



# Sledování zrn ostřiva slévárenských formovacích a jádrových směsí

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Tomáš Háva**  
*Vedoucí práce:* prof. Ing. Iva Nová, CSc.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Háva**  
Osobní číslo: **S12000064**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Sledování zrn ostřiva slévárenských formovacích a jádrových směsí**  
Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

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

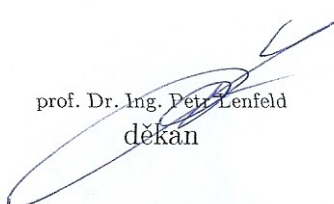
1. Seznamte se slévárenskými formovacími a jádrovými směsmi.
2. Prostudujte problematiku ostřiv slévárenských formovacích a jádrových směsí.
3. Vyberte několik typů ostřiv, která jsou k dispozici na naší katedře. Na základě prostudované literatury zvolte metody hodnocení ostřiv. Na základě zvolených metod proveďte potřebné experimenty.
4. Zhodnoťte získané poznatky a formulujte dílčí závěry.

Rozsah grafických prací: **tabulky, grafy**  
Rozsah pracovní zprávy: **cca 30 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

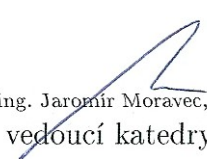
- [1] JELÍNEK, Petr. *Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí: ostřiva*. Ostrava: 2000, 138 s. ISBN 80-238-6118-22.
- [2] JELÍNEK, Petr. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí (Chemie slévárenských pojiv)*. 1.vyd. Ostrava, 2004.
- [3] RUSÍN, Karel. *Formovací hmoty*. [Skripta]. VUT Brno 1972.
- [4] VETIŠKA, Aleš a kol. *Teoretické základy slévárenské technologie*. 1. vyd. Praha, 1974.
- [5] NOVÁ, Iva. *Teorie slévání I - Teoretické základy technologických procesů*. [Skripta]. KSP, FS TU v Liberci 2006.
- [6] PETRŽELA, Lev. *Slévárenské formovací látky*. 1. vyd. Praha 1955.
- [7] *Technické podkladové materiály firmy Formservis, spol. s.r.o. Brno.*
- [8] *Časopisy: Slévárenství, Giesserei, atd.*

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Iva Nová, CSc.**  
Katedra strojírenské technologie

Datum zadání bakalářské práce: **1. února 2016**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. května 2017**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. února 2016

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou 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 bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou 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.

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

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

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval prof. Ing. Ivě Nové, CSc. za odborné vedení, rady a obětavou pomoc při zpracování této práce.

Tomáš Háva

**Anotace:**

Tato bakalářská práce se zaměřuje na sledování velikosti zrn formovacích a jádrových směsí. V teoretické části je popsáno rozdělení ostřiv a způsob hodnocení ostřiv. Experimentální část se zabývá sledováním granulometrické skladby ostřiva, mikroskopickým hodnocením tvaru slévárenských ostřiv, sypnou hmotností ostřiva a hustotou ostřiva.

**Klíčová slova:**

slévárenská ostřiva, granulometrická skladba , sypná hmotnost ostřiv, hustota ostřiv

**Annotation:**

The bachelor thesis focuses on the study of the size of moulding grains and core mixtures. The theoretical part describes the distribution and the method of evaluation of the grog(sand). The second experimental part is monitoring the granulometric composition of the grog(sand), using the microscopic evaluation of the shape of foundry grog(sand), the bulk weight and the density of the grog(sand).

**Key words:**

foundry grog (sand), granulometric composition of the grog (sand), bulk weigh of the, grog (sand), density of the grog (sand)

# Obsah

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>2. TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE.....</b>	<b>8</b>
2.1 Složky pískových slévárenských formovacích a jádrových směsí.....	8
<b>2.2 Rozdělení ostřiv.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Kyselá ostřiva.....	9
2.2.2 Bazická ostřiva (zásaditá).....	11
2.2.3 Neutrální ostřiva.....	12
2.2.4 Ostřiva speciální.....	15
<b>2.3 Hodnocení ostřiv.....</b>	<b>16</b>
2.3.1 Granulometrická skladba ostřiv.....	16
2.3.2 Stanovení granulometrické skladby ostřiva.....	18
2.3.3 Hodnocení granulometrické skladby ostřiv pomocí kritéria pravděpodobnosti uspořádání zrn.....	20
2.3.4 Stanovení počtu částic ve frakci a povrchu částic.....	23
<b>3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Sledování granulometrické skladby ostřiva a mikroskopické hodnocení tvaru slévárenských ostřiv.....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Postup měření na prosévacím stroji.....	28
3.1.2 Chromitové ostřivo.....	29
3.1.3 Ostřivo Šajdíkovy Humence SH 33.....	32
3.1.4 Křemenné ostřivo III.....	35
3.1.5 Křemenné ostřivo ST 54.....	38
3.1.6 Chrommagnezitové ostřivo.....	41
3.1.7 Zirkonové ostřivo.....	44
3.1.8 Korundové ostřivo.....	47
3.1.9 Hodnocení výsledků získaných síťovým rozborem a součtovou křivkou.....	47
<b>3.2 Stanovení sypné hmotnosti ostřiva.....</b>	<b>52</b>
3.2.1 Zhodnocení sypné hmotnosti ostřiv.....	62
<b>3.3 Stanovení hustoty ostřiva.....</b>	<b>63</b>
3.3.1 Zhodnocení hustoty ostřiv.....	64
<b>4. DISKUSE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>65</b>
<b>5. ZÁVĚR.....</b>	<b>68</b>
<b>6. SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>69</b>

## 1. ÚVOD

V současné době, i přes rozvoj jiných způsobů výroby odlitků především pro automobilový průmysl (vysokotlaké a nízkotlaké lití slitin hliníku), má neustále značný význam výroba odlitků v netrvalých slévárenských formách. Tyto formy se používají např. pro výrobu litinových, ocelových, ale také i v menší míře hliníkových a zinkových odlitků. Pro výrobu netrvalých slévárenských forem slouží formovací směsi a jádrové směsi. Formovací směsi můžeme dělit na modelové (připravované z nových surovin), výplňové (výplň zbývajícího objemu formovacího rámu nebo vnitřní části jádra), jádrové (z pravidla z nových surovin, jsou na ni kladeny vyšší nároky na jakost oproti modelové směsi) a jednotné (celý objem formovacího rámu tvoří jediná směs). Vyrábí se z minimálně jednou použité směsi), [1].

Nosnou částí formovacích směsí je ostřivo. Některé typy ostřiv se nalézají v přírodě a označují se jako slévárenské písky. Roční spotřeba slévárenských písků činí u nás cca 800 000 tun, z tohoto množství je recyklováno pouze necelých 10 %. Nejpoužívanější v našich slévárnách jsou křemenné písky. Využitelnost křemenných ostřiv je jak pro výrobu formovacích směsí, tak i pro výrobu jádrových směsí. Současní výrobci dodávají křemenné písky vysoké čistoty, s různou velikostí středního zrna ( $d_{50}$ ), viz tab. 1.

**Tabulka 1:** Přehled křemenných písků typu STŘELEČ

<i>Křemenné slévárenské písky STŘELEČ</i>		
<b>Druh a označení</b>	<b>Střední hodnota <math>d_{50}</math> [mm]</b>	<b>Rozsah zrnitosti [mm]</b>
ST 52	0,32	0,10 až 0,63
ST 53	0,27	0,10 až 0,63
ST 54	0,23	0,10 až 0,63
ST 55	0,16	0,063 až 0,50
ST 56	0,13	0,063 až 0,50

Hodnocením velikosti zrn ostřiv pro výrobu formovacích a jádrových směsí se řadu let zabývají pracovníci katedry strojírenské technologie, FS – TU v Liberci. Také téma mé bakalářské práce řeší: „Sledování zrn ostřiva slévárenských formovacích a jádrových směsí“.



## 2. TEORETICKÁ ČÁST PRÁCE

### 2.1 Složky pískových slévárenských formovacích a jádrových směsí

Písková formovací směs se skládá ze dvou základních komponent *ostřiva* a *pojiva*. Dále podle typu formovací směs může obsahovat vodu a různé přísady pro zlepšení vlastností dané směsi, [1].

**Ostřivo** tvoří hlavní objem a hmotnostní zastoupení ve směsi. Je nejdůležitější složkou formovací a jádrové směsi. Jedná se o zrnitý žáruvzdorný materiál, kde zrnitost udává kvalitu povrchu odlitku. Velikost částic se musí pohybovat nad 0,02 mm. Menší částice se řadí do vyplavitelného podílu (jíly, křemenný prach, neplastické částice, živec, jiné minerály). Ostřivo slouží jako nosná část formovací směsi tzv. skelet, také rozhoduje o kvalitě formy a odlitku. Ostřiva by měli splňovat tyto vlastnosti, [1]:

- žáruvzdornost a rozměrová stabilita (dilatace);
- vhodný tvar částic a zrnitost;
- nesmí reagovat s tekutým kovem;
- nesmáčivost s tekutým kovem;
- nesmí obsahovat látky, které zplyňují;
- čistota a hodnota pH;
- kompatibilita s pojivovým systémem;
- ekonomická dostupnost;

**Pojivo** je látka nebo směs, která slouží ke spojování zrněk ostřiva, udává vlastnosti formovací směsi. Poskytuje směsi vaznost za syrova a pevnost po vysušení. Vaznost udává pevnost v syrovém stavu směsi po zhuštění. Vazkost má velký vliv na technologické vlastnosti. Dle chemické povahy se pojiva dělí na anorganické (vodní sklo, sádra, cement) a organické (pryskyřice, tuky, oleje, sacharidy). Další rozdělení se odvíjí podle dlouhodobého vývoje technologického postupu při výrobě do čtyř generací, [1,2].

**Přísady a voda**, přísady jsou látky zlepšující vlastnosti formovací směsi, slouží například pro zlepšení rozpadavosti po odlití, prodyšnosti nebo povrchové jakosti. *Voda* má funkci plastifikátoru, slouží jako aditivum, zvyšuje plasticitu nebo tekutost materiálu, čím zabezpečuje formovatelnost a vaznost formovacích směsí, [1].

## 2.2 Rozdělení ostřiv

Podle chemické povahy dělíme ostřiva:

- kyselá (křemenné písky);
- neutrální (chromit, korund, zirkon);
- zásaditá (magnesit, chrommagnezit);
- speciální;

V důsledku chemických reakcí vznikají povrchové vady odlitků – zapečeniny. Kyselá ostřiva reagují se zásaditými oxidy legovaných ocelí za vzniku sloučenin s nižší žáruvzdorností. Zásaditá ostřiva reagují s kyselými oxidy, [1].

Podle původu vzniku se ostřiva dělí:

- přirozená (křemenné písky, zirkonové písky, olivín);
- umělá (šamotový lupek, korund, kovové kuličky);

### 2.2.1 Kyselá ostřiva

**Křemenná ostřiva** – patří do skupiny kyselých ostřiv. Křemenná ostřiva jsou nejrozšířenější ostřivo z důvodu ekonomičnosti. Slouží pro přípravu syntetických směsí, ale je obsažen i v přirozených směsích. Křemen ( $\text{SiO}_2$ ) je hlavním minerálem křemenných ostřiv, jeho tvrdost je 7, měrná hmotnost se pohybuje okolo  $2640 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Křemenná ostřiva mají kyselý charakter, proto je nelze používat pro výrobu forem pro odlévání kovů, které vytváří zásadité kysličníky, [1].

**Křemenné písky české křídové tabule** – jedná se o křemenné písky s malým procentem vyplavitelných podílů (pod 0,5 %), relativně málo znečištěné jílovými minerály. Mineralogicky i chemicky jsou velmi čisté. Obvykle mají pod 0,05 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , který je vázán převážně na těžké minerály (s hustotou nad  $2830 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), kterých mají méně než 0,8 %. Má jen malé povrchové znečištění zrn železitými sloučeninami. Nejvíce je u písků T2S Provodín, tj. asi 0,028 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Zrno má střední stupeň zaoblení hran a jsou isometrická, používají se na výrobu formovací směsi pro ocelové odlitky. Tyto písky prakticky neobsahují živce, [1].

**Křemenné písky moravské křídové tabule** – jsou méně čisté písky ve srovnání s písky ze Střelče a Provodína. Těžké minerály jsou obsaženy u písků: Dolní Lhota O-38 (0,21 %), Boskovice (0,42 %), Dolní Lhota O-23 (0,64 %). Obsah živců nepřekračuje 1 %.

Tvarová charakteristika zrn je podobná jako u písků české křídové tabule. Oxid železitý (0,07 – 0,16 %) má vyšší koncentraci a je vázán z velké části ve formě limonitových povlaků na zrnech, [1].

**Váté písky** – v oblasti Moravsko-slovenského pomezí se nachází oblasti zmiňovaných písků. Váté písky jsou charakteristické vysokou kulatostí zrn. Vysoká kulatost zrn je následek obroušování a eroze při vzdušné přepravě ze značných dálek. Následkem je proto výrazná změna povrchu s porovnáním s písky křídovými, [1].

**Písky po plavení kaolinu** – lokality s kaolinem doprovázejí křemenné písky, které jsou na Plzeňsku (Hlubany a Kaznějov), [1];

**Hlubany** – pevnost směsi s organickými pojivy je velice nízká za pomoci tohoto písku. Písek má kulaté zrno, ale i přesto obsahuje asi 10 % zrn rozložených živců. Oproti zrnům křemene má nižší tvrdost a je charakteristický mléčně bílou barvou. Zrna jsou velmi porézní, díky této porezitě je zvýšena nasákavost písku. Má vysoký obsah vyplavitelných podílů (zbytky kaolinu). Písek není skoro vůbec vhodný pro organická pojiva (metody Hot-box, Cold-box). Avšak oproti tomu je s tímto pískem dosahováno velmi dobrých výsledků ve směsích skořepinových a furanových (netvoří se výronky a pomerančová kůra), oproti tomu se ale zvyšuje spotřeba, [1].

**Kaznějov** – z mineralogického hlediska tento písek obsahuje téměř všechny nevýhody, které se u písků mohou vyskytovat. Jedná se o odpadní písek s vysokou hodnotou vyplavitelných podílů (křemen a kaolinit). Písek je velmi porézní a v těchto pórech se vyskytují zbytky kaolinu. Porezita se projevuje zvýšenou nasákavostí. Výsledky s organickými pojivy jsou ještě horší, než u předtím zmiňovaného písku Hlubany. Zrna písku jsou ostrohranná a neopracovaná, [1].

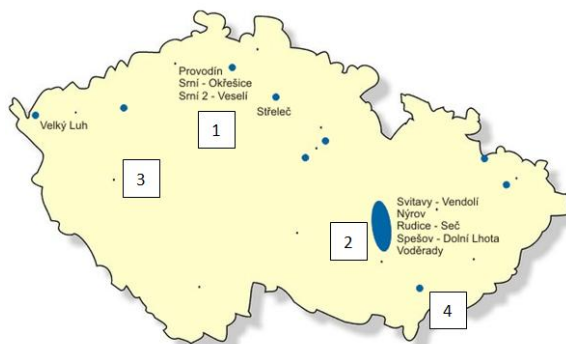
### 2.2.1.1 Nevýhody křemenných ostřiv

K nejdůležitějším nevýhodám ostřiv se řadí různé činitele:

- Zvýšená reaktivnost za vysokých teplot s oxidy Fe a jiných kovů (legur ocelí);
- Neplynulá (diskontinuální) tepelná dilatace – související s malou rozměrovou přesností odlévaných odlitků a vznikem řady slévárenských vad z tepelného napětí (výronky, zálupy, ... );
- Cristobalická expanze za přítomnosti mineralisátorů a vysokých teplot (nad 900 °C);
- Silikosa - nemoc z křemenného prachu;

V důsledku hlavních nevýhod je snaha stále více nahradit křemenný písek jinými minerály nebo žáruvzordninami, [1].

Na obr. 2-1 je přehled lokalit našich křemenných písků.



- 1 - Česká křída:** Střeleč, Provodín, Srní- Okřešice, Srní 2- Veselí;  
**2 - Moravská křída:** Svitavy, Spešov-Dolní Lhota, Nýrov, Rudice-Seč, Voděrady, Rájec, Boskovice;  
**3 - Kaolínové písky:** Hlubany, Kaznějov;  
**4 - Váté písky:** Strážnice, Čejč, Lozorno, Šajdíkovy Humence

**Obr. 2-1:** Přehled lokalit našich křemenných písků [5]

### 2.2.2 Bazická ostřiva (zásaditá)

Pod tímto pojmem zahrnujeme drcený vratný bazický žáruvzordný materiál, jako jsou *magnezit, magnezitchrom a chrommagnezit*, [1].

Mimořádné u zmíněných žáruvzordnin je, že fyzikálně-chemické procesy v nich probíhaly mnohem déle, než jak je tomu v normální surovině, pro kterou prakticky končí objemové změny po prodělání výpalu za vysokých teplot. Charakteristickými vlastnostmi jsou vysoká tepelná vodivost, nízký koeficient lineární roztažnosti a nízký modul pružnosti. Také proto materiál velice dobře odolává náhlým změnám teplot, [1].

**Magnezit** – MgO, uměle připravené ostřivo z minerálu pálením a slinováním  $MgCO_3 = MgO + CO_2$ , slinuje se při teplotách 1400 °C, odolává teplotám cca 2000 °C. Obsahuje 85 % MgO. Používá se pro odlévání legovaných ocelí.

- Chrommagnezit - 40 % MgO do 35 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; snáší teploty nad 2000 °C.
- Magnezitchrom - 60 % MgO do 20 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Pro tato ostřiva jsou charakteristické vysoká hodnota tepelné vodivosti, vyšší hustota a nízký součinitel lineární roztažnosti, který dává předpoklady k odolnosti vůči náhlým změnám teplot; [1].

Tato ostřiva pojená vodním sklem (CT směsi s CrMg ostřivem) patřily v minulosti k dokonalým formovacím materiálům pro výrobu těžkých ocelových odlitků, např. i z Mn – ocelí. Pro vysokou odolnost proti zapékání a zálupům vytlačily šamotové směsi. V našich slévárnách jsou směsi s magnezitem výhodnější než směsi se zirkonovým ostřivem. Nevýhodou zásaditých ostřiv je, že je nelze pojit pryskyřicemi tvrditelnými kyselými katalyzátory (furany), [1].

### 2.2.3 Neutrální ostřiva [11]

**Korund** – v přírodě se nachází jako minerál safír a korund, nečisté druhy jsou známé pod názvem smirek. Ve slévárenství se využívá umělé ostřivo – elektrokorund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Teoreticky obsahuje 52,91 % Al. Podle druhu modifikace se měrná hmotnost pohybuje v mezích 3300–4000  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Bod tavení 2050 °C, tvrdost 9.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je polymorfním oxidem. Má celkem čtyři modifikace ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\xi$ ).

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (*alfa-korund*) – krystalizuje v šesterečné soustavě a patří k vysokoteplotním modifikacím  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , která vzniká z  $\gamma$  – modifikace nad 1000 °C. Je monotropně stálý, nerozpustný v kyselinách, s měrnou hmotností 3960 až 4000  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (*gama-korund*) – krystalizuje v soustavě s kubickou mřížkou a vzniká ohřevem hydroxidu do 1000 °C. Při vyšších teplotách přechází v modifikaci  $\alpha$ . Má měrnou hmotnost 3647  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a v kyselinách je lehce rozpustný. Na rozdíl od  $\alpha$  – má modifikace  $\gamma$  – velkou adsorpční schopnost k některým druhům organických barviv, jako například k alizarínu, karmínu.

Někteří autoři [1], [2] uvádí ještě dvě další modifikace ( $\beta$  a  $\xi$ ), které nejsou zcela potvrzeny a názory na existenci se různí.

Nejpoužívanějším ostřivem je elektrokorund ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), který je vysoce netečný k oxidům Fe a stálý. Často se lze setkat i s používáním lacinějšího druhu – kalcinovaný  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , který představuje směs  $\alpha$  a  $\gamma$  modifikace. Tato směs je již reaktivnější a při přechodu z  $\gamma$  na  $\alpha$  se značně smršťuje. Elektrokorund využíváme jako ostřivo pro přípravu směsí s jíly,

vodním sklem i organickými pojivy pro speciální účely. Jeho rozšíření brání značná cena. Mnohem rozšířenější je jeho uplatnění jako plniva v nátěrech a námazcích pro ocelové odlitky.

**Chromit** – chromitové písky jsou tvořeny základním minerálem ze skupiny spinelů chromových, zvaných chromit –  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ . Teoretické složení: 32 %  $\text{FeO}$  a 68 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Měrná hmotnost chromitu je 4400 až 4600  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , tvrdost 5,5. Teplota tavení se pohybuje okolo 2180 °C. Průměrné chemické složení slévárenských chromitových písků se nachází v následujících mezích:

$\text{Cr}_2\text{O}_3$	44 - 47 %	$\text{SiO}_2$	1 - 1,8 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	25 - 27 %	$\text{MnO}$	0,15 - 0,20 %
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12 - 15 %	$\text{CaO}$	0,10 %
$\text{MgO}$	6 - 10 %		

Obsah  $\text{CaCO}_3$  nesmí překročit 1,5 hmot. %. Proto se musí hlídat obsah  $\text{CO}_2$ , který nemá přesáhnout 0,5 hmot. %. U kvalitních chromitových písků nepřekročí ztráta žiháním 0,1 hmot. %. Tepelná dilatace je lineární (plynulá), nižší nežli u  $\text{SiO}_2$ , ale vyšší než u olivínu a zirkonu. Směsi lze připravit jak s bentonitem, vodním sklem, tak i s organickými pojivy.

Chromité směsi vykazují vysokou odolnost vůči zapékání odlitků, což lze vysvětlit vyšším ochlazovacím účinkem – vyšší hustotou nežli  $\text{SiO}_2$  – a tvorbou spečené kůry na rozhraní forma – kov, které má při vysoké žáruvzdornosti nízkou teplotu spékavosti (1450 °C). Díky vysoké odolnosti chromitu proti vzniku zapečenin je hlavní použití chromitu při výrobě masivních ocelových odlitků. Největší naleziště chromové rudy jsou v Jižní Africe, Turecku Albánii a Rakousku.

**Zirkon** – zirkonové písky představují směs  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$  a  $\text{ZrO}_2$ . Hustota písku je pak výsledkem zastoupení obou složek a pohybuje se od 4560 do 4720  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Tvrdost podle Mohsovy stupnice činí 7,5. Chemické složení křemičitanu: 32,8 %  $\text{SiO}_2$  a 67,2 %  $\text{ZrO}_2$ . Teplota tavení křemičitanu 2100 °C,  $\text{ZrO}_2$  2687 °C, avšak písků okolo 1900 °C. Proto kvalita zirkonových písků roste s koncentrací  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{ZrSiO}_2$  se rozkládá při 1775 °C, tedy o 60 °C vyšších teplotách, než je bod tavení  $\text{SiO}_2$ . Ve srovnání s křemennými písky skýtají zirkonové písky řadu předností:

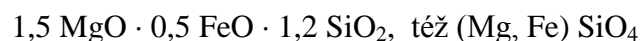
- Lineární tepelná dilatace, několikrát nižší nežli u ostatních běžných ostřiv.
- Mají dvojnásobnou tepelnou vodivost a spolu s vysokou měrnou hmotností dávají vysokou hodnotu koeficientu teplené akumulace ( $b_F$ ); mají dvojnásobnou ochlazovací účinnost.
- Vysoká chemická netečnost vůči kyslíčnickům Fe za vysokých teplot dává směsím značnou odolnost proti penetraci a zapékání, proto se s výhodou používají pro masivní odlitky nebo k výrobě vysoce tepelně namáhaných jader.

Oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ ) v zirkonových píscích je pevně vázán, proto nehrozí zde vznik silikosu. Písky jdou pojit jakoukoliv pojivovou soustavou. V našich podmínkách je zirkon využíván jen pro specifické formovací směsi, ovšem častěji se s ním setkáte ve formě plniv různých typů slévárenských nátěrů a námazků.

**Olivín** – olivínový písek je materiál sopečného původu s vysokým obsahem Mg. V podstatě se jedná o tuhý roztok dvou hlavních křemičitanů,

forsteritu	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	(93 %)	(b.t. = 1900 °C)
fayalitu	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	(6 %)	(b.t. = 1200 °C)

Dále obsahuje některé doprovodné minerály, jako serpentín, chromit, spinel, magnetit atd. Je neutrální až slabě zásadité povahy. Jeho složení bychom mohli přibližně vyjádřit sumárním vzorcem:



Tyto vzorce ukazují na nasycení volných valencí kyslíku kationty Mg a Fe, což hovoří o snížení aktivity olivínu ve srovnání s křemenem. Olivín je zelené barvy, měrné hmotnosti  $3200\text{--}3600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , tvrdost 6,5 až 7,0. Teplota je okolo 1870 °C (v závislosti od poměru forsterit – fayalit). V přítomnosti křemenného písku se teplota tavení podstatně snižuje. Počátek slinování olivínového písku nastává okolo 1410 °C.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat stanovení množství plynů a par, které u olivového písku vznikají termickým rozkladem sekundárních minerálů. Jejich množství je vyšší než u křemenných písků, což může mít rozhodně vliv na sklon k bublinatosti odlitků. Běžné stanovení ztráty žíháním dává zkreslené výsledky v důsledku přechodu FeO oxidací na  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Proto je nutno obsah  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$  stanovit adsorbčními metodami. Přesný obsah volné vody při sušení na 105–110 °C nedostaneme, neboť se část vody uvolňuje až při vyšší sušící teplotě (300 °C).

Proto pozor na olivíny s vysokou ztrátou žíhání (obsahem CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O), které mohou být obohaceny flotací a nebyly dodatečně přežíhány. Ty pak nelze pro přípravu směsí na syrovo použít.

Předností olivínového písku je téměř lineární tepelná dilatace, nižší než u SiO<sub>2</sub>. Pevná fixace SiO<sub>2</sub> ve struktuře fayalitu a forsteritu způsobuje zásaditou reakci za vysokých teplot a pak nereaguje s MnO a dalšími zásaditými kysličníky. Je proto velmi vhodným ostřivem pro přípravu směsí k lití speciálních odlitků z 12% austenitických manganových ocelí, kde může nahradit magnesit chrommagnesit. Nahradit křemenný písek olivínem znamená se vyhnout riziku silikosity. V tabulce 2.1 jsou uvedeny teploty tavení vybraných složek tvořících ostřiva formovacích směsí.

**Tab. 2.1:** Teploty tavení vybraných složek tvořících ostřiva formovacích směsí

Složka ostřiva	Teplota tavení [°C]
SiO <sub>2</sub>	1715
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2015
MgO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2135
BeO	2517
ZrO <sub>2</sub>	2687
HfO <sub>2</sub>	2780
MgO	2800
TiO <sub>2</sub>	2947
ThO <sub>2</sub>	3050
<b>Uhlíková kompozice</b>	<b>3727</b>

#### 2.2.4 Ostřiva speciální

Ve slévárenství se používají v malé míře netradiční, speciální ostřiva, jsou to např. kovová, grafitová a keramická ostřiva. Tyto ostřiva se vyznačují dominantními vlastnostmi. **Kovová ostřiva** výrazně zvyšují tepelnou vodivost jádrových a formovacích směsí. Tato ostřiva se získávají většinou tříděním odpadu ze slévárenských tryskačů nebo se používají tryskací ocelové nebo litinové broky. Vyznačují se snadnou regenerací a poměrně konstantními vlastnostmi, [8].

V minulosti se tato ostřiva používala pro přípravu kovových nebo polokovových směsí (přísadou křemenného ostřiva nebo jiného ostřiva). Jako pojivo se zde používaly umělé pryskyřice nebo vodní sklo. V současné době mají využití při výrobě slévárenských forem s použitím magnetického pole, [8].



**Grafitová ostřiva** se též vyznačují vysokou korozní a chemickou stálostí, vyšší tepelnou vodivostí, proti kovovým ostřivům jsou vůči tavenině nesmáčivá. Jejich použití není tak běžné. Jde o tepelně stabilizované a vysoce žáruvzdorné ostřivo. Používá se vločkový grafit získaný mletím grafitových kelímků na výrobu grafitových forem. Tyto formy se musí chránit před stykem se vzduchem nad teplotu oxidačního bodu (451 °C), kdy dochází k vyhořívání grafitu. Grafitové formy se používají jako polotrvalé formy a vyznačují se vysokou tepelnou vodivostí. Grafitové formy slouží např. při kontinuálním lití litinových profilů. Tato výroba je ojedinělá, [8].

**Keramická ostřiva** se vyrábí tavením směsi (84 % mullitu, 2 % korundu a 14 % skelného pojiva) při teplotě 1650 °C. Je to umělé ostřivo, které se vyznačuje vysokou žáruvzdorností (cca 1825 °C), téměř ideálním kulovitým tvarem s nízkou tepelnou dilatací. Používá se v Japonsku, pojivem jsou jíly, vodní sklo a pryskyřice, [8].

## 2.3 Hodnocení ostřiv

U ostřiv jsou důležité vlastnosti: tvar a povrch zrn, zrnitost (tzv. granulometrická skladba, tj. rozsah velikosti zrn ve směsi) a chemická podstata. Mezi nejvíce sledované parametry ostřiv se řadí granulometrická skladba ostřiva. Kvalita ostřiva, především kvalita křemenného ostřiva je určena genezí ložiska a jeho mineralogickým složením. Hodnocení křemenných písků, resp. ostřiv je založeno na souboru analýz prováděných dle všeobecně uznávaných norem a metodických postupů.

### 2.3.1 Granulometrická skladba ostřiv

Granulometrická skladba ostřiva má vliv na vlastnosti formovacích směsí. Disperzita pískového systému, která je ovlivněna různým tvarem a rozložením částic ostřiva, je vyjádřena několika pojmy [2].

*Zrnitost* – jde o vlastnost udávající stupeň rozpojení písku. Její určení se provádí nejčastěji na základě síťového rozboru. Znárodnuje se nejčastěji prostřednictvím součtové křivky zrnitosti [2].

*Velikost částic* je definována dvěma způsoby:

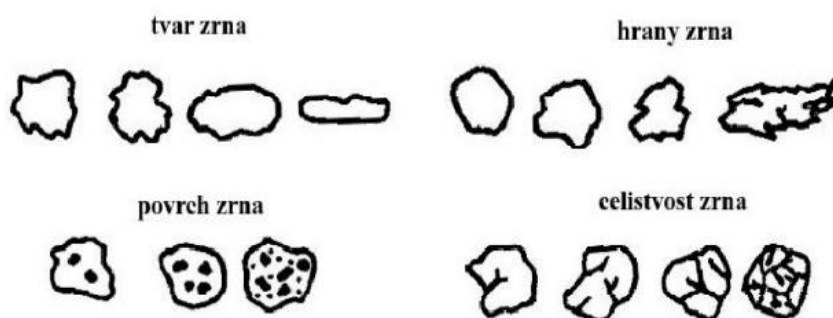
- Jako průměr myšlených kulových zrn, jež mají stejný objem jako zrna skutečná.
- Jako průměr myšlených kulových zrn, která mají stejnou usazovací rychlost jako skutečná zrna pískového systému [1], [2].

*Střední velikost zrna*  $d_{50}$  – jedná se o statistický průměr velikostí jednotlivých zrn nebo tříd velikostí. Při síťovém rozboru odpovídá střední velikost zrna velikosti ok síta, na kterých se zachytí 50 % ostřiva – průměrná zrnitost [2]. Dále se hodnotí  $d_{25}$  – je to myšlená velikost ok síta, na kterém se zachytí 25 % daného ostřiva;  $d_{75}$  – je to myšlená velikost ok síta, na kterém se zachytí 75 % daného ostřiva.

*Číslo stejnoměrnosti*  $s$  – toto číslo se určuje jako podíl  $d_{75}/d_{25}$ , tedy jako průměry zrn odpovídající velikosti ok síta, na kterých je zachyceno 75 %, respektive 25 % částic ostřiva. Čím je hodnota  $s = d_{75}/d_{25}$  bližší 1, tím jsou zrna ostřiva stejnoměrnější a součtová křivka je strmější. S klesající hodnotou  $s$  je součtová křivka plošší a zrna ostřiva jsou velikostně různorodá.

*Číslo zrnitosti AFS* – jedná se o bezrozměrnou hodnotu, která určuje přibližný počet otvorů síta (připadajících na 1 čtvereční palec), kterými by prošel písek, za předpokladu stejné velikosti všech zrn [3].

*Tvar a povrch zrna* – většina slévárenských písků byla po svém vzniku přenášena různými způsoby na velké vzdálenosti. Při těchto přesunech byl jejich povrch různě upravován, zrna byla tříděna, obrušována a drcena. V závislosti na jejich původu se písky dělí podle: tvaru zrna, hran zrna, povrchu zrna a celistvosti zrna. Schematické znázornění zrn dle tohoto dělení je na obr. 2-2.



**Obr. 2-2:** Tvar a povrch zrn slévárenských ostřiv [3]

**Tabulka 2.2:** Čísla zrnitosti AFS (*Association foundry society*)

<i>Písky velmi hrubé</i>	<b>AFS &lt; 18</b>	$d_{50} = 1,0 \div 2,0$ mm
<i>Písky hrubé</i>	<b>AFS = 18 ÷ 35</b>	$d_{50} = 1,0 \div 0,5$ mm
<i>Písky střední</i>	<b>AFS = 35 ÷ 60</b>	$d_{50} = 0,5 \div 0,25$ mm
<i>Písky jemné</i>	<b>AFS = 60 ÷ 150</b>	$d_{50} = 0,1 \div 0,25$ mm
<i>Písky velmi jemné</i>	<b>AFS &gt; 150</b>	$d_{50} < 0,1$ mm

### 2.3.2 Stanovení granulometrické skladby ostřiva

Čisté ostřivo (zbavené vyplavitelných podílů, tj. částic  $< 0,02$  mm, což mohou být jíly, živce, prachové podíly; prachové podíly se zbavují zkouškou vyplavitelnosti) se prosévá řadou sít, která jsou na speciálním zařízení, viz obr. 2-3. Podle ČSN 72 1531 síta měla velikost ok 0,06; 0,1; 0,2; 0,3; 0,6; 1,0; 1,5 mm. V současné době, dle ČSN EN 933-1, síta mají rozměr ok: 0,0063; 0,090; 0,0125; 0,180; 0,0250; 0,0355; 0,500; 0,710; 1,00; 1,4 mm. Tato zkouška se nazývá také síťový rozbor. A sledují se podíly zachycené na jednotlivých sítích a vyjadřují se v procentech původní navážky, [1].

**Poznámka:** Pro výpočet zachyceného ostřiva na určitém síti je však třeba připočítat všechno ostřivo zachycené na všech vyšších sítích. Protože ostřivo větší, zachycené na síti větším, by se určitě též zachytilo i sítím menších rozměrů ok.

**Postup práce s přístrojem:** Nasype se navážka ostřiva 100 nebo 50 g a nechá se cca 15 minut prosévat, sleduje se množství zachyceného ostřiva na jednotlivých sítích – je konstruována tzv. součtová křivka. V tabulce 2.3 jsou pro ilustraci uvedeny hodnoty podílů ostřiva zachycená na sítích.



Velikost ok sít: 1,4; 1,0; 0,71; 0,50; 0,355; 0,250; 0,180; 0,125; 0,09; 0,063 mm

**Obr. 2-3:** Přístroj k prosévání slévárenských ostřiv a detailní pohled na síto a mřížku síta

**Tabulka 2.3:** Ukázka podílů zachycených na sítě

Třída zrnitosti [mm]	Hmotnost frakcí [g]	Celkové množství ostřiva zachycené na jednotlivých sítích [%]
1,5	0,43	$0,43 \cdot 100/100 = 0,43$ [%]
1,5 - 1,0	0,74	$(0,43+0,74) \cdot 100/100 = 1,17$ [%]
1,0 - 0,6	5,61	$(0,43+0,74+5,61) \cdot 100/100 = 6,78$ [%]
0,6 - 0,3	34,27	$(0,43+0,74+5,61+34,27) \cdot 100/100 = 41,05$ [%]
0,3 - 0,2	34,02	$(0,43+0,74+5,61+34,27+34,02) \cdot 100/100 = 75,07$ [%]
0,2 - 0,1	20,80	$(0,43+0,74+5,61+34,27+34,02+20,80) \cdot 100/100 = 97,31$ [%]
0,1 - 0,06	1,44	$(0,43+0,74+5,61+34,27+34,02+20,80+1,44) \cdot 100/100 = 97,31$ [%]
0,06 - 0,02	0,94	$(0,43+0,74+5,61+34,27+34,02+20,80+1,44+0,94) \cdot 100/100 = 98,25$ [%]
Celkem	98,25 g	

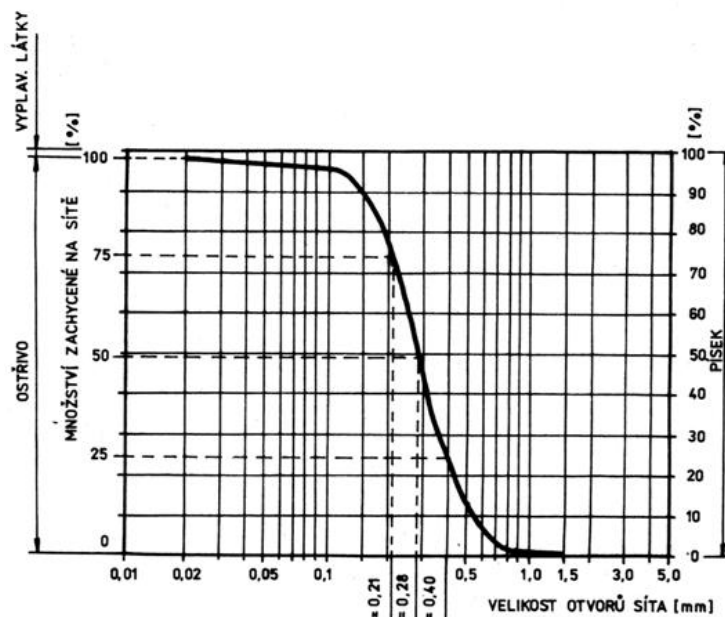
Na základě hodnot z výše uvedené tabulky byla sestrojena součtová křivka, viz obr. 2-4. Tato křivka se kreslí v semilogaritmických souřadnicích. Na svislou osu se nanáší procenta ostřiva zachycená na jednotlivých sítích [%]. Na vodorovnou osu, která má logaritmickou stupnici, se nanáší velikost ok sít [mm]. Průsečík součtové křivky s přímkou označující kritickou velikost částice – ostřiva (0,02 mm) je bod vyznačující 100 % ostřiva. Tuto 100 % část rozdělíme na úseky vymežující 25, 50, 75 % a k těmto hodnotám přiřadíme na vodorovné ose odpovídající velikosti zrna, jež označíme  $d_{25}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{75}$ , [1].

Na základě síťového rozboru se hodnotí:

- velikost středního zrna  $d_{50}$ ;
- podle pravidelnosti zrnitosti, neboli stupně stejnoměrnosti ( $s = d_{75}/d_{25}$ );

Charakter a tvar zrn ostřiva má velký vliv na technologické vlastnosti formovacích směsí. Ostřiva kulatá jsou lépe zpěchovatelná, tím má formovací směs i větší tekutost, avšak větší náchylnost na vznik vad odlitku – zá lupů. Proto vhodnější pro syntetické bentonitové směsi je ostřivo poloostrohanné se sníženou možností spěchování, [1].

U jádrových směsí je tomu naopak. Kulatá zrna ostřiva s hladkým povrchem se lépe povlékají vrstvou olejového nebo pryskyřičného pojiva. Ve spěchované směsi kulatá zrna ostřiva vytváří více kontaktních míst a směs dosahuje vyšší pevnosti po vysušení než formovací směs s ostrohanným ostřivem. Kulatý tvar ostřiva snižuje spotřebu jádrového pojiva o 0,5 až 1,0 %, [1].



**Obr. 2-4:** Grafické vyjádření zrnitosti ostřiva (ČSN 72 1205), [7]

Granulometrická skladba ostřiva v neopomenutelné míře ovlivňuje vlastnosti formovací směsi. Do diagramů se zanáší výsledky síťového rozboru, které jsou jasným obrazem zrnitosti. Součtové křivky zrnitosti patří mezi nejpoužívanější diagramy, ze kterých je poté možné vyčíst charakteristická kritéria granulometrické skladby, [1].

Pro přirozená ostřiva jako třeba křemenné písky přibližně vyhovuje kritérium zrnitosti  $S$ , u kterých má součtová křivka lineární průběh v úseku mezi  $d_{25}$  a  $d_{75}$ . Pro stejnoměrnější ostřiva se stupeň pravidelnosti zrnění více blíží k hodnotě 1 a naopak. Avšak kritérium nezahrnuje podíly pod  $d_{25}$  a nad  $d_{75}$ , jedná se o 50 % celkové hmotnosti ostřiva. U umělých ostřiv je součtová křivka neplynulá a lomená, proto nám toto hodnocení nedostačuje, [1].

### 2.3.3 Hodnocení granulometrické skladby ostřiv pomocí kritéria pravděpodobnosti uspořádání zrn - $\log W$ [11]

Kritérium pravděpodobnosti uspořádání zrn slévárenského ostřiva,  $\log W$ , postihuje zrnitost ostřiva v celé šíři bez ohledu na tvar a průběh součtové křivky. Je využívána entropie, jako míra pravděpodobnosti uspořádání částic v systému. Podle Planka je termodynamická pravděpodobnost ( $W$ ) funkcí stavu a udává počet mikrostavů, jimiž může být realizován daný makrostav. Závislost mezi  $W$  a entropií ( $S$ ) vyjádřil Boltzmann vztahem:

$$S = k \times \ln W, \quad (2.1)$$

$$k = \frac{R}{N_A}, \quad (2.2)$$

kde:  $k$  – Boltzmannova konstanta ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ );  $R$  – plynová konstanta ( $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ );  $N_A$  – Avogadrovo číslo ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ).

