

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta strojní**

Studijní program B2341 – Strojírenství

Strojírenská technologie

Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Charakteristika jednotné formovací směsi

Characteristic of basic sand mixture

Miroslav Vondra

KSP – SM – B26

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Iva Nová, CSc. – TU v Liberci

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Machuta – TU v Liberci

## **Rozsah práce a příloh:**

**Počet stran:** 38

**Počet tabulek:** 3

**Počet příloh:** 0

**Počet obrázků:** 12

**Datum:** 28.5.2010

# **ANOTACE**

## **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

**Katedra strojírenské technologie**

**Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program : B2341 – Strojírenství

Student : Miroslav Vondra

Téma práce : Charakteristika jednotné formovací směsi

Characteristic of basic sand mixture

Číslo BP : KSP-SM-B26

Vedoucí BP : prof. Ing. Iva Nová, CSc. – TU v Liberci

Konzultant : Ing. Jiří Machuta – TU v Liberci

### **Abstrakt :**

Bakalářská práce se zabývá charakteristikou jednotné formovací směsi a popisuje její vlastnosti. Dále popisuje technologii pískového hospodářství ve firmě Unitherm, s.r.o. a technologii oživování těchto směsí. V samostatné kapitole je popsán postup zkoušení technologických vlastností směsi používané v této firmě. Současně je zde pro ucelenost popsána výroba forem a odlitků ve firmě Unitherm.

### **Abstract :**

The presented thesis describes the characteristic of basic sand mixture and its properties. The thesis also describes the foundry sand system and the sand reconditioning system which are used in the company Unitherm Ltd. The process of testing technological properties in this company is described in the separate chapter. For integrity is there in the thesis described producing the forms and the foundries in the Unitherm Ltd.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. května 2010

.....

Miroslav Vondra  
Husova ul.656/ 28  
460 17 Liberec 1

## **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 její skutečné výše.

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

28.5.2010

.....

**Miroslav Vondra**

## **Declaration**

I have been notified of at fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a konsultant.

28.5.2010

.....

**Miroslav Vondra**

## **Poděkování**

Tímto bych rád vyjádřil poděkování firmě Unitherm, s.r.o. sídlící v Jablonci nad Nisou, zejména panu Ing. Miroslavu Tarabovi za odborné rady a za čas, který mi věnoval. Dále mé poděkování patří paní prof. Ing. Ivě Nové, CSc a panu Ing. Jiřímu Machutovi za odborné vedení při řešení a vypracování této bakalářské práce.

## OBSAH

|                                                                                   | Str.      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Seznam použitých symbolů a zkratk                                                 |           |
| <b>1. ÚVOD</b>                                                                    | <b>8</b>  |
| <b>2. CHARAKTERISTIKA FORMOVACÍ SMĚSI</b>                                         | <b>9</b>  |
| 2.1. Složení směsí                                                                | 11        |
| <b>3. VLASTNOSTI FORMOVACÍCH SMĚSÍ</b>                                            | <b>19</b> |
| <b>4. CHARAKTERISTIKA JEDNOTNÉ BENTONITOVÉ SMĚSI</b>                              | <b>21</b> |
| 4.1. Charakteristika jednotné formovací směsi používané ve firmě Unitherm, s.r.o. | 21        |
| 4.2. Zkoušení technologických vlastností směsi                                    | 24        |
| 5. Pískové hospodářství ve firmě Unitherm, s.r.o.                                 | 29        |
| 5.1. Oživení směsi                                                                | 30        |
| <b>6. VÝROBA FOREM A TYPŮ ODLITKŮ VE FIRMĚ UNITHERM, s.r.o.</b>                   | <b>33</b> |
| <b>7. DISKUZE POZNATKŮ</b>                                                        | <b>34</b> |
| <b>8. ZÁVĚR</b>                                                                   | <b>36</b> |
| <b>9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>                                               | <b>38</b> |

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

|                                            |                                        |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| $d_{50}$ - středního průměr zrna           | [mm]                                   |
| $\lambda$ - součinitel tepelné vodivosti   | [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]  |
| $c$ - měrná tepelná kapacita               | [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ] |
| $\rho$ – hustota                           | [kg.m <sup>-3</sup> ]                  |
| $\alpha$ - součinitel teplotní vodivosti   | [m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ]     |
| $D$ – prodyšnost formovací směsi           | [n.j.p.]                               |
| $\varphi$ - tekutost                       | [Pa <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]   |
| $R_{mt}$ - pevnost formovací směsi v tlaku | [kPa]                                  |
| $t_t$ - teplota tání                       | [C°]                                   |
| $SiO_2$ - oxid křemičitý                   |                                        |
| $FeO$ - oxid železnatý                     |                                        |
| $MnO$ - oxid manganatý                     |                                        |
| $Al_2O_3$ - oxid hlinitý                   |                                        |
| JBS – Jednotná bentonitová směs            |                                        |
| EU – Evropská Unie                         |                                        |



## 1. ÚVOD [8]

V současné době, především z ekologického hlediska mají svůj význam formovací směsi první generace, kam se řadí také jednotná formovací směs. Tyto směsi se nejčastěji používají pro výrobu netrvalých forem určených k výrobě odlitků z litiny, avšak existují také slévárny, které využívají jednotnou směs pro výrobu forem určených k odlévání slitin hliníku. Jednou z těchto sléváren je např. Unitherm, s.r.o.

Společnost Unitherm, s.r.o. byla založena v 1991. V roce 1992 se společnost stává obchodním zástupcem několika významných dánských firem podnikajících ve výrobě měřicí a regulační techniky v oblasti vytápění.



Obr.1 Areál firmy Unitherm, s.r.o. [8]

V roce 1999 byla rozšířena podnikatelská aktivita firmy o oblast slévárenství. Byla pronajata a koncem roku odkoupená část bývalé firmy TPP ELITEX Jablonec nad Nisou – slévárna hliníkových slitin do pískových forem viz. obr.1. Slévárna se velmi rychle rozvíjí a v roce 2000 se rozšiřuje o kokilovou slévárnu a to převážně výrobou nízkotlakých odlitků pro textilní průmysl. V roce 2001 se s požadavkem zákazníků rozrůstá o obráběcí halu a o unikátní impregnační linku pro impregnování tlakotěsných odlitků. V dalších letech se firma Unitherm rozdělila na dvě divize – divize Energo a divize Slévárna a obrobna. V posledních letech

slévárna rozšiřuje své portfolio zákazníků po celé Evropě, ale také pronikla na trh v USA.

Slévárna zavedla a používá systém jakosti a environmentálního managementu a splňuje normy EN ISO 9001:2000 a ČSN EN ISO 14001:1997.

Získání nové a složitější práce vede i k zpřísnění požadavků na kvalitu odlitků. Jedním z parametrů je zvýšení kvality ohledně porozity odlitků. Odlitky z hliníkových slitin jsou velmi náchylné na porozitu a to z důvodu vysoké afinity kyslíku k hliníku. Pro stanovení stupně porozity při odlévání do pískových forem se nyní používá norma ČSN 1559-4. Tato norma rozlišuje stupeň 1 až 5.

Dalšími požadavky na kvalitu odlitků je nutné dosažení mechanických vlastností slitin (vysoká pevnost v tahu za podmínek vysoké tažnosti).

V poslední řadě je nutné zaručit tlakotěsnost odlitků na požadavek 3-6 barů (zkouška nepropustnosti vzduchem).

V této souvislosti je třeba uvést, že slévárna Unitherm, s.r.o. Jablonec n. Nisou je výrobce odlitků ze slitin hliníku odlévaných do pískových a do kovových forem. Při odlévání do pískových forem se používá jednotná bentonitová formovací směs. Také na téma jednotná formovací směs je řešena tato bakalářská práce: „Charakteristika jednotné formovací směsi“.

## **2. CHARAKTERISTIKA FORMOVACÍCH SMĚSÍ [1], [2], [5]**

Z formovacích směsí se přechováním zhotovuje jednorázová (netrvalá) forma. Na rozdíl od forem trvalých (kovových) a polotrvalých slouží pouze pro jedno odlití. Po odlití a ztuhnutí odlitku se tato forma rozbije a směs může být použita pro přípravu nové směsi a přechování nové formy. Do jednorázových forem se nejčastěji odlévají litiny, popř. některé slitiny hliníku nebo mědi. Netrvalé formy nejsou dobrými vodiči tepla a odlitky v nich tuhnou poměrně dlouho. Z důvodu většího odvodu tepla a zamezení vzniku staženin v odlitku se můžou použít kovová tělíska, které nazýváme chladítka. Chladítka se vkládají do dutiny formy. Pro zpevnění povrchu formy se používají různé postřiky a přípravky.

