

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI  
NOSITELKA ŘÁDU PRÁCE

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření strojírenská metalurgie

Katedra materiálů a strojírenské metalurgie

S T U D I U M   R O Z P A D A V O S T I   J Á D R O V Ý C H  
S M Ě S Í   V Y T V R Z O V A N Ý C H   C O <sub>2</sub>   N A   B Á Z I  
M O D I F I K O V A N Ý C H   V O D N Í C H   S K E L

KMM - 150

Vedoucí diplomové práce: ing. Pavel Simon, VŠST Liberec

Konzultant: s. Vladislav Janský, n.p. LIAZ Liberec

Rozsah práce

Počet stran .....	50
Počet tabulek .....	6
Počet obrázků .....	4
Počet grafů .....	4

DT

24. května 1985

Vysoká škola: **strojní a textilní** v Liberci ..... Fakulta: **strojní** .....  
Katedra: **materiálu a strojírenské metalurgie** ..... Školní rok: **1984/85** .....

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro ..... **Jitka B Č E R O V Á** .....

obor ..... **strojírenská technologie** .....

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Studium rozpadovosti jádrových směsí vytvrzovaných CO<sub>2</sub> na bázi modifikovaných vodních skel**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou výroby jader ze směsí vytvrzovaných CO<sub>2</sub> v n.p. LIAZ Liberec, zejména s přípravou směsí a zkoušením jejich technologických vlastností.
2. Prostudujte problematiku směsí vytvrzovaných CO<sub>2</sub>, zejména mechanismus vytvrzování a otázky zbytkových pevností.
3. Ve spolupráci s konzultantem zvolte vhodnou zkušební metodiku  
a/ pro zjišťování zbytkových pevností při různých tepelných režimech;  
b/ pro zjišťování rozpadovosti.
4. Proveďte vyhodnocení zkušebních směsí při použití několika druhů modifikátorů vodních skel z hlediska jejich technologických vlastností a rozpadovosti.
5. Vyhodnoťte naměřené výsledky a pokuste se o určení nejvhodnějšího druhu směsí z hlediska použití v n.p. LIAZ.
6. Výsledky vlastních měření konfrontujte se stávajícím způsobem výroby jader vytvrzovaných CO<sub>2</sub> v n.p. LIAZ a uveďte též ekonomické zhodnocení všech ověřovaných směsí.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ústřední knihovna  
LIBEREC-1, STUDENTSKÁ 5  
PSČ 461 17

V 105/85 S

Rozsah grafických prací: **tabulky, grafy, schemata**

Rozsah průvodní zprávy: **cca 50 stran**

Seznam odborné literatury:

**VETIŠKA, A.:** Teoretické základy slévárenské technologie. SNTL 1974

**RUSÍN, K.:** Dispersní formovací materiály. Skripta VUT Brno.

**JABUREK** Metody a zařízení pro zkoušení slévárenských formovacích látek. SVÚM-VSL Brno, 1978.

**PETRŽELA** Slévárenské formovací látky

Články z časopisů Slévárenství, Litejnojce proizvodstvo, Giesserei a další.

Podklady ze závodu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavel Simon**

Konzultant : **s. Vl. Janský /LIAZ Liberec/**

Datum zadání diplomové práce: **28.9.1984**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.5.1985**



*V. Chaloupecký*  
**Doc. Ing. Václav Chaloupecký, CSc**

Vedoucí katedry

*Bohuslav Stříž*  
**Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc**

Děkan

**Liberci**

**28.9.**

**84**

V ..... dne ..... 19.....

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci  
vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci 24. května 1985

*Jelka Ševčíková*

<u>O B S A H</u>	Strana
1. Úvod	5
2. Charakteristika výroby odlitek ve slévárně n.p. LIAZ Liberec	7
3. Charakteristika jádrových směsí	10
3.1 Obecné základy technologie	10
3.2 Ostřiva	13
3.2.1 Křemen	13
3.3 Pojiva	17
3.3.1 Vodní sklo	18
3.4 Přísady a pomocné látky	19
3.5 Jádrové směsi s vodním sklem	19
4. Jádrové směsi s vodním sklem vytvrzované kysličníkem uhličitým	21
4.1 Tuhnutí systému vodní sklo - kysličník uhličitý	21
4.2 Suroviny směsí s vodním sklem vytvrzo- vaných kysličníkem uhličitým	23
4.3 Kysličník uhličitý a jeho spotřeba	23
4.4 Rozpadavost a zbytková pevnost po odlití	24
4.5 Zkoušení technologických vlastností	26
4.5.1 Zkouška rozpadavosti jader	26
5. Zjišťování vlastností směsí s vodním sklem vytvrzovaných kysličníkem uhličitým	28
5.1 Složení zkoušených směsí	28
5.2 Postup přípravy směsí	29
5.3 Prováděné zkoušky	29
5.3.1 Stanovení vlhkosti	29
5.3.2 Příprava zkušebních vzorků	31
5.3.3 Pevnost v tlaku po vytvrzení	31
5.3.4 Tepelné zpracování	32
5.3.5 Zbytková pevnost	32
5.3.6 Zkouška rozpadavosti dle Ljasse	33
6. Naměřené hodnoty a jejich vyhodnocení	37
7. Návrh nejvhodnějšího druhu směsí pro použití v n.p. LIAZ, porovnání navrhované směsí se stávajícím způsobem výroby jader ze směsí s vodním sklem vytvrzovanou CO <sub>2</sub>	44