Z rovnice je zřejmé, že entropie soustavy  $S$  roste s pravděpodobností stavu, čímž je tedy kritériem pravděpodobnosti.

U ostřiva, které sestává z  $i$ -frakcí, jejichž hmotnosti jsou rovny  $m_1, m_2, m_3 \dots, m_i$  s příslušnými měrnými objemy  $a, b, c \dots$ , je celková hmotnost ( $m$ ) rovna,

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_i \quad (2.3)$$

Měrný objem ( $S_m$ ) nemůže být stanoven analogicky, neboť je vždy menší než součet měrných objemů frakcí. To platí i o celkovém objemu ostřiva ( $V$ ).

$$V = S_m \times m = a \times m_1 + b \times m_2 + c \times m_3 \dots - k\Delta S, \quad (2.4)$$

kde:  $k\Delta S$  – je zmenšení celkového objemu ostřiva,  $k$  – konstanta.

Uvažujme tedy, že na každém síti při síťovém rozboru jsou co do rozměrů i co do tvaru (hranatosti) stejná zrna, pak termodynamicky pravděpodobnost uspořádání (počet variací,  $W$ ), z analogie o směsi molekul plynů, může být použita jako kritérium pro hodnocení granulometrické skladby zrn ostřiva. Pravděpodobnost uspořádání směsi o  $i$  – frakcích můžeme vyjádřit vtahem:

$$W = \frac{m!}{m_1! m_2! m_3! \dots m_i!} \quad (2.5)$$

Za pomoci Stirlingovy přibližné formule, platící s postačující přesností pro velká celá čísla, lze rovnici (5) upravit na následující logaritmický tvar:

$$\log W = m \cdot \log m - \sum m_i \cdot \log m_i, \quad (2.6)$$

kde:  $m$  – celková hmotnost ostřiva [g];  $m_i$  – hmotnost ostřiva v příslušné frakci [g].

Protože při vyhodnocování frakcí ostřiva se pracuje s procenty (celková hmotnost ostřiva  $m = 100 \%$ ), pak rovnici (2.6) lze upravit na tvar:

$$\log W = 100 \cdot \log 100 - \sum m_i \cdot \log m_i \quad (2.7)$$

Protože  $\log 100 = 2$ , pak lze rovnici (2.7) upravit na tvar:

$$\log W = 200 - \sum m_i \cdot \log m_i \quad (2.8)$$

Z matematiky je známé, že  $\log 0$  není definován,  $\log 1 = 0$ . Bude-li procentuální obsah menší než 1, pak součin:  $m_i \cdot \log m_i$  bude záporný, proto se v dalších úvahách postupuje takto:  
 je-li  $0 < m_i \leq 0,5$  – zanedbáváme;  
 je-li  $0,5 < m_i \leq 1$  – zaokrouhlujeme na 1,1.

Výsledky síťového rozboru se zaokrouhlují na celá kladná čísla. Těmito úpravami se však také dopouštíme určitých nepřesností, které jsou však zanedbatelné vzhledem k chybám při manuální činnosti během síťové analýzy a jejím grafickém vyhodnocení. U soustavy s jednou velikostí zrn, tj. při teoretických podmínkách ideálního ostřiva, nezávisle na jejich absolutní velikosti, lze dle vztahu vypočítat, že  $\log W = 200 - 100 \cdot \log 100 = 0$ .

U soustavy s rovnoměrným zastoupením hmotností jednotlivých frakcí při síťovém rozboru získáme celkem 11 frakcí (10 sít + 1 miska).

$$m_i = \frac{100}{11} = 9,0 \text{ [%]}$$

$$\log W = 200 - \left[ 11 \cdot \frac{100}{11} \cdot \log \frac{100}{11} \right] = 200 - 100 \cdot \log \frac{100}{11} = 200 - 100 \cdot 0,96 = 104$$

$\log W$  pro reálné ostřivo se nachází v rozmezí:  $0 < \log W_{\text{REÁL. OSTŘ.}} < 104$ .

Z provedeného výpočtu vyplývá, že hodnota  $\log W$  pro reálné ostřivo (RO) se bude nacházet v těchto mezích  $0 < \log W_{\text{RO}} < 104$ .

Čím více se  $\log W$  blíží 0, tím více zrn je soustředěno v jedné frakci, když se  $\log W$  blíží hodnotě 104, tím je rovnoměrněji v 11 frakcích.

V tabulce 2.4 je pro ilustraci uvedena ukázka vyhodnocení ostřiva na základě síťového rozboru s využitím kritéria  $\log W$ .

**Tabulka 2.4:** Přehled naměřených a vypočítaných hodnot ostřiva SH 33 [1]

Třída zrnitosti [mm]	Hmotnost frakcí [g]	Celková hmotnost frakcí [g]	Střední zrno $d$ [cm]	Faktor 2,29/ $d$ [1]	Povrch frakcí $S_{\text{wt}}$ [cm <sup>2</sup> ]	$\log W$
1,4	0	0	0	-	-	-
1,4÷1,0	0	0	0	-	-	-
1,0÷0,710	0,12	0,12	0,0855	26,78	3,21	-
0,71÷0,500	4,30	4,42	0,0605	37,85	162,76	$5 \cdot \log 5 = 3,50$
0,50÷0,355	17,91	22,33	0,0428	53,50	958,19	$18 \cdot \log 18 = 22,59$
0,355÷0,250	37,41	59,74	0,0303	75,58	2827,45	$38 \cdot \log 38 = 60,03$
0,250÷0,180	26,93	86,67	0,0215	106,51	2868,31	$27 \cdot \log 27 = 38,65$
0,180÷0,125	12,22	98,89	0,0153	149,67	1828,97	$12 \cdot \log 12 = 12,95$
0,125÷0,090	0,69	99,58	0,0108	212,03	146,30	$1,1 \cdot \log 1 = 0,046$
0,090÷0,063	0,37	99,95	0,00765	299,35	110,76	-
0,063÷0,020	0,05	100	0,00415	551,81	27,59	-
<b>Celkem</b>	<b>100</b>	-	-	-	-	<b><math>\log W = 200 - 137,77</math></b>

*Poznámka: Na základě hodnot síťového rozboru se přiřazuje k danému ostřivu kritérium  $\log W$ , které hodnotí zrnitost ostřiva.*

### 2.3.4 Stanovení počtu částic ve frakci a povrchu částic

Stanovení počtu částic ve frakci, resp. v navážce ostřiva a stanovení povrchu ostřiva. Povrch částic ostřiva má zásadní význam pro pevnostní vlastnosti formovací směsi, za předpokladu, že průměrná velikost jedné frakce je aritmetický průměr světlosti ok dvou sousedních sít. Současně se předpokládá, že částice jsou tvaru koule. Hustota křemenného ostřiva je  $2620 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

*Výpočet hmotnosti i-té částice ostřiva:*

$$m_{\check{c}i} = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho = \frac{1}{6} \pi d_i^3 \cdot \rho \quad (2.9)$$

*Počet částic ve frakci:*

$$N_i = \frac{m_i}{m_{\check{c}i}} = \frac{\text{hmotnost frakce ostřiva}}{\text{hmotnost částice}} \quad (2.10)$$

$$N_i = \frac{m_i}{m_{\check{c}i}} = \frac{m_i}{\frac{1}{6} \pi \cdot d_i^3 \cdot \rho} \quad (2.11)$$

*Povrch částice o průměru  $d_i$ :*

$$S_{\check{c}i} = 4 \cdot \pi \cdot r_i^2 = \pi d_i^2 \quad (2.12)$$

*Povrch všech částic ve frakci:*

$$S_{wi} = N_i \cdot S_{\check{c}i} = \frac{6 \cdot m_i}{\pi \cdot d_i^3 \cdot \rho} \cdot \pi \cdot d_i^2 \quad (2.13)$$

Pro křemenné ostřivo povrch všech částic ve frakci je:

$$S_{wi} = \frac{6 \cdot m_i}{\pi \cdot d_i \cdot \rho} = \frac{6}{2,62} \cdot \frac{m_i}{d_i} = 2,29 \cdot \frac{m_i}{d_i} \quad (2.14)$$

*Celkový počet částic v navážce ostřiva:*

$$m_i = \sum m_i \quad (2.15)$$

*Celkový povrch částic ostřiva v navážce:*

$$S_w = \sum S_{wi} \quad (2.16)$$

*Celkový měrný povrch:*

$$S_{wm} = \frac{S_w}{m} \quad (2.17)$$

kde:  $\rho$  - hustota ostřiva [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ], tato jednotka se dosazuje přímo do vzorců,  $m_i$  – hmotnost příslušné frakce [g];  $m$  – celková hmotnost navážky [g],  $d_i$  – střední rozměr zrna příslušné frakce. Frakce je to množství ostřiva, které se zachytilo na daném síti.



V tabulce 2.5 jsou uvedeny komplexní hodnoty zrnitosti křemenného písku z lokality Lozerno, které patří do skupiny vátých písků, z toho vyplývá, že se jedná o velmi kulaté částice. Podobnou charakteristiku vykazuje písek Šajdíkové Humence, viz tabulka 2.6.

**Tabulka 2.5:** Granulometrická skladbu křemenného písku lokality Lozerno [1]

Třída zrnitosti [mm]	Hmotnost frakcí ostřiva [g]	Střední zrno $d_{50}$ [mm]	Faktor $\frac{2,29}{d}$	Povrch frakce $S_{wt} = \frac{2,29}{d} \times g$ [cm <sup>2</sup> ]	log w
1,5	0,426	0,15	15,2	6,48	-
1,5 - 1,0	0,740	0,125	18	13,32	1,1 log 1,1 = 0,04553
1,0 - 0,6	5,608	0,08	29	162,64	6 log 6 = 4,86890
0,6 - 0,3	34,268	0,045	51	1747,66	34 log 34 = 52,07032
0,3 - 0,2	34,020	0,025	92	3129,84	34 log 34 = 52,07032
0,2 - 0,1	20,802	0,015	153	3182,70	21 log 21 = 27,76662
0,1 - 0,06	1,442	0,008	286	412,40	1,5 log 1,5 = 0,26414
0,06 - 0,02	0,942	0,004	573	539,80	1,1 log 1,1 = 0,04553
$\Sigma = 98,248 \text{ g}$				$\Sigma = 9194,84 \text{ cm}^2$	log W = 200 - 137,3 = 62,7

<b>Lozerno</b>	$d_{50} = 0,28 \text{ mm}$	$d_{25} = 0,40 \text{ mm}$	$d_{75} = 0,21 \text{ mm}$	$S = d_{75}/d_{25} = 0,525$	$S_{wt} = \frac{9194}{98,248} = 93,59 \text{ cm}^2/\text{g}$
----------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	--

**Tabulka 2.6:** Granulometrickou skladbu křemenného písku Šajdíkovy Humence [1]

Třída zrnitosti [mm]	Hmotnost frakcí ostřiva [g]	Střední zrno d [mm]	Faktor $\frac{2,29}{d}$	Povrch frakce $S_{wt} = \frac{2,29}{d} \times g$ [cm <sup>2</sup> ]	log w
1,5	0,000	0,15	15,2	00,000	-
1,5 - 1,0	0,000	0,125	18	00,000	-
1,0 - 0,6	0,103	0,08	29	2,987	-
0,6 - 0,3	13,440	0,045	51	685,440	13 log 13 = 14,48122
0,3 - 0,2	62,157	0,025	92	5718,444	62 log 62 = 111,12818
0,2 - 0,1	23,138	0,015	153	3540,114	23 log 23 = 31,31979
0,1 - 0,06	0,526	0,008	286	150,436	1,1 log 1,1 = 0,04553
0,06 - 0,02	0,202	0,004	573	115,746	-
$\Sigma = 99,566 \text{ g}$				$\Sigma = 10\,213,17 \text{ cm}^2$	log W = 200 - 156,97 = 43

<b>Šajdíkovy Humence</b>	$d_{50} = 0,22 \text{ mm}$	$d_{25} = 0,26 \text{ mm}$	$d_{75} = 0,206 \text{ mm}$	$S = d_{75}/d_{25} = 0,78$	$S_{wt} = \frac{10213,17}{99,556} = 102,5 \text{ cm}^2/\text{g}$
--------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------------	--

Na základě výpočtu teoretického měrného povrchu a kritéria  $\log W$  pro hodnocení zrnitosti křemenných písků, lze oba písky porovnat. Srovnání granulometrické skladby podle  $S$  a  $\log W$  písku Lozorno a písku Šajdíkovy Humence. Písek, resp. ostřiva Lozorno má hodnotu  $\log W = 62,7$  a ostřivo Šajdíkovy Humence má výrazně nižší hodnotu,  $\log W = 43$ . Písky se liší svoji granulometrickou skladbou, i když oba písky mají přibližně stejný tvar i charakter zrn. Šajdíkovy Humence mají nižší hodnotu  $\log W$ , to znamená, že jeho zrnitost se více blíží ideálnímu monofrakčnímu písku (křivka zrnitosti je strmější). U přirozených ostřiv (křemenných písků) se používá kritérium  $\log W$ , [1].

### 3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE

Experimenty provedené v této práci byly zaměřeny do tří oblastí sledování slévárenských ostřiv:

- Sledování granulometrické skladby ostřiva a mikroskopické hodnocení tvaru slévárenských ostřiv;
- Stanovení sypné hmotnosti slévárenských ostřiv;
- Stanovení hustoty slévárenských ostřiv;

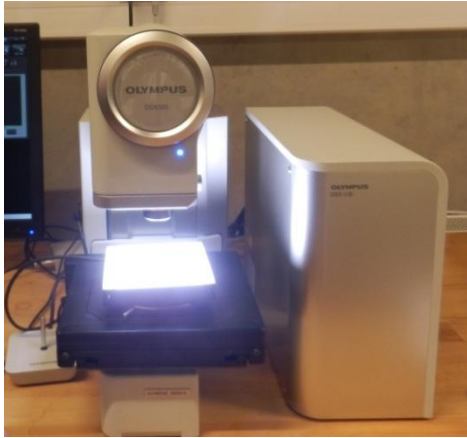
#### 3.1 Sledování granulometrické skladby ostřiva a mikroskopické hodnocení tvaru slévárenských ostřiv

V experimentu byl prováděn síťový rozbor na vzorcích různých ostřiv. Experiment probíhal na přístroji určenému k prosévání slévárenských ostřiv, viz obr. 3-1. K tomuto účelu je nutná také navážka příslušného ostřiva. Výsledkem tohoto experimentu byla naměřená hodnota podílů ostřiva na jednotlivých sítích. Z naměřených hodnot zanesených do tabulek se vypočítalo procento ostřiva zachycené na jednotlivých sítích. Z tabulek se konstruovala tzv. součtová křivka, která je zanesena v grafech.

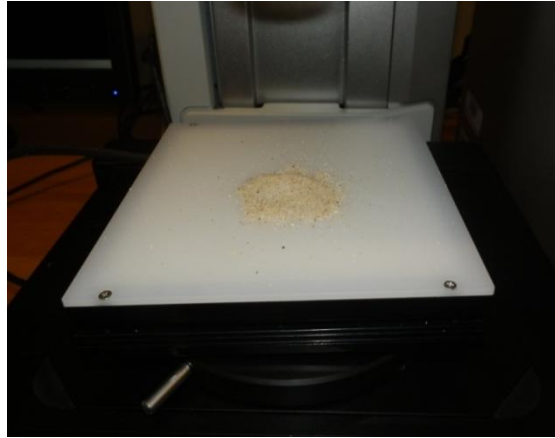


**Obr. 3-1:** Prosévací stroj a ukázka 100 g navážky ostřiva

Dále na mikroskopu OLYMPUS, viz obr. 3-2, byl sledován tvar ostřiv. Při zkoumání tvaru vzorků ostřiv na mikroskopu OLYMPUS, viz obr. 3-3 se ostřivo nasypalo na podsvícenou podložku. Za pomoci programu v PC a jeho funkcí se docílilo zaostření na část vzorku. Na mikroskopu OLYMPUS jsme mohli sledovat různá přiblížení vzorku a následně fotit. Na obr. 3-4 je uvedeno prostředí mikroskopu.



**Obr. 3-2:** Mikroskop OLYMPUS



**Obr. 3-3:** Podložka s ostřivem



**Obr. 3-4:** Ukázka prostředí mikroskopu s pohledem na zrna ostřiva

Pro granulometrické hodnocení a mikroskopické posouzení tvaru bylo použito 7 druhů ostřiv:

1. Chromitové ostřivo;
2. Ostřivo Šajdíkovy Humence SH 33;
3. Křemenné ostřivo III;
4. Křemenné ostřivo ST 54;
5. Chrommagnezitové ostřivo;
6. Zirkonové ostřivo;
7. Korundové ostřivo;

Na obr. 3-5 jsou uvedeny použité ostřiva pro experimentální část



**Obr. 3-5:** Použitá ostřiva

### 3.1.1 Postup měření na prosévacím stroji

V prvním kroku bylo nutné jednotlivé navážky daného ostřiva zvážit (hmotnost navážky činila 100 g nebo 50 g), viz obr. 3-1 (vpravo). Navážka daného druhu ostřiva se nasype na vrchní síto prosévacího zařízení, které mělo velikost ok 1,4 mm. Následně se upne a zapne se přístroj určený k prosévání slévárenských ostřiv. Po skončení 15 minutového prosévacího procesu se přístroj zastaví. Sledují se jednotlivá síta a zváží se hmotnost frakcí na určitém síti. Velikost ok sít činila: 1,4; 1,0; 0,71; 0,50; 0,355; 0,250; 0,180; 0,125; 0,09; 0,063 [mm]. Z těchto naměřených hodnot byla dle uvedeného postupu zkonstruovaná součtová křivka příslušného ostřiva. Osa X součtové křivky znázorňuje velikost ok sít udávaného v milimetrech a je v logaritmickém měřítku. Osa Y udává procentuální část ostřiva zachyceného na sítích. Hodnoty ostřiva zachyceného na příslušném síti byly stanoveny experimentálně a jsou uvedeny v příslušné tabulce ostřiva. Následně byla vypočítána procenta ostřiva zachyceného na příslušném síti. Pak byla sestrojena součtová křivka zrnitosti příslušného ostřiva.

Na základě součtové křivky byly zjištěny hodnoty veličin  $d_{50}$ ,  $d_{25}$ ,  $d_{75}$  a byla vypočítána hodnota  $s$ .

Dále byly vypočítány hodnoty veličin: počet částic ve frakci  $N_i$  podle rovnice (2.11), povrch částic  $S_{\check{c}i}$  [ $\text{cm}^2$ ] podle rovnice (2.12), povrch částic  $S_{Wi}$  ve frakci [ $\text{cm}^2$ ] podle rovnice (2.13), měrný povrch frakce  $S_{Wm}$  [ $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ] podle rovnice (2.17) a kritérium pravděpodobnosti uspořádání částic  $\log W = 200 - (m_i \cdot \log m_i)$ . Vypočítané hodnoty jsou součástí komplexní tabulky příslušného ostřiva.

### 3.1.2 Chromitové ostřívo

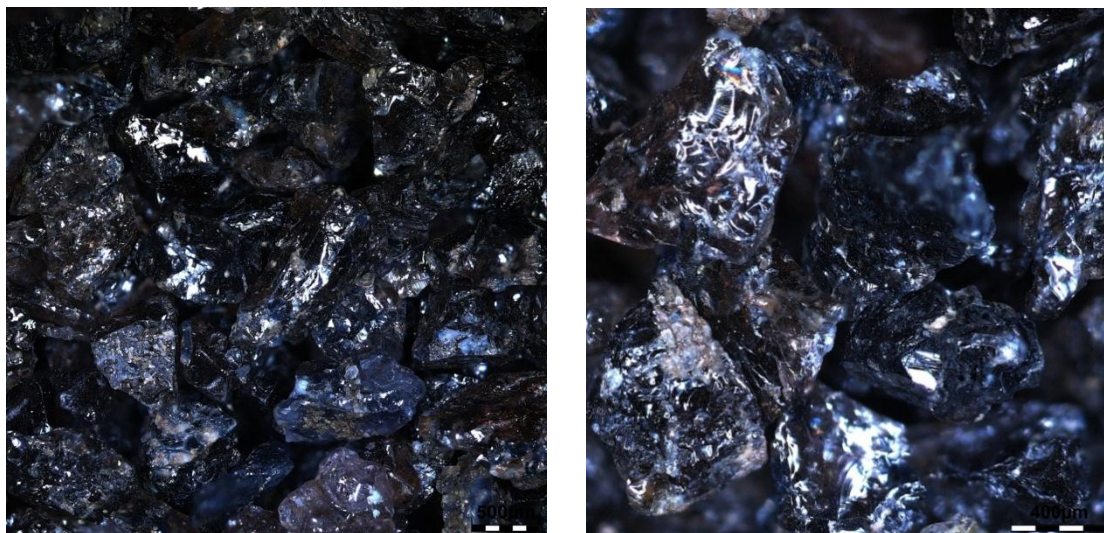
Jedná se o žáruvzdorný materiál, který se používá především kvůli vysoké odolnosti proti penetraci a zapékání. Chromitový písek se získává drcením chromitové rudy. Následně se oprašuje. Třídění se uskutečňuje podle třídy zrnitosti. Využívá se jako žáruvzdorné ostřívo pro jádrové a formovací tepelně namáhané směsi, [10].