Pro průmyslovou praxi definice ideální formovací směsi by mohla znít takto:

„Ideální formovací směs je levná, dostatečně tekutá látka. Je nesmáčivá a chemicky netečná vůči litému kovu. Má dostatečnou prodyšnost pro unikání plynů

a vzduchu z formy při lití. Je pevná a rozměrově neměnná až do ztuhnutí dostatečně tlusté kůry odlitku, pak se rozpadá v důsledku mechanických sil na výchozí stav a je schopna opětovného použití [5].

Formovací směsi, která je sypána přímo na model a rovnoměrně ho přikrývá, říkáme směs modelová. Přichází do styku s tekutým kovem a je připravována z nových surovin. Zbývající objem formy pak vyplníme výplňovou formovací směsí. U této směsi není důraz na kvalitu tak velký jako u modelové směsi. Z tohoto důvodu může být připravována z již použitých slévárenských jader jako směs vratná.

Pro výrobu jader používáme směs jádrovou. Jedná se o velmi kvalitní směs, která se připravuje z pravidla z nových surovin vysoké jakosti (kladou se na ni vyšší nároky než na směs modelovou). Jádrová směs je velmi tepelně namáhána a musí odolávat pronikání taveniny mezi póry jádra. Musí mít také dobrou rozpadavost po odlití.

Jestliže vyplňujeme celý objem formovacího rámu včetně líce formy jedním typem formovací směsi, jde o jednotnou formovací směs. Používá se při technologii jednotných bentonitových směsí. Jedná se o již jednou použitou směs.

Podle obsahu volné vody (voda, kterou lze ze směsi odstranit sušením při teplotě 100°C) lze směsi dělit na:

- Bezvodé směsi – obsahují do 0,1% vody. Nejsou to směsi na bázi jílových pojiv, ale plastifikátorem pojiva jsou organické sloučeniny.
- Polosuché směsi – obsahují do 3% vody. Tyto směsi jsou určeny pro strojní formování, proto nepotřebují velké plastifikační vlastnosti.
- Směsi na syrovo – obsahují do 5% vody. Nemusí se sušit.
- Směsi na přisušení – obsahují do 7% vody. Používají se pouze tam, kde se suší jenom líc formy. Po vysušení je třeba ihned odlévat, aby nedošlo k jeho opětovnému navlhnutí.
- Směsi na sušení – obsahují více než 7% vody. Formy se suší v celém objemu, kdy odstraňujeme volnou vodu při 100°C.

Formovací směsi mohou být také syntetické, kdy je směs připravována z jednotlivých komponent (pojivo, ostřivo atd.) nebo přírodní. Přírodní formovací

směsi obsahují křemenné ostřivo, některá jílová pojiva (kaolinit, illit, méně montmorillonit) a vodu.

## **2.1 Složení směsí [1], [2], [3], [4], [5], [9], [10]**

Formovací směs se skládá ze dvou základních komponent a to ostřiva a pojiva. Ostřivo je zrnitý materiál, který tvoří hlavní objem směsi. Pojivo je látka, která tvoří pojivovou soustavu. Dodává směsi plasticitu a vaznost za syrova. Vlastnosti připravované směsi můžeme zlepšit přidáním různých přísad. Například jako přísada na zlepšení rozpadavosti po odlití se může použít bauxit nebo bukové piliny, pro zlepšení povrchové jakosti přidáváme mleté uhlí, aktivované moučky nebo oleje.

**Ostřivo** - Zrnitý žáruvzdorný materiál s velikostí částic nad 0,02 mm. Částice menší než 0,02 mm řadíme do vyplavitelného podílu (stanovíme plavící zkouškou). Ostřivo tvoří až 98% hmotnosti formovací směsi. Je nejdůležitější složkou formovací směsi, tvoří její nosnou část. Nejčastěji používané ostřivo je křemenný písek. Tvar, velikost a stejnoměrnost zrn ostřiva má velký význam pro výsledné technologické vlastnosti formovacích směsí. Ideální tvar ostřiva je koule. Nejvíce se kouli přibližují písky váte. Tyto písky nevznikly v jejich nalezištích, ale byly transportovány vlivem větru a vody z velké vzdálenosti. Vlivem vzájemného tření se zakulatily.

Zrna ostřiva můžou být hranatá, polohranatá, kulatá a složená.

Hranatá zrna můžeme dále dělit na hranatá se zaoblenými hranami, ostrohranná, tříštnatá.

Ostřiva můžeme dělit podle vzniku na přirozená (křemenné písky, olivín, zirkon) a umělá (šamotový lupek, korund, kovové kuličky).

Volba druhu ostřiva musí vycházet z chemické povahy odlévané slitiny, druhu odlévané slitiny, lící teploty, tvarové složitosti a tloušťky stěn odlitku, druhu pojivové soustavy a ekonomické dostupnosti a ceny směsi i s ohledem na získání maximální pevnosti s minimálním obsahem pojiva [2].

Mezi nejdůležitější vlastnosti ostřiva patří hranatost a zrnitost (granulometrie). Rozhodují o objemové hmotnosti, pórovitosti, prodyšnosti a propustnosti směsi, tepelné dilataci a vzniku napětí z brzděné dilatace, tepelné vodivosti směsi a

dokonce do značné míry ovlivňují pevnost forem a jader [2]. Vyšší hranatost ostřiva má za následek nižší spěchovatelnost.

**Chemická povaha ostřiv** - je důležitou vlastností, rozlišujeme ostřiva kyselá, neutrální a zásaditá.

Kyselá, resp. kyselé ostřivo je nejrozšířenějším typem ostřiv. Kyselá ostřiva, se nachází v přírodě, zde je označujeme jako křemenné písky. Při jejich použití musíme dávat pozor, aby nereagovaly se zásaditými oxidy legovaných ocelí za vzniku sloučenin s nižší žárovzdorností. V důsledku těchto chemických reakcí vznikají povrchové vady odlitků - připečeniny a zapečeniny [1].

Základem křemenných ostřiv je křemen, který je nejrozšířenější minerál, vyskytující se v přírodě v přiměřeně zrnitém stavu a jeho vlastnosti, i za vyšších teplot, vyhovují běžným potřebám. Na křemenné ostřivo jsou kladeny vysoké nároky z hlediska mineralogické a chemické čistoty, tvaru zrn a granulometrické skladby. Z hlediska tvaru zrn je vhodný geometrický tvar koule, hlavně z hlediska úspory pojiva a vytvoření optimální vrstvy na povrchu ostřiva. Ostřivo tvaru koule je vhodné k výrobě jader. Další charakteristiky křemenu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab.1 Charakteristika křemene [3], [5]

| Kategorie            | Minerál                                   |
|----------------------|-------------------------------------------|
| Chemický vzorec      | $SiO_2$                                   |
| Barva                | rozmanitá                                 |
| Vzhled krystalu      | krystalovaný                              |
| Krystalická soustava | hexagonální                               |
| Tvrdost              | 7 [°Mohse]                                |
| Lesk                 | skelný                                    |
| Štěpnost             | neštěpný                                  |
| Vryp                 | bílý, šedý                                |
| Hustota $\rho$       | 2600 [ $kg \cdot m^{-3}$ ]                |
| Rozpustnost          | kyselina fluorovodíková                   |
| Teplota tání $t_t$   | 1700°C                                    |
| Měrné teplo $c$      | 0,745 [ $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ] |

Do jisté míry nevýhodou křemene je, že při ohřevu prodělává polymorfní přeměny, které se projevují rozměrovými změnami. Tyto změny mohou vést až k porušení pevnosti formy. Křemen je kyselá chemická sloučenina reagující se zásaditými látkami. Tyto reakce mají za následek sníženou žárovzdornost.

Křemen může existovat v několika krystalických modifikacích a jedné modifikaci amorfní a to:  $\alpha$ -křemen,  $\beta$ -křemen (základní modifikace, nacházející se v přírodě),  $\alpha$ -cristobalit,  $\beta$ -cristobalit,  $\alpha$ -tridymit,  $\beta$ -tridymit a křemenné sklo.

Přeměna  $\beta$ -křemene v  $\alpha$ -křemen se projevuje roztažností křemenných zrn při ohřevu povrchových vrstev formy, jejich praskání nebo odlupování.