8. Ekonomické hodnocení	45
9. Závěr	48
10. Seznam použité literatury	50

## 1. ÚVOD

Ze "Zásadních směrů rozvoje hutního průmyslu, těžkého a všeobecného strojírenství", které byly vytyčeny XVI. sjezdem KSČ vyplývá, že v průběhu 7. pětiletky se má strojírenská výroba zvýšit o 33 - 35 %. Významným faktorem zhodnocování a úspor surovin, materiálů, paliv a energie se musí stát rychlé využívání výsledků technického rozvoje, zvýšení životnosti a spolehlivosti výrobků.

Nedílnou součástí strojírenské výroby je i slévárenství. Svědčí o tom skutečnost, že spotřeba odlitků, výkovků a pod. představovala v letech 1980 - 83 34 % z celkového objemu kovu vloženého do strojírenství. Jedním z hlavních úkolů, které stojí před čs. slévárenstvím, je ještě přísnější hospodárnost ve spotřebě paliv, energií a spotřebě kovů. Průmysl ČSSR spotřebuje asi 55 % celkové spotřeby paliv a energií, z toho na hutnictví a slévárenství připadá asi 21 %.

Modernizace slévárenských procesů a uplatňování nových technologií s nižší pracností a materiálovou náročností jsou při současném zvyšování kvality odlitků dnes rozhodujícími činiteli pro další úspěšný rozvoj slévárenského oboru. Úzce souvisí s uplatňováním intenzifikačních faktorů a potlačováním extenzivních způsobů rozvoje výroby.

Velmi závažnými a v mnoha případech rozhodujícími, vzhledem k materiálům používaným ve slévárnách, jsou slévárenské formovací látky. Správnou volbou těchto látek lze zvýšit jakost odlitků, snížit jejich zmetkovitost a náklady na jejich výrobu, zvýšit produktivitu práce v celé slévárně.

S rozvojem slévárenství vznikají také vyšší požadavky na kvalitu slévárenských surovin a směsí s ohledem na ekono-

mičnost výroby. Tyto požadavky se v současné době řeší především chemizací výroby forem a jader. Počet metod chemického vytvrzování forem a jader bez působení tepla a znatelné exotermické reakce je dnes značně rozsáhlý a řada těchto metod si je vzájemně podobná. Jednotlivé metody je třeba hodnotit komplexně. Při jejich hodnocení se musí brát v úvahu nezbytné investiční náklady, které si vyžaduje zavedení těchto technologií, cena směsi, energetická náročnost při výrobě, ale také dosažení úspor při minimálním počtu pracovníků.

Směsi s vodním sklem vytvrzované  $\text{CO}_2$  vynalezl a propracoval Ing. Lev Petržela, jehož zásluhou se proslavila naše slévárenská technika ve světě.

Směsi s vodním sklem vytvrzované  $\text{CO}_2$  se vyznačují okamžitým ztvrdnutím po zavedení látky, která chemicky reaguje s pojivem ve směsi, způsobuje rozklad a ztvrdnutí. Přestože tyto směsi jsou velmi významné, mají i svůj nedostatek. Je to problém s malou rozpadavostí po odlití, což má za následek zvýšenou spotřebu energie a pracovních sil.

Cílem této práce je studie rozpadavosti směsí s vodním sklem tvrdných  $\text{CO}_2$  při použití modifikátorů vodních skel. Hlavním úkolem je po řadě zkoušek se směsami tvrdnými  $\text{CO}_2$  určit směs, která by svými vlastnostmi, především manipulační pevností, minimální zbytkovou pevností a dobrou rozpadavostí po odlití, nejlépe vyhovovala pro použití v n.p. LIAZ Liberec.