**Tabulka 3.1:** Chemické parametry chromitového ostřiva [10]

Charakteristické chemické parametry	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	Min 45,0
SiO <sub>2</sub> [%]	0,25 - 1,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	25,0 - 29,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [%]	15,0 - 16,0
MgO [%]	9,0 - 11,0
CaO [%]	Max 0,15

**Tabulka 3.2:** Fyzikální parametry chromitového ostřiva [10]

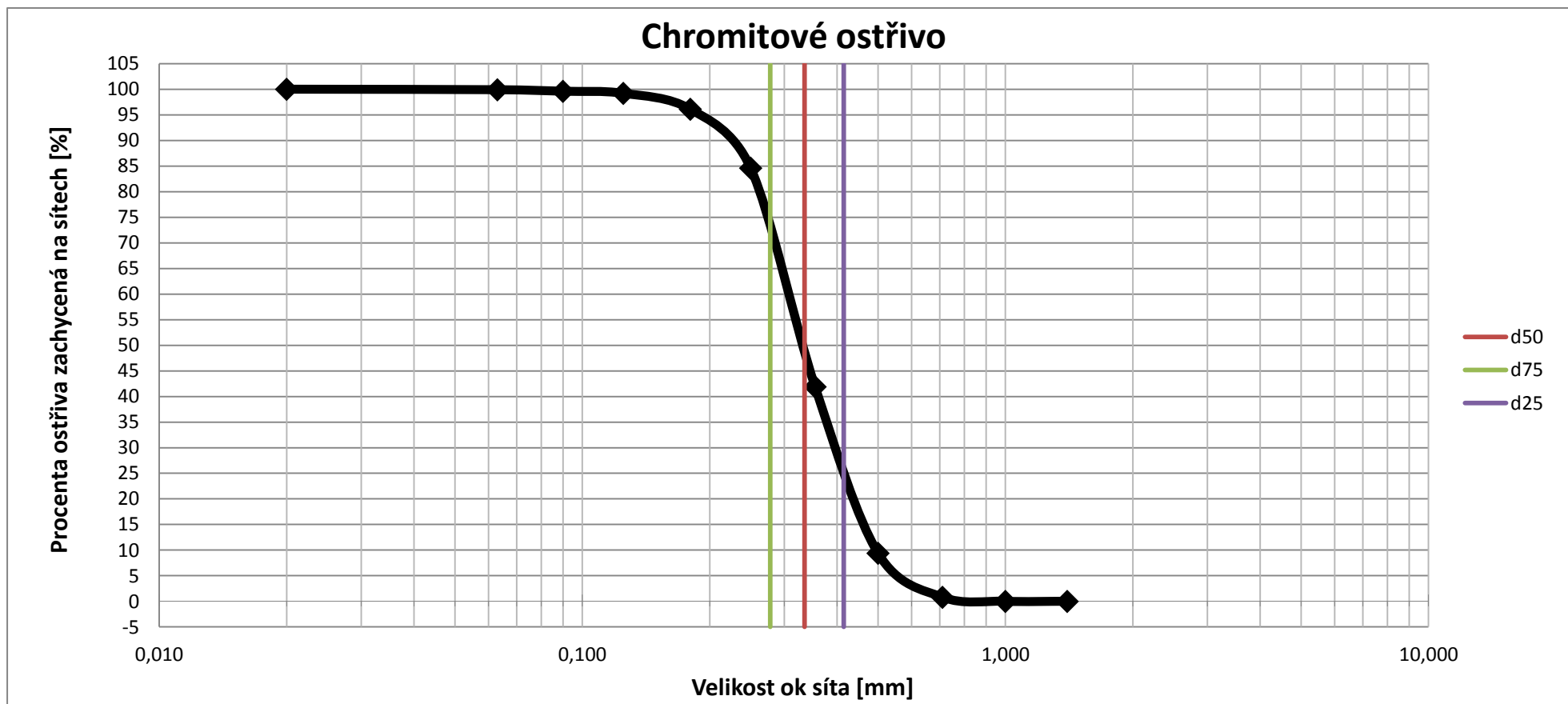
Vlastnosti chromitového ostřiva	
Hustota [g·cm <sup>3</sup> ]	4,42
Sypná hmotnost [g·cm <sup>3</sup> ]	2,5
d <sub>50</sub> [mm]	0,27 - 0,31
Počátek spékání [°C]	> 1500



**Obr. 3-6:** Makroskopické snímky zrn chromitového ostřiva (měřítko: 500 μm - vlevo; 200 μm –vpravo)

**Tabulka 3.3:** Naměřené a vypočítané hodnoty chromitové ostřivo, hustota  $\rho = 4500 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , pro dosazení do vzorce  $4,50 \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}]$

Třída zrnitosti ostřiva [mm]	Střední rozměr zrn $d_i$ [cm]	Hmotnost frakcí $m_i$ [g]	Procenta ostřiva zachycená na jednotlivých sítích [%]	Počet částic ve frakci $N_i$	Povrch částic $S_{\check{c}i}$ [cm <sup>2</sup> ]	Povrch částic $S_{Wi}$ ve frakci [cm <sup>2</sup> ]	Měrný povrch frakce $S_{Wm}$ [cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]	Kriterium pravděpodobnosti uspořádání částic $m_i \cdot \log m_i$
<b>1,4</b>	0,14	0	0	0	0,062	0	0	-
<b>1,4 ÷ 1,0</b>	0,12	0	0	0	0,045	0	0	-
<b>1,0 ÷ 0,71</b>	0,086	0,8	0,8	534	0,023	12,40	15,50	$1,1 \log 1,1 = 0,05$
<b>0,71 ÷ 0,50</b>	0,061	8,6	9,4	16 080	0,012	187,98	21,86	$9 \log 9 = 8,59$
<b>0,50 ÷ 0,355</b>	0,043	32,5	41,9	173 487	0,006	1 007,75	31,01	$33 \log 33 = 50,11$
<b>0,355 ÷ 0,25</b>	0,030	42,7	84,6	671 202	0,003	1 897,78	44,44	$43 \log 43 = 70,24$
<b>0,25 ÷ 0,18</b>	0,022	11,5	96,1	458 373	0,002	696,97	60,61	$12 \log 12 = 12,95$
<b>0,18 ÷ 0,125</b>	0,015	3,1	99,2	389 831	0,001	275,56	88,89	$3 \log 3 = 1,43$
<b>0,125 ÷ 0,09</b>	0,011	0,4	99,6	127 547	0	48,48	121,21	-
<b>0,09 ÷ 0,063</b>	0,008	0,3	99,9	248 680	0	50,00	166,67	-
<b>0,063 ÷ 0,02</b>	0,004	0,1	100	663 146	0	33,33	333,33	-
<b>Celkem</b>	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>2 748 879</b>	<b>0,153</b>	<b>4 210,25</b>	<b>883,52</b>	$\log W = 200 - 143,37$ $\log W = 56,63$



**Obr. 3-7:** Součtová křivka chromitového ostřiva (hodnoty jsou v tabulce 3.3)

**Tabulka 3.4:** Zjištěné hodnoty ze součtové křivky chromitového ostřiva

<b>d<sub>25</sub> [mm]</b>	0,42	Číslo stejnoměrnosti ostřiva $s = d_{75}/d_{25}$ <b>s = 0,67</b>
<b>d<sub>50</sub> [mm]</b>	0,34	
<b>d<sub>75</sub> [mm]</b>	0,28	



### 3.1.3 Ostřivo Šajdíkovy Humence SH 33

Šajdíkovy Humence – slévárenské ostřivo SH 33 je upravená přírodní surovina. Jde o křemenný písek upravený otírkou, vypraný, tříděný vodou, tříděný na sítích a zbavený organických nečistot. Vyznačuje se kulatými zrny a vysokou čistotou. Tato ostřiva patří mezi jedny z nejkvalitnějších křemenných písků v Evropě. Jde o váté písky, jejichž ložiska se nacházejí v oblasti moravsko-slovenského pomezí při dolním toku Moravy a Myjavu. Tato ostřiva se vyznačují vysokou kulatostí zrn, což je způsobeno obrušováním a erozí při vzdušném a vodním transportu ze značných dálek. Ložisko je tvořeno písky, které jsou rozloženy na velké ploše a vytvářejí duny a přesypy o mocnosti až 30 metrů. Těžba písku je realizována přibližně půl metru nad hladinou vody, případně i pod hladinou (v oblastech s vyššími zásobami). Těžba pod hladinou má příznivější dopad na životní prostředí [1], [2].

Tabulka 3.5: Fyzikální a chemické parametry ostřiva SH 33 [12]

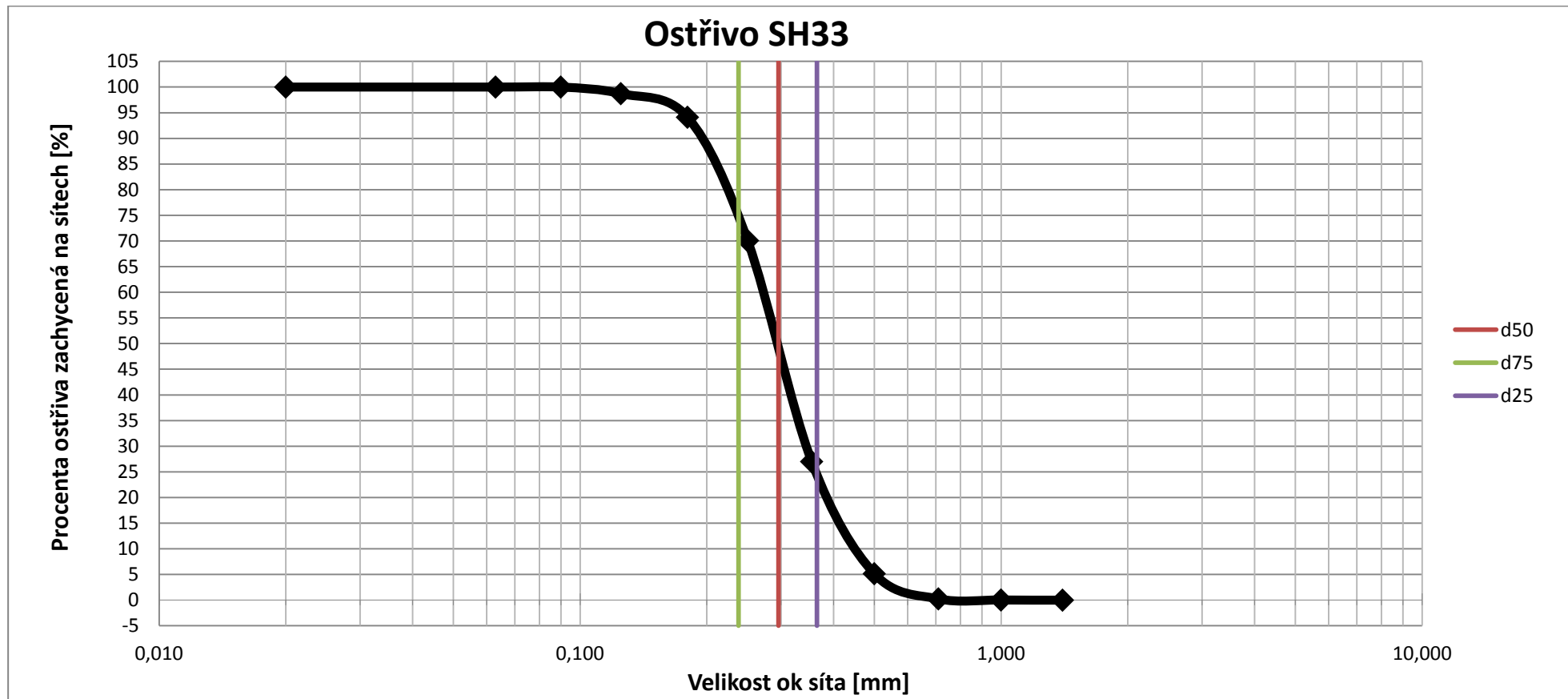
<b>Ostřivo Šajdíkovy Humence</b>			
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	2,65	<b>AFS</b>	46
<b>Sypná hmotnost [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	1,5	<b>SiO<sub>2</sub></b>	97,4 %
<b>Střední zrno d<sub>50</sub> [mm]</b>	0,29	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,5 %
<b>Vyplatitelné látky</b>	0,2 %	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,17 %
<b>Teplota spékání [°C]</b>	1420	<b>Max. ztráty žíháním [%]</b>	0,3



Obr. 3-8: Makroskopické snímky zrn ostřiva SH 33  
(měřítko: 500 μm – vlevo; 200 μm – vpravo)

**Tabulka 3.6:** Naměřené a vypočítané hodnoty ostřiva Šajdíkovy Humence SH 33, hustota  $\rho = 2650 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , pro dosazení do vzorce 2,65  $[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$

Třída zrnitosti ostřiva [mm]	Střední rozměr zrn $d_i$ [cm]	Hmotnost frakcí $m_i$ [g]	Procenta ostřiva zachycená na jednotlivých sítích [%]	Počet částic ve frakci $N_i$	Povrch částic $S_{\check{c}i}$ $[\text{cm}^2]$	Povrch částic $S_{w_i}$ ve frakci $[\text{cm}^2]$	Měrný povrch frakce $S_{Wm}$ $[\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}]$	Kriterium pravděpodobnosti uspořádání částic $m_i \cdot \log m_i$
<b>1,4</b>	0,14	0	0	0	0,062	0,00	-	-
<b>1,4 ÷ 1,0</b>	0,12	0,03	0,03	13	0,045	0,57	18,87	-
<b>1,0 ÷ 0,71</b>	0,086	0,22	0,25	249	0,023	5,79	26,33	-
<b>0,71 ÷ 0,50</b>	0,061	4,91	5,16	15 590	0,012	182,25	37,12	5 log 5 = 3,49
<b>0,50 ÷ 0,355</b>	0,043	21,85	27,01	198 062	0,006	1 150,50	52,65	22 log 22 = 29,53
<b>0,355 ÷ 0,25</b>	0,030	43,07	70,08	1 149 653	0,003	3 250,57	75,47	43 log 43 = 70,24
<b>0,25 ÷ 0,18</b>	0,022	24,04	94,12	1 627 129	0,002	2 474,10	102,92	24 log 24 = 33,13
<b>0,18 ÷ 0,125</b>	0,015	4,62	98,72	986 560	0,001	697,36	150,94	5 log 5 = 3,49
<b>0,125 ÷ 0,09</b>	0,011	1,26	100	682 257	0,000	259,35	205,83	1,3 log 1,3 = 0,15
<b>0,09 ÷ 0,063</b>	0,008	0	100	0	0,000	0,00	-	-
<b>0,063 ÷ 0,02</b>	0,004	0	100	0	0,000	0,00	-	-
<b>Celkem</b>	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>4 659 513</b>	<b>0,153</b>	<b>8 020,48</b>	<b>670,13</b>	log W = 200-140,03 <b>log W = 59,97</b>



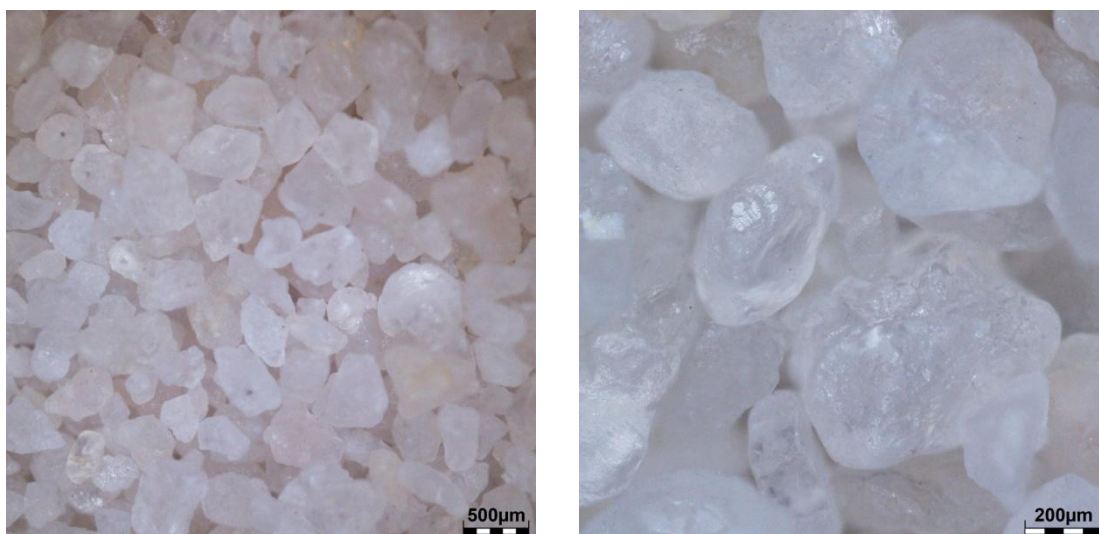
**Obr. 3-9:** Součtová křivka křemenného ostřiva SH 33 (hodnoty jsou v tabulce 3.6)

**Tabulka 3.7:** Zjištěné hodnoty ze součtové křivky ostřiva SH 33

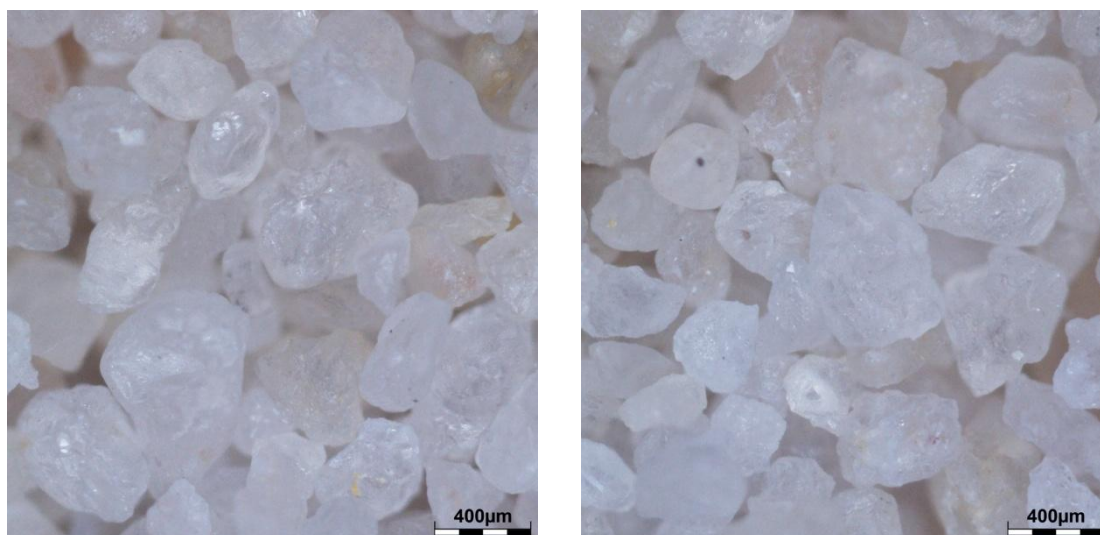
<b>d25 [mm]</b>	0,37	Číslo stejnoměrnosti ostřiva $s = d_{75}/d_{25}$ <b>s = 0,65</b>
<b>d50 [mm]</b>	0,30	
<b>d75 [mm]</b>	0,24	

### 3.1.4 Křemenné ostřívo III

Křemenná ostřiva jsou nejrozšířenější ostřiva z důvodu ekonomičnosti. Slouží pro přípravu syntetických směsí, ale jsou obsažena i v přirozených směsích. Křemen ( $\text{SiO}_2$ ) je hlavním minerálem křemenných ostřiv, jeho tvrdost je 7, měrná hmotnost se pohybuje okolo  $2640 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ . Křemen má vyhovující vlastnosti pro slévárenské účely. Také se jedná o nejrozšířenější minerál, který se vyskytuje v přírodě v přiměřeně zrnitém stavu. Křemenná ostřiva mají kyselý charakter. U křemenných písků hrozí riziko zapékání z důvodu, že reagují za vysokých teplot s oxidy zásaditými, [1];