Hlavní požadavky na křemenný písek je jeho vysoká mineralogická čistota, minimální hranatost, co možná nejmenší obsah jemných podílů, nežádoucí je obsah hrubého zrna nad 0,5–0,6 mm. Povrch zrn musí být čistý a vysoce aktivní. Písky pro ocel musí obsahovat maximálně 1% živců (mají nízký bod tavení, snižují teplotu spékání písků).

Na splnění hlavních požadavků na kvalitní křemenný písek bude mít rozhodující vliv jeho původ. Dodatečné úpravy jsou velmi nákladné a náročné. Křemenné písky obsahují nežádoucí minerály, které mohou mít nepříznivý vliv na kvalitu odlitků. Jedná se zejména o živec, slídu, uhličitany, které způsobují spékavost směsi a tím zhoršení kvality povrchu odlitků. Maximální obsah těchto, pro slévárenství nepříznivých, minerálů ve formovací směsi nesmí překročit 3%. Křemenné písky také obsahují minerály, které mají větší hustotu než oxid křemičitý (turmalín, glaukonit, rutil, limonit, magnezit, ilmenit aj.)

ČR patří k zemím, které mají velké zásoby vysoce jakostních písků. Jsou těženy ve třech hlavních oblastech: česká křídová tabule, moravská křídová tabule, písky váte a kaolinové.

Mezi hlavní nevýhody křemenných písků patří jeho zvýšená reaktivnost za vysokých teplot s oxidy železa a jiných kovů. Jak již bylo řečeno, křemen je sloučenina kyselá reagující s látkami zásaditými za vzniku sloučenin o snížené žárovzdornosti.

Např. reakcí  $SiO_2$  a  $FeO$  se tvoří fayalit. Vzniklý fayalit je dáván do souvislosti s pronikáním kovu do slévárenské formy a vznikem zapečenin (bod tavení fayalitu je udáván 1205°C). Jestliže přistoupí do reakce ještě  $MnO$ , teplota tavení se dále snižuje. Poté vznikne ternární eutektikum  $FeO - SiO_2 - MnO$ .

Z tohoto důvodu je nutné u legovaných ocelí nebo masivních ocelových odlitků použít ostřiva např. zásaditá ostřiva s vyšší žárovzdorností.

Nevýhodou křemenu také je, že má neplynulou tepelnou dilataci, která je ve slévárenské praxi velmi nevýhodná. V porovnání s jinými ostřivy je jeho tepelná dilatace podstatně vyšší. Zvýšené tepelné napětí má za následek slévárenské vady (zálupy, výronky, zadrobeniny, nárůsty). Abychom těmto vadám mohli předcházet, je výhodné zaměnit křemenné ostřivo za ostřivo s plynulejší křivkou s nižší hodnotou tepelné dilatace, bez modifikačních změn.

Další problém s používáním křemenného písku je spojen se vznikem cristobalitu, což je vysokoteplotní forma oxidu křemičitého, který vzniká v teplotním intervalu 900 až 1000°C pozvolnou přeměnou. Rychlost přeměny závisí na slohu a jakosti křemene a na přítomnosti katalyzátorů. Dochází též k přeměně krystalické mřížky (z hexagonální na krychlovou). Přeměna je za normálních podmínek nevratná.

Proces probíhá velmi pomalu, jestliže předpokládáme chemicky čistý křemen, hrubě krystalický, mající málo defektní mřížku. Rovnovážná teplota modifikační změny leží mezi 1050 až 1100°C, což je doprovázeno růstem o 15,7% [2].

V nerovnovážných podmínkách slévárenské formy je tato přeměna ovlivněna obsahem minerálů tzv. katalyzována přítomností kationtů.

Na cristobalitickou přeměnu má vliv nejen přítomnost katalyzátorů, ale také velikost zrn křemene. Přeměna probíhá velmi rychle, jestliže použijeme malá zrna. U hrubších zrn přeměna probíhá ve dvou fázích. V první fázi vznikají na povrchu zrn zárodky cristobalitu a v druhé fázi cristobalitizace probíhá do hloubky zrn. Rychlost procesu první fáze je pomalejší než u druhé fáze. U jemnozrnného křemene je rychlost u obou fází stejná.

Důsledkem cristobalitické expanze je, že při vyšším tepelném namáhání forem a hlavně jader, vyrobených z čistých křemenných ostřiv za přítomnosti mineralizátorů, nemůžeme zaručit rozměrovou a tvarovou přesnost odlitků.

Zapečeniny především u ocelových odlitků obsahují podíl cristobalitu. Právě cristobalitická expanze má v mechanismu tvorby zapečenin důležitou roli.

Zvětšující se jádra trhají vrstvu povrchové ochrany

Jestliže dochází k rychlému natuhávání kovu na povrch formy a nedochází k odtavení kůry, cristobalitická expanze se projevuje zvýšenou hodnotou zbytkového napětí, což nepříznivě ovlivňuje rozpadavost a čistitelnost pravých jader.

Cristobalitickou expanzi lze zmírnit přísadou bauxitu, oxidů Fe, jílu atd. Tyto přísady zvyšují teplotu počátku cristobalitické expanze za hranici teplot slévárenské formy nebo jádra.

Cristobalit je biologicky vysoce aktivní modifikací  $SiO_2$ . Je proto dáván do souvislosti se vznikem silikózy. Je to druh chronického plicního onemocnění způsobené dlouhodobým vdechováním jemných částecek křemenného prachu s velikostí částic 0,0002 – 0,003 mm. Pracovníkům, kteří dlouhodobě vdechují křemičitý prach, hrozí kromě onemocnění silikózou i zvýšené riziko onemocnění rakovinou plic. Nejdůležitějším příznakem silikózy je kašel a dušnost. V poslední době se objevují zprávy o tom, že hlavním zdrojem silikózy je modifikace oxidu křemičitého cristobalit. Expozice prachem musí být měřena a kontrolována.

Ochránit pracovníky před silikózou lze např. přidáním přísad do formovacích směsí a tím oddálit cristobalitizaci do vysokých teplot a zároveň dodržovat platné zákonné limity (NPK – nejvyšší přípustná koncentrace).

Neutrální ostřiva – vykazují chemicky neutrální charakter. Mezi tato ostřiva se řadí šamot, olivín nebo korund považujeme za vysoce univerzální. Šamot je vypálený žáruvzdorný jíl, který obsahuje nejméně 30%  $Al_2O_3$ . Další složka této žáruvzdorné hmoty je  $SiO_2$  [4]. Teplota tavení šamotu je 1850°C. Šamotové ostřivo je používáno pro těžké ocelové odlitky nebo těžké odlitky ze šedé litiny. Výhodou tohoto ostřiva je, že neprodělává při ohřevu žádné polymorfní přeměny. Olivín je v podstatě tuhý roztok dvou křemičitanů, forsteritu a fayalitu s teplotou tání 1870°C, tvrdostí 7 a hustotou  $3200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Nevýhodou olivínu je velký plynatost, výhodou pak téměř plynulá tepelná dilatace. Korund se v přírodě nachází jako minerál safír a korund. Ve slévárenské praxi se používá uměle vyrobený pod názvem elektrokorund  $Al_2O_3$  s obsahem 53% Al. Hustota se pohybuje v rozmezí 3300-4000  $\text{kg} \cdot \text{m}^3$  a bod tavení 2050°C. Tvrdost korundu je 9,0.

Zásaditá ostřiva – mezi zásaditá ostřiva patří např. magnezit, který se vyrábí z horniny magnezit. Tato hornina obsahuje kromě čistého minerálu i vápenaté, křemičité a železité sloučeniny. Zrnitý magnezit využíváme zpravidla pro těžké odlitky z manganových ocelí. Jemně mletý magnezit se s výhodou používá jako plnivo v barvivech slévárenských forem. Pro jeho vysokou žáruvzdornost se uplatňuje i jako vyzdívka tavících pecí.



**Pojivo** - je druhou nejdůležitější složkou ve formovací směsi. Pojivo se nabaluje na jednotlivá zrna ostřiva a zajišťuje vazbu mezi jednotlivými zrny. Pojivo dodává směsi plasticnost a schopnost směsi kopírovat tvar dle modelu. Spojením ostřiva a pojiva vzniká pevnost formovací směsi.

Pojiva ve slévárenské praxi lze dělit podle generací.

