

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV TYPU OSTŘIVA NA PEVNOST GEOPOLYMERNÍ FORMOVACÍ SMĚSI

INFLUENCE OF TYPE OF BASE SAND ON STRENGTH OF GEOPOLYMER
SAND MIXTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN KUDR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR CUPÁK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské

technologie

Akademický rok:

2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Kudr

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv typu ostřiva na pevnost geopolymerní formovací směsi

v anglickém jazyce:

Influence of type of base sand on strength of geopolymer sand mixture

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zjištění vlivu různých ostřiv na technologické vlastnosti geopolymerních formovacích směsí.

Cíle bakalářské práce:

Prozkoumání vlivu velikosti a tvaru zrn ostřiv a celkové granulometrie ostřiv na technologické vlastnosti geopolymerní formovací směsi.

Seznam odborné literatury:

THIENEL, H. Rotal Verfahren-Ergebnisse in deutschen Giessereien. In: Sborník přednášek mezinárodní konference "Moderní formovací materiály". Brno: Sand-Team, 2006, s. 183-185. ISBN 80-02-01818-4.

RUDOLF, M., ANTOŠ, P., aj. Moderní křemičitá pojiva pro výrobu forem a jader. In: Sborník přednášek mezinárodní konference "Moderní metody výroby forem a jader". Brno: Sand-Team, 15.-16.4.2003, s. 139-151.

JELÍNEK, P., MIKŠOVSKÝ, F. Hodnocení plasticity samotvrdnoucích směsí s alkalickými silikáty. In: Sborník přednášek mezinárodní konference " Ekologická výroba odlitků do směsí s vodním sklem". Brno: Sand-Team, 20.-21.10.1998.

ABSTRAKT

Cílem této práce je zjistit vliv typu ostřiva na pevnost geopolymerních formovacích směsí. Byly použity čtyři křemenná ostřiva a dva typy pojiv. Zvolený problém jsem řešil pomocí zkoušky pevnosti v ohybu. Nejdříve jsem připravil formovací směs a po jejím ztvrdnutí jsem měřil její pevnost v ohybu. A to vždy ve třech časech 60, 120 a 1440 minut. Nejvyšší pevnosti se podařilo dosáhnout u ostřiva ŠH-34 za použití pojiva Geopol 618. Hodnota pevnosti v ohybu byla 0,881MPa. Výsledky těchto měření by mohly pomoci slévárnám při zavádění technologie geopolymery, a to především při hledání vhodného ostřiva.

Klíčová slova

ostřivo, pojivo, formovací směsi, geopolymery, geopol

ABSTRACT

The goal of this research is to find out the effect of different types of opening material on bending strength geopolymer's moulding mixture. Four different silical opening material were used along with two types of binder. To solve the selected problem I have used the test of bending strength. At first I have prepared the moulding mixture and after its induration, I have tested the bending strength. The times were always the same 60, 120 and 1440 minutes. The highest level of bending strength was achieved at opening material SH-34 when using binder Geopol 618. The value of bending strength level was 0,881MPa. The results of this research could help the foundries during implementing technology of geopolymer moulding mixture, which would help particularly when looking for a proper opening material.

Key words

opening material, binder, moulding mixture, geopolymers, geopol

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUDR, Martin. *Vliv typu ostřiva na pevnost geopolymerní formovací směsi*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 50 s. 4 přílohy. Ing. Petr Cupák, PhD.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vliv typu ostřiva na pevnost geopolymerní formovací směsi** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martin Kudr

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto **Ing. Petru Cupákovi, PhD.** za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a také za poskytnutí přístupu do pískové laboratoře Odboru slévárenství. Dále bych chtěl poděkovat firmě **Jihomoravská armaturka spol s.r.o.** za poskytnutí pojiv a tvrdidel.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	10
1 FORMOVACÍ SMĚSI.....	11
1.1 Základní složení formovací směsi.....	11
1.2 Požadované vlastnosti formovacích směsí	12
1.2.1 Fyzikální vlastnosti	12
1.2.2 Reologické vlastnosti	12
1.2.3 Chemické vlastnosti	13
1.2.4 Technologické vlastnosti.....	13
1.3 Dělení formovacích směsí	13
1.3.1 Podle technologie výroby.....	13
1.3.2 Podle obsahu vody	13
1.3.3 Podle způsobu tvrdnutí.....	14
2 Ostřiva.....	14
2.1 Dělení ostřiv.....	14
2.1.1 Dělení podle chemické povahy ostřiva	14
2.1.2 Dělení podle vzniku ostřiva.....	14
2.2 Křemenné písky	15
2.2.1 Požadavky kladené na křemenné písky pro přípravu syntetických směsí.....	15
2.2.2 Hlavní nevýhody křemenných ostřiv	15
2.2.3 Charakteristika našich nejdůležitějších křemenných písků.....	16
2.3 Nekřemenné písky.....	20
2.3.1 Ostřiva neutrálního charakteru.....	20
2.3.2 Ostřiva zásaditého charakteru.....	23
2.3.3 Ostřiva speciální a umělá.....	24
2.4 Regenerace slévárenských ostřiv	24
2.4.1 Důvody pro regeneraci	25
2.4.2 Dělení regenerace.....	25
3 Pojiva.....	26
3.1 Dělení pojiv	26
3.2 Dělení dle původu.....	26

3.2.1	Anorganická pojiva.....	26
3.2.2	Organická pojiva.....	26
3.3	Dělení podle technologie.....	27
3.3.1	Směsi I. generace.....	27
3.3.2	Směsi II. generace.....	28
3.3.3	Směsi III. generace.....	29
3.3.4	Metody IV. generace.....	30
3.3.5	Keramické formy a jádra.....	30
4	Geopolymerní pojivo.....	31
4.1	Geopolymery.....	31
4.2	Geopolymery ve slévárenství.....	32
4.2.1	Historie a vývoj geopolimerů ve slévárenství.....	32
4.2.2	Označení této technologie.....	32
4.2.3	Výhody a možné nevýhody dané technologie.....	33
4.2.4	Příklady typického použití.....	33
4.2.5	Dávkování geopolymerního pojiva.....	33
4.2.6	Regenerace formovacích směsí.....	33
4.3	Faktory ovlivňující výslednou kvalitu formy nebo jádra.....	34
4.4	Ostřivo.....	35
4.4.1	Tvar a charakter povrchu zrn křemenného ostřiva.....	35
4.4.2	Velikost zrn a jejich rozložení.....	35
4.4.3	Teplota ostřiva.....	35
4.4.4	Regenerát jako ostřivo.....	35
4.5	Pojivo.....	36
4.5.1	Pojivo GEOPOL 510.....	36
4.5.2	Pojivo GEOPOL 618.....	36
4.6	Tvrdidlo.....	37
4.6.1	Řady tvrdidel.....	37
4.6.2	Dávkování tvrdidla.....	37
4.7	Vliv přípravy směsi.....	38
5	Praktický pokus – experiment.....	38
5.1	Cíl.....	38
5.2	Podmínky.....	38
5.3	Postup.....	38
5.4	Pojiva.....	40

5.5	Tvrdidla	40
5.6	Ostřiva	40
5.6.1	Šajdíkovy Humence – ŠH-22	40
5.6.2	Šajdíkovy Humence – ŠH-34	40
5.6.3	Provodín – PR 31	41
5.6.4	Německé ostřivo	41
5.7	Výsledky měření	41
5.7.1	Ostřivo Šajdíkovy Humence 22 – ŠH-22	41
5.7.2	Ostřivo Šajdíkovy Humence 34 – ŠH-34	42
5.7.3	Německé ostřivo	43
5.7.4	Provodín PR-31	45
5.8	Porovnání všech formovacích směsí	46
6	Závěr	47
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
	SEZNAM OBRÁZKŮ	49
	SEZNAM GRAFŮ	49
	SEZNAM TABULEK	49
	SEZNAM PŘÍLOH	50

ÚVOD

Slévárství je jeden z nejstarších výrobních procesů, lidmi je slévárství využíváno už více jak 6 500 let. Slévárství se od té doby stále vyvíjí v důsledku nových kritérií na slévárenskou výrobu.

Nyní je kladen velký důraz na ekologičnost a také na ekonomičnost výroby. A proto se v posledních několika letech vyvíjí a rozšiřuje technologie geopolymerních formovacích směsí. Geopolymerní formovací směsi jsou lehce regenerovatelné a také je zde možnost použití až 100 % regenerátu ostříva. Tyto výhody snižují náklady na výrobu a také snižují ekologickou zátěž způsobenou výrobou.

Tato bakalářská práce má zjistit vliv typu použitého ostříva na pevnost geopolymerní formovací směsi a tím napomoci slévárnám při výběru vhodného ostříva pro technologii geopolymerních formovacích směsí. Primárně je ovšem určena pro slévárnu Jihomoravská armaturka spol. s.r.o, která se chystá zavést technologii geopolymerních formovacích směsí.

1 FORMOVACÍ SMĚSI

Formovací směsi jsou základním slévárenským materiálem potřebným k výrobě slévárenských produktů. Formovací směsi se používají k výrobě slévárenských forem a také k výrobě jader.

Ideální formovací směs musí splňovat následující požadavky:

- Dostatečná viskozita (tekutost)
- Nesmáčivost a chemická netečnost vůči litému kovu
- Dostatečná prodyšnost
- Pevnost po vytvrnutí
- Rozměrová stálost
- Schopnost opětovné regenerace
- Ekonomické požadavky – nízké náklady na formovací směs

Cílem je, přiblížit se co nejvíce ideální formovací směsi. To se ovšem daří jen z části, neboť daná formovací směs zpravidla má některou z nevýhod [5].

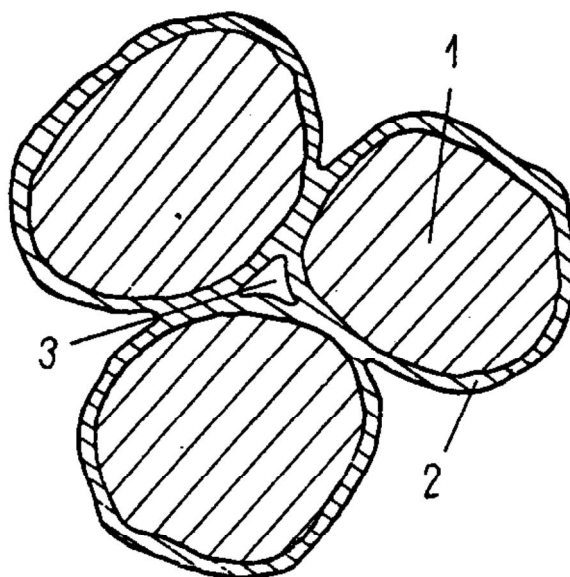
1.1 Základní složení formovací směsi

Formovací směs se skládá ze tří různých fází, kapalně, plynně i tuhé.

Tuhá fáze, nazývána ostřívo, je základním prvkem formovací směsi, tvoří až 98 % hmotnosti formovací směsi. Ostřívo je souhrn písku se zrny většími než 0,02 mm. Ostřívo nejvíce ovlivňuje vlastnosti formovací směsi [1,5].

Kapalná fáze spolu s plynnou fází jsou uzavřeny mezi částicemi tuhé fáze (ostřiva). Pojivo zajišťuje vaznost, pevnost po vysušení nebo po vytvrzení, pevnost za vysokých teplot, pevnost po odlití a rozpadavost formovací směsi [1,5].

Formovací směsi také běžně obsahují vodu a přísady na zlepšení vlastností dané formovací směsi, např. na zlepšení rozpadavosti formovací směsi po odlití [1,5].



Obrázek 1. Formovací směs [10]

1. Tuhá fáze – ostřívo
2. Kapalná fáze – pojivo
3. Plynná fáze – vzduch

1.2 Požadované vlastnosti formovacích směsí

U formovacích směsí požadujeme určité vlastnosti a podle těchto vlastností určujeme kvalitu formovací směsi. Vlastnosti formovacích směsí rozdělujeme na fyzikální, reologické, chemické a technologické vlastnosti [2].

1.2.1 Fyzikální vlastnosti

- Tepelná vodivost - λ_f , to je schopnost formovací směsi odvádět teplo, to ovlivňuje zabíhavost odlévané slitiny do dutin formy a také průběh krystalizace. Tepelná vodivost je nejvíce ovlivněna typem ostřiva a také zhuštěním formy.
- Měrné teplo - c_f
- Hustota směsi - ρ_f
- Celková schopnost formovací směsi odvádět teplo je dána součinitelem tepelné akumulace - b_f , kde $b_f = \sqrt{\lambda_f \times c_f \times \rho_f}$
- Teplotní roztažnost. Teplotní roztažnost určuje rozměrové změny formovací směsi v důsledku změny teploty. Tento atribut ovlivňuje konečnou rozměrovou přesnost odlitku [2].

1.2.2 Reologické vlastnosti

- Viskozita [2]

1.2.3 Chemické vlastnosti

- Schopnost formovací směsi odolávat chemickému působení odlévané slitiny [2]

1.2.4 Technologické vlastnosti

- Vaznost – plasticita. Pevnost v syrovém stavu směsi
- Pevnost po vysušení nebo po vytvrzení
- Pevnost za vysokých teplot
- Pevnost po odlití
- Rozpadavost formovací směsi po odlití
- Prodyšnost formovací směsi [2]

1.3 Dělení formovacích směsí

Nejčastěji se formovací směsi dělí podle technologie výroby forem a jader, podle použití. Další dělení je například podle obsahu vody ve formovací směsi [2,3].

1.3.1 Podle technologie výroby

- Metoda I. generace – formovací směs je složena ze zrnitého ostřiva (nejčastěji křemenný písek, lupek, magnezit) a z jílového pojiva s obsahem vody (bentonit, kaolin, illitický jíl).
- Metoda II. generace - formovací směs je složena ze zrnitého ostřiva (nejčastěji křemenný písek, magnezit, zirkonový písek, mletý korund) a z pojiva na bázi chemické látky tvrdnoucí na základě chemických reakcí.
- Metoda III. generace - formovací směs je složena ze zrnitého ostřiva (nejčastěji křemenný písek, lupek, magnezit, zirkonový písek, mletý korund, kovové prášky) v suchém stavu. Pojivo se zde nepoužívá, ale v některých případech se používá voda.
- Metoda IV. generace – formovací směs je složena z ostřiva a pojivo je tvořeno živými organismy (např. bakteriemi) [2,3].

1.3.2 Podle obsahu vody

- Bezvodé směsi – obsahují do 0,1 % vody
- Polosuché směsi – obsahují do 3 % vody. Jsou to směsi pro technologii lisování vyššími měrnými tlaky.
- Směsi „na syrovo“ – obsahují do 5 % vody. Lití do syrových forem může probíhat bez jakéhokoliv sušení. Typickým představitelem jsou formovací směsi, v nichž je pojivem bentonit.

- Směsi „na přisoušení“ – obsahují do 6-7 % vody. Forma se silně a krátce suší, ihned poté se musí odlévat.
- Směsi „na sušení“ – obsahují více než 7 % vody. Formy a jádra se musí nejen sušit ale i vypálit. Cílem je odstranění i vázané vody [3,4].

1.3.3 Podle způsobu tvrdnutí

- Směsi samotvrdnoucí
- Směsi tvrdnoucí po zásahu zvenčí [2]

2 OSTŘIVA

Ostřivem označujeme hlavní hmotnostní část formovací směsi. Ostřivo je zrnitý, žáruvzdorný materiál s velikostí zrna větším než 0,02 mm. Ostřivo má také rozhodující vliv na vlastnosti formovací směsi, ty jsou dány chemickým a mineralogickým složením ostřiva [1,6].

2.1 Dělení ostřiv

Ostřiva dělíme podle několika kritérií [1,6].

2.1.1 Dělení podle chemické povahy ostřiva

Kyselé ostřiva reagují se zásaditými oxidy legovaných ocelí za vzniku sloučenin s nižší žáruvzdorností, obdobně zásaditá ostřiva reagují s kyselými oxidy. Následkem těchto chemických reakcí vznikají povrchové vady odlitků – např. zapečeniny.

- Kyselé povahy – křemenné písky
- Neutrální povahy – šamot, olivín, korund
- Zásadité povahy – magnesit [1,6]

2.1.2 Dělení podle vzniku ostřiva

- Přirozená – křemenné písky, chromit, olivín, disténsillimanit, zirkon, dunit
- Umělá – šamotová drť, chrommagnesit, korund, kovové kuličky [1,6]

2.2 Křemenné písky

Křemenné písky jsou tvořeny minimálně 96 % oxidem křemičitým – SiO_2 , což je nejrozšířenější minerál v přírodě. Teplota tavení oxidu křemičitého je 1700 °C, což zajišťuje vhodnost tohoto ostřiva pro výrobu forem k odlévání většiny slévárenských slitin. Křemenné písky jsou ekonomicky nejvýhodnějším a díky tomu i nejrozšířenějším ostřivem [1,6].

2.2.1 Požadavky kladené na křemenné písky pro přípravu syntetických směsí

- Vysoce mineralogicky čisté ($\text{SiO}_2 > 96 \%$)
- Vysoce pravidelné (nejlépe monofrakce)
- Málo hranaté (kulaté písky jsou vhodné pro organická pojiva – malý povrch, minimální spotřeba pojiva, avšak neodolávají tolik změnám teplot a jsou náchylnější k vadám tepelného pnutí)
- Co nejmenší koncentrace jemných podílů
- Nemají obsahovat hrubší zrna nad 0,5 – 0,6 mm
- Písky pro ocel musí obsahovat max. do 1% živců
- S ohledem na požadovanou hladkost povrchu je nutnost mít velikost středního zrna $d_{50} = 0,22$ mm, pro ocel je možno až 0,36 mm
- Povrch zrn vysoce aktivní, čistý bez povlaků a nalepených částic [6]

Křemenné písky bývají velmi často doprovázeny i průvodními minerály, ty mívají špatný vliv na jakost odlitků. Mezi tyto minerály patří hlavně živec, slída a uhličitany. Obsah průvodních minerálů u formovacích směsí pro ocelové odlitky by neměl překročit hodnotu 3 %. Mimo průvodních minerálů bývají v křemenných píscích minerály s vyšší hustotou než má SiO_2 . To jsou např. turmalín, glaukonit, rutil, živec, magnezit aj [1].

2.2.2 Hlavní nevýhody křemenných ostřiv

- Zvýšená reaktivnost za vysokých teplot s oxidy kovů (hlavně s Fe, ale i s jinými kovy). Díky tomu vznikají povrchové vady odlitků.
- Neplynulá teplotní dilatace, to je způsobeno přeměnou krystalické mřížky SiO_2 .
- Diskontinuální vratná změna dilatace směsi do 700 °C, to je způsobeno změnou modifikace $\alpha \leftrightarrow \beta \text{SiO}_2$ ($\beta \rightarrow \alpha \text{SiO}_2$ 573,3 °C; $\alpha \rightarrow \beta \text{SiO}_2$ 573,1 – 573,2 °C). Objem se zvětšuje asi o 2,6 - 3,9 %.
- Cristobalitická expanze. Velké rozměrové změny v důsledku změny krystalické mřížky při teplotách od 900 °C do 1000 °C.
- Silikosa – vážná plicní choroba, vznikající ze zaprášení plic křemenným prachem.

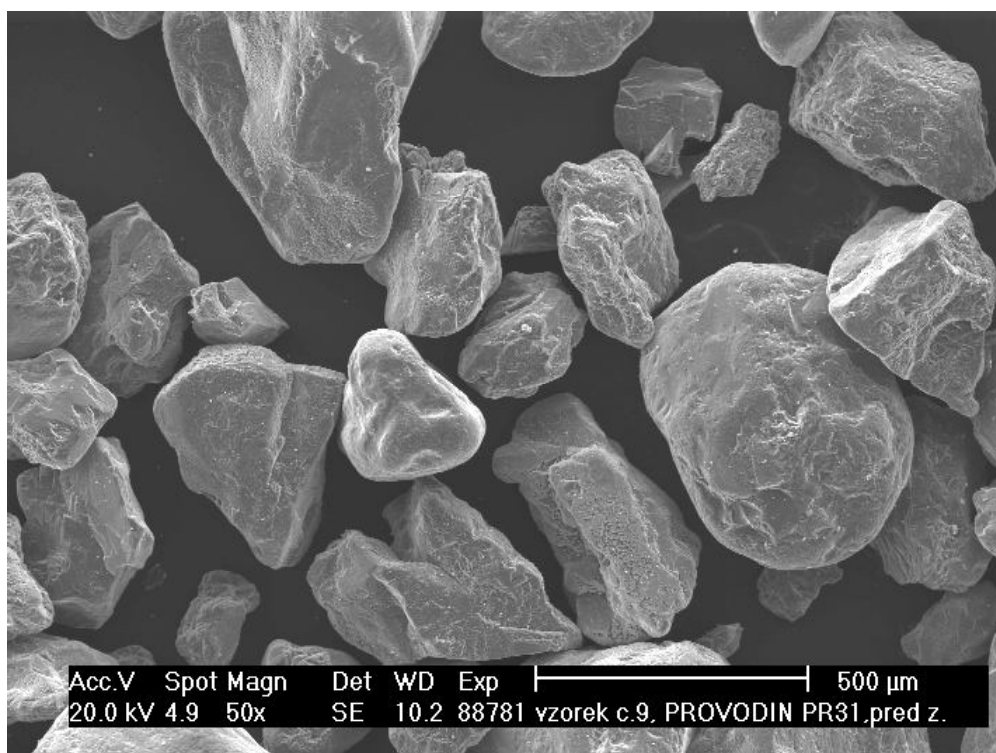
Díky těmto nevýhodám jsou také používána i nekřemenná ostřiva, a to i přesto, že jsou dražší než křemenná ostřiva [1].

2.2.3 Charakteristika našich nejdůležitějších křemenných písků

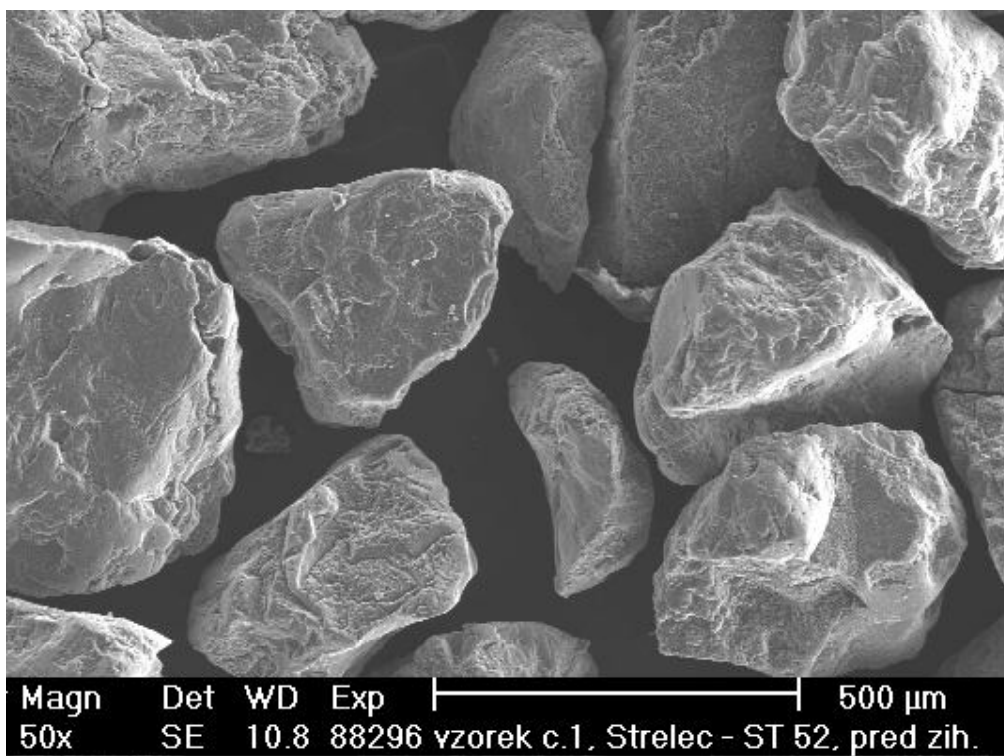
Písky křídového stáří:

- Křemenné písky české křídové tabule:

Provodín T2S, Střeleč T2S, Střeleč KM, Srní – křemenné písky, které jsou jen velmi málo znečištěné jílovými materiály, jsou mineralogicky i chemicky velmi čisté. Také jsou prakticky bez živců a díky tomu jsou vhodné i pro formovací směsi pro ocelové odlitky [6].



Obrázek 1 Provodín PR31



Obrázek 2 Střelce ST52

- Křemenné písky moravské křídové tabule:

Dolní Lhota O-23, Dolní Lhota O-38, Boskovice – písky z těchto lokalit jsou méně čisté než písky ze Střelce nebo Provodína. Fe_2O_3 se v nich vyskytují více než v předchozích píscích, zrna jsou ovšem obdobná. Tyto písky jsou také vhodné pro formovací směsi na ocelové odlitky [6].

Svitavy – tyto písky jsou málo čisté, a proto se nehodí pro slévárny oceli.

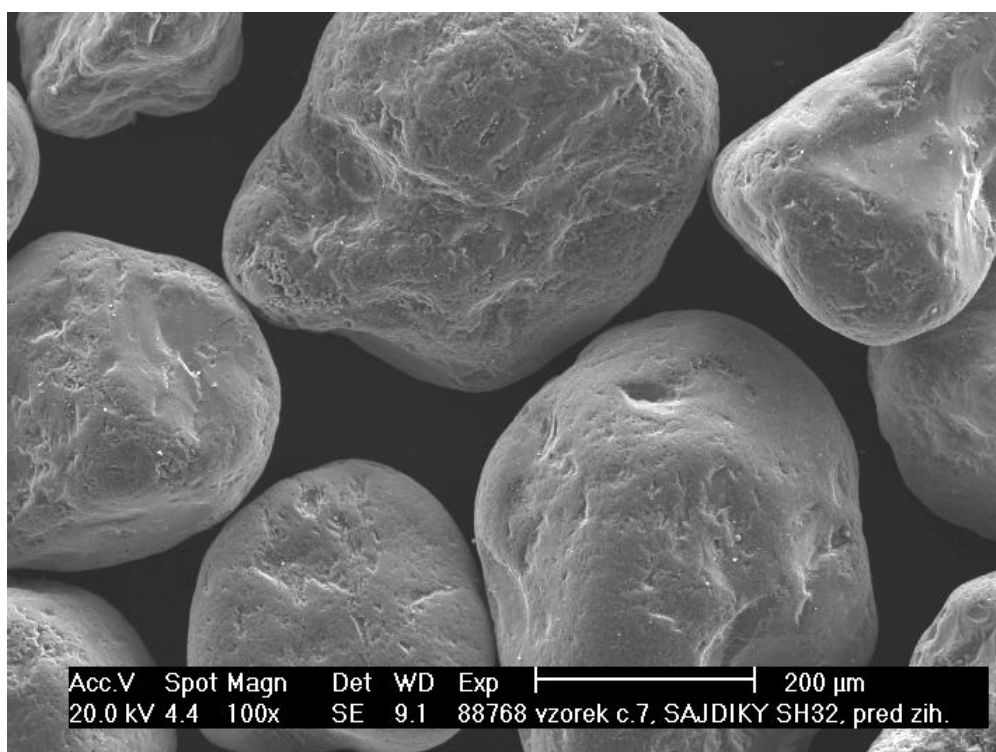
- Váté písky:

Tyto písky mají vysokou kulatost zrn a také jejich povrch se výrazně liší od povrchu písků z křídových tabulí. Rozlišujeme dva typy lokalit výskytu tohoto písku. Písek se díky tomu dělí na tropické pouštní písky a na písky pobřežních dun mírného pásma [6].

Šajdíkovy Humence ŠH (Š22 ŠH, Š27 OTŠH, Š35 ŠH, Š50 ŠH) – písky z tohoto naleziště jsou vysoce kulaté s minimálním obsahem vyplavitelných látek. Zrna jsou hladká, písky pravidelné, ovšem s vysokým obsahem živců. Proto se nehodí do sléváren oceli [6].



Obrázek 3 Sajdikovy Humence SH 32 I



Obrázek 4 Sajdikovy Humence SH 32 II

Tento písek je těžen při dolním toku Moravy na Slovensku – u Senice. Je to nejpoužívanější písek ve slévárnách šedé litiny a to ve vazbě na bentonitové pojivo a především na organická pojiva [6].

Granulometrie druhů písků Š-H

Zbytek na síť [mm]	Š22 ŠH	Š27 OTŠH	Š35 ŠH	Š50 ŠH
1,60	-	-	-	0,10
1,00	-	-	0,10	2,5
0,71	-	0,10	0,80	10,00
0,63	0,24	0,30	3,10	13,00
0,40	2,10	16,00	28,00	43,50
0,315	12,30	28,00	30,00	19,00
0,20	56,20	44,00	33,00	10,00
0,15	25,00	11,10	4,5	1,45
0,10	4,00	0,35	0,30	0,30
0,063	0,10	0,10	0,15	0,10
<0,063	0,06	0,05	0,05	0,05

Tabulka 1 Granulometrie písků Š-H

Sypný úhel: 30°-35°

Průměrné chemické složení

SiO ₂	93-97 hm. %
Al ₂ O ₃	1,5-4,3
Fe ₂ O ₃	0,7-0,25
TiO ₂	0,03-0,15
CaO + MgO	0,16-0,7
Na ₂ O + K ₂ O	0,5-1,5

Tabulka 2 Průměrné chemické složení

Strážnice – oproti písku z Š-H jsou písky z této lokality méně chemicky čisté. Písky obsahují vyšší koncentraci živců a horninových úlomků a také Fe₂O₃. Zrna jsou dobře opracována a mají hladký povrch [6].

Mostkový Les (Kluk) – kvalitativně je tento písek zhruba na stejné úrovni jako písek ze Strážnice. Obsahuje i montmorillonit [6].

- Odpadní písky po plavení kaolinu:

Hlubany – písek z tohoto naleziště není vhodný pro organická pojiva (metody Hot-Box, Cold-Box), má s nimi nízkou pevnost, také má díky velké pórovitosti vyšší nasákavost. Má ovšem dobré výsledky s furanovými a skořepinovými směsi [6].

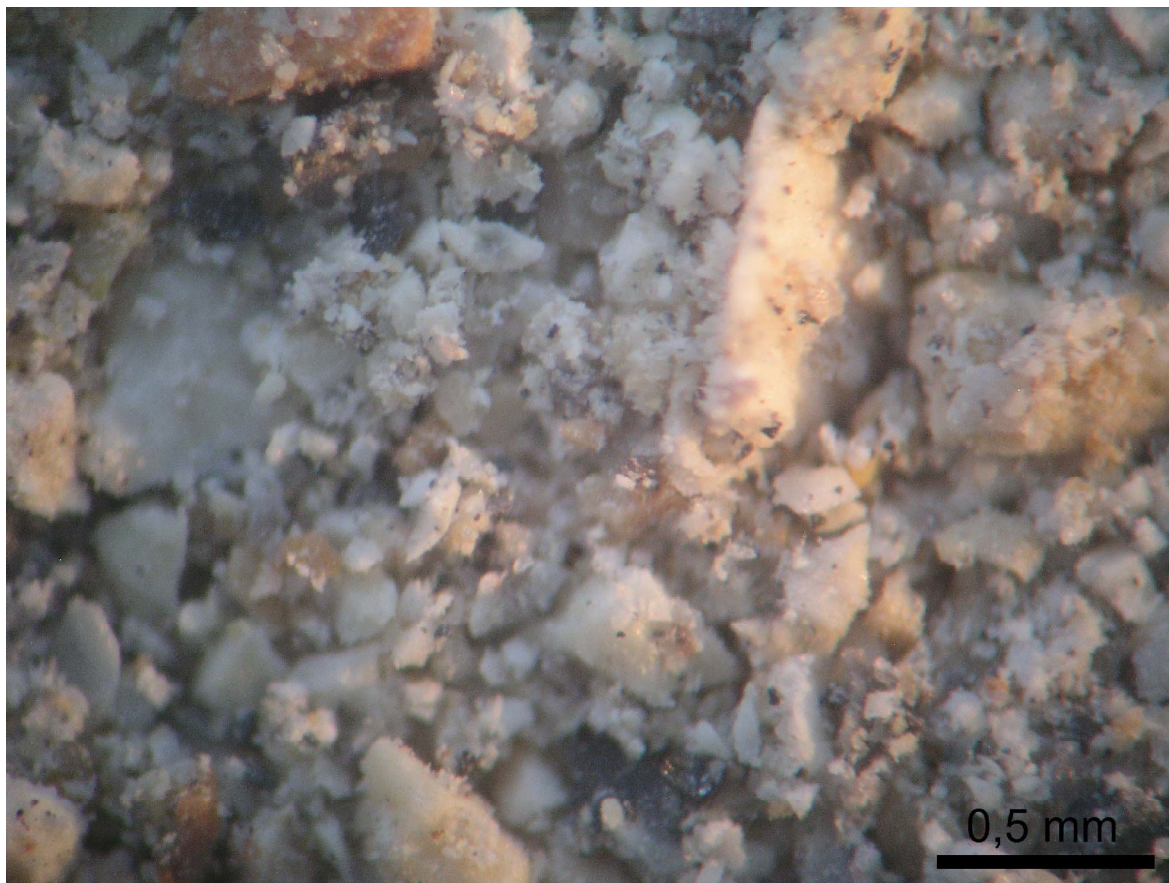
Kaznějov – tyto písky mají téměř všechny nevýhody, které lze z mineralogického hlediska u písků najít, je dokonce méně vhodný pro organická pojiva než písek z Hluban [6].

2.3 Nekřemenné písky

2.3.1 Ostřiva neutrálního charakteru

Šamotový lupek - vzniká vypalováním žáruvzdorných břidličnatých jííl v rotačních pecích za teplot vyšších než 1100 °C. Šamot obsahuje nejméně 30 % Al_2O_3 , při užití plavených kaolínů obsahuje až 45 % Al_2O_3 .

Mletím a tříděním na velikost zrna maximálně 3-5 mm vyrobíme umělé, ostrohranné ostřivo. V kombinaci se žáruvzdorným jíílem jako pojivem je šamotové ostřivo vhodné pro výrobu odlitků z oceli i z litiny. Kvalita šamotu je posuzována podle jeho hutnosti [1,5,6].



Obrázek 5 Lupek

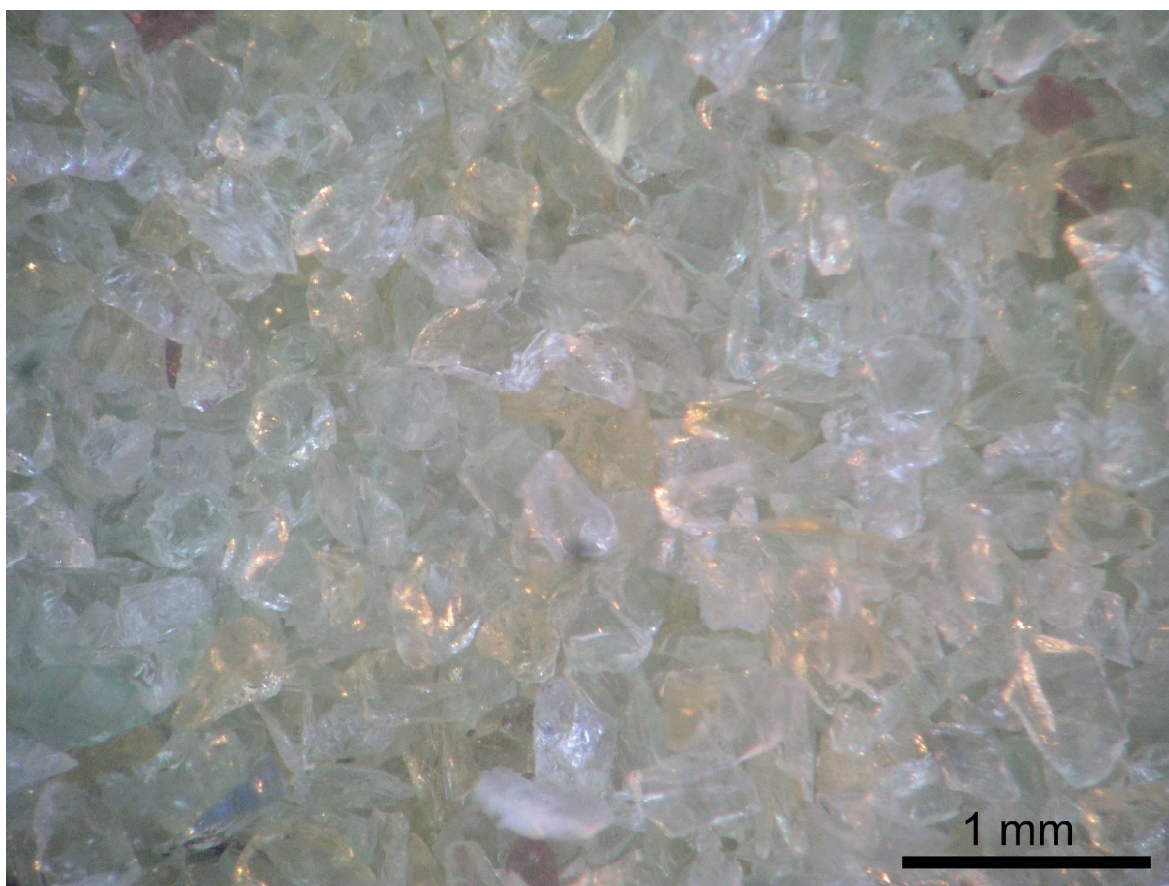
Silimanit – je to naplavený kaolín, do kterého se přidává umělý Al_2O_3 . Buď se vyrábí uměle, anebo se dováží z Indie. Má vysokou žáruvzdornost, odolnost vůči náhlým změnám teploty a také chemickou stálost. Proto se také používá jako formovací směs pro metody přesného lití [5].

Korund – v přírodě se vyskytuje jen vzácně v podobě modrého minerálu – safíru. Je to čistý Al_2O_3 a je velice dobře odolný vůči kyselinám. Tavením bauxitu anebo čistých jílu bohatých na Al_2O_3 ho můžeme průmyslově vyrábět. Korund má velice dobrou odolnost v žáru, odolnost vůči náhlým změnám teploty, chemickou odolnost, objemovou stálost a také žáruvzdornost. Avšak je velice drahý, a proto se používá jen jako plnivo do barviva pro těžké ocelové odlitky a namáhaná jádra [5].

Spinely – používají se jako přísady do jiných žáruvzdorných hmot. Po rozemletí se používají jako ostřívo do formovacích směsí pro těžké odlitky nebo pro nátěry forem [5].

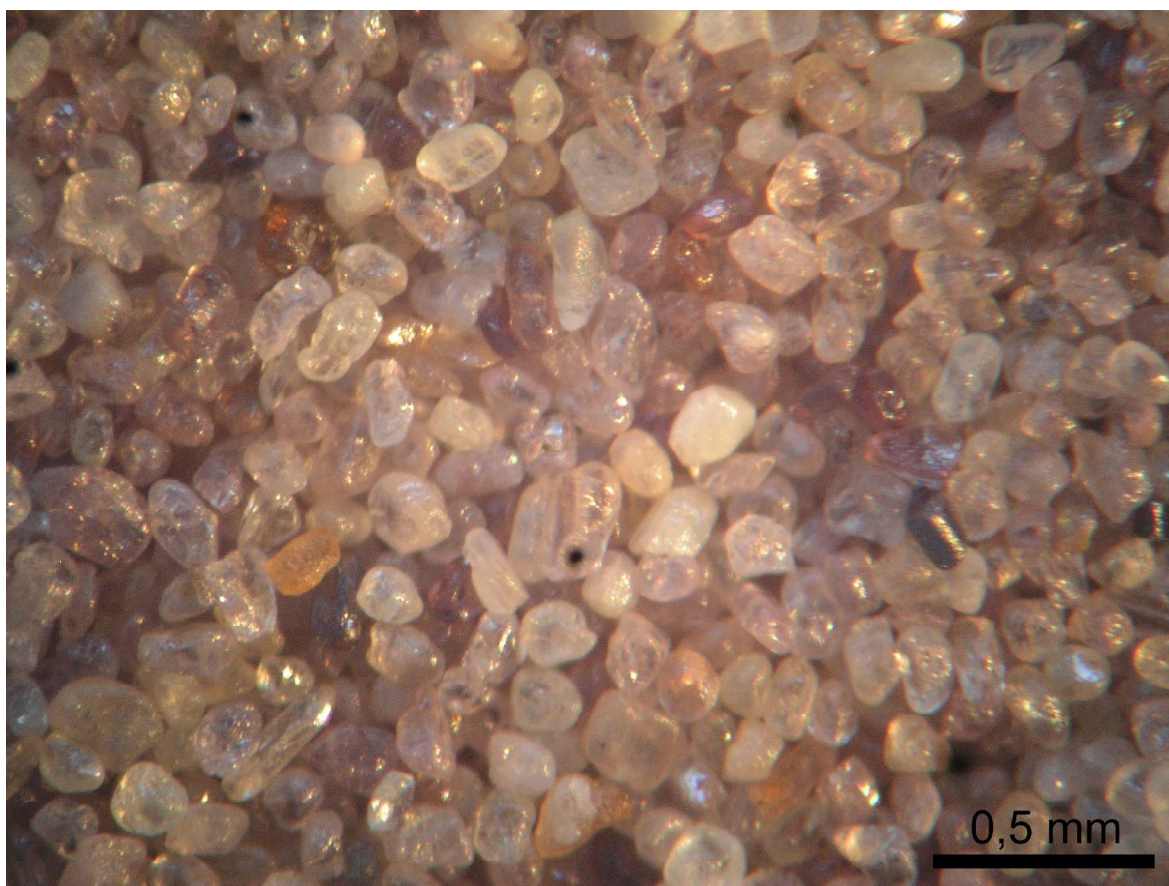
Forsterit – vyrábí se pálením mastkových nebo hadcových břidlic a jiných hořečnatých křemičitů. Má vysokou žáruvzdornost, odolnost proti struskám a stálost při změně teplot [5].

Olivín – nachází se v Norsku a jeho obdoba, dunit, i v bývalém SSSR a také je ložisko na Slovensku v Dubšíně. Je to přechodná forma křemičitanu hořečnatého a má vysokou žáruvzdornost a je především využíván jako formovací směs v Norsku [5].



Obrázek 6 Olivin

Zirkon – minerál zirkon $ZrO_2 \cdot SiO_2$ krystalizuje ve čtverečné soustavě. Často obsahuje i stopy hafnia, thoria a uranu. Tento minerál je velmi stálý a má dobrou odolnost proti deformaci v žáru a proti působení zásaditých i kyselých tavenin. Zirkonové ostřívo je velmi drahé a ložiska jsou jen v zámoří. Používá se na nejvíce namáhaná jádra anebo jako nátěry forem ze slitinových ocelí [5].

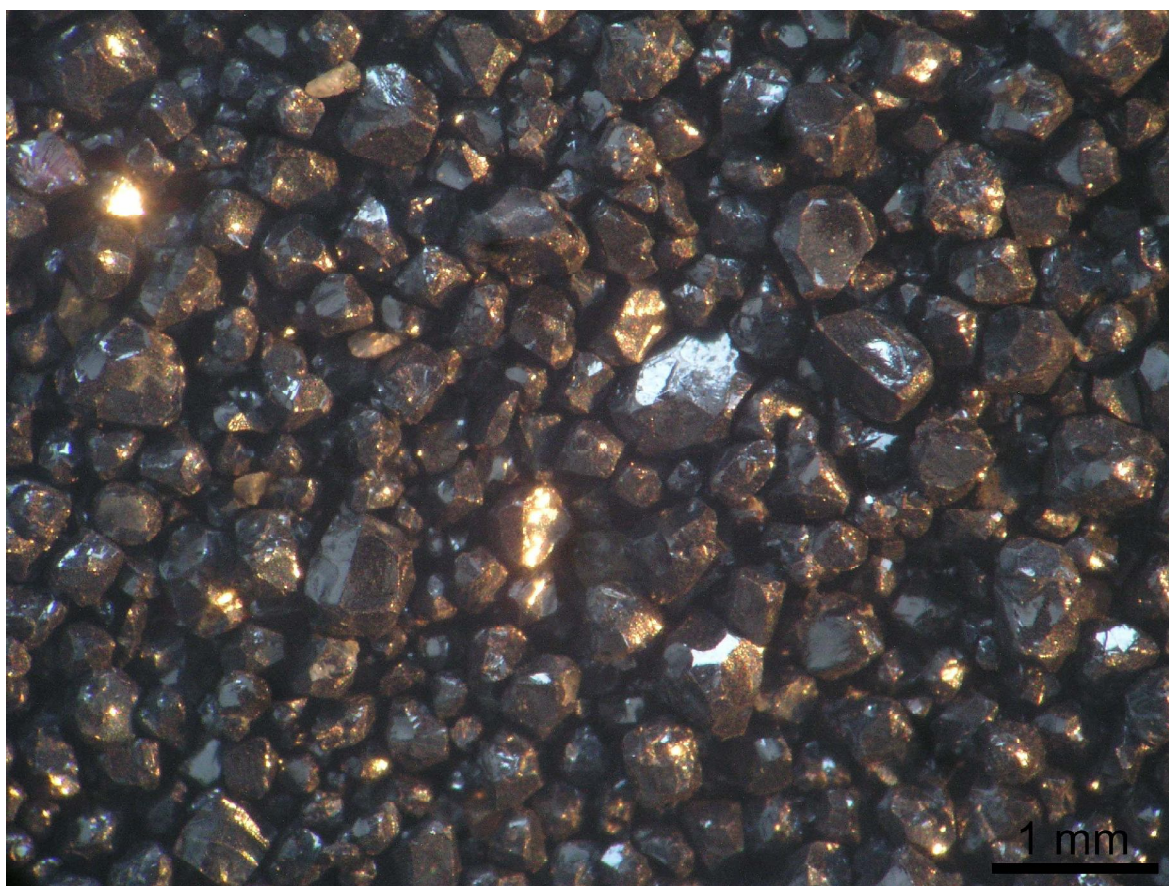


Obrázek 7 Zirkon

2.3.2 Ostřiva zásaditého charakteru

Magnesit – je vyráběn z horniny magnesit, čistý magnesit je uhličitán horečnatý $MgCO_3$. Na formovací směsi ho získáváme drcením odpadních cihel a tvarovek, tím získáme zrnitý magnesit. Ten je určen pro těžké odlitky z manganových ocelí. Jemně mletý magnesit je používán jako plnivo v barvivech slévárenských forem [5].

Chrommagnesit – je to směs slinutého magnésitu, který je velice chudý na CaO a kvalitní chromové rudy. Z této směsi se zhotovují klenby martinských pecí, tzv. černé klenby. Ve formovacích směsích se používá jako velmi kvalitní ostřivo pro speciální, legované oceli [5].



Obrázek 8 Chromit

2.3.3 Ostřiva speciální a umělá

Grafit a uhlíkatá ostřiva – grafit je používán pro svůj nízký koeficient tepelné roztažnosti, má vysokou korozní a chemickou stálost, vysokou tepelnou vodivost, malé opotřebení kovem a struskou. Z technologického hlediska je doporučován přírodní vločkový grafit, ten zajišťuje dobrou prodyšnost forem. Odlitky z grafitových ostřiv jsou velice přesné a mají kvalitní povrch [5].

Kovová ostřiva – používají se pro zlepšení tepelné vodivosti forem. Získávají se z odpadů slévárenských tryskačů. Tato ostřiva mají vysokou smáčivost s taveninou, a proto je nutné povrch forem opatřit nátěrem. Další použití je pro modely vytvořené zmagnetizováním těchto kovových ostřiv [5].

2.4 Regenerace slévárenských ostřiv

Regenerace znamená zpětné získání podstatné části ostřiva z použité formovací směsi zpět pro přípravu nové formovací směsi [4].

2.4.1 Důvody pro regeneraci

- Ekonomické – ceny kvalitních ostřiv rostou, nákladná je doprava ostřiva a i následný odvoz a likvidace starého ostřiva.
- Technické – regenerované ostřivo má některé vlastnosti lepší než nové ostřivo. Například nižší nasákavost pojiv, nižší tepelná vodivost a jiné.
- Ekologické – v poslední době je velká pozornost věnována ekologii. Těžbou písků dochází k devastaci krajiny a také směsi obsahují sloučeniny, jež znečišťují spodní vody, řeky, jezera a podobně [4].

2.4.2 Dělení regenerace

Regeneraci dělíme na suchou (mechanickou a pneumatickou), mokrou a tepelnou. Případně jsou možné jejich kombinace.

- **Suchá regenerace – mechanická:** Údery a třením jsou zde rozrušovány zbytky obálek pojiva jednotlivých zrn. Tento druh regenerace je univerzální a jde použít na regeneraci organických i anorganických druhů pojiv. Tento typ regenerace je také ekonomicky nejvýhodnější.
- **Suchá regenerace – pneumatická:** Zde jsou zbytky obálek pojiva jednotlivých zrn rozrušovány v proudu stlačeného vzduchu vzájemným třením a také otěrem o litinový talíř. U této metody je vyšší zpětné využití regenerátu než u mechanického typu. Další výhodou je, že zde dochází k zakulacování zrn.
- **Mokrá regenerace:** Ve vodné suspenzi dochází k otěru zrn a zbytky pojiva se předávají do roztoku. Tato regenerace se používá hlavně u směsí s vodním sklem a také u bentonitových směsí, to je ale méně ekonomicky výhodné. Jsou zde vysoké investiční náklady a poté tento typ prodražuje velká spotřeba vody.
- **Tepelná regenerace:** Probíhá spalováním pojiva ve vzduchu při teplotách od 700 °C do 900 °C. Součástí zařízení je také chladič zařízení a neutralizační jednotka. Zařízení je nákladné a tak se tento typ ekonomicky vyplatí při regeneraci drahých ostřiv – zirkonu, korundu a podobně. Zpětně jde užít až 90 % regenerátu. Mechanické a ani technologické vlastnosti regenerátu nejsou příliš ovlivněny [4].

3 POJIVA

Pojivo je hned po ostřivu druhou, hlavní složkou formovací směsi. Pojiva zprostředkovávají vazbu mezi jednotlivými zrny ostřiva [3,4,5].

3.1 Dělení pojiv

Pojiva se dělí podle více kritérií. Nejčastěji podle původu a také se dělí podle technologické generace [3,4,5].

3.2 Dělení dle původu

- Anorganická pojiva
- Organická pojiva [3,4,5]

3.2.1 Anorganická pojiva

Jsou to pojiva minerálního původu. Formovací směsi s tímto pojivem jsou vazné už v syrovém stavu, vytvrzují se chemickým anebo fyzikálním zpevněním. Tato pojiva jsou vhodná pro lití za syrova, mají však horší rozpadavost [5].

3.2.2 Organická pojiva

Mezi organická pojiva patří hlavně syntetické pryskyřice, oleje, sacharidy, bitumeny a další odpadní organické produkty. Hlavní vlastnosti těchto pojiv jsou vysoká tekutost za syrova, velký vývin plynů při lití, dobrá rozpadavost, tepelná destrukce a vyhořívání při lití. Organická pojiva jsou však zdravotně závadná, a proto při práci s nimi musíme dodržovat bezpečnostní předpisy [5].

3.3 Dělení podle technologie

Název technologie	Charakteristika technolog. postupu	Základní složení formovací směsi
Metody I. generace	Pevnost získávají formy či jádra upěchováním formovací směsi (ruční pěchování, střešení, lisování, metání). Ke zvýšení pevnosti je někdy potřeba sušení či přísoušení.	<ul style="list-style-type: none"> • Ostřivo • Jílové pojivo (bentonit, illitický jíl, kaolín) • Voda
Metody II. generace	Chemizace výroby forem a jader. Formy a jádra musí být ve většině případů upěchovány, avšak jejich pevnosti (manipulační i technologické) se dosáhne až chemickou reakcí způsobující ztvrdnutí pojiva.	<ul style="list-style-type: none"> • Ostřivo • Pojivo na bázi chem. Látky tvrdnoucí na základě chemických reakcí
Metody III. generace	Fyzikální metody výroby forem a jader. Pěchování je zpravidla nahrazováno vibrací ostřiva. Zrna ostřiva jsou pojena účinkem fyzikálních vazeb (mag. pole, vakuum, účinek teploty pod bodem mrazu).	<ul style="list-style-type: none"> • Ostřivo • Pojivo – není (někdy voda)
Metody IV. generace	Biologizace výroby jader a forem. Metody dosud ve stádiu základního výzkumu. Princip: biologická látka ve funkci pojiva se po zaformování rychle množí a spojí všechna zrna ostřiva. Po ztuhnutí odlitku je nutné organismy usmrtit.	<ul style="list-style-type: none"> • Ostřivo • Pojivo – živé organismy (např. bakterie)

Tabulka 3 Dělení podle technologie [4]

3.3.1 Směsi I. generace

Jsou to formovací směsi, ve kterých jsou jílová pojiva. Pojení je, je u těchto nejstarších pojivových systémů s jíly, zprostředkováno pomocí kapilárního tlaku a pomocí van der Waalsových sil [3,4].

- Kaolitický jíl – ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – kaolinit). Toto pojivo spolu se šamotovým lupkem tvoří šamotovou formovací směs. Nejčastěji se využívá pro výrobu jader a forem masivních ocelových odlitků. Tato směs se používá na sušení [3,4].

- Illitický jíl – Tento jíl se nejčastěji používá s přírodními písky, tyto směsi jsou používány na sušení, pro těžké litinové odlitky [3,4].
- Montmotillonitický jíl – ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Když je obsah tohoto jílu více než 75 - 80 %, nazýváme tyto jíly bentonity. Bentonit je nejrozšířenějším jílovým pojivem, slouží k výrobě bentonitových formovacích směsí, ty jsou používány pro formování nasyrovo. Díky velice dobré pojivové pevnosti můžeme použít jen 6 % až 8 % pojiva a také k tomu stačí minimální množství vody – méně jak 5 %. Na celém světě se toto pojivo používá na automatických formovacích linkách. Toto pojivo je ekonomicky výhodné, zdravotně nezávadné a lze ho lehce regenerovat, a to suchou i mokrou formou [3,4].

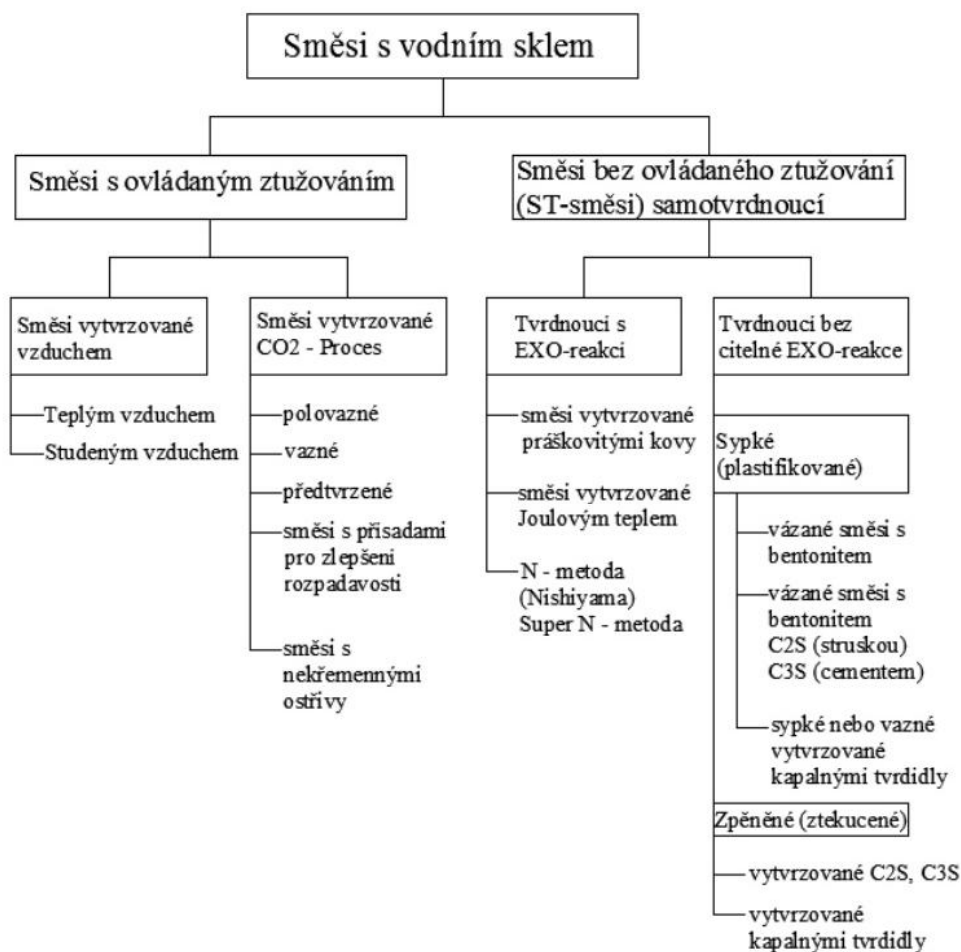
Směsi I. generace nejsou pro masovou výrobu vhodné, nelze zde použít vysokého stupně mechanizace a automatizace, a proto po II. světové válce nastupují směsi II. generace. Zde už je využita chemická reakce ve směsi [3].

3.3.2 Směsi II. generace

- **Anorganická pojiva**

Rozvoj této technologie výroby formovacích směsí je úzce spojena s Dr. L. Petrželou. Tento brněnský rodák objevil postup chemizace formovacích směsí. Tento princip se dnes označuje jako CO_2 – proces. Při tomto procesu je ostřívo pojeno koloidním roztokem křemičitanu sodného. Tímto vzniká nevázná, dobře pýchovatelná směs, ta se vytvrdí reakcí s CO_2 . U této směsi jde velice lehko ovládat ztužování, to přináší hodně technologických výhod. Plynný CO_2 jde pod tlakem do celého objemu formy anebo jádra. Zde probíhá rychlá chemická reakce, díky ní forma nebo jádro získávají vysokou pevnost – okolo 1MPa v tlaku. Tato pevnost v tlaku umožňuje odlévat na syrovo i velké a těžké odlitky jak z ocelí, tak z litin i neželezných kovů. Jako ostřívo lze použít křemenná i nekřemenná ostřiva. Tato formovací směs umožňuje odlévání i odlitků jejichž hmotnost přesahuje 300t.

Formovací směsi s vodním sklem prodělaly velký vývoj a pokrok. To demonstruje tato tabulka [3].



Obrázek 9 Směsi s vodním sklem [3]

- **Organická pojiva**

Organická pojiva na bázi olejů, sacharidů a syntetických pryskyřic jsou používány hlavně díky vysoké rozpadavosti formovacích směsí po odlití. Nejčastěji se používají pojiva na bázi syntetických pryskyřic – fenolických, furanových, polyuretanových a alkydových [3].

3.3.3 Směsi III. generace

K pojení zde dochází za pomoci fyzikálních účinků [3].

Dělí se na tyto hlavní typy:

- **Magnetická forma** – je zde použit jednorázový spalitelný model, ten je vyroben z tvrdých pěnových hmot a dále je pokryt žáruvzdorným nátěrem. Forma je vytvořena z ocelových broků, vytvoří se zde magnetické pole a to dává pevnost disperzní feromagnetické směsi. Po odlití se odstraní magnetické pole, forma se rozdělá a ocelové broky jsou připraveny k dalšímu použití. Tato metoda není příliš rozšířena [3].

- **V – metoda (vakuové formování)** – je to novější metoda než magnetická metoda. K této metodě je zapotřebí použít prodyšný model, na ten se položí ohřátá folie a poté se pod prodyšným modelem vytvoří vakuum. Nahřátá folie se díky vakuu pod modelem „přicucne“ na model a vytvoří přesný tvar. Poté se kolem udělá formovací rám a ten se zasype suchým ostřivem. Ostřivo zhustíme vibrací a překryjeme další folií. Pak vysajeme vzduch i z formovacího rámu. Forma je stále pod vakuem. Po odlití, až folie shoří, se forma se rozpadne. Tato metoda je hojně užívána v uměleckém lití a také v lití přesných a tvarově složitých odlitků [3].
- **EFF-SET (led jako slévárenské pojivo)** – led zde má jak pojivový, tak chladicí účinek. Směs obsahující vodu a ostřivo se po odformování pomocí kapalného N₂ nebo CO₂ zmrazí. Může se zmrazit buď s modelem, anebo bez modelu. Díky velice dobrému chladicímu efektu ledu má výsledný odlitek velice dobrou jakost povrchu, pevnost a také se zvyšují mechanické vlastnosti odlitků. Používá se prakticky jen na Ukrajině a Ruské federaci [3].

3.3.4 Metody IV. generace

Pro splnění bezodpadového a ekologického slévárenství jsou vyvíjeny nové slévárenské technologie, jako jsou biologické formovací směsi – takzvaná biologizace formovacích směsí [3].

3.3.5 Keramické formy a jádra

Výrobu keramických forem a jader můžeme zařadit do metod II. generace, ale často se oddělují to samostatné skupiny. Metody keramických forem a jader dělíme dle způsobu výroby [3].

- **Výroba pomocí trvalého modelu** – vyrábí se buď lisováním velkými tlaky anebo odléváním keramiky.
- **Výroba pomocí netrvalého modelu** – vyrábí se pomocí vytavitelného modelu (vosk), nebo pomocí spalitelného modelu (polystyren) [3].

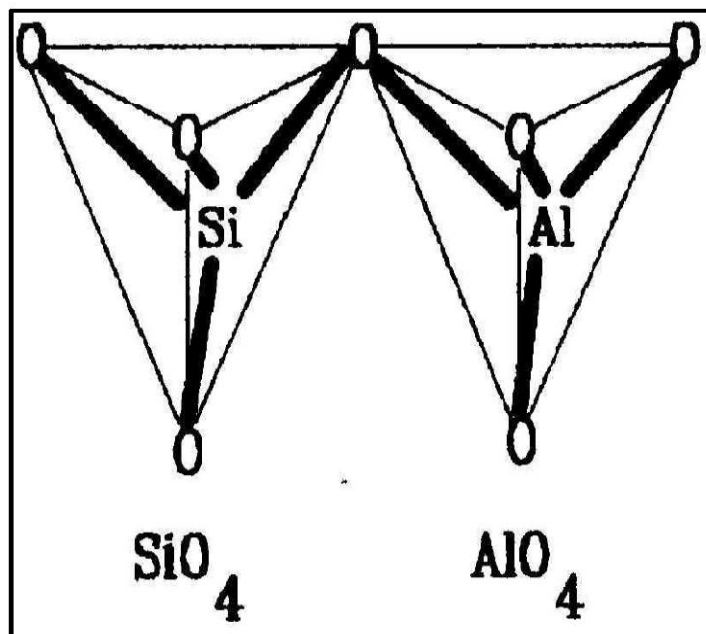
4 GEOPOLYMERNÍ POJIVO

4.1 Geopolymery

Geopolymery jsou anorganické materiály, které patří do skupiny alkalických aluminosilikátů. Tyto materiály obsahují křemík, hliník a také alkalický prvek, sodík anebo draslík. Tyto materiály jsou uměle připravované a geopolymery se nazývají proto, že se svým složením velice blíží přírodním horninám.

Geopolymery jsou předmětem výzkumů už skoro 20 let, nejvíce pozornosti jim je věnováno ve stavebnictví, a to převážně co se týče geopolymerních betonů.

Geopolymery se nejčastěji vyrábí reakcí mezi materiálem obsahujícím křemík a hliník (např. popílky, strusky, kaolinitické látky) a alkalickým aktivátorem. Touto reakcí získáme výsledný produkt a tím je anorganický polymer na bázi křemíku a hliníku, označovaný také jako polysialát. Tento polysialát – geopolymer je tvořen řetězci tetraedrů SiO_4 a AlO_4 [7,8,9].



Obrázek 10 Geopolymery - tetraedry SiO_4 AlO_4 [7]

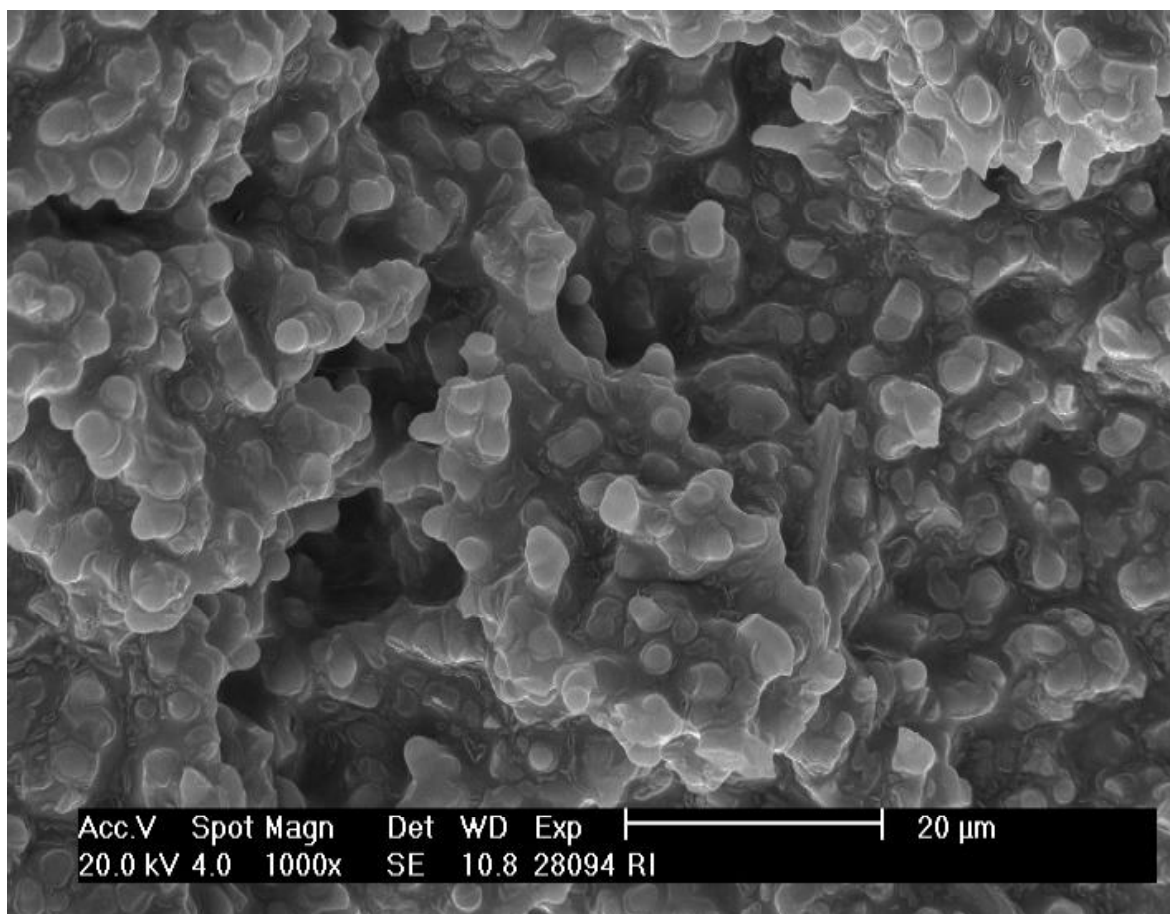
Geopolymery, které jsou vyrobeny tímto způsobem, např. pro stavebnictví, vykazují oproti jiným, klasickým, materiálům výrazně lepší vlastnosti. Geopolymerní betony mají několikanásobnou pevnost oproti klasickým betonům, jsou vysoce žáruvzdorné a jsou také odolnější vůči působení chemikálií a ovzduší [9].

4.2 Geopolymery ve slévárenství

4.2.1 Historie a vývoj geopolimerů ve slévárