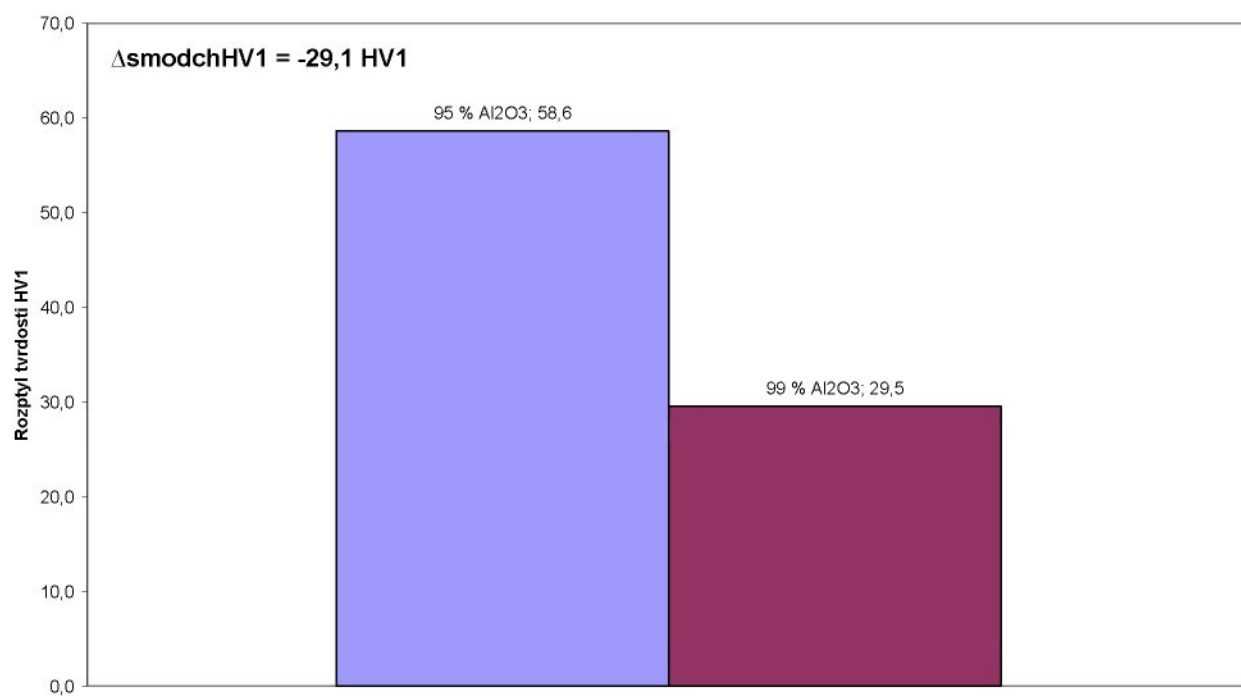
Hustota - obsah Al₂O₃



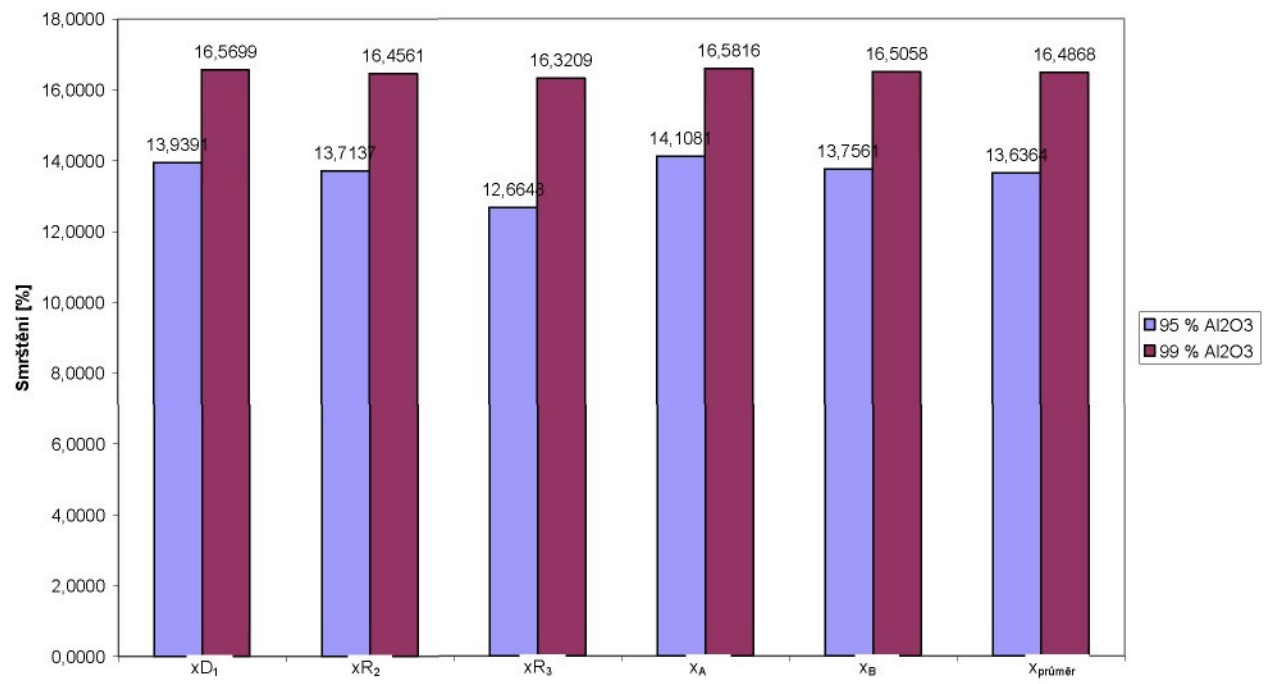
Tvrdost - obsah Al₂O₃



Směrodatná odchylka tvrdosti - obsah Al₂O₃

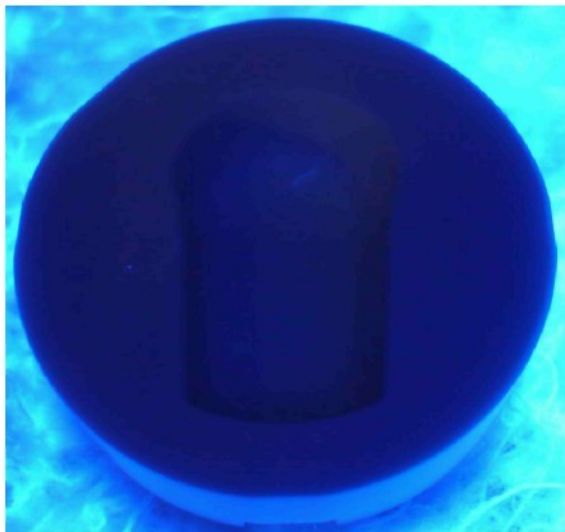


Smrštění - obsah Al₂O₃

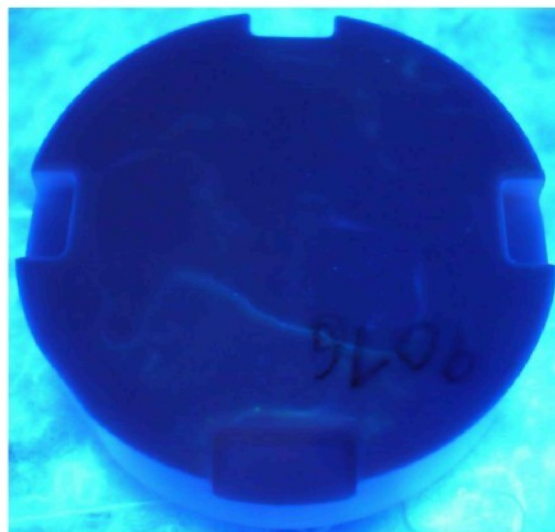


Příloha 17 – Trhlinky a pórovitost RO2236 z různých šarží

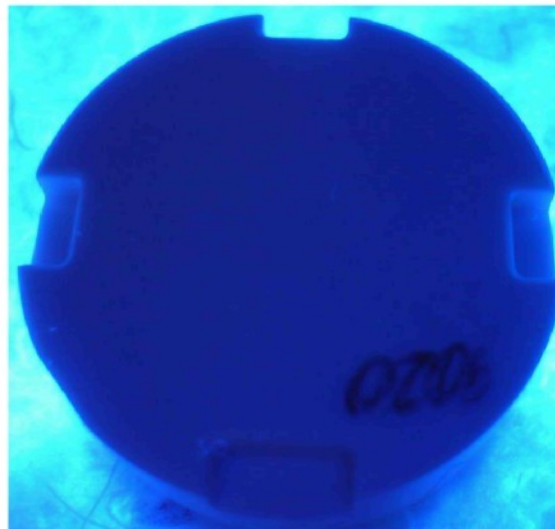
T195 – 8321



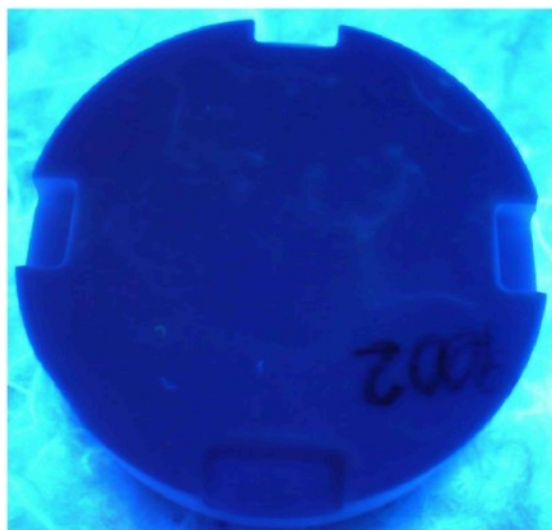
T195 – 9016



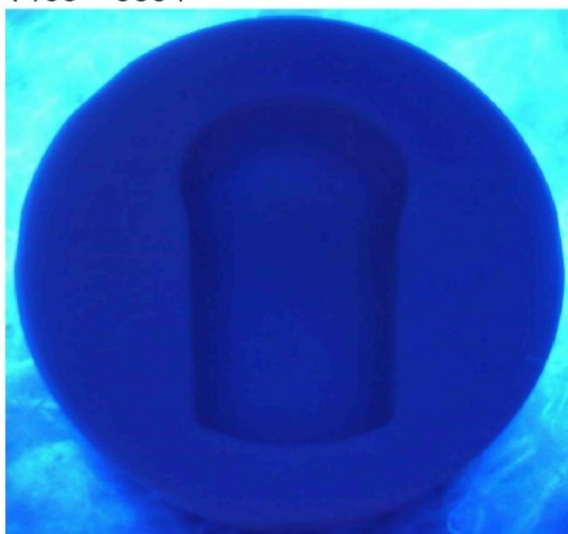
T195 – 9020



T195 - 9002



T195 - 9004



T195 - 9019



T195 - 8433



T195 - 9032



NM9922 - 8427