## 2. CHARAKTERISTIKA VÝROBY ODLITKŮ VE SLÉVÁRNĚ N.P. LIAZ LIBEREC

Ve slévárně n.p. LIAZ Liberec se vyrábějí odlitky ze šedé litiny ČSN 42 2420 pro nákladní automobily značky LIAZ, na př. bloky válců, hlavy, brzdové bubny. Odlitky bloků válců tvoří nosný program slévárny, posuzováno nejen podle hmotnosti a počtu vyráběných kusů, ale i podle složitosti tvaru a odtud vyplývajících nároků na technologii výroby.

Formy odlitků bloků válců jsou vyráběny z jednotné syntetické formovací směsi, kde je jako pojiva využíván natrifikovaný bentonit uváděný pod obchodním názvem SABENIL 450. Formovací směsi jsou připravovány v kolových mísičích typu MK - 3, MKY - 710 nebo mísiči +GF+. Ostřivem je křemenný písek 027 z lokality Střeleč. Formování se provádí na automatické formovací lince od firmy Gustav Zimmerman z NSR.

Jádrové směsi jsou připravovány na kolových mísičích typu MK - 1 a MK - 2. Používají se 3 typy směsí:

- směs pro výrobu jader metodou horkých jaderníků na vstřelovacích strojích pro pravá jádra,
- směs s vodním sklem tvrzená CO<sub>2</sub> na nepravá jádra,
- obalovaná směs pro plášťová jádra.

Vzorky jádrových směsí s vodním sklem se v laboratoři vyzkouší na vlhkost a pevnost v tlaku po vytvrzení CO<sub>2</sub>. U ostatních jádrových směsí se provedou zkoušky: pevnost v tlaku, pevnost v ohybu za tepla a za studena, pH kyselosti.

V současné době se jádra vyrábějí převážně metodou horkých jaderníků. Navážený písek 027 Střeleč se v kolovém mísiči mísí s kyselinou EB 50 jednu minutu. Do mísiče se dále přidá pryskyřice COREPHENIT a mísí se 2 minuty. Takto připravovaná směs je v provozu zpracovávána na vstřelovacích strojích. Jádra se vy-

tvrzují při teplotách 280°C - 300°C. Po odlití dochází při teplotě 400°C k termodestrukci pojivového systému, jádra jsou vytloukána na roštu.

Tato metoda je energeticky náročná, ceny surovin jsou vysoké, ale na druhé straně přináší výhody velmi dobré rozpadavosti jader, vysoké přesnosti a neomezené skladovatelnosti. Vzhledem k vysoké ceně energie je snaha snížit nutné množství jader vyráběných metodou horkých jaderníků a místo ní zavést metodu směsí s vodním sklem vytvrzovaných CO<sub>2</sub>. Tato metoda by byla levnější ale je nutno u ní vyřešit problém malé rozpadavosti a velké zbytkové pevnosti po odlití.

Směsi s vodním sklem tvrzené CO<sub>2</sub> se používají na nepravá jádra. Navážený písek 027 Střeleč se mísí na kolovém mísiči s vodním sklem 48/50<sup>0</sup>Bé 4-5 minut, po zhotovení jader se provádí tvrzení směsi CO<sub>2</sub> z centrálního rozvodu plynu. Po odlití se směs vytryskává na průběžných tryskačích. Tato směs má dobrou manipulační pevnost ale její nevýhodou je velká zbytková pevnost a špatná rozpadavost.

Obalovaná směs se připravuje na kolových mísičích, kam se objemově odměřuje na jednu dávku 250 kg křemenného písku Š27 Šajdíkovy Humence, přidává se katalyzátor K 822 a kyselina salicylová (k potlačení sklonu k praskání jader po odlití). Po jedné minutě mísení se přidá pryskyřice FERNAL Fl1 70A a do směsi se vhání teplý vzduch předehříváný plynovým hořákem. Tímto způsobem dochází k odpaření lihu z pojiva, takže směs je po namísení sypká. Zpracovává se v elektricky vyhříváných jadernících typu SHALCO

při teplotách 280°C - 300 °C.

Šedá litina se taví ve dvou horkovzdušných kuplovnách typu ŠKODA Klatovy, následuje odlévání bubnovou pánví.

Po vychladnutí se odlitek ve formě dopravuje k vytloukacímu uzlu. Vytloukání odlitků je automatické na mechanickém roštu, který ke své činnosti využívá kmitů o různých frekvencích a amplitudách. Odlitek je vytloukán vlastní hmotností a současně dopravován k výstupu z linky. Pravá jádra vyrobená metodou horkých jaderníků a jádra z obalovací směsi se na vytloukacím roštu rozpadají do vratné směsi, která se upravuje v přípravně písků. Nepravá jádra, tvořená směsí s vodním sklem tvrzená CO<sub>2</sub> jsou částečně odstraňována v kusech do koreb a zbytky jader jsou vytryskávány v průchozím tryskači.