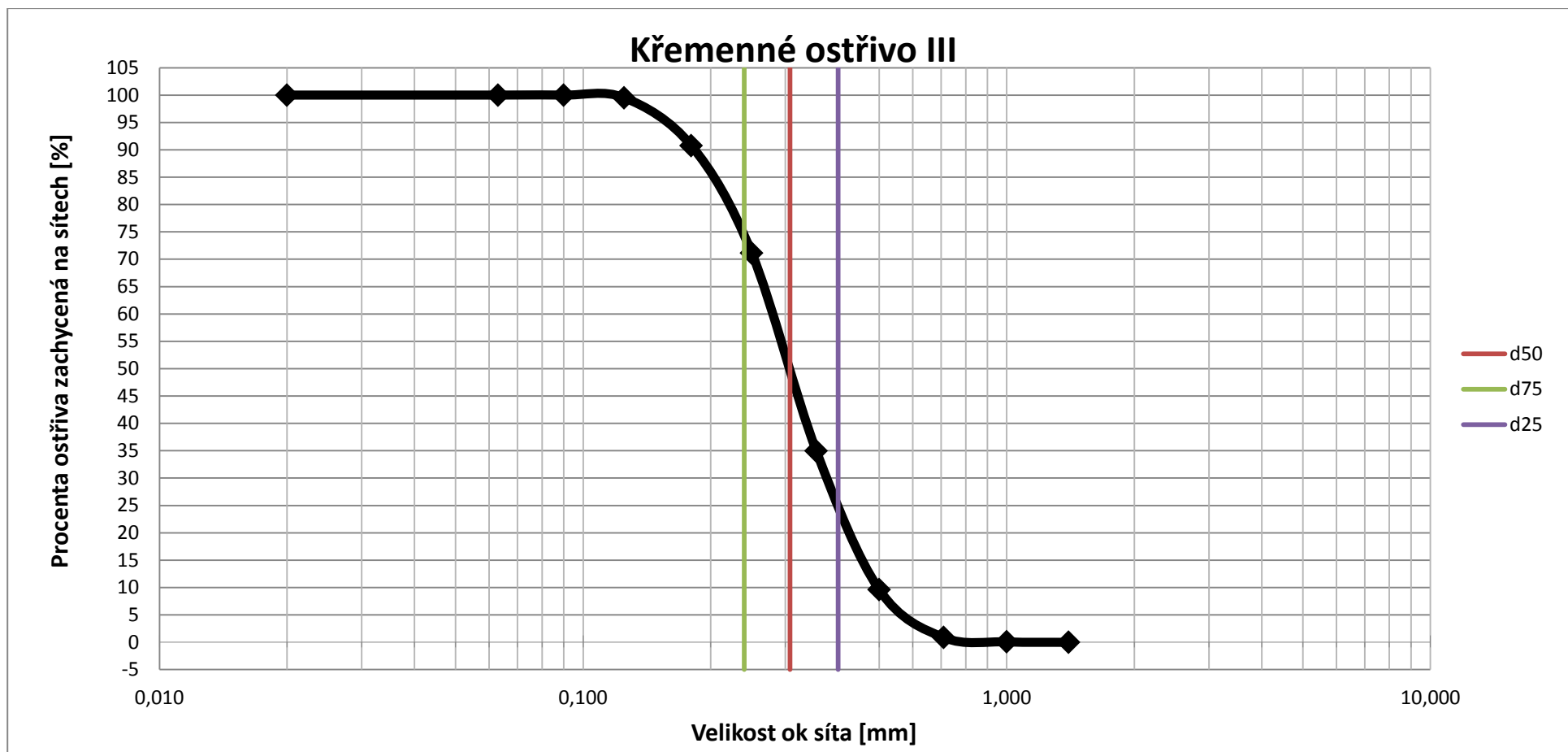
**Obr. 3-10:** Makroskopické snímky zrn křemenného ostřiva III  
( $500 \mu\text{m}$  – vlevo;  $200 \mu\text{m}$  - vpravo)



**Obr. 3-11:** Makroskopické snímky zrn křemenného ostřiva III  $400 \mu\text{m}$

**Tabulka 3.8:** Naměřené a vypočítané hodnoty křemenného ostřiva III, hustota  $\rho = 2650 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , pro dosažení do vzorce 2,65  $[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$

Třída zrnitosti ostřiva [mm]	Střední rozměr zrn $d_i$ [cm]	Hmotnost frakcí $m_i$ [g]	Procenta ostřiva zachycená na jednotlivých sítích [%]	Počet částic ve frakci $N_i$	Povrch částic $S_{\check{c}i}$ [cm <sup>2</sup> ]	Povrch částic $S_{Wi}$ ve frakci [cm <sup>2</sup> ]	Měrný povrch frakce $S_{Wm}$ [cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]	Kriterium pravděpodobnosti uspořádání částic $m_i \cdot \log m_i$
<b>1,4</b>	0,14	0	0	0	0,062	0,00	-	-
<b>1,4 ÷ 1,0</b>	0,12	0,09	0,09	38	0,045	1,70	18,87	-
<b>1,0 ÷ 0,71</b>	0,086	0,79	0,88	895	0,023	20,80	26,33	1,1 log 1,1 = 0,05
<b>0,71 ÷ 0,50</b>	0,061	8,74	9,62	27 751	0,012	324,40	37,12	9 log 9 = 8,59
<b>0,50 ÷ 0,355</b>	0,043	25,36	34,98	229 879	0,006	1 335,32	52,65	25 log 25 = 34,95
<b>0,355 ÷ 0,25</b>	0,030	36,16	71,14	965 206	0,003	2 729,06	75,47	36 log 36 = 56,03
<b>0,25 ÷ 0,18</b>	0,022	19,63	90,77	1 328 641	0,002	2 020,24	102,92	20 log 20 = 26,02
<b>0,18 ÷ 0,125</b>	0,015	8,74	99,51	1 866 350	0,001	1 319,25	150,94	9 log 9 = 8,59
<b>0,125 ÷ 0,09</b>	0,011	0,49	100	265 322	0,000	100,86	205,83	-
<b>0,09 ÷ 0,063</b>	0,008	0	100	0	0,000	0,00	-	-
<b>0,063 ÷ 0,02</b>	0,004	0	100	0	0,000	0,00	-	-
<b>Celkem</b>	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>4 684 083</b>	<b>0,153</b>	<b>7 851,62</b>	<b>670,13</b>	log W = 200 – 134,22 <b>log W = 65,78</b>



**Obr. 3-12:** Součtová křivka křemenného ostřiva III (hodnoty jsou v tabulce 3.8)

**Tabulka 3.9:** Zjištěné hodnoty ze součtové křivky křemenného ostřiva III

<b>d25 [mm]</b>	0,4	Číslo stejnoměrnosti ostřiva $s = d_{75}/d_{25}$ <b>s = 0,6</b>
<b>d50 [mm]</b>	0,31	
<b>d75 [mm]</b>	0,24	

### 3.1.5 Křemenné ostřívo ST 54

Křemenné písky, resp. ostřiva z lokality Střeleč, odkud křemenné ostřívo ST 54 je, jsou vhodné pro širokou oblast využití při výrobě slévárenských forem, popř. jader. Toto ostřívo má vysoký podíl  $\text{SiO}_2$ . Jedná se o výbornou surovinu pro výrobu forem a pro odlévání metodou přesného lití. Ostřívo je ostrohranné s nízkým obsahem  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Oceňovaná je chemická čistota a příznivá zrnitost, [2][9].

**Tabulka 3.10:** Chemické parametry křemenného ostřiva ST 54 [9]

<b>Charakteristické chemické parametry</b>	
<b>Chemické sloučeniny</b>	<b>Analýza RFA[%]</b>
<b><math>\text{SiO}_2</math> [%]</b>	99,2
<b><math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math> [%]</b>	0,04
<b><math>\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}</math></b>	0,1
<b><math>\text{CaO} + \text{MgO}</math></b>	0,1
<b>Ostatní</b>	Zbytek

**Tabulka 3.11:** Fyzikální parametry křemenného ostřiva ST 54 [9]

<b>Fyzikální hodnoty</b>	
<b>Teplota počátku spékání [°C]</b>	1560
<b>Hustota [<math>\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}</math>]</b>	2,65
<b>Sypná hmotnost [<math>\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}</math>]</b>	1,54
<b>Velikost středního zrna <math>d_{50}</math> [mm]</b>	0,22
<b>AFS</b>	66

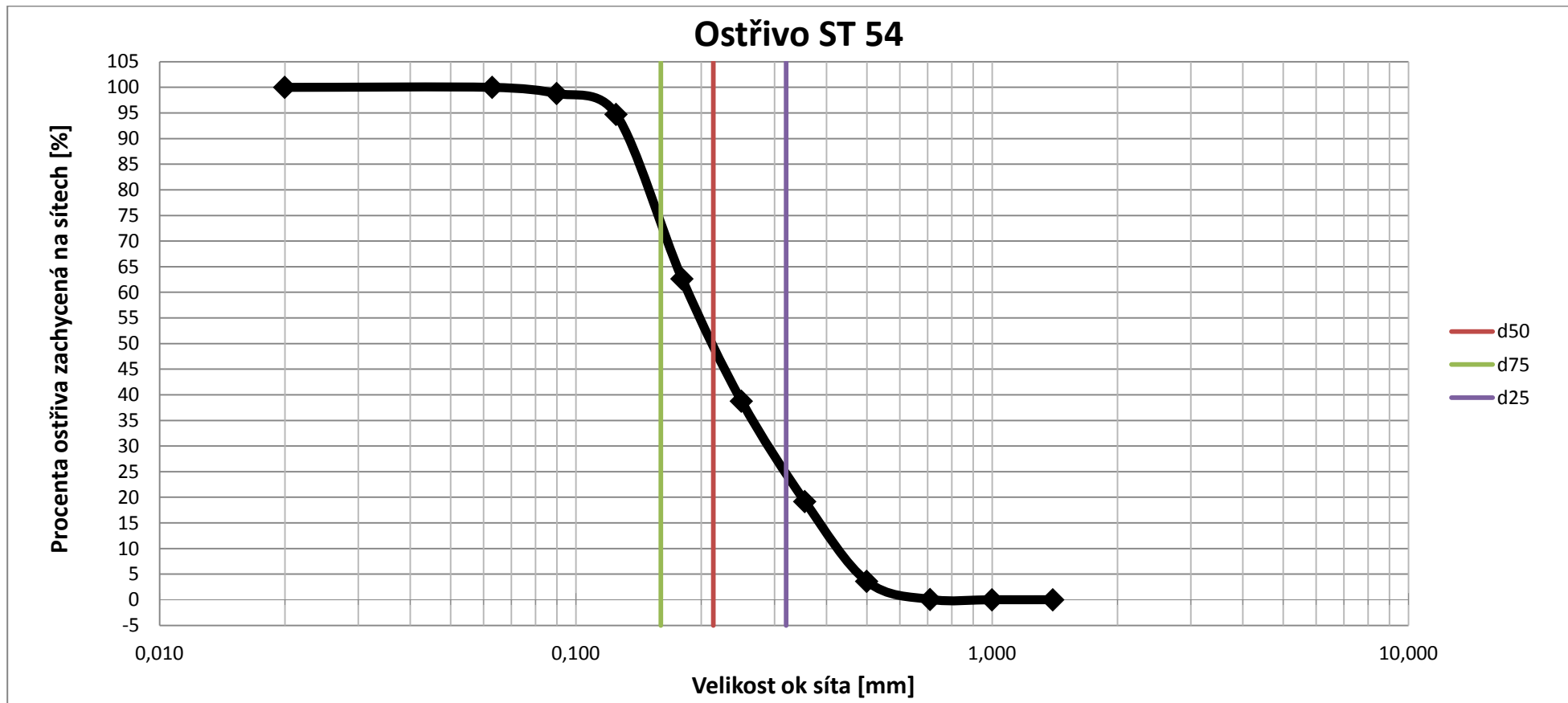


**Obr. 3-13:** Makroskopické snímky zrn křemenného ostřiva ST 54 (měřítko: 500  $\mu\text{m}$  – vlevo; 200  $\mu\text{m}$  - vpravo)

**Tabulka 3.12:** Naměřené a vypočítané hodnoty křemenného ostřiva ST 54 používané ve firmě Agrostroj Jičín , hustota  $\rho = 2650 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , pro dosazení do vzorce  $2,65 \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}]$

Třída zrnitosti ostřiva [mm]	Střední rozměr zrn $d_i$ [cm]	Hmotnost frakcí $m_i$ [g]	Procentaostřiva zachycená na jednotlivých sítích [%]	Počet částic ve frakci $N_i$	Povrch částic $S_{\check{c}i}$ [cm <sup>2</sup> ]	Povrch částic $S_{W_i}$ ve frakci [cm <sup>2</sup> ]	Měrný povrch frakce $S_{W_m}$ [cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]	Kriterium pravděpodobnosti uspořádání částic $m_i \cdot \log m_i$
<b>1,4</b>	0,14	0	0	0	0,062	0,00	-	-
<b>1,4 ÷ 1,0</b>	0,12	0	0	0	0,045	0,00	-	-
<b>1,0 ÷ 0,71</b>	0,086	0,06	0,06	68	0,023	1,58	26,33	-
<b>0,71 ÷ 0,50</b>	0,061	3,54	3,60	11 240	0,012	131,39	37,12	4 log 4 =2,41
<b>0,50 ÷ 0,355</b>	0,043	15,57	19,17	141 136	0,006	819,83	52,65	16 log 16 =19,27
<b>0,355 ÷ 0,25</b>	0,030	19,59	38,76	522 909	0,003	1478,49	75,47	20 log 20 =26,02
<b>0,25 ÷ 0,18</b>	0,022	23,87	62,63	1 615 622	0,002	2456,60	102,92	24 log 24=33,13
<b>0,18 ÷ 0,125</b>	0,015	32,09	94,72	6 852 538	0,001	4843,77	150,94	32 log 32 =48,16
<b>0,125 ÷ 0,09</b>	0,011	4,08	98,80	2 209 213	0,000	839,79	205,83	4 log 4 =2,41
<b>0,09 ÷ 0,063</b>	0,008	1,20	100	1 689 144	0,000	339,62	283,02	1,2 log 1,2 =0,095
<b>0,063 ÷ 0,02</b>	0,004	0	100	0	0,000	0,00	-	-
<b>Celkem</b>	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>13 041 871</b>	<b>0,153</b>	<b>10 911,09</b>	<b>934,28</b>	log W = 200 – 131,50 <b>log W = 68,5</b>





**Obr. 3-14:** Součtová křivka křemenného ostřiva ST 54 (hodnoty jsou v tabulce 3.12)

**Tabulka 3.13:** Zjištěné hodnoty jsou ze součtové křivky křemenného ostřiva ST 54

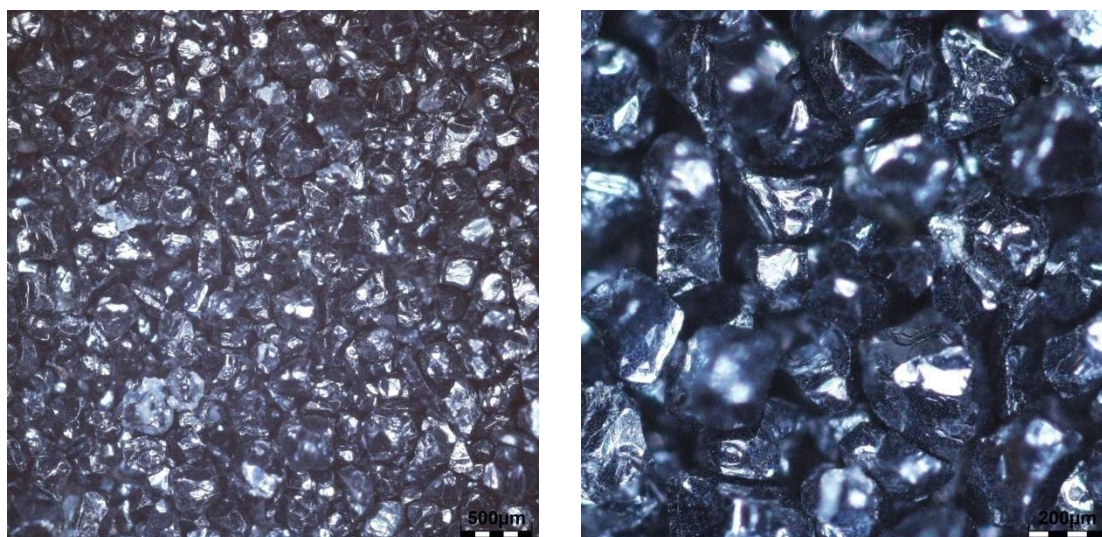
<b>d25 [mm]</b>	0,32	Číslo stejnoměrnosti ostřiva $s = d_{75}/d_{25}$ <b>s = 0,50</b>
<b>d50 [mm]</b>	0,21	
<b>d75 [mm]</b>	0,16	

### 3.1.6 Chrommagnezitové ostřivo

Chrommagnezitové ostřivo je kombinace magnezitu s oxidem chromitým  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Magnezitová ostřiva se zpracovávají z přírodního minerálu magnezitu  $\text{MgCO}_3$  těžbou s následným praním, drcením a tříděním. Ve slévárenské praxi se užívá sintrovaného magnezitu, připraveného žháním za teplot nad  $1600\text{ }^\circ\text{C}$ , touto úpravou ostřivo na vzduchu nehydratuje, díky tomu mají směsi dlouhou životnost. Zrna jsou slepencového ostrohranného charakteru s dobrou pevností a granulometrickou stabilitou. Směsi s magnezitovým ostřivem vykazují dobré ochlazovací účinky, avšak vůči náhlým tepelným změnám jsou méně odolné a tak se využívá kombinace s oxidem chromitým  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , ostřivo se nazývá chrommagnezit. Hustota chrommagnezitu je cca  $4,2\text{ [g.cm}^{-3}\text{]}$ . Toto ostřivo má bazický charakter a má uplatnění ve slévárnách legovaných ocelí, především manganových (Hadfieldova ocel). Zcela nevhodná jsou pro pojení s umělými pryskyřicemi tvrditelnými kyselými katalyzátory. Přispívají k tvorbě nízkotavitelných komplexních chemických sloučenin, [2][5].

**Tabulka 3.14:** Chemické parametry chrommagnezitého ostřiva

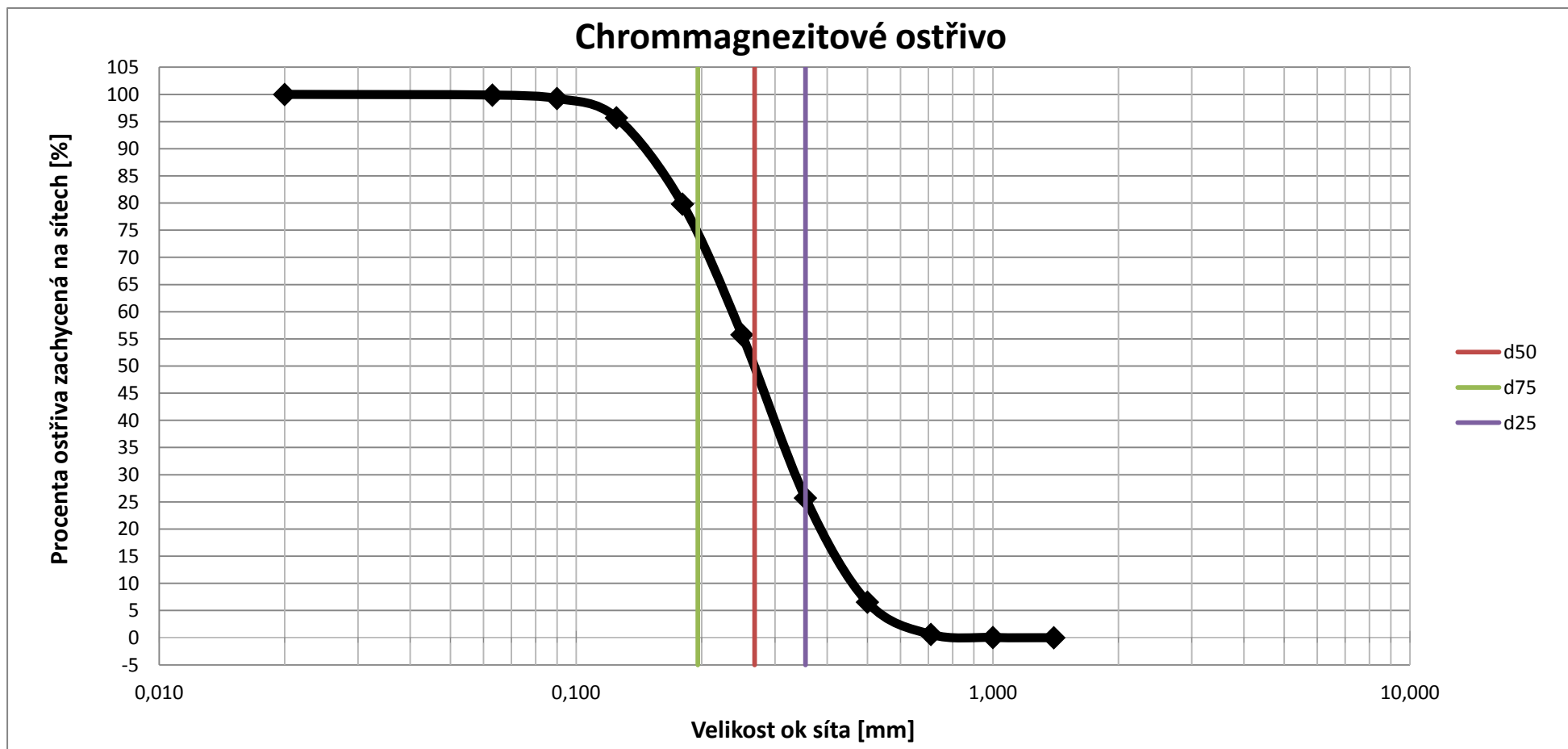
<b>Charakteristické chemické parametry</b>	
MgO	89,5 %
SiO <sub>2</sub>	3,5 - 4,0 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,0 - 5,5 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2 - 0,4 %
CaO	2,4 - 2,6 %



**Obr. 3-15:** Makroskopické snímky zrn chrommagnezitého ostřiva (měřítko: 500  $\mu\text{m}$  - vlevo; 200  $\mu\text{m}$  - vpravo)

**Tabulka 3.15:** Naměřené a vypočítané hodnoty chrommagnetitového ostřiva hustota  $\rho = 4\,200 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , pro dosazení do vzorce 4,2  $[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$

Třída zrnitosti ostřiva [mm]	Střední rozměr zrn $d_i$ [cm]	Hmotnost frakcí $m_i$ [g]	Procenta ostřiva zachycená na jednotlivých sítích [%]	Počet částic ve frakci $N_i$	Povrch částic $S_{\check{c}i}$ [cm <sup>2</sup> ]	Povrch částic $S_{wi}$ ve frakci [cm <sup>2</sup> ]	Měrný povrch frakce $S_{wm}$ [cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]	Kriterium pravděpodobnosti uspořádání částic $m_i \cdot \log m_i$
<b>1,4</b>	0,14	0	0	0	0,062	0,00	-	-
<b>1,4 ÷ 1,0</b>	0,12	0,04	0,04	11	0,045	0,48	11,90	-
<b>1,0 ÷ 0,71</b>	0,086	0,57	0,61	408	0,023	9,47	16,61	1,1 log 1,1 = 0,046
<b>0,71 ÷ 0,50</b>	0,061	5,94	6,55	11 900	0,012	139,11	23,42	6 log 6 = 4,67
<b>0,50 ÷ 0,355</b>	0,043	19,17	25,72	109 640	0,006	636,88	33,22	19 log 19 = 24,30
<b>0,355 ÷ 0,25</b>	0,030	30,05	55,77	506 096	0,003	1 430,95	47,62	30 log 30 = 44,32
<b>0,25 ÷ 0,18</b>	0,022	24,05	79,82	1 027 068	0,002	1 561,69	64,94	24 log 24 = 33,13
<b>0,18 ÷ 0,125</b>	0,015	15,89	95,71	2 140 929	0,001	1 513,33	95,24	16 log 16 = 19,27
<b>0,125 ÷ 0,09</b>	0,011	3,55	99,26	1 212 837	0,000	461,04	129,87	4 log 4 = 2,41
<b>0,09 ÷ 0,063</b>	0,008	0,62	99,88	550 648	0,000	110,71	178,57	1,1 log 1,1 = 0,046
<b>0,063 ÷ 0,02</b>	0,004	0,12	100	852 616	0,000	42,86	357,14	-
<b>Celkem</b>	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>6 412 151</b>	<b>0,153</b>	<b>5 906,04</b>	<b>958,53</b>	log W = 200 - 128,17 <b>log W = 71,83</b>



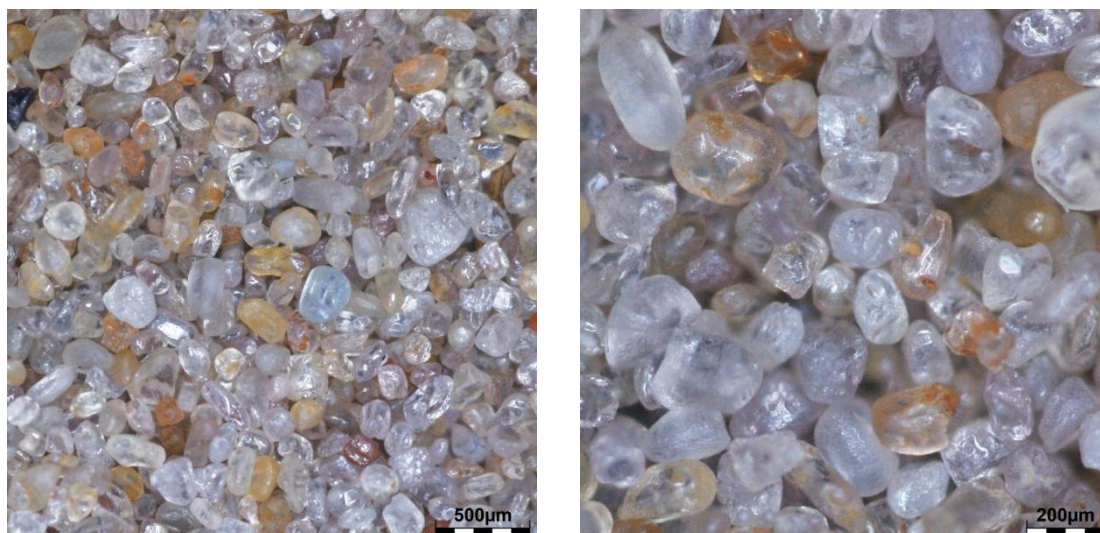
**Obr. 3-16:** Součtová křivka chrommagnezitového ostřiva (hodnoty jsou v tabulce 3.15)

**Tabulka 3.16:** Zjištěné hodnoty ze součtové křivky chrommagnezitového ostřiva

<b>d25 [mm]</b>	0,36	Číslo stejnoměrnosti ostřiva $s = d_{75}/d_{25}$ <b>s = 0,56</b>
<b>d50 [mm]</b>	0,27	
<b>d75 [mm]</b>	0,20	

### 3.1.7 Zirkonové ostřivo

Zirkonový písek, resp. zirkonové ostřivo, je směsí vázaného  $ZrO_2$  (oxid zirkoničitý) a  $SiO_2$  (oxid křemičitý) se vyznačuje vysokou žáruvzdorností. Teplota tání je cca 1900 °C. Zirkonové písky jsou neutrálního charakteru a jsou vhodné pro jakoukoliv pojivovou soustavu, jejich cena je však příliš vysoká. Má nízkou lineární tepelnou dilataci, která je několikrát nižší než u ostatních běžných ostřiv. Zrna písku jsou vysoce (téměř) kulatá a pravidelná s čistým a hladkým povrchem chemicky netečným vůči oxidům železa za vysokých teplot. Mají podstatně vyšší ochlazovací účinnost díky vysoké hodnotě koeficientu tepelné akumulace. Směsi se vyznačují odolností proti penetraci a zapékání, jsou vhodná pro masivní odlitky i tepelně namáhaná jádra. Chemická neutralita není dostačující pro výrobu forem odlitků manganových ocelí [1]. Ve slévárenství se využívá zirkonových nátěrů. Naleziště zirkonových písků jsou v Austrálii, Brazílii, Ukrajině, Srí Lance a Senegalu.



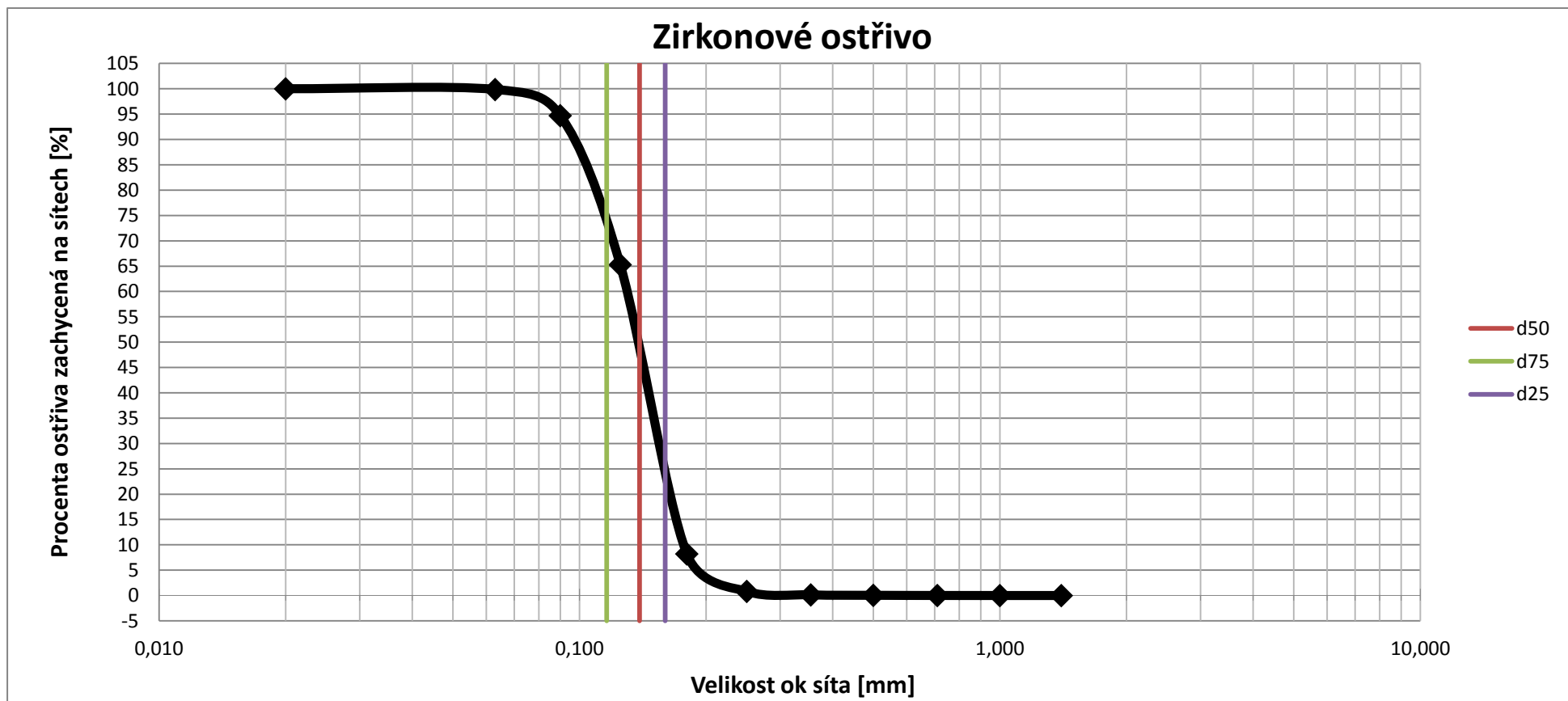
**Obr. 3-17:** Makroskopické snímky zrn zirkonového ostřiva (měřítko: 500  $\mu\text{m}$  - vlevo; 200  $\mu\text{m}$  - vpravo)

**Tabulka 3.17:** Hodnoty zirkonového ostřiva

<b>Hodnoty zirkonového písku</b>			
<b>Fyzikální hodnoty</b>		<b>Chemické složení</b>	
<b>Teplota počátku spékání [°C]</b>	> 1700	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	66, 0 %
<b>Hustota [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	4,2 - 4,8	<b>SiO<sub>2</sub></b>	32,7 %
<b>Sypná hmotnost [g·cm<sup>-3</sup>]</b>	2,7	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	max. 0,35 %
<b>Velikost středního zrna d<sub>50</sub>[mm]</b>	0,12	<b>TiO<sub>2</sub></b>	max. 0,80 %
<b>AFS</b>	113	<b>CaO</b>	0,10 %
		<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,18 %

**Tabulka 3.18:** Naměřené a vypočítané hodnoty zirkonového ostřiva hustota  $\rho = 4\,460 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , pro dosazení do vzorce  $4,46 \text{ [g}\cdot\text{cm}^{-3}]$

Třída zrnitosti ostřiva [mm]	Střední rozměr zrn $d_i$ [cm]	Hmotnost frakcí $m_i$ [g]	Procenta ostřiva zachycená na jednotlivých sítích [%]	Počet částic ve frakci $N_i$	Povrch částic $S_{\check{c}i}$ [cm <sup>2</sup> ]	Povrch částic $S_{wi}$ ve frakci [cm <sup>2</sup> ]	Měrný povrch frakce $S_{Wm}$ [cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]	Kriterium pravděpodobnosti uspořádání částic $m_i \cdot \log m_i$
<b>1,4</b>	0,14	0	0	0	0,062	0,00	-	-
<b>1,4 ÷ 1,0</b>	0,12	0	0	0	0,045	0,00	-	-
<b>1,0 ÷ 0,71</b>	0,086	0,01	0,01	7	0,023	0,16	15,64	-
<b>0,71 ÷ 0,50</b>	0,061	0,03	0,04	57	0,012	0,66	22,05	-
<b>0,50 ÷ 0,355</b>	0,043	0,09	0,13	485	0,006	2,82	31,29	-
<b>0,355 ÷ 0,25</b>	0,030	0,69	0,82	10 943	0,003	30,94	44,84	$1,1 \log 1,1 = 0,046$
<b>0,25 ÷ 0,18</b>	0,022	7,40	8,22	297 598	0,002	452,51	61,15	$7 \log 7 = 5,92$
<b>0,18 ÷ 0,125</b>	0,015	57,07	65,29	7 241 034	0,001	5 118,39	89,69	$57 \log 57 = 100,08$
<b>0,125 ÷ 0,09</b>	0,011	29,42	94,71	9 465 229	0,000	3 598,04	122,30	$29 \log 29 = 42,41$
<b>0,09 ÷ 0,063</b>	0,008	5,15	99,86	4 307 287	0,000	866,03	168,16	$5 \log 5 = 3,49$
<b>0,063 ÷ 0,02</b>	0,004	0,14	100	936 730	0,000	47,09	336,32	-
<b>Celkem</b>	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>22 259 370</b>	<b>0,153</b>	<b>10 116,63</b>	<b>891,45</b>	$\log W = 200 - 151,95$ <b><math>\log W = 48,05</math></b>



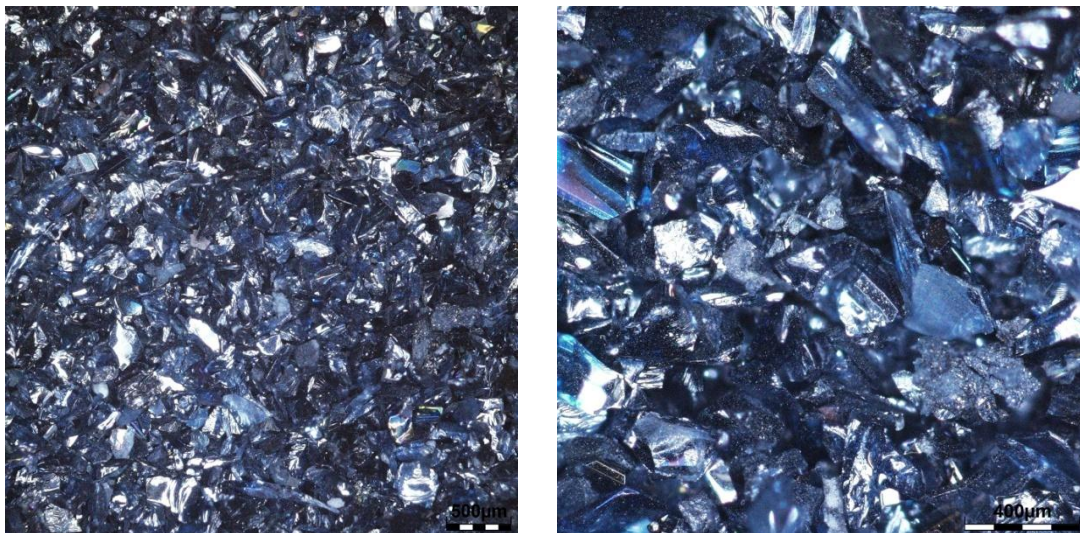
**Obr. 3-18:** Součtová křivka zirkonového ostřiva (hodnoty jsou v tabulce 3.18)

**Tabulka 3.19:** Zjištěné hodnoty ze součtové křivky zirkonového ostřiva

<b>d25 [mm]</b>	0,16	Číslo stejnoměrnosti ostřiva $s = d_{75}/d_{25}$ <b>s = 0,75</b>
<b>d50 [mm]</b>	0,14	
<b>d75 [mm]</b>	0,12	

### 3.1.8 Korundové ostřívo

Korund je minerál, který se v přírodě nachází vzácně, je to čistý oxid hlinitý -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , krystalizuje v trigonální (klencové) soustavě. Název korund je historický, pravděpodobně pochází ze staroindického *kuruvinda*. Monokrystal oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) se nazývá *safir*. Šesterečná soustava oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) za přítomnosti malého množství Cr se nazývá *rubín*. Korund se vyrábí uměle, tavením bauxitu nebo velmi čistých jílu bohatých na  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Z mineralogického hlediska je to technický oxid hliníku, v podstatě  $\gamma$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Tato modifikace při teplotě 1450 °C přechází v modifikaci  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a z této modifikace vzniká čistý  $\text{Al}_2\text{O}_3$  korund za přítomnosti  $\text{TiO}_2$ . Korundové ostřívo se vyznačuje vysokou žáruvzdorností, odolává teplotám 2000 °C. Hustota korundu je cca 4000 [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]. Korundové ostřívo je drahé, a to z důvodu umělého vyrábění,[5]. Pro výrobu forem, popř. jader se používá jen výjimečně při odlévání ocelových odlitků.



**Obr. 3-19:** Makroskopické snímky zrn korundového ostřiva  
(měřítko: 500  $\mu\text{m}$  - vlevo; 200  $\mu\text{m}$  - vpravo)

### 3.1.9 Hodnocení výsledků získaných síťovým rozbořem a součtovou křivkou

V této kapitole je uvedeno shrnutí výsledků, které byly získány na základě síťových rozborů jednotlivých ostřiv: chromitového, Šajdíkových Humenců SH 33, křemenného III, křemenného ST 54, chrommagnezitového, zirkonového a korundového. Byly zjištěny tyto skutečnosti:



**Chromitové ostřívo** – při stanovení částic v navážce se vycházelo z předpokladu, že rozměr částic (zrn) je nahrazen koulí příslušného rozměru, který odpovídá oku síta. Za tohoto předpokladu počet částic chromitového ostříva v navážce 100 g činí cca 2 749 000. Povrch všech částic chromitového ostříva v navážce 100 g činí 4210,25 cm<sup>2</sup>. Kritérium pravděpodobnosti uspořádanosti částic  $\log W = 56,63$ . Střední velikost zrn chromitového ostříva  $d_{50} = 0,34$  mm. Další hodnoty jsou:  $d_{75} = 0,28$  mm a  $d_{25} = 0,42$  mm. Číslo stejnoměrnosti chromitového ostříva  $s = d_{75}/d_{25} = 0,67$ .

**Ostřívo Šajdíkové Humence SH 33** – toto ostřívo má výrazně zakulacené hrany, patří do skupiny, tzv. váte pískey, zrna ostříva lze dobře nahradit tvarem koule. Počet částic v navážce 100 g je 4 659 513. Povrch všech částic SH 33 v navážce 100 g činí 8020,48 cm<sup>2</sup>. Kritérium pravděpodobnosti uspořádanosti částic ostříva SH 33  $\log W = 59,97$ . Střední velikost zrn ostříva  $d_{50} = 0,30$  mm. Další hodnoty jsou:  $d_{75} = 0,24$  mm a  $d_{25} = 0,37$  mm. Číslo stejnoměrnosti ostříva Šajdíkové Humence SH 33,  $s = d_{75}/d_{25} = 0,65$ .

**Křemenné ostřívo III** – při stanovení částic v navážce se vycházelo z předpokladu, že rozměr částic (zrn) je nahrazen koulí příslušného rozměru, který odpovídá oku síta. Za tohoto předpokladu počet částic křemenného ostříva III v navážce 100 g činí cca 4 684 083. Povrch všech částic křemenného ostříva III v navážce 100 g je 7851,62 cm<sup>2</sup>. Kritérium uspořádanosti částic  $\log W = 65,78$ . Střední velikost zrn ostříva  $d_{50} = 0,31$  mm. Další hodnoty jsou:  $d_{75} = 0,24$  mm a  $d_{25} = 0,40$  mm. Číslo stejnoměrnosti křemenného ostříva III,  $s = d_{75}/d_{25} = 0,6$ .

**Křemenné ostřívo ST 54** – při stanovení částic v navážce se vycházelo z předpokladu, že rozměr částic (zrn) je nahrazen koulí příslušného rozměru, který odpovídá oku síta. Za tohoto předpokladu počet částic křemenného ostříva ST 54 v navážce 100 g činil cca 13 042 000. Povrch všech částic křemenného ostříva ST 54 v navážce 100 g činí 10 911,09 cm<sup>2</sup>. Kritérium pravděpodobnosti uspořádanosti částic  $\log W = 68,5$ . Střední velikost zrn ostříva  $d_{50} = 0,21$  mm. Hodnota  $d_{75} = 0,16$  mm a  $d_{25} = 0,32$  mm. Číslo stejnoměrnosti křemenného ostříva ST 54,  $s = d_{75}/d_{25} = 0,50$ .

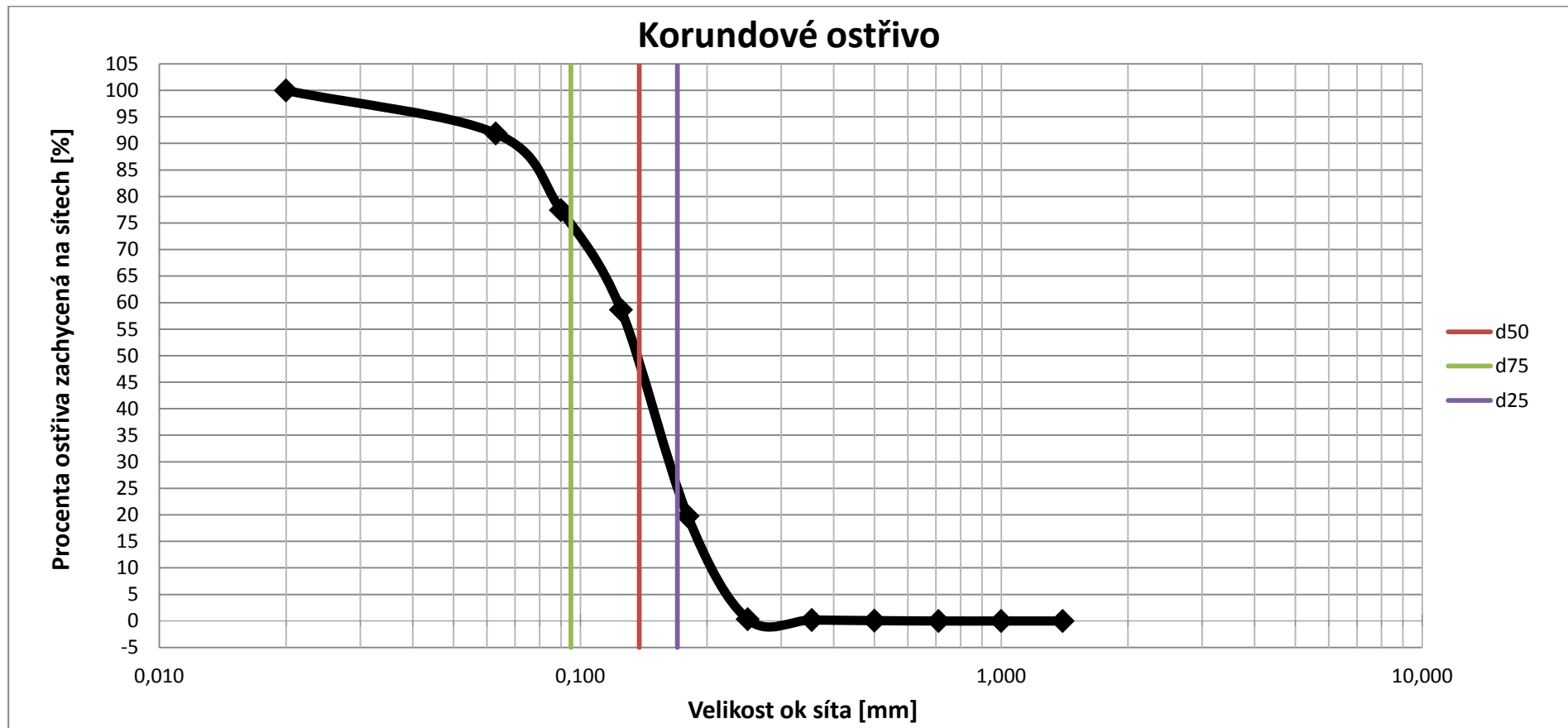
**Chrommagnezitové ostřívo** – při stanovení částic v navážce se vycházelo z předpokladu, že rozměr částic (zrn) je nahrazen koulí příslušného rozměru, který odpovídá oku síta. Za tohoto předpokladu počet částic chrommagnezitového ostříva v navážce 100 g činí cca 6 412 151. Povrch všech částic chrommagnezitového ostříva v navážce 100 g je 5906,04 cm<sup>2</sup>. Kritérium pravděpodobnosti uspořádanosti částic  $\log W = 71,83$ . Střední velikost zrn ostříva  $d_{50} = 0,27$  mm. Hodnota  $d_{75} = 0,20$  mm a  $d_{25} = 0,36$  mm. Číslo stejnoměrnosti chrommagnezitového ostříva,  $s = d_{75}/d_{25} = 0,56$ .

**Zirkonové ostřívo** – toto ostřívo má výrazně zakulacené hrany, zrna ostřiva lze dobře nahradit tvarem koule. Počet částic zirkonového ostřiva v navážce 100 g je 22 259 370. Povrch všech částic zirkonového ostřiva v navážce 100 g je 10 116,63 cm<sup>2</sup>. Kritérium pravděpodobnosti uspořádanosti částic zirkonového ostřiva  $\log W = 48,05$ . Střední velikost zrn ostřiva  $d_{50} = 0,14$  mm. Hodnota  $d_{75} = 0,12$  mm a  $d_{25} = 0,16$  mm. Číslo stejnoměrnosti zirkonového ostřiva,  $s = d_{75}/d_{25} = 0,75$ .

**Korundové ostřívo** – při stanovení částic v navážce se vycházelo z předpokladu, že rozměr částic (zrn) je nahrazen koulí příslušného rozměru, který odpovídá oku síta. Za tohoto předpokladu počet částic korundového ostřiva v navážce 100 g činí cca 84 967 000. Povrch všech částic korundového ostřiva v navážce 100 g je 13 208,19 cm<sup>2</sup>. Kritérium uspořádanosti částic  $\log W = 64,49$ . Střední velikost zrn ostřiva  $d_{50} = 0,14$  mm. Další hodnoty jsou:  $d_{75} = 0,10$  mm a  $d_{25} = 0,17$  mm. Číslo stejnoměrnosti korundového ostřiva,  $s = d_{75}/d_{25} = 0,59$ .

**Tabulka 3.20:** Naměřené a vypočítané hodnoty korundového ostřiva hustota  $\rho = 4\,100 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , pro dosazení do vzorce 4,1  $[\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}]$ ,

Třída zrnitosti ostřiva [mm]	Střední rozměr zrn $d_i$ [cm]	Hmotnost frakcí $m_i$ [g]	Procenta ostřiva zachycená na jednotlivých sítích [%]	Počet částic ve frakci $N_i$	Povrch částic $S_{\check{c}i}$ [cm <sup>2</sup> ]	Povrch částic $S_{Wi}$ ve frakci [cm <sup>2</sup> ]	Měrný povrch frakce $S_{Wm}$ [cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]	Kriterium pravděpodobnosti uspořádání částic $m_i \cdot \log m_i$
<b>1,4</b>	0,14	0	0	0	0,062	0,00	0	-
<b>1,4 ÷ 1,0</b>	0,12	0	0	0	0,045	0,00	0	-
<b>1,0 ÷ 0,71</b>	0,086	0	0	0	0,023	0,00	0	-
<b>0,71 ÷ 0,50</b>	0,061	0,07	0,07	144	0,012	1,68	23,99	-
<b>0,50 ÷ 0,355</b>	0,043	0,12	0,19	703	0,006	4,08	34,03	-
<b>0,355 ÷ 0,25</b>	0,030	0,15	0,34	2588	0,003	7,32	48,78	-
<b>0,25 ÷ 0,18</b>	0,022	19,44	19,78	850444	0,002	1293,13	66,52	19 log 19 = 24,30
<b>0,18 ÷ 0,125</b>	0,015	38,88	58,66	5366239	0,001	3793,17	97,56	39 log 39 = 69,06
<b>0,125 ÷ 0,09</b>	0,011	18,78	77,44	6572567	0,000	2498,45	133,04	19 log 29 = 24,30
<b>0,09 ÷ 0,063</b>	0,008	14,45	91,89	13146659	0,000	2643,29	182,93	15 log 15 = 17,64
<b>0,063 ÷ 0,02</b>	0,004	8,11	100	59028045	0,000	2967,07	365,85	8 log 8 = 7,22
<b>Celkem</b>	-	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>84 967 389</b>	<b>0,153</b>	<b>13 208,19</b>	<b>952,70</b>	log W = 200 - 135,51 <b>log W = 64,49</b>



**Obr. 3-20:** Součtová křivka korundového ostříva (hodnoty jsou v tabulce 3.20)

**Tabulka 3.21:** Zjištěné hodnoty ze součtové křivky korundového ostříva

<b>d25 [mm]</b>	0,17	Číslo stejnoměrnosti ostříva $s = d_{75}/d_{25}$ <b>s = 0,59</b>
<b>d50 [mm]</b>	0,14	
<b>d75 [mm]</b>	0,10	

### 3.2 Stanovení sypané hmotnosti ostřiva

Pro stanovení sypané hmotnosti byla použita tato ostřiva: křemenné ostřivo SH 33, korundové ostřivo, chrommagnezitové ostřivo, zirkonové ostřivo, křemenné ostřivo ST 54, křemenné ostřivo III. Při těchto experimentech nebylo použito chromitové ostřivo, z důvodu malého množství. Experimenty pro sledování sypané hmotnosti ostřiva byly prováděny u všech ostřiv stejným způsobem.

Prvním krokem pro stanovení sypané hmotnosti ostřiva i pro stanovení hustoty ostřiva, je jeho vysušení. K sušení ostřiva byla použita slévárenská laboratorní suška. V sušce byla sušena vybraná slévárenská ostřiva, která byla následně podrobena experimentálnímu zjištění sypané hmotnosti i hustoty. Suška je na obr. 3-21. Hmotnost ostřiva byla zjišťována pomocí elektrické váhy RADWAG, WPS 4000/C/2, viz obr. 3-22.



**Obr. 3-21:** Slévárenská laboratorní suška s ostřivy: SH33, korundové a chrommagnezitové



**Obr. 3-22:** Navážka křemenného ostřiva SH 33, korundového a chrommagnezitového ostřiva před sušením



**Obr. 3-23:** Navážka křemenného ostřiva SH 33, korundového a chrommagnetitového ostřiva po sušení



**Obr. 3-24:** Vysušená ostřiva: zirkonové, křemenné ST 54 a křemenné III



**Obr. 3-25:** Navážené hmotnosti zirkonového, křemenného ST 54 a křemenného ostřiva III před sušením



**Obr. 3-26:** Navážené hmotnosti zirkonového, křemenného ST 54 a křemenného ostřiva III po sušení

**Tabulka 3.22:** Hmotnosti ostřiv před a po sušení a vypočítaná vlhkost ostřiva

Ostřivo	Hmotnost ostřiva před sušením [g]	Hmotnost ostřiva po sušení [g]	Vlhkost [%]
Křemenné ostřivo SH 33	200,47	197,98	1,30
Korundové ostřivo	212,47	210,81	1,17
Chrommagnezitové ostřivo	241,17	236,92	1,80
Zirkonové ostřivo	228,37	225,28	1,40
Křemenné ostřivo ST 54	174,92	172,08	1,62
Křemenné ostřivo III	199,18	197,76	0,72

Vysušená ostřiva byla dále použita pro stanovení jejich sypné hmotnosti a hustoty. Sušení ostřiva bylo prováděno několikrát u chrommagnezitého a zirkonového ostřiva pro stanovení sypné hmotnosti.

Sypná hmotnost slévárenských ostřiv se stanovuje experimentem, při kterém se zjišťuje hmotnost a objem ostřiva. K tomuto účelu jsou potřeba tato zařízení a pomůcky: suška ostřiva, digitální váhy a kádinka objem 400 ml. Kádinku je třeba volit širokou, aby byly zatěžovány co nejméně jednotlivé vrstvy ostřiva.

Postup experimentů je následující: ostřivo se nejdříve vysuší v sušce při teplotě 105 °C na hodnotu konstantní hmotnosti. Kádinka obsahu 400 ml se zváží a její hmotnost se zaznamená, viz obr. 3-29. Potom se do kádinky nasype vysušené ostřivo, tak aby odpovídalo změřitelnému objemu, tj. např. v tomto případě 100 ml. Kádinka s ostřivem se opět zváží a hmotnost se zaznamená.

Sypná hmotnost ostřiva se stanoví na základě vztahu:

$$\rho_s = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (3.1)$$

kde:  $m_2$  - hmotnost kádinky s ostřivem [g];  $m_1$  - hmotnost prázdné kádinky [g];  
 $V$  - objem naspaného ostřiva do kádinky [ml].

Sypná hmotnost ostřiva je pro výrobu pískových forem velmi důležitá, proto bylo provedeno celkem 5 souborů experimentů pro stanovení sypné hmotnosti ostřiv.

Hodnoty sypné hmotnosti ( $\rho_s$ ) vybraných typů ostřiv jsou uvedeny v tabulkách 3.23 až 3.27.

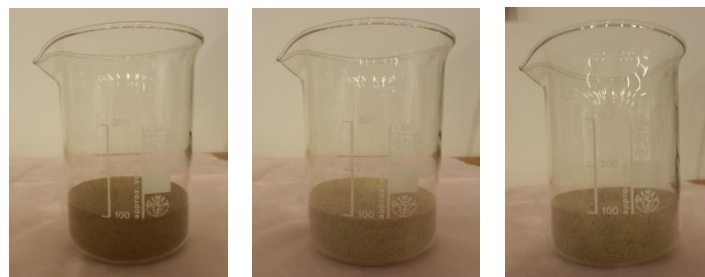
**Tabulka 3.23:** Naměřené hodnoty vybraných ostřiv a jejich sypná hmotnost

Ostřivo	Hmotnost prázdné kádinky [g]	Objem ostřiva naspaného do kádinky [ml]	Hmotnost kádinky s ostřivem [g]	Sypná hmotnost ostřiva [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
<b>Křemenné ostřivo SH 33</b>	118,88	100	331,91	<b>2,13</b>
<b>Korundové ostřivo</b>	118,88	100	326,21	<b>2,07</b>
<b>Chrommagnezitové ostřivo</b>	118,88	100	463,62	<b>3,45</b>
<b>Zirkonové ostřivo</b>	118,88	100	496,58	<b>3,77</b>
<b>Ostřivo ST 54 (Agrostroy Jičín)</b>	118,88	100	306,57	<b>1,87</b>
<b>Křemenné ostřivo III</b>	118,88	100	323,88	<b>2,05</b>

Na následujících obr. 3-29 až obr. 3-41 jsou uvedeny hodnoty hmotností jednotlivých ostřiv.

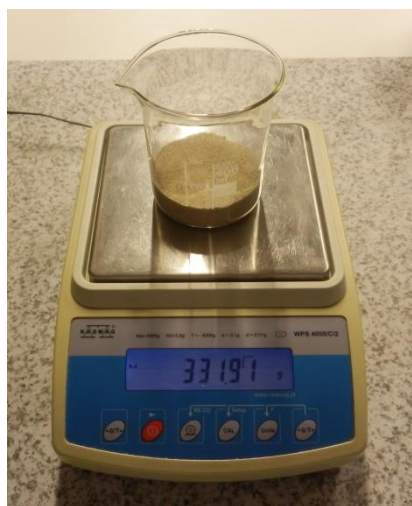
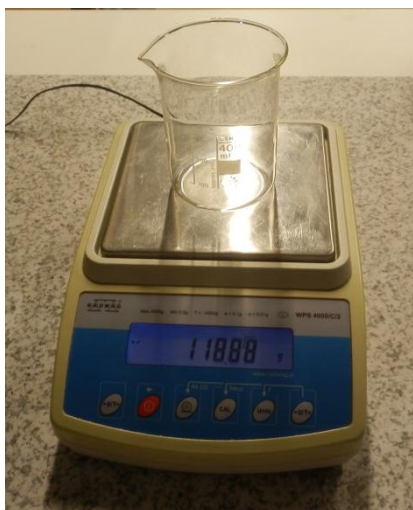


**Obr. 3-27:** Ostřiva: křemenné SH 33, korundové, chrommagnezitové

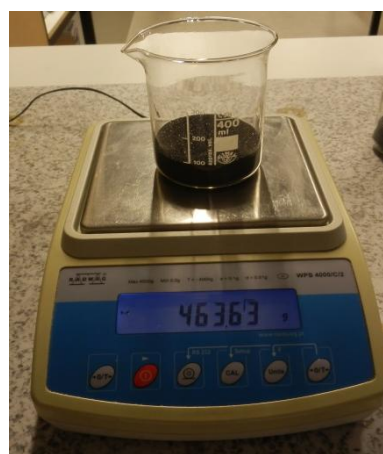
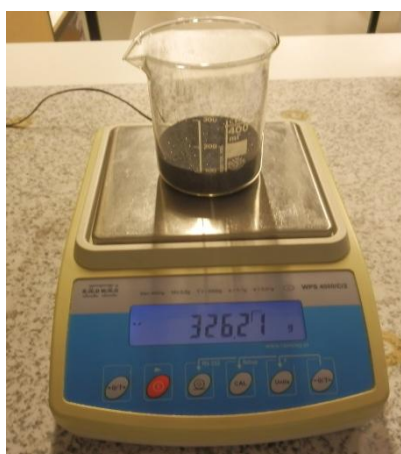


**Obr. 3-28:** Ostřiva: zirkonové, křemenné ST54, křemenné III

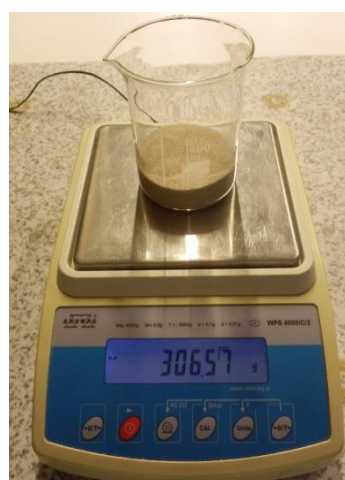
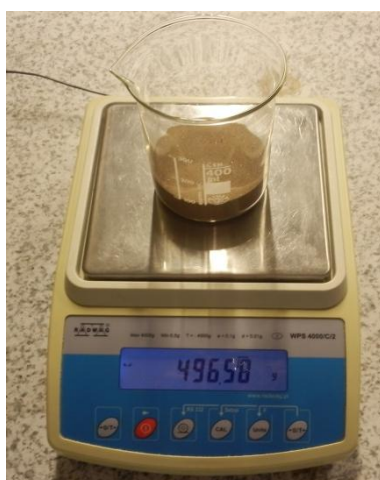




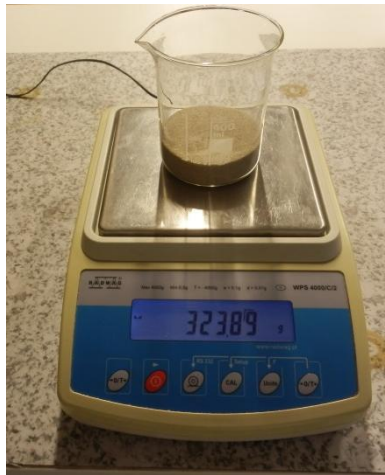
**Obr. 3-29:** Hmotnost prázdné kádinky a kádinky s křemenným ostřivem SH 33



**Obr. 3-30:** Hmotnost kádinky s korundovým ostřivem a kádinky s chrommagnetitovým ostřivem



**Obr. 3-31:** Hmotnost kádinky se zirkonovým ostřivem a kádinky s křemenným ostřivem ST 54



**Obr. 3-32:** Hmotnost kádinky s křemenným ostřivem III

**Tabulka 3.24:** Naměřené hodnoty vybraných ostřiv a jejich sypná hmotnost

Ostřivo	Hmotnost prázdné kádinky [g]	Objem ostřiva nasypaného do kádinky [ml]	Hmotnost kádinky s ostřivem [g]	Sypná hmotnost ostřiva [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
Křemenné ostřivo SH 33	118,88	100	283,98	1,65
Korundové ostřivo	118,88	100	289,87	1,71
Chrommagnezitové ostřivo	118,88	100	444,34	3,25
Zirkonové ostřivo	118,88	100	430,53	3,12
Ostřivo ST 54 (Agrostroy Jičín)	118,88	100	293,55	1,75
Křemenné ostřivo III	118,88	100	300,28	2,06



**Obr. 3-33:** Hmotnost kádinky s křemenným ostřivem SH 33, korundovým ostřivem a s chrommagnezitovým ostřivem



**Obr. 3-34:** Hmotnost kádinky s zirkonovým ostřivem, křemenným ostřivem ST 54 a křemenným ostřivem III

**Tabulka 3.25:** Naměřené hodnoty vybraných ostřiv a jejich sypná hmotnost

Ostřivo	Hmotnost prázdné kádinky [g]	Objem ostřiva naspaného do kádinky [ml]	Hmotnost kádinky s ostřivem [g]	Sypná hmotnost ostřiva [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
Křemenné ostřivo SH 33	118,87	100	327,80	2,08
Korundové ostřivo	118,87	100	264,52	1,45
Chrommagnezitové ostřivo	118,87	100	398,91	2,80
Zirkonové ostřivo	118,87	100	420,54	3,01
Ostřivo ST 54 (Agrostroj Jičín)	118,87	100	294,89	1,76
Křemenné ostřivo III	118,87	100	293,44	1,74



**Obr. 3-35:** Hmotnost prázdné kádinky, kádinky s křemenným ostřivem SH 33, s korundovým ostřivem



**Obr. 3-36:** Hmotnost kádinky s chrommagnezitovým a zirkonovým ostřivem



**Obr. 3-37:** Hmotnost kádinky s křemenným ostřivem ST 54 a křemenným ostřivem III

**Tabulka 3.26:** Naměřené hodnoty vybraných ostřiv a jejich sypná hmotnost

Ostřivo	Hmotnost prázdné kádinky [g]	Objem ostřiva naspaného do kádinky [ml]	Hmotnost kádinky s ostřivem [g]	Sypná hmotnost ostřiva [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
Křemenné ostřivo SH 33	118,87	100	292,67	1,74
Korundové ostřivo	118,87	100	277,73	1,59
Chrommagnezitové ostřivo	118,87	100	413,43	2,94
Zirkonové ostřivo	118,87	100	422,47	3,04
Ostřivo ST 54 (Agrostrój Jičín)	118,87	100	297,93	1,79
Křemenné ostřivo III	118,87	100	295,97	1,77



**Obr. 3-38:** Hmotnost kádinky s křemenným ostřivem SH 33, s korundovým a chrommagnezitovým ostřivem



**Obr. 3-39:** Hmotnost kádinky s ostřivem: zirkonovým, křemenným ST 54 a křemenným III

**Tabulka 3.27:** Naměřené hodnoty vybraných ostřiv a jejich sypná hmotnost

Ostřivo	Hmotnost prázdné kádinky [g]	Objem ostřiva naspaného do kádinky [ml]	Hmotnost kádinky s ostřivem [g]	Sypná hmotnost ostřiva [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
<b>Křemenné ostřivo SH 33</b>	118,87	100	299,96	<b>1,81</b>
<b>Korundové ostřivo</b>	118,87	100	274,50	<b>1,56</b>
<b>Chrommagnezitové ostřivo</b>	118,87	100	412,03	<b>2,93</b>
<b>Zirkonové ostřivo</b>	118,87	100	435,34	<b>3,16</b>
<b>Ostřivo ST 54 (Agrostroy Jičín)</b>	118,87	100	289,16	<b>1,70</b>
<b>Křemenné ostřivo III</b>	118,87	100	291,61	<b>1,72</b>



**Obr. 3-40:** Hmotnost kádinky s křemenným ostřivem SH 33, s korundovým a chrommagnezitovým ostřivem



**Obr. 3-41:** Hmotnost kádinky s ostřivem: zirkonovým, křemenným ST 54 a křemenným III

Hodnoty sypné hmotnosti jednotlivých ostřiv byly statisticky vyhodnoceny. Byly vypočítány hodnoty výběrového (aritmetického) průměru  $\bar{X}$ :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

kde:  $n$  – počet experimentů;  $x_i$  – vypočítanou hodnotu sypné hmotnosti [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ].