Pojiva I. generace - do první generace patří jílová pojiva. Mezi částicemi ostřiva a pojivem působí síly přílnavé, mezi částicemi pojiva pak síly kohezní. Rozeznáváme tři typy jílu. Kaolinitický jíl (kaolinit), který se vyznačuje vynikající žáruvzdorností ale malou bobtnavostí. Nejhlavnějším představitelem illitických jílu je glaukonit. Používá se především pro odlévání těžkých odlitků z litiny. Poslední skupinu tvoří montmorillonitické jíly. Jestliže pojivo obsahuje 75-80% montmorillonitu, pak těmto jílu říkáme bentonit. Jako naleziště je uváděna Francie. Bentonit je měkká, jemnozrnná, nehomogenní různobarevná hornina, jejíž obsah se skládá z větší části z jílového minerálu montmorillonitu. Bentonit vzniká zvětráváním sopečných hornin z čediče, diabasu a hlavně jejich popela. Bentonizace probíhá především v zásaditém prostředí.

Kromě montmorillonitu bentonit obsahuje i další jílové minerály (kaolinit, illit, beidellit), sloučeniny železa, křemen, živce, sopečné sklo.

V České republice jsou bohatá naleziště bentonitu s většinovým podílem Ca-Mg montmorillonitu, který však nedosahuje kvality přírodních Na-bentonitů. Přírodní Na-bentonit má vysokou koncentraci montmorillonitu, vaznost a termolabilitu, což umožňuje použití při výrobě těžkých odlitků na syrovo. Proto je nutné pomocí iontové výměny (natrifikace) převést Ca-Mg bentonity na Na bentonity.

Proces natrifikace se skládá z promíchání bentonitu sodou, procesu zrání, což je doba potřebná k iontové výměně, sušení v ideálním teplotním režimu a mletí.

Výhoda natrifikace je vysoká bobtnavost bentonitu, snížení tepelného napětí formy z brzděné tepelné dilatace ostřiva, pokles citlivosti v převlhčeném stavu tzn. prodlužování kritické doby do vzniku zálpů, růst termostability pojiva, což vede ke snížení spotřeby bentonitu v jednotných bentonitových směsích a vyšší sorpční vlastnosti plynné fáze [16].

Naopak mezi zápory natrifikace můžeme řadit přebytek Na-soli v jednotné bentonitové směsi, což má za následek vyšší stupeň oolitizace, rychlejší ztrátu vlhkosti a horší rozpadavost formy.

Zásoby bentonitu jsou odhadovány na více než 1400 mil. tun.

Bentonit jako pojivo lze nahradit pojivem, které obsahuje grafit nebo umělé polymery.

Mezi charakteristické vlastnosti bentonitu patří výborná pojivová schopnost, značná sorpční schopnost, vysoká plasticita, vnitřní bobtnavost ve styku s vodou, termolabilita.

Do formovací směsi je nutné průběžně přidávat nový bentonit z důvodu vytvoření formovací směsi. Bentonit se přidá k novému ostrivu. Dalším důvodem pro přidání nového bentonitu je nahrazení znehodnoceného a již použitého bentonitu, který ztratil své pojivové vlastnosti

Hlavní příčinou ztráty pojivových schopností bentonitu je jeho poškození působením vysokých teplot tekutého kovu na formu.

Bentonity, které obsahují především draslík, hořčík, vápník mají omezenou bobtnavou schopnost.

V dnešní době je využívání bentonitu ve světě i u nás na vzestupu. Bentonit má největší uplatnění ve slévárenství jako ekologické pojivo do bentonitových formovacích směsí. Není to však zdaleka jediné odvětví, kde se bentonit používá. Bentonit se s výhodou využívá ve stavebnictví jako plastifikační přísada do betonů a omítek, těsnění hrází, tunelů, vodních děl, podloží komunikací a letišť. Jako plastifikátor se používá i v keramickém nebo farmaceutickém průmyslu při plastifikaci keramických hmot, masť, prášků, léčiv, kosmetických krémů. Bentonit nachází využití i v rostlinné výrobě jako kondicionér půd, kompostování, zúrodnování písčitých a propustných půd a v živočišné výrobě jako pojivo granulových krmiv, přísada do krmných směsí, zahušťovadlo kejdy, sorpční podestýlka. V oblasti vodního hospodářství se používá k čištění odpadních vod od těžkých kovů, ropných látek, pigmentů, tuků a dalších nečistot, bentonit může tvořit těsnící nepropustné vrstvy pod trasami ropovodů a různých kapalných produktů, benzínových a ropných nádrží, technických ploch atd. Může tvořit tixotropní suspenzi pro vrtné výplachy nebo sorbent vzdušné vlhkosti v obalové technice pro zámořskou přepravu a pro skladování korozivních výrobků. V potravinářském průmyslu bentonit čistí, odbarvuje a stabilizuje rostlinné nebo živočišné tuky a oleje. Také číří vína, mošty, stabilizuje piva, čistí cukernaté šťávy. Vlastnosti bentonitu oceňují i chovatelé drobného zvířectva, protože z bentonitu se vyrábějí hygienické podestýlky k sorpci exkrementů a zápachu (kočkolit).

Součástí formovacích směsí I. generace je také voda, která slouží jako plastifikátor a dává směsi vlastnosti pro její formování např. formovatelnost, tekutost atd.

Pojiva II. generace jsou založena na chemické podstatě pojení, buď za tepla nebo za studena. Do této skupiny pojiv patří organická pojiva, jako např. přírodní oleje, umělé pryskyřice, sacharidy, která se používají především k výrobě jádrových směsí, a anorganická pojiva vodní sklo, sádra, cement atd.

Pojiva můžeme dělit i podle jejich původu. Anorganická a organická. Mezi anorganická pojiva řadíme některé typy jíílů, které dodávají formovací směsi různý stupeň vaznosti již v syrovém stavu nebo vytvrzují po chemickém nebo fyzikálním zpevnění. Mezi částicemi ostřiva a pojivem působí síly adhezní (přilnavé), mezi částicemi pojiva pak síly kohezní.

Všechny druhy jíílů jsou pojivé pouze s přísadou vody (vlhký stav). Pojivost se kontroluje výslednou vazností a prodyšností formovací směsi.

Anorganická pojiva můžeme s výhodou používat pro lití za syrova. Kladem anorganických pojiv je jejich malé vyvíjení plynů při odlévání. Naopak mezi nedostatky patří zhoršená rozpadavost po odlití. Anorganická pojiva teplem roztaveného kovu nevyhořívají.

Organická pojiva tvoří velkou oblast formovacích materiálů. Mezi charakteristické vlastnosti organických pojiv patří vysoká tekutost za syrova, značný vývin plynů při lití, tepelná destrukce a vyhořívání při lití, dobrá rozpadavost po odlití. Organická pojiva jsou zdravotně závadná.

Pojiva III. generace - třetí generace jsou založena na fyzikálním účinku pojení s ostřivem. Fyzikální účinek může být realizován pomocí magnetického pole, zmrazování nebo vakua. Pro magnetický způsob pojení se využívá speciální ostřivo, které není ve slévárenské praxi obvyklé. Jedná se o jemné broky z magnetického materiálu.

### 3. VLASTNOSTI FORMOVACÍCH SMĚSÍ [1], [2], [5]

Formovací směsi vykazují vlastnosti fyzikální, které jsou důležité při vytváření tepelných poměrů mezi tuhnoucí taveninou, resp. odlitkem a slévárenskou formou. Mezi fyzikální vlastnosti patří [5]:

Tepelná vodivost – je určena součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda [Wm^{-1}K^{-1}]$ . Je rozhodující pro přestup tepla z tuhnoucího odlitku do formy. Tepelná vodivost je definována množstvím tepelné energie, která projde za jednotku času jednotkou plochy, kolmou ke směru tepelného proudu, dělené teplotním spádem. S vysokou pórovitostí formovacích směsí tepelná vodivost klesá. Jestliže zvyšujeme vlhkost směsi, vodivost stoupá.

Měrné teplo  $c [J kg^{-1}K^{-1}]$  - závisí na druhu formovací směsi, její vlhkosti a teplotě. Se vzrůstající hodnotou vlhkosti a teploty směsi se zvyšuje i měrné teplo.

Hustota  $\rho [kg m^{-3}]$  - je určena intenzitou spěchování formy. Se zvýšenou objemovou hmotností se zvyšuje také tepelná vodivost.