### 3. CHARAKTERISTIKA JÁDROVÝCH SMĚSÍ

#### 3.1 Obecné zásady technologie

Ideální formovací směs je levná, dostatečně tekutá nebo plynná látka, která po styku s modelovým zařízením okamžitě ztuhne za normální teploty a vytvoří hladké stěny o vysoké pevnosti. 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 nebo vypařuje na výchozí stav a je schopna opětovného použití bez nutnosti regenerace.

V současné době není sice možnost objevu takovéto směsi, ale již existuje řada směsí, které se blíží v některých směrech požadavkům kladeným na ideální směsi, zpravidla ale tyto směsi mají některé nevýhody, které zabraňují jejich obecnému používání.

Formovací směs je polydispersní třífázová soustava, jejíž vlastnosti závisí na vlastnostech a vzájemném působení všech tří fází - pevné, kapalně a plynné. Částice různé velikosti a tvaru, tvořící pevnou fázi nazývanou ostřivo, určují a tvoří kostru celé soustavy. V mezerách mezi pevnými částicemi (ostřivem) je uzavřena fáze kapalná (pojivo) a plynná.

Složité cyklus, jímž formovací směs prochází výrobním procesem, můžeme rozdělit do dvou základních fází:

- a) zhotovení formy a jader včetně různých stádií přepracování směsi
- b) vzájemné působení formovací směsi na tekutý kov a tuhnutí odlitek.

V první fázi formovací směs vystupuje jako materiál, po-

mocí něhož se vytváří forma, v druhé fázi formovací směs vystupuje jako nástroj, pomocí něhož se tekutý kov přeměňuje v odlitek. Pro prvou fázi se vyžaduje na směsích homogenní příprava, dokonalá formovatelnost, malá osýchavost a drobivost, mechanická pevnost ve zpěchovaném stavu, přesnost udržení tvaru po vytažení modelu, dlouhá životnost. V druhé fázi součinnosti působení kovu musí formovací či jádrová směs mít vlastnosti: dostatečnou prodyšnost, tepelnou a chemickou stálost, mechanickou pevnost v zahřátém stavu, poddajnost při tuhnutí odlitku a j. / 1 /

Ostřivo přiměřené zrnitosti podmiňuje tvárnost směsí. Protože zpravidla tvoří převážnou část formovacích látek (asi 80 - 98 %), má velký vliv i na jejich chování a vlastnosti za syrova i při odlévání a tuhnutí odlitků.

Pojivo dává formovací směsi soudržnost, tedy vaznost za syrova a pevnost po vysušení nebo za vyšších teplot.

Formovací látky lze rozdělit:

- a) podle původu ostřiva:
  - na ostřiva přirozená, na př. křemenné písky,
  - ostřiva umělá, na př. korundový písek,
  - ostřiva biogenní, původu rostlinného, na př. dřevěné uhlí,
  - nebo živočišného, na př. křemelina,
- b) podle chemického složení, mineralogicko-petrografického složení ostřiva:
  - na ostřiva kyselá, na př. křemenné písky,
  - ostřiva zásaditá, na př. magnisitová,
  - ostřiva neutrální, na př. korundové písky,
- c) podle druhu pojiva:
  - na hlinité písky,

cementové směsi,  
jádrové olejové směsi a j.

d) podle obsahu hlíny:  
na písky ostré,  
písky polomastné a písky mastné,

e) podle zrnitosti ostřiva:  
na písky hrubé,  
písky jemné a pod.

#### Další rozdělení formovacích látek

Formovací látky rozdělujeme dále:

1. Podle jejich použití na:
  - a) formovací směsi  
jednotné, modelové, výplňové, přirozené, syntetické,
  - b) jádrové směsi.
2. Podle způsobu formování a odlévání:  
na směsi určené pro formování na sušení a na syrovo, ruční formování, strojní formování, střešení, metání, foukání atd.
3. Podle druhu odlévaných slitin:  
na směsi určené pro ocel,  
pro šedou a kujnou litinu,  
pro neželezné a lehké slitiny.
4. Podle velikosti odlitku a podle tloušťky stěn odlitků.
5. Podle jejich význačných vlastností na:  
formovací látky (písky) zvlášť vazné, formovací látky (písky) rozpadavé za tepla, formovací látky (písky) vysoce žáruvzdorné a pod.

Skupiny podobnosti význačných vlastností předurčují jejich chování ve styku s roztavenými slitinami a skupiny dělené podle složení určují vlastní druh surovin nebo směsí. Mají tedy význam technický i obchodní. / 2 /

### 3.2 Ostřiva

Ostřivem podle ČSN 72 1531 se nazývá souhrn písků se zrnny většími než 0,02 mm. Ostřivo je hlavní hmotnostní fází formovací směsi a určujícím činitelem mnoha jejích vlastností. Tyto vlastnosti jsou dány jejich chemickým a mineralogickým složením ostřiva a jemnostním rozdělením jeho částic různé velikosti a tvaru.

#### 3.2.1 Křemen

Základní surovinou formovacích hmot je křemen (kysličník křemičitý  $\text{SiO}_2$ ). Je nejrozšířenějším minerálem v přírodě a nachází se ve vhodném zrnění. Jeho teplota tavení je nad 1 700°C, takže je vhodný pro výrobu forem k odlévání většiny slévárenských slitin.

Vedle těchto příznivých vlastností má  $\text{SiO}_2$  i vlastnosti méně vhodné. Při ohřevu prodělává polymorfní přeměny, které se projevují objemovými změnami a poruchami celistvosti formy. Křemen je sloučenina vysloveně kyselá, která reaguje se zásaditými látkami. Tyto reakce jsou pak příčinou snížené žáruvzdornosti. Křemenný prach vyvolává silikózu, která je velmi vážným onemocněním. Kysličník křemičitý může existovat v několika krystalografických a jedné amorfnní modifikaci. Bezvodý křemen známe v těchto modifikacích:

křemen  $\alpha$  a  $\beta$

crystalit  $\alpha$  a  $\beta$

tridymit  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$

křemenné sklo.

Základním a nejrozšířenějším typem křemene v přírodě je  $\beta$  - křemen. Má podobu křemenných písků, křemenců, různých druhů křišťálů, součástí vyvřelých hornin, pískovců, příměsí v jílech a kaolínech.

$\beta$  - křemen, který je stálý při normálních teplotách, se přeměňuje při  $573^{\circ}\text{C}$  v  $\alpha$  - křemen. Tato modifikace  $\text{SiO}_2$  je stálá v oblasti teplot  $573^{\circ}\text{C}$  -  $870^{\circ}\text{C}$ . Při  $870^{\circ}\text{C}$  se  $\alpha$  - křemen pomalu, a jen za přítomnosti silného taviva - mineralizátorů a při jemném rozemletí přeměňuje v  $\alpha$  - tridymit. Je-li  $\alpha$  - křemen zahříván rychle až nad teploty  $1\ 600^{\circ}\text{C}$ , je možno jej roztavit, aniž by procházel jinými modifikacemi.

$\alpha$  - tridymit se v přírodě nevyskytuje, má oblast stálosti  $870^{\circ}\text{C}$  až  $1\ 470^{\circ}\text{C}$ , při chladnutí se přes přechodnou formu  $\beta$  - tridymitu přeměňuje v  $\gamma$  - tridymit. Při  $1470^{\circ}\text{C}$  se pomalu za přítomnosti mineralizátorů přeměňuje v  $\alpha$  - cristobalit. Rychlým zahřátím nad  $1\ 670^{\circ}\text{C}$  lze  $\alpha$  - tridymit přeměnit v křemenné sklo.  $\gamma$  - tridymit může existovat při normální teplotě především jako součást dinasových cihel.

$\alpha$  - cristobalit, vzniklý z  $\alpha$  - tridymitu při teplotách nad  $1\ 470^{\circ}\text{C}$  zůstává stálým do  $1\ 713^{\circ}\text{C}$ , kde se mění v křemenné sklo. Ochlazením  $\alpha$  - cristobalitu v metastabilním stavu pod  $180^{\circ}\text{C}$  až  $270^{\circ}\text{C}$  vzniká  $\beta$  - cristobalit. Tato modifikace může existovat za obyčejných podmínek v nerovnovážném stavu prakticky neomezeně dlouho.

Roztavený  $\text{SiO}_2$  může být ochlazen bez krystalizace ve sklovinu - křemenné sklo. Tato modifikace se vyznačuje mimořádně nízkým součinitelem teplotních roztažností a má proto vysokou odolnost proti teplotním změnám.

Křemenné písky jsou doprovázeny průvodními minerály, které mohou mít škodlivý vliv na jakost odlitků. Jsou to především živec, slída, uhličitany, způsobující spékavost směsi a tím zhoršení kvality povrchu odlitků. Obsah průvodních minerálů u formovacích směsí pro ocelové odlitky nemá překročit



hodnotu 3 %. Kromě již jmenovaných jsou písky doprovázeny minerály s vyšší měrnou hmotností než má  $\text{SiO}_2$ . Jsou to na př. limonit, magnezit a j.