Dále byly vypočítány hodnoty směrodatné odchylky  $S$  a variačního koeficientu  $V$ .

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (3.2)$$

kde:  $n$  - počet měření [1];  $x_i$  - naměřenou hodnotu sypné hmotnosti [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ];  $\bar{X}$  - hodnotu výběrového průměru [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ].

Variační koeficient se vypočítá:

$$V = \frac{s}{\bar{X}} \cdot 100 [\%] \quad (3.3)$$

kde:  $s$  - směrodatnou odchylku [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ];  $\bar{X}$  - hodnotu výběrového průměru [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ].

Vypočítané průměrné hodnoty sypné hmotnosti vybraných ostřiv jsou uvedeny v tabulce 3. 28.

**Tabulka 3.28:** Souhrnné hodnoty sypné hmotnosti ostřiv

Ostřivo	Hodnoty sypné hmotnosti ostřiva [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]					Průměrná hodnota sypné hmotnosti [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]	Směrodatná odchylka sypné hmotnosti [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]	Variační koeficient [%]
<b>Křemenné ostřivo SH 33</b>	2,13	1,65	2,08	1,74	1,81	<b>1,90</b>	<b>0,19</b>	<b>10,1</b>
<b>Korundové ostřivo</b>	2,07	1,71	1,45	1,59	1,86	<b>1,74</b>	<b>0,05</b>	<b>2,87</b>
<b>Chrommagnezitové ostřivo</b>	3,45	3,25	2,80	2,94	2,93	<b>3,10</b>	<b>0,24</b>	<b>7,74</b>
<b>Zirkonové ostřivo</b>	3,77	3,12	3,00	3,04	3,16	<b>3,22</b>	<b>0,28</b>	<b>8,70</b>
<b>Ostřivo ST 54 (Agrostroj Jičín)</b>	1,87	1,75	1,76	1,79	1,70	<b>1,77</b>	<b>0,06</b>	<b>3,39</b>
<b>Křemenné ostřivo III</b>	2,05	2,06	1,74	1,77	1,72	<b>1,87</b>	<b>0,02</b>	<b>1,07</b>

### 3.2.1 Zhodnocení sypné hmotnosti ostřiv

Sypná hmotnost ostřiv formovacích a jádrových směsí je důležitá pro predikci sypných hmotností formovacích a jádrových směsí. Sledování sypné hmotnosti bylo provedeno pouze pro orientační účely, abychom doplnili sledovaná ostřiva o další informace. Sypná hmotnost ostřiv je nižší než je jejich hustota. Křemenné ostřivo SH 33 vykazovalo sypnou hmotnost  $1900 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , korundové ostřivo  $1740 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , chrommagnezitové ostřivo  $3100 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , zirkonové ostřivo  $3220 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , křemenné ostřivo ST 54  $1770 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , křemenné ostřivo III  $1870 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ . Jak bylo výše uvedeno, korundové ostřivo nebylo do experimentu zahrnuto z důvodu jeho nedostatečného množství, které je potřeba pro tento experiment.

### 3.3 Stanovení hustoty ostřiva

Hustota slévárenských ostřiv byla stanovena na základě experimentu, při kterém se zjišťuje hmotnost ostřiva, hmotnost vody s ostřivem a hmotnost vody. K tomuto experimentu jsou potřeba tato zařízení a pomůcky: suška, digitální váhy, odměrný laboratorní válec s objemem 250 ml, laboratorní misky a voda s  $\text{pH} = 7,4$ .

Postup experimentů je následující: ostřivo se nejdříve vysuší v sušce při teplotě  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  na hodnotu konstantní hmotnosti. Do odměrného válce se nalije voda tak, aby její hladina sahala na polovinu stupnice kalibrovaného objemu. Hodnota objemu vody se zaznamená. Zváží se určité množství ostřiva, které se nasype do odměrného válce s vodou. Aby se zamezilo vzniku vzduchových bublin, obsah ostřiva s vodou se promíchá laboratorní tyčinkou. Po ustálení hladiny vody ve válci se odečte hodnota objemu vody. Hustota ostřiva se určí ze vztahu:

$$\rho_O = \frac{m_O}{V_{VS} - V_V}, \quad (3.4)$$

kde:  $m_O$  – hmotnost ostřiva [g];  $V_{VS}$  – objem vody s ostřivem [ml];  $V_V$  – objem vody [ml].

V tabulce 3.29 jsou uvedeny typy ostřiv u kterých byla sledována hustota. Hustota příslušného ostřiva byla vypočítána podle vztahu (3.4). Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.29. Na obr. 3-42 je uveden odměrný válec s vodou o  $\text{pH} = 7,4$ ; navážka s křemenným ostřivem a odměrný válec s vodou i ostřivem. Ze stupnice válce byly odečteny hodnoty objemu vody a hodnoty objemu vody s ostřivem, které byly zaznamenány do tabulky 3.29.



**Obr. 3-42:** Válec s vodou, navážka křemenného ostřiva SH 33, válec s vodou a ostřivem SH 33





**Obr. 3-43:** Válec s vodou, navážka křemenného ostřiva III, válec s vodou a ostřivem III

**Tabulka 3.29:** Naměřené hodnoty vybraných slévarenských ostřiv

Ostřivo	Objem vody ve válci [ml]	Hmotnost ostřiva [g]	Objem vody a ostřiva ve válci [ml]	Hustota ostřiva [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]
Křemenné ostřivo SH 33	160	180,92	230	<b>2,58</b>
Korundové ostřivo	160	210,18	220	<b>3,50</b>
Chrommagnezitové ostřivo	170	185,33	215	<b>4,12</b>
Zirkonové ostřivo	150	221,20	200	<b>4,42</b>
Ostřivo ST 54 (Agrostroj Jičín)	170	171,76	240	<b>2,45</b>
Křemenné ostřivo III	165	189,74	245	<b>2,37</b>

### 3.3.1 Zhodnocení hustoty ostřiv

Hustota ostřiv formovacích a jádrových směsí je důležitá pro predikci tíhy slévarenských formovacích a jádrových směsí, resp. též sledování hustoty ostřiv bylo provedeno pouze pro orientační účely, aby byla doplněna sledovaná ostřiva o další informace. Hustota ostřiv je vyšší než je jejich sypaná hmotnost. Křemenné ostřivo SH 33 vykazovalo hustotu  $2580 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , korundové ostřivo  $3500 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , chrommagnezitové ostřivo  $4120 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , zirkonové ostřivo  $4420 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , křemenné ostřivo ST 54  $2450 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , křemenné ostřivo III  $2370 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ . Jak již bylo uvedeno, korundové ostřivo nebylo do experimentu zahrnuto z důvodu jeho nedostatečného množství, které je potřeba pro tento experiment.

#### 4. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Výsledky obsažené v této bakalářské práci přináší dílčí informace o ostřivech pro výrobu formovacích a jádrových směsí. Všechna ostřiva byla k dispozici na našem pracovišti - KSP, FS - TU v Liberci. Podle zadání bakalářské práce jsem se zaměřil především na sledování zrnitosti ostřiva, na vytvoření součtové křivky příslušného ostřiva a na stanovení jeho hodnot:  $d_{50}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{25}$  a  $s$  (stejnóměrnost zrn ostřiva).

Výše uvedené veličiny rozměrů ostřiva ( $d_{50}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{25}$ ) byly stanoveny na základě experimentálních měření, tzv. síťového rozboru ostřiva. Jak je obecně známo, na základě frakcí ostřiva zachycených na příslušných sítích (prosévacího zařízení) se sestrojuje tzv. součtová křivka zrnitosti ostřiva pro kterou je svislá osa dekadická (procentuální zachycení ostřiva na síť) a vodorovná osa logaritmická (velikosti ok síta). Zjištěné hodnoty  $d_{50}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{25}$  a výpočet hodnoty pravidelnosti zrnitosti ostřiva  $s = d_{75}/d_{25}$  (též označováno jako stupeň stejnoměrnosti neboli stejnoměrnost ostřiva), patří ke standardnímu vyhodnocení součtové křivky. V této bakalářské práci byla dále stanovena pravděpodobnost uspořádání zrn - log W.

Všechny tyto hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce 3.30. Tato tabulka obsahuje souhrn všech ostřiv u kterých byla stanovena součtová křivka zrnitosti ostřiva. Z tabulky je taky patrné, že největší velikost středního zrna mělo chromitové ostřivo a naopak nejmenší střední velikost zrna mělo ostřivo korundové a zirkonové. Nejnižší hodnotu pravidelnosti zrnitosti ostřiva mělo křemenné ostřivo ST54 a naopak nejvyšší hodnotu zirkonové ostřivo. Na součtové křivce zirkonového ostřiva je také možné pozorovat největší strmost mezi hodnotami  $d_{75}$  a  $d_{25}$ . Naopak je tomu u křemenného ostřiva ST54, kde součtová křivka je mezi hodnotami  $d_{75}$  a  $d_{25}$  ze všech sledovaných ostřiv poměrně plochá.

**Tabulka 3.30:** Souhrn zjištěných hodnot z grafů a tabulek pro síťový rozbor ostřiva

Název ostřiva	$d_{25}$ [mm]	$d_{50}$ [mm]	$d_{75}$ [mm]	log W	$s = d_{75}/d_{25}$
<b>Chromitové ostřivo</b>	0,42	0,34	0,28	56,63	0,67
<b>Ostřivo SH 33</b>	0,37	0,30	0,24	59,97	0,65
<b>Křemenné ostřivo III</b>	0,4	0,31	0,24	65,78	0,60
<b>Křemenné ostřivo ST 54</b>	0,32	0,21	0,16	68,5	0,50
<b>Chrommagnezitové ostřivo</b>	0,36	0,27	0,20	71,83	0,56
<b>Zirkonové ostřivo</b>	0,16	0,14	0,12	48,05	0,75
<b>Korundové ostřivo</b>	0,17	0,14	0,10	64,49	0,59

**Tabulka 3.31:** Souhrn zjištěných hodnot z grafů a tabulek pro síťový rozbor ostřiva

Název ostřiva	$S_{wi}$ [cm <sup>2</sup> ]	$S_{wm}$ [cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ]	N
<b>Chromitové ostřivo</b>	4210,25	883,52	2 748 879
<b>Ostřivo SH 33</b>	8020,48	670,13	4 659 513
<b>Křemenné ostřivo III</b>	7851,62	670,13	4 684 083
<b>Křemenné ostřivo ST 54</b>	10911,09	934,28	13 041 871
<b>Chrommagnezitové ostřivo</b>	5906,04	958,53	6 412 151
<b>Zirkonové ostřivo</b>	10116,63	891,45	22 259 370
<b>Korundové ostřivo</b>	13208,19	952,70	84 967 389

Dále součástí řešení bakalářské práce bylo i stanovení dalších možných veličin, jako např. počet zrn ostřiva v jednotlivých frakcích zachycených na příslušném síti ( $N_i$ ) v celkové navážce 100 g ostřiva (N), povrch částic v jednotlivých frakcích ( $S_{wi}$ ) a tím i celkový povrch částic v navážce 100 g ostřiva. Tyto hodnoty u ostřiva s hranatým zrnem je nutno brát jako orientační. Při stanovení částic v navážce se vycházelo z předpokladu, že rozměr částic (zrn) je nahrazen koulí příslušného rozměru, který odpovídá oku síta. Lépe tvaru koule odpovídá ostřivo Šajdíkové Humence SH 33, zirkonové ostřivo a popř. křemenné ostřivo III. U těchto tří ostřiv se vypočítané hodnoty výše uvedených veličin nejvíce blíží skutečnosti.

Z experimentálního stanovení sypané hmotnosti ostřiv, které jsou uvedeny v tabulce 3.28 je možno sledovat průměrné hodnoty sypané hustoty jednotlivých ostřiv. Z důvodu malého množství, nebyla hodnocena sypaná hmotnost chromitového ostřiva. Dále z tabulky 3.28 je možno sledovat vedle průměrné hodnoty sypané hmotnosti i směrodatnou odchylku a variační koeficient sypané hmotnosti příslušného ostřiva. Z daných hodnot vyplývá, že nejvyšší sypanou hmotnost vykazuje zirkonové ostřivo a nejnižší korundové ostřivo. Do jisté míry přesnost hodnoty sypané hmotnosti ovlivňuje metodika sypaní a odměření odpovídajícího objemu ostřiva. Pro zpřesnění měření by bylo vhodné mít k tomuto účelu nádobu, která by svým celým objemem vymezovala potřebné množství ostřiva, v tomto případě (ml).

Sledování hustoty ostřiva bylo experimentálně poměrně náročné, vyžaduje velké množství ostřiva, které se ponořuje do kádinky s vodou. I zde z důvodu malého množství nebylo použito chromitové ostřivo. Hodnoty hustoty příslušných ostřiv jsou uvedeny v tabulce 3.29. Hustoty ostřiv uváděné v literatuře nebo jejich dodavateli se v některých případech liší od hodnot získaných na základě mého experiment. To může být zapříčiněno metodikou popř. tím, že bylo prováděno pouze jedno měření a jen s určitým množstvím vzorku ostřiva. Proto je nutno tyto hodnoty považovat za velmi orientační, avšak byla uvedena metodika jakou lze pro tyto experimenty použít. Z tabulky 3.29 je patrné, že nejmenší hustotu mezi našimi porovnávanými ostřivy má křemenné ostřivo III, která je 2370 [kg·m<sup>-3</sup>] a naproti tomu nejvyšší

hustotu má zirkonové ostřívo. Celkově lze konstatovat, že křemenná ostřiva (ŠH 33, ST 54 a III) se blížila uváděné hustotě, která činí  $2450 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ . Korundové ostřívo vykazovalo hustotu  $3500 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , avšak literatura udává  $4000$  až  $4100 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ , rozdíl je tedy cca 17 %.

## 5. ZÁVĚR

Bakalářská práce, která je zpracována na téma: „Sledování zrn ostřiva slévárenských formovacích a jádrových směsí“, byla rozdělena do dvou základních částí - teoretická a experimentální.

V teoretické části jsou shrnuty základní informace o ostřivech a jejich hodnocení. Proto v další rešeršní části jsou charakterizovány ostřiva a hlavní pozornost je zaměřena na způsob hodnocení ostřiv, který byl uplatněn také v experimentální části při sledování granulometrické skladby ostřiva.

Hlavní část práce - experimentální byla zaměřena na sledování granulometrické skladby ostřiva, především na sledování velikosti ostřiva u sedmi různých druhů ostřiva: chromitové ostřivo, ostřivo SH 33, křemenné ostřivo III, křemenné ostřivo ST 54, chrommagnezitové ostřivo, zirkonové ostřivo, korundové ostřivo. V další experimentální části byla sledována sypná hmotnost, hustota ostřiva a tvar zrn příslušných ostřiv. Poznatky a dílčí výsledky této bakalářské práce lze shrnout do těchto dílčích bodů:

1. Pro granulometrickou skladbu ostřiva je důležitá příprava navážky daného ostřiva pro prosévací stroj. Následně je důležité poctivě vysypat a zvážit obsah zachycený na příslušném sítu. Za pomoci změřených hodnot uvedených v tabulkách bylo hlavním cílem této práce také sestavení součtové křivky příslušného ostřiva v semilogaritmických souřadnicích a stanovení hodnot veličin:  $d_{50}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{25}$  a  $s$  (stejnoměrnost zrn ostřiva).

2. Pro experimenty prováděné za účelem stanovení hustoty a sypné hmotnosti ostřiva je třeba nejdříve určit metodiku. Při experimentech je třeba tuto metodiku dodržovat, aby se vypočítané hodnoty hustoty a sypné hmotnosti blížily co nejvíce hodnotám uváděným ve slévárenských publikacích. Stanovení hodnot hustoty ostřiva vyžaduje jeho poměrně velké množství. Proto byla hustota sledována pouze jedním experimentem. Pak je nutno brát toto měření za velmi orientační.

3. Porovnáním sledovaných hodnot u všech druhů ostřiva bylo zjištěno, že hodnoty jednotlivých druhů ostřiv jsou odlišná a pohybují se v tomto rozmezí:

*Střední velikosti zrn ( $d_{50}$ ) jsou od 0,14 do 0,34 [mm]. Hodnoty ( $d_{75}$ ) jsou od 0,10 do 0,28 [mm]. Hodnoty ( $d_{25}$ ) jsou od 0,16 do 0,42 [mm]. Hodnoty  $\log W$  od 48,05 do 71,83. Hustoty ostřiv ( $\rho_o$ ) jsou od 2370 do 4420 [kg·m<sup>-3</sup>]. Hodnoty sypné hmotnosti ( $\rho_s$ ) jsou od 1740 do 3220 [kg·m<sup>-3</sup>]. Povrchy částic ve frakci ( $S_{wi}$ ) jsou od 4 210, 25 do 13 208,19 [cm<sup>2</sup>]. Měrné povrchy frakcí ( $S_{wm}$ ) jsou od 670,13 do 958,63 [cm<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>].*

## 6. SEZNAM LITERATURY

- [1] JELÍNEK, Petr. *Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí: ostřiva*. Ostrava 2000, 138 s. ISBN 80-238-6118-2.
- [2] RUSÍN, K. a kolektiv. *Slévárenské formovací materiály*. Praha: SNTL, 1991. 392 s. ISBN 80-03-00278-8.
- [3] PETRŽELA, Lev. *Slévárenské formovací látky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955, 636 s.
- [4] HANOUZEK, Jan CHARANZA, Petr. *Moderní metody zpracování dat - matematická statistika pro každého*. 1. vyd. Praha 1992.
- [5] RUSÍN, Karel. *Disperzní formovací hmoty*. [Skripta]. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1981.
- [6] ŘEZNÍČEK, Michal. *Slévárenské písky*, <http://all4beachsports.com/pisek-2/>
- [7] VETÍŠKA, Aleš a kol. *Teoretické základy slévárenské technologie*. 1. vyd. Praha 1974.
- [8] NOVÁ, Iva. *Teorie slévání I - Teoretické základy technologických procesů*. [Skripta]. KSP, FS TU v Liberci 2006.
- [9] Slévárenský písek STŘELEČ – ST 54, [http://www.glassand.eu/pisky/st\\_54.html](http://www.glassand.eu/pisky/st_54.html)
- [10] SAND TEAM. *SAND TEAM* [online]. [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <http://www.sandteam.cz/>
- [11] JELÍNEK, Petr. *Slévárenské formovací směsi*. 1.vyd. [Skripta] VŠB Ostrava, Ostrava 1979
- [12] *OSTŘIVA SLÉVÁRENSKÝCH FORMOVACÍCH A JÁDROVÝCH SMĚSÍ* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2015 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/60139/2016\\_BP\\_Fusek\\_Jakub\\_161700.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/60139/2016_BP_Fusek_Jakub_161700.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- [13] *OSTŘIVA SLÉVÁRENSKÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2014 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=93742](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=93742)