Teplotní vodivost – je určena součinitelem teplotní vodivosti  $a [m^2s^{-1}]$ . Udává hodnotu teplotního spádu ve formovací směsi při jejím náhlém zahřátí a ochlazení.

Chemické vlastnosti směsi ukazují odolnost při styku taveniny s formou. Kyslíčníky, které vznikají v roztaveném kovu při tavení a odlévání chemicky reagují s formovací směsí. Stejně reaguje vodní pára a plyny, které vznikají při styku odlévaného kovu s formovací směsí. Na povrchu dutiny formy tak vznikají produkty reakcí, které pronikají do podpovrchových vrstev formy, nebo jsou odnášeny s roztaveným kovem.

Pro výrobu odlitků jsou též důležité i technologické vlastnosti.

Technologické vlastnosti směsi za syrova:

Vaznost  $R_{mt} [kPa]$  – Je definována jako schopnost směsi zachovat tvar určený formováním a stále překonávat odpor způsobený deformačními silami bez porušení souvislosti [5].

Houževnatost při pádu [%] – odpor proti přetvoření při vysokém vnitřním napětí. Houževnatost se měří rázovou zkouškou nebo Shatter-Testem. Tímto testem se určuje tzv. hodnota tříštivosti, kdy z předem definované výšky pouštíme zkušební váleček.

Volná tekutost  $\varphi$  [%] – schopnost pohybu směsi do stran ve směru kolmém k působení vnější síly [5]. Tekutější směs se lépe spěchovává a struktura formy je rovnoměrnější.

Formovatelnost [%] – schopnost měnit tvar vlivem vnějšího zatížení podle určeného modelu, aniž by docházelo k poruchám celistvosti.

Spěchovatelnost [%] – schopnost směsi k přetváření a k dosažení určité objemové hmotnosti v uzavřeném objemu vlivem působících vnějších zatížení. Závisí na vnitřním odporu směsi proti přetváření a na vnějším napětí [5].

Prodyšnost D [n.j.p.] – schopnost směsi propouštět při spěchování plyny a páry. Vyjadřuje se počtem  $m^3$  vzduchu o teplotě 15 až 25°C, který se protlačí za 1 sekundu plochou 1  $m^2$  zkoušené směsi a délce 1 m při přetlaku 1 Pa [17]. V praxi jednotkou prodyšnosti. Závisí na zrnitosti směsi a poměru jednotlivých komponent.

Tvrdost – schopnost formovací směsi čelit mechanickému namáhání při spěchování. Tvrdost závisí na skladbě formovací směsi a způsobu jejího zpevnění.

Drobivost – projevuje se u směsí, které byly málo plastifikovány. Nejvhodnějším vyjádřením drobitosti je hodnota tříštivosti.

Technologické vlastnosti směsi po vysušení nebo po chemickém zpevnění:

Pevnost [kPa] – schopnost odolávat mechanickému namáhání bez trvalého přetvoření. Stanovuje se zkouškou tahem nebo ohybem.

Otěruvzdornost – definuje se jako odolnost vysušené směsi proti vnikání ostrých hrotů. Je závislá na podmínkách sušení, vytvrzování a na složení směsi.

Navlhavost [%] – formy nebo jádra z hydrofilních směsí mohou přijímat ze vzduchu či nátěrů vodu. To může vést ke vzniku zálpů, k odvařeninám, k poklesu pevnosti.

Technologické vlastnosti směsi za vysokých teplot:

Pevnost [kPa] – formovací materiál musí ztrácet pevnost s narůstáním pevnosti kovu.

Zhroutivost – schopnost rozpadu formovací směsi po určité době působením tepla z roztaveného kovu [5]. Zhroutivost je důležitá především pro jádrové směsi.

Plynatost – je charakterizována jako největší množství plynů vyvíjených do uzavřeného prostoru působením určité teploty, vztahené na plochu zkoušené směsi [5].

Tepelná roztažnost – formy a jádra mění svou velikost vlivem tepla z roztaveného kovu. Na povrchu formy vzniká vnitřní pnutí, které má za následek vznik zálpů a praskání formy.

#### **4. CHARAKTERISTIKA JEDNOTNÉ BENTONITOVÉ SMĚSI [11], [13]**

Jednotná formovací směs je směs, která vytváří líc slévárenské formy a současně s touto směsí je vyplněn celý prostor formy. Křemenné ostřívo pojené bentonitem je dosud nejpoužívanější formovací směs pro výrobu pískových forem.

Výhody jednotné bentonitové směsi jsou levné a dostupné suroviny, efektivní zhotovování forem, lze opakovaně použít ostřívo i pojivo pouze s malým oživením, dostatečná rozměrová přesnost a povrchová jakost, široká oblast použití (ruční formování i automatické formovací linky), vznikající odpad je ekologicky málo škodlivý.

Jednotná bentonitová směs je směs vratná, která obíhá a je průběžně upravována a ožiována v každém technologickém oběhu. Správně upravená a oživená formovací směs dosahuje původních technologických vlastností. Ve slévárenské praxi se stupeň využití směsi pohybuje kolem 96% [13].

##### **4.1 Charakteristika jednotné formovací směsi používané ve firmě**

###### **Unitherm, s.r.o. [2], [9], [10], [12]**

Formování u pískového odlévání ve firmě Unitherm, s.r.o. se provádí do jednotné bentonitové směsi nebo v případě složitějších odlitků do vazné směsi. Firma Unitherm s.r.o. odebírá pro své potřeby křemičitý písek dodávaný firmou Sklopísek Střeleč, a.s., jejíž areál je znázorněn na obr.2. Lokalita Střeleč se nalézá 12 km severozápadně od okresního města Jičína u obce Hrdoňovice. Těží se zde od roku 1939. Ložisko vzniklo usazením sedimentů v relativně mělkém moři křídového útvaru druhohorního stáří. Ložisko tvoří pískovce zpevněné kaolinitickým pojivem s obsahem  $SiO_2$  nad 98,5%. V tabulce 2 jsou charakteristické vlastnosti ostřiva, resp. použitého křemenného písku.

Tab.2: Charakteristika křemenného písku [9]

| Charakteristika         | Vlastnost          |
|-------------------------|--------------------|
| Barva                   | bílo-šedá až žlutá |
| Bod tání                | 1780 °C            |
| Hustota                 | 2,65 g/ml          |
| Tvrdost                 | 7 Mohs             |
| Ztráta žíháním          | 0,23%              |
| Spékavost               | 1560°C             |
| Vlhkost v mokrému stavu | 8,0 % max.         |
| Vlhkost v sušeném stavu | 0,2 % max.         |
| pH                      | 8                  |
| Tvar zrna               | ostrohranné        |
| Molekulární hmotnost    | 60,1               |

Zrna jsou izometrická se středním stupněm zaoblení hran. Písky prakticky neobsahují žádné živce. Ložisko se těží povrchovou těžbou v jámovém lomu.



Obr.2 Areál firmy Sklopísek Střeleč, a.s. [9]

Ve firmě Unitherm, s.r.o. se používá pro formování křemičitý písek ze Střelče dle podnikové normy PN-02-2001, označený jako ST 56. Tento písek má velikost středního zrna  $d_{50} = 0,14$  mm a zrnitostní rozsah 0,063 až 0,40 mm.

Je to nejjemnější frakce, kterou firma Sklopísek Střeleč dodává na trh. Tento druh písku umožňuje docílit velice jakostní povrch odlitku s co nejmenší drsností.

Jelikož jednotná bentonitová směs je vratná, dochází při opakovaném použití vlivem tekutého kovu k rozpadu zrn na jemnější částice. Tím se zvyšuje ve formovací směsi prachový podíl. To sebou nese negativní vlivy jako např. menší prodyšnost, velká pevnost, větší obsah vyplavitelných látek atd.

Z tohoto důvodu se v kombinaci s ST 56 používá ještě ST 54, který má velikost středního zrna  $d_{50} = 0,22$  mm a zrnitostní rozsah 0,10 až 0,63 mm. Vhodnou kombinací těchto dvou písků se daří udržet kvalitu odlitků z jednotné bentonitové směsi bez patrných povrchových vad.

Tento systém vychází z výsledků kompletních rozborů formovací směsi, kterou pro firmu Unitherm, s.r.o. zajišťuje firma Keramost, a.s.

Jako pojivový systém se v Unithermu používá aktivovaný bentonit s názvem SABENIL plus, který se těží od roku 1969 v Obrnicích u Mostu. V oblasti mezi Krušnými horami a Českým středohořím vznikla mohutná ložiska, která dnes využívá akciová společnost Keramost. Areál společnosti je zobrazen na obr.3.



Obr.3 Areál firmy Keramost, a.s. [10]



Sabenil plus je přírodní Ca-Mg bentonit upravený natrifikací na sodnou formu. Vyznačuje se vysokou pevností v zóně kondenzace vody a vyšší termostabilitou. Je vhodný pro přípravu modelových formovacích směsí, pro odlitky z oceli a jednotné směsi pro odlitky ze slitiny hliníku a mědi lité na syrovo. Použitelný je až do teplot 1200°C. Při vytloukání odlitku netvoří hrudky se zhoršenou rozpadavostí. Výrobek obsahuje přísady, které zlepšují tekutost formovací směsi a zároveň snižují její obesychání po odformování.

Sabenil plus spadá do kategorie bentonitů s vyššími užitnými vlastnostmi.

Po odlití kovu dochází k částečné degradaci a proto je nutné dávkováním směs oživovat. Ve firmě Unitherm se dávkování provádí ručně pomocí malé násypky, do které musí pracovník vysypat bentonit z pytle (48 kg).

Množství bentonitu v jednotné bentonitové směsi se pohybuje v rozmezí 6 až 8%. Tyto hodnoty se v Unithermu ukázaly jako nejvíce vyhovující.

Slévárenské praxe ukázala, že optimálních vlastností bentonitů nelze docílit zpracováním jenom jednoho druhu bentonitové suroviny. Proto byly na trh uvedeny bentonity, který jsou vyrobené mísením různých druhů surovin a přísad. Použitím takto vyrobených bentonitů ve slévárně odpadne složité a nepřesné dávkování malých množství těchto přísad při přípravě jednotných a modelových směsí.

Firma Unitherm zcela výjimečně jen pro některé odlitky používá k formování i modelovou směs. Po jejím použití je však nutné dbát na její separaci. V opačném případě zbytky této směsi výrazně narušují kvalitu jednotné bentonitové směsi.

#### **4.2 Zkoušení technologických vlastností směsi [7], [6]**

Jedním z hlavních předpokladů dobré kvality směsí, forem i odlitků, je spolehlivá kontrola jejich technologických vlastností. Kompletní rozbory formovací směsi pro firmu Unitherm, s.r.o. zajišťuje jednou měsíčně firma Keramost, a.s, která je vybavená moderní pískovou laboratoří.

V tabulce 3, jsou pro ilustraci výroby pískových forem ve firmě Unitherm, s.r.o., uvedeny aktuální výsledky technologických vlastností jednotné bentonitové směsi ke dni 9.4.2010 a průměrné hodnoty směsi za období od 15.1.2009 do 9.4.2010.

Tab.3 Technologické vlastnosti jednotné bentonitové směsi [8]

| <b>VLASTNOSTI</b>                   |        | 9.4.10 | průměr |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|
| Vlhkost směsi                       | %      | 2,7    | 2,88   |
| Spěchovatelnost                     | %      | 44     | 45     |
| Prodyšnost                          | n.j.p. | 150    | 107,8  |
| Vaznost                             | kPa    | 124,7  | 127    |
| Pevnost ve štěpu                    | kPa    | 23     | 22,73  |
| Poměr štěp/vaznost                  |        | 0,18   | 0,18   |
| Pevnost v tahu v kondenzační zóně   | kPa    | 2,2    | 2,3    |
| Hmotnost zkušební válečku           | g      | 147,2  | 148    |
| Obsah vyplavitelných látek          | %      | 8,4    | 9,2    |
| Obsah aktivního bentonitu (MM)      | %      | 7,90   | 7,89   |
| Elektrická vodivost směsi           | μS/cm  | 407    | 418,7  |
| Velikost středního zrna ostřiva d50 | mm     | 0,217  | 0,189  |
| Pravidelnost zrnitosti ostřiva      |        | 52,5   | 53,7   |

Spěchovatelnost charakterizuje chování formovací směsi při výrobě forem na formovacích strojích a velmi přesně zaznamenává změny v navlhčené směsi. Hodnota spēchovatelnosti závisí na množství vody ve směsi a na přídávku čerstvých surovin.

Pevnost ve štěpu se zjišťuje tlakem na zkušební váleček, který působí na osu válečku. Pevnost ve štěpu přímo závisí na množství aktivního jílu ve formovací směsi. Hodnota pevnosti ve štěpu je nízká za předpokladu nižšího obsahu aktivního jílu. Pevnost ve štěpu charakterizuje pojivové vlastnosti jílu (poddajnost, plasticitu, elasticnost).

Poměrem pevnosti ve štěpu k vaznosti získáváme hodnotu houževnatosti formovací směsi. Vyšší hodnota houževnatosti znamená dobré plastické vlastnosti ve spēchovaném stavu. Formovací směsi s nižší hodnotou můžou být náchylné k trhání, drobení a může docházet k porušení celistvosti formy. Jako kritická hranice u směsi se 7% bentonitu se považuje hodnota 0,17 [7].

Vyplavitelnými látkami myslíme všechny částice menší než 0,02 mm. Obsah vyplavitelných látek má značný vliv na reálnou spotřebu vody ve směsi. Jestliže

množství vyplavitelných látek stoupá, zvyšuje se i obsah vody potřebný k dosažení ideálních vlastností směsi.

Aktivní jíl zajišťuje vaznost formovací směsi po určitém stupni mísení. Je to část vyplavitelných látek, které jsou schopny adsorbovat metylenovou modř z vodního roztoku a je ekvivalentní obsahu montmorillonitu. Množství aktivního jílu se stanoví metodou metylenové modři [6]. Pokles aktivního bentonitu značí znehodnocování jednotné bentonitové směsi a nutnost oživení směsi. Jestliže známe obsah aktivního bentonitu, můžeme vypočítat obsah mrtvého bentonitu, který je třeba nahradit aktivním jílem.

Velikost středního zrna, tedy průměrná zrnitost, charakterizuje celkovou jemnost nebo hrubost ostřiva. Je to taková velikost síta, kterým projde 50% zrn ostřiva. Pravidelnost zrnění má vliv na pevnost směsi za syrova. Jestliže se hodnota pravidelnosti zrnění blíží k 1, tak hovoříme o stejnoměrnější zrnitosti.

Společnost Unitherm je schopna ve svých podmínkách měřit a zkoušet tři hlavní vlastnosti jednotné bentonitové směsi a to pevnost, prodyšnost a vlhkost směsi.

Tyto zkoušky se provádí 1x denně a začínají u odběru vzorků. Je výhodné, aby vzorky pro rozbor formovací směsi byly odebrány přímo u formovacího stroje. Vzorky jsou pak uzavřeny ve vzorkovnici, aby nedocházelo ke ztrátě vlhkosti.

Zkouška měření vlhkosti - princip spočívá ve vysušení naváženého vzorku při předepsané teplotě do ustálené hmotnosti.



Obr.4 Přístroj pro vysušení vzorků na stanovení vlhkosti [8]

Vlhkost následně vypočítáme ze zjištěného úbytku hmotnosti vysušením. Hmotnost vzorku je 100 g. Sušení probíhá pod infralampou po dobu 30 minut. Přístroj pro vysušení vzorků formovací směsi je zobrazen na obr.4. Vlhkost se vyjadřuje v % z původní navážky vlhké látky [7]. Optimální hodnota vlhkosti formovací směsi musí být v rozsahu 2,5-3,5%. Je důležité, aby vlhkost byla stanovena ihned po přípravě směsi, jenom tak můžeme zaručit přesné výsledky. Vlhkost ovlivňuje všechny její technologické vlastnosti. Např. formovací směs, která je silně navlhčená, má větší hodnotu spěchovatelnosti, nízkou sypnou objemovou hmotnost a menší schopnost zaplnit dutinu formy. Takováto směs má zhoršený přenos energie formovacího stroje a dochází k výrobě měkkých forem [7].



Obr.5 Váha [8]

Prodyšnost za syrova - se v Unithermu stanoví následovně: navážíme 145 g formovací směsi na váze, která je na obr.5. Tuto směs přesypeme do jaderníku, kde se zhotoví zkušební tělísko, což je váleček o průměru a výšce 50 mm. Poté váleček na pěchovadle 3 údery spěchujeme a zkontrolujeme výšku válečku. Následně jaderník i se vzorkem umístíme na hlavici přístroje, který je zobrazen na obr.6. Po ustálení manometru odečteme hodnotu prodyšnosti. Minimální hodnota prodyšnosti musí být 60 n.j.p. Hodnota prodyšnosti se mění v závislosti na zrnitosti ostřivu.





Obr.6 Přístroj na stanovení prodyšnosti [8]

Pevnost v tlaku za syrova - je poslední zkouškou, která se v Unithermu provádí. Pevnost v tlaku za syrova je nejčastěji používanou pevnostní vlastností pro hodnocení bentonitových směsí. Po stanovení prodyšnosti z jaderníku opatrně vytlačíme zkušební váleček a vložíme jej mezi paralelní plochy tlakových destiček přístroje znázorněného na obr.7. Váleček podrobujeme rovnoměrné zátěži bez nárazu tak, aby napětí přibývalo rovnoměrně po celou dobu až do porušení. V okamžiku porušení válečku odečteme na stupnici příslušnou hodnotu pevnosti. Minimální hodnota pevnosti formovací směsi musí být 0,6 MPa. Vaznost závisí na vlhkosti směsi. Zvýšenou pozornost je třeba klást na správně upěchovaný zkušební váleček.



Obr.7 Přístroj na stanovení vaznosti [8]

## **5. PÍSKOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ VE FIRMĚ UNITHERM, S.R.O. [2], [5], [13], [14], [15]**

Velký důraz v otázce pískového hospodářství se klade na oživování formovací směsi. Formovací směs, která se dotýká bezprostředně odlitku, je dehydratována vlivem vysokých teplot. Jestliže se takto vysušená směs dostane opět do oběhu, negativně nám ovlivňuje vlastnosti formovací směsi, hlavně vaznost a prodyšnost. Proto je nutné formovací směs oživovat.

Ve firmě Unitherm, s.r.o. se používá pro uskladnění nového ostřiva zásobník, který byl vyroben v roce 2003, s kapacitou 30 tun. Tento zásobník je vždy jednorázově naskladněn. Spolu s ním tvoří pískové hospodářství ještě další tři kulaté zásobníky s kapacitou 3x32 tun pro uchovávání vratného písku. Štěrbínou mezi dopravním pásem a zásobníkem je řízeno doplňování jednotné bentonitové směsi novým ostřivem a tím i její oživování. Tento proces je vidět na obr. 8. K vysypání jednotné bentonitové směsi ze zásobníků dochází pomocí talířových přidělovačů.



Obr.8 Zásobník nového ostřiva [8]

## 5.1 Oživení směsi

Pod pojmem oživení se rozumí úprava použité formovací směsi tak, aby nabyla vlastností, které požadujeme pro odlévání.

Oživením v podstatě nahrazujeme formovací směs, která zůstala na povrchu odlitků nebo se ztratila při čištění odlitků.

Celý proces oživování formovací směsi v oběhu začíná u separace směsi z forem a z odlitků. Aby ekonomie pískového hospodářství byla co nejlepší, je důležité dávat důraz na co možná nejdůkladnější vytlučení směsi z odlitku. Takto oddělená směs se vyznačuje velkými změnami teplot, vlhkosti a obsahu prachových frakcí v závislosti na vzdálenosti formovací směsi od tuhnutí odlitku. Proces vytlučení směsi ve firmě Unitherm se uskutečňuje na vibračním vytloukacím roštu VRS Visbet, který má rozměry 1200x1200 a umožňuje zatížení až 1200 kg. Postupně se zatížení snižuje a intenzita vytloukání se zvyšuje. Vytlučená směs se dostává na pásový dopravník, který neustále obíhá pod podlahou. Poté následuje promísení a ochlazení směsi. Formovací směs je přivedena, pomocí pásového dopravníku a elevátoru, do dvou kyvadlových mísičů typu MKY 400, kde dochází k promísení a přípravě. Jeden z mísičů je zobrazen na obr. 9.



Obr.9 Kyvadlový mísič MKY 400 [8]

Velký přínos pro firmu Unitherm, s.r.o. má vibrofluidní chladnička písku typu ALEX 01, která je na obr.10 a odsávací filtr na obr.11, který má za úkol odsát nežádoucí prachové podíly . Chladnička ALEX 01 dokáže vratnou formovací směs zchladit z



90°C na 30°C. Teplota směsi má vliv na její spěchovatelnost a pevnost v tlaku. Dle [13] spěchovatelnost výrazně klesá počínaje teplotou směsi 50°C. Pevnost teplé směsi s teplotou 60°C je daleko nižší než pevnost směsi s teplotou 20°C a to v širokém rozsahu změn vlhkosti. Hodnota teploty formovací směsi 50°C je brána za mezní. Vyšší teploty formovací směsi jsou pokládány za nevhodné k formování. Chladnička ALEX 01 ve firmě Unitherm, s.r.o. pracuje následovně: ve chladničce jsou umístěny 4 sady vodních trysek. Jejich činnost je řízena programovatelným automatem propojeným s dotykovou obrazovkou umístěnou v řídicím velině. Při průchodu formovací směsi dochází ke skrápění vodou, která sníží teplotu formovací směsi a zároveň zaktivuje přítomný bentonit.

Po ochlazení se z formovací směsi separuje zbytky jader, chladítek a dalších nečistot. Separace probíhá pomocí polygonového sítko, které navíc také částečně rozdroluje hrudky směsi. K oddělení kovových částic se používají magnetické separátory. Následně se směs přivádí do zásobníků, ve kterých bentonit nabobtná.



Obr.10 Chladnička ALEX 01 [8]





Obr.11 Odsávací zařízení s filtrem OS 37 pro odsávání prachových podílů [8]

Dle ekonomického hlediska je výhodné nechat obíhat minimální množství jednotné bentonitové směsi v oběhu se zachováním stabilních technologických vlastností.

Ke znehodnocení jednotné bentonitové směsi dochází, protože vlivem vysoké teploty se odpařuje voda, která je pevně vázána ke krystalické mřížce montmorillonitu. Tím dochází k degradaci bentonitu.

Další možný důvod znehodnocení může být poškození ostřiva oolitizací. Při vyšších teplotách je povrch zrna křemičitého písku pokryt šamotizovanou obálkou, na kterou se postupně nabaluje nové pojivo a tím roste tloušťka vrstev na křemenných zrnech.

Jestliže voda obsahuje rozpustné soli či jiné chemikálie může docházet k denatrifikaci bentonitu. Na-ionty nahradí ionty méně příznivé (Cl, Ca, K, Fe), což má za následek snížení pevnosti v tahu.

Jestliže velké množství např. hydraulického oleje brání vodě ve styku s krystalem bentonitu, dochází k pasivaci povrchu bentonitu. Tím se zhoršují pojivové vlastnosti bentonitu.

## **6. VÝROBA FOREM A TYPŮ ODLITKŮ VE FIRMĚ UNITHERM, s.r.o. [8]**

Divize slévárna a obrobna má dvě technologie odlévání hliníkových slitin a to odlévání gravitačně do pískových forem a odlévání do kovových forem nízkotlakým a gravitačním způsobem.

Princip formování v pískové slévárně se v kusové a malosériové výrobě využívá ruční formování pod jeřábem do rozměru rámu 1300x1300 mm a do maximální hmotnosti 100 kg.

Pro malosériovou až sériovou výrobu se v Unithermu používá i strojní formování, a to na principu střešení s mechanickým dolisováním formovací směsi na upnutý model, na strojích Foromat 20 a na obracecím stroji FRFG 20. Tato technologie formování se uplatňuje v rámech o velikosti max. 600x500 mm. Objemnější a těžší odlitky se formují na strojích Foromat 40, který vidíme na obr.12.

Poslední, a také nejnovější, technologií ve firmě Unitherm je impulsivní vstřelení vzduchem s dolisováním na poloautomatické lince HSP1 od německé firmy HWS. Formovací rámy mají max. velikost 650x500 mm. Tento způsob se využívá pro sériovou výrobu s velice kvalitním povrchem, minimálními úkoly a vysokou přesností. Tato technologie formování se v Unithermu využívá od roku 2000.

V dnešní době firma Unitherm vyrábí díly pro strojírenství, zemědělství, zdravotnictví, automobilový, potravinářský, textilní průmysl a další. Např. spirální skříně k ventilátorům, odlučovače olejů k vakuovým pumpám, skříně k lodním motorům, různé druhy sacího potrubí, izolátory elektrického napětí, olejové vany, motorové příruby, různé podstavce, kryty strojů, vidlice, držáky k rentgenům, chlazení brzd, čela cívky osnovního válu, formy na pečení.