Povrch křemenných písků netříděných a chemicky neupravených bývá ve většině případů povlečen hydratovaným křemem nebo hydroxidem železitým, hlinitým nebo přírodními jíly. Tato vrstva má jen molekulární tloušťku, přesto má dosti značný vliv na přilnavost pojiv jak jílových, tak i organických.

Snížením velikosti elektrostatických sil přitažlivých pak dochází k poklesu pevnostních hodnot směsí. Povrchovou aktivitu pískových zrn si vysvětlujeme krystalickou stavbou křemene. Jako základní stavební jednotkou je tetraedr komplexního iontu  $\text{SiO}_4^{4+}$ . Celkový poměr Si ku  $\text{O}_2$  je 1 : 2, takže vnitřní struktura je pevná, uzavřená. Povrch křemene však obsahuje atomy s volnými vazbami, které jsou příčinou reakcí s volnými vazbami jiných kysličníků, popřípadě pojiva. / 1 /

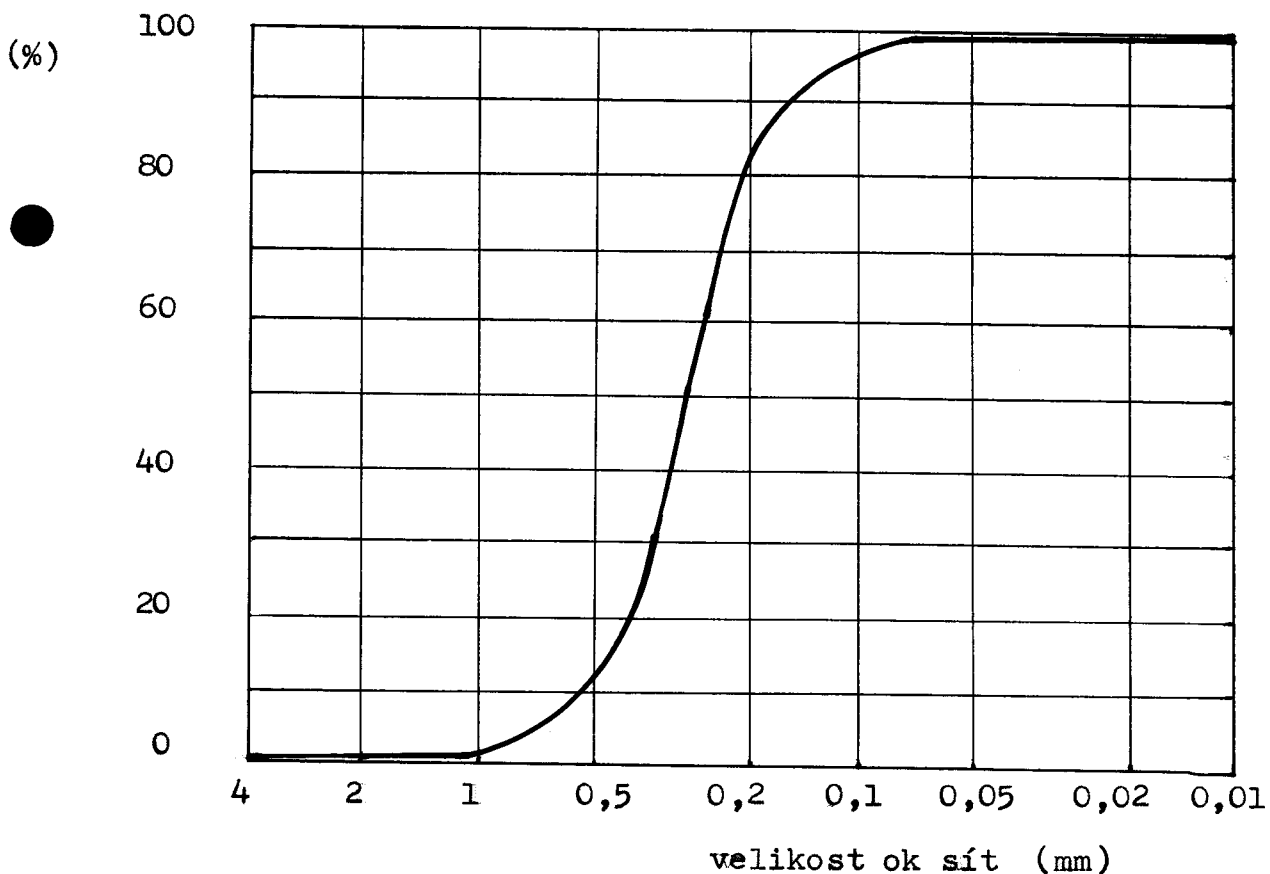
U písků je důležité stanovení zrnitosti ostřiva. O velikosti zrn ve zkoušeném písku se přesvědčujeme síťovým rozbořením. Vysušený vyprahlý písek z vyplavovací zkoušky se prosívá soupravou sít s různou velikostí otvorů. Prosíváním se získá až 8 frakcí písku, zadržného na jednotlivých sítích. Výsledky prosívací zkoušky lze graficky vyjádřit pomocí součtové křivky, která umožňuje i početní vyhodnocení. Do semilogaritmické osnovy se na osu úseček nanášejí velikosti zrna (oka sít), na sviskou osu součty zjištěných hmotností jednotlivých frakcí písku. Ze součtové křivky můžeme určit některá obecná kritéria, která pak jednoduchým způsobem charakterizují druh písku:

- a) průměrná zrnitost - je to velikost ok na takovém síti, na němž by se zachytila polovina zkoušeného vzorku písku. Určí se podle průsečíku součtové křivky s pořadnicí pro 50 % písku, / 3 /
- b) pravidelnost - je to poměr velikostí ok na sítích, která zadrží 75 % a 25 % zkoušeného písku:

$$\text{pravidelnost} = \frac{d_{75}}{d_{25}} \cdot 100 \quad (\%)$$

V n.p. LIAZ se používá ostrohranný křemenný písek 027 Střeleč, který má dle ČSN 72 1205 znak KO III - 27 45-60. Tento písek má střední zrno  $d_{50} = 0,27 \pm 0,03$  mm a pravidelnost 45 - 60 %.

Graf č.1. Součtová křivka zrnitosti písku 027 Střeleč.



### 3.3 Pojiva

Pojiva ve formovacích směsích vytvářejí vazbu mezi jednotlivými zrny pískového systému. Tato vazba může působit již v syrovém stavu po rozmíchání pojiva s ostřivem nebo teprve po fyzikálním či chemickém zásahu z vnějšího prostředí.

Vazba pojiva s ostřivem je určována velikostí adhezních sil mezi jejich povrchy a velikostí sil kohezních, určených vnitřní pevností daného typu pojiva. Charakter těchto sil je dán stavem povrchu a granulometrickou stavbou ostřiva a fyzikálně - chemickými vlastnostmi různých druhů pojiv.

Klasifikace pojiv je možná podle mnoha hledisek více či méně významných. Je to hledisko chemické příbuznosti, vztah k navlhavosti, způsob vytvrzování ve formovací směsi a j. Nejběžnější rozdělení slévárenských pojiv je podle jejich původu a to na:

- a) anorganická
- b) organická.

Anorganická pojiva jsou minerálního původu a udělují směsi vaznost již v syrovém stavu nebo vytvrzují po chemickém nebo fyzikálním zpevnění. Patří mezi ně především jíly, cement, sádra, vodní sklo, organické estery kyseliny křemičité a j. Tato pojiva mají některé společné vlastnosti: jsou vhodná pro lití za syrova, nejsou citlivá na teplotu sušení, vyvíjejí málo plynů při lití, po odlití mají však zhoršenou rozpadovost, po rozpadu formovací směsi teplem tekutého kovu nevyhořívají.

Organická pojiva tvoří velkou oblast formovacích materiálů. Patří mezi ně především umělé pryskyřice, oleje, sacharidy, a j. odpadní organické produkty. Charakteristické vlastnosti těchto pojiv jsou: vysoká tekutost za syrova, možnost řízeného

tepelného nebo chemického vytvrzení, dosti značný vývin plynů při lití, tepelná destrukce a vyhořívání při lití, dobrá rozpadavost po odlití a tím i snadné čišění odlitků. Značná zdravotní závadnost všech organických pojiv vyžaduje dodržování bezpečnostních předpisů při práci s nimi.

### 3.3.1 Vodní sklo

Vodní sklo patří mezi anorganická pojiva. Představuje poměrně složitou fyzikálně chemickou soustavu v oblasti křemičitanů, kterou lze posuzovat jako koloidní roztok. Vlastnosti takovýchto roztoků, které se chovají jako roztoky polymerů, jsou určovány především velikostí a členitostí makromolekul. U vodního skla lze pozorovat dvojí charakter: chová se jako roztok polymerů, jednak jako roztok elektrolytů (závislost hustoty, stlačitelnosti a elektrické vodivosti na koncentraci). Přitom nelze předpokládat, že by v roztoku vodního skla byly přítomny polymerní makromolekuly původních křemičitanů sodných.

Podle Rusína /1/ jsou ve vodním skle pravděpodobně přítomny ionty  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{SiO}_5^{2-}$ , hydratované molekuly dvojkřemičitanu dvojsodného, hydratovaný kysličník křemičitý a ionty micelly kyseliny křemičité. Stálost koloidního roztoku vodního skla je zabezpečována především shodným elektrickým nábojem částic a jejich hydratací. Podmínky stálosti jsou splněny v silně zásaditém roztoku vodního skla (pH 11).

U vodních skel určených jako pojiva pískových směsí se stanoví dvě důležité charakteristiky: modul a hustota. Vedle složení vodního skla vyjádřeného modulem  $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$  a jeho koncentrací se na vlastnostech podílejí již podmínky jeho vý-

roby. Strukturu vodního skla ovlivňuje stupeň disperzity a hydratace výchozí taveniny sodných křemičitanů. Vyrábí se v rozsahu molekulárních poměrů  $\text{SiO}_2$  k  $\text{Na}_2\text{O}$  od 1 : 1 až do 4 : 1, ve slévárenských směsích se používají skla o molárním poměru 2 : 1 až 3 : 1. S modulem se mění i hustota vodního skla. Nejčastější skupiny vodních skel jsou:

hustoty 36 / 38° Bé	modul $m = 3,0$
hustoty 48 / 50° Bé	modul $m = 2,4$
hustoty 58 / 60° Bé	modul $m = 2,0$

V této práci bylo použito vodní sklo o hustotě 40 / 42° Bé, 44 / 46° Bé, 51° Bé.

Molekulární poměr křemičitanu sodného v koloidním roztoku je důležitá vlastnost, která určuje při vytvrzování slévárenských směsí rychlost tvoření silikátové vazby. Vodní skla o různém modulem vytvářejí při vysýchání v atmosféře rozdílnou pevnou strukturu. Vodní skla s modulem  $m = 1$  po vysušení dávají tvrdou krystalickou hmotu. Vodní skla s  $m = 2$  produkují sklovitou tuhounou hmotu, částečně pružnou. Vyšší moduly, na př.  $m = 3,3$  dávají drubivou hmotu při vysušení v atmosféře. / 1 /

#### 3.4 Přísady a pomocné látky

Do formovacích směsí jsou přidávány často kromě ostřiva a pojiva některé další látky, které většinou nepřispívají ke zpracovatelnosti těchto směsí, ale mají příznivý vliv na chování formy nebo jádra ve styku s roztaveným kovem. / 2 /

Pro zlepšení rozpadovosti jader po odlití byla v této práci použita přísada DISAPOL, pro modifikaci vodních skel etylen-glykol a škrobový sirup.

#### 3.5 Jádrové směsi s vodním sklem

Podle způsobu tuhnutí vodního skla v jádrových směsích lze

směsi rozdělit na:

- a) směsi s ovládaným vytvrzováním pomocí kysličníku uhličitého
- b) směsi bez ovládaného vytvrzování pomocí katalyzátorů kyselé povahy nebo tuhnoucí vzdušnou hydratací.

Do první skupiny patří základní směs s vodním sklem, u níž vytvrzování probíhá zavedením plynného  $\text{CO}_2$  do směsi křemičitého písku a vodního skla. Tato základní směs obsahuje nejčastěji křemenný písek se 4 % vodního skla 50° Bé. Pro volbu vlhkosti je rozhodující maximální pevnost směsi.

Základní směs s vodním sklem vytvrzovaná  $\text{CO}_2$  se kombinuje s přísadami, řešícími různé specifické vlastnosti směsi. Mírné zvýšení vaznosti za syrova se docílí sacharidy, vyšší vaznosti přísadou jílových pojiv za současné stabilizace vodního skla hydroxidy alkalických kovů. Zlepšení rozpadovosti směsi po odlití zajišťují přísady organických nebo minerálních látek.

Do druhé skupiny směsí bez ovládaného vytvrzování se zahrnují:

- a) směsi tuhnoucí fyzikální dehydratací
- b) směsi tuhnoucí vzájemným působením vodního skla a katalyzátorů kyselé povahy.

Mezi směsi samovolně tuhnoucí sušením na vzduchu nebo přisoušené plynem patří základní směs s vodním sklem obohacená o cca 4 % bentonitu a stabilizovaná cca 0,5 % NaOH. Tato směs je vazná, mírně plastická.

Vytvrzování směsi s vodním sklem bez znatelné exotermické reakce se rovněž dosahuje přísadou dikalcium-silikátu -  $2 \text{CaO} \times \text{SiO}_2$ , kdy probíhá děj podobný tuhnutí cementu. Formovací směs křemenného písku, vodního skla a prachového 75 %ního ferrosilicia je rovněž rychle tuhnoucí, přičemž vytvrzování je doprovázeno citelnou exotermickou reakcí.