Přibližně 90% výroby je exportováno do zemí Evropy a USA.

Firma Unitherm, s.r.o. v roce 2001 odkoupila od společnosti TTP Elitex obráběcí halu, kde se zpracovává výkresová dokumentace k výrobě kokil a forem, provádí se zde konstrukce a výroba přípravků a obrábění hliníkových odlitků. Mnoho zákazníků tak vítá, že Unitherm je schopen dodávat kompletní výrobu a to odlitky, obrobky a i výrobky s částečnou montáží.



Obr.12 Formovací stroj Foromat 40 [8]

## 7. DISKUZE POZNATKŮ

Pro odlévání odlitků ze slitin hliníku se zdá jednotná bentonitová směs ideální formovací směsí. U křemičitého písku odpadají problémy s tvorbou fayalitu a cristobalitu. Důvodem je nízká teplota tavení hliníku.

V otázce pískového hospodářství je velkým nedostatkem to, že směs, která je dopravována do mísičů, není vážena. Množství formovací směsi dodávané do mísičů je odhadováno pomocí ampérmetru dle zatížení motoru. Tím dochází k tomu, že směs připravená k formování je pokaždé jiná.

Vzhledem k rozmanitosti charakteru výroby není možné zabránit vzniku povrchových vad na odlitcích, např. zálupy.

Dalším problémem je nestálá vlhkost formovací směsi, která kolísá mezi hodnotami 2.5-3.5%. Proto při odlévání do syrových forem dochází ke vzniku velkého množství vodních par, které se negativně projeví na kvalitě odlitků.

Jako nevyhovující se také ukazuje ruční dávkování bentonitu, které se provádí přímo do mísiče MKY 400. Tento systém vede k tomu, že k aktivaci bentonitu dochází dosti obtížně.

Naopak velkým přínosem byl nákup chladničky ALEX 01 a odsávacího filtru OS 37, což pracovníci v Unithermu ocenili především v letních měsících, kdy v minulosti docházelo k velkému přehřívání formovací směsí a k následným problémům při formování.

Kompletní rozbor formovací směsi pro firmu Unitherm, s.r.o. provádí firma Keramost, a.s. V rámci technologických možností firmy je tento stav nejlepší, nicméně není pochopitelně ideální.

## 8. ZÁVĚR

Bakalářská práce, zpracovaná na téma: „Charakteristika jednotné formovací směsi“, je rešeršního charakteru, skládá se z 5 základních kapitol, které přispívají k ucelenému popisu sledované problematiky. Jsou zde charakterizovány formovací směsi včetně druhů ostřiv a pojiv, tepelné, chemické, fyzikální a technologické vlastnosti směsí. Je proveden rozbor přípravy směsí a jejich zkoušení ve firmě Unitherm, s.r.o. Tato firma je výrobcem odlitků ze slitin hliníku, které jsou odlévány do pískových forem na bázi bentonitů s křemenným ostřivem.

Ze získaných poznatků, lze formulovat tyto dílčí závěry:

1. Jednotná formovací směs umožňuje využití větší mechanizaci pískového hospodářství a výrobu forem strojním formováním.
2. Vyhovující a běžně používané jednotné formovací směsi jsou tvořené křemenným ostřivem, bentonitovým pojivem, vodou a obsahem určitého množství přísad.
3. U křemenných ostřiv je nutné brát v úvahu, že při teplotě 573°C mění křemen svou modifikaci  $\beta$  na  $\alpha$ . Vlivem této změny modifikace může docházet k tepelné dilataci směsi, což má za následek rozměrové nepřesnosti odlitků. Vadám plynoucím z tepelné dilatace se předchází použitím hrubšího ostřiva s velikostí středního zrna  $d_{50}$  nad 0,2 mm. Tato přeměna se může projevit především při použití směsí, které jsou vystavené vyšším teplotám, jako je např. u výroby litin. Při výrobě odlitků ze slitin hliníku nedochází k ohřevu směsi na tak vysoké teploty.
4. Povrchové vady, na odlitcích (zálupy, zapečeniny, zadrobeniny), které jsou také typické při použití pískových formovacích směsí, lze eliminovat použitím vhodných separátorů na postřik forem. Ve firmě Unitherm, s.r.o. se s výhodou používá výrobek PTL nebo Partizal.

Z důvodu neustále se stupňujících požadavků zákazníků na kvalitu odlitků, je nutné přistoupit na inovaci a modernizaci provozu pískového hospodářství. Např. firma Unitherm, s.r.o. Jablonec n. Nisou tuto inovaci provádí na základě podaného projektu, který je z části financován z peněz EU. Při inovaci se počítá s umístěním snímačů vlhkosti a teploty do zásobníků jednotné bentonitové směsi a hladinových snímačů. Snímače vlhkosti a teploty budou rozmístěni ve třech úrovních zásobníku, takže budou k dispozici přesnější údaje. Bude tak možné přesněji

dávkovat vodu do směsi, která bude mít konstantní hodnotu vlhkosti. Hladinové snímače pak budou dávat informace o naplnění zásobníku jednotnou bentonitovou směsí. S umístěním čidel však bude nutné také nahradit stávající zásobníky novými, do kterých je bude možné umístit.

Po rekonstrukci pískového hospodářství bude vsazena nad mísič MKY 400 násypka s váhou, kde bude vážit vstupující komponenty (vratná jednotná bentonitová směs, ostřivo, bentonit). Tak budou zajištěny stálé vlastnosti formovací směsi.

Rekonstrukce by měla též vyřešit otázku dávkování bentonitu a zkoordinovat dávkování vstupujících komponent s dávkováním vody do mísiče.

## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVÁ I.: Teorie slévání. 1.díl. Teoretické základy technologických procesů. Technická univerzita v Liberci 2006. ISBN 80-7372-149-X
- [2] JELÍNEK P.: Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí – ostríva. Ostrava 2000. ISBN 80-238-6118-2
- [3] Internetová stránka: <http://kremen.navajo.cz>
- [4] SLOVÁK S., RUSÍN K.: Teorie slévání. SNTL Praha 1990. ISBN 80-03-00400-4
- [5] VETIŠKA A.: Teoretické základy slévárenské technologie. SNTL Praha 1974
- [6] PEKÁRKOVÁ R., ŠALBUT R.: Metodika zkoušení technologických vlastností jednotných bentonitových směsí ve slévárnách šedé litiny a oceli – část II. ČV slévárenské společnosti ČSVTS 1985
- [7] ELBEL T.: Jednotné zkušební předpisy: Metodika zkoušení technologických vlastností jednotných bentonitových formovacích směsí ve slévárnách šedé litiny a oceli. ČÚV slévárenské společnosti ČSVTS 1982
- [8] Materiály firmy Unitherm, s.r.o.
- [9] Propagační materiály firmy Sklopísek Střeleč, a.s.
- [10] Propagační materiály firmy Keramost, a.s.
- [11] NEUDERT A.: Trendy u bentonitových formovacích směsí. Slévárenství LIV. 2006, č.10-11. s.414-415. ISSN 0037-6825
- [12] DUDA J.: Bentonit – ekologické pojivo slévárenských formovacích směsí. Slévárenství LII, 2004. č.1. s.20-22. ISSN 0037-6825
- [13] RUDY C., NOVOTNÝ J.: Vybrané otázky technologie přípravy bentonitových formovacích směsí. Moderní formovací materiály. Mezinárodní konference 19. - 24.4 2006. Česká slévárenská společnost 2006. ISBN 80-02-01818-4
- [14] NEUDERT A.: Znehodnocení jednotné bentonitové formovací směsi. Moderní formovací materiály. Mezinárodní konference 19. - 24.4 2006. Česká slévárenská společnost 2006. ISBN 80-02-01818-4
- [15] LICHÝ P., JELÍNEK P., MIKŠOVSKÝ F.: Oolitizace ostríva bentonitových směsí. Slévárenství LIV, 2006. č.2-3. s.74-79. ISSN 0037-6825
- [16] JELÍNEK P.: Iontová výměna u montmorillonitických jíílů a její důsledky. XIII. prezentace výrobků a služeb pro slévárenství, 22.-23.9.2009, hotel Ring – Svinčice. Most, 2009, s.39-45. ISBN 978-80-254-5072-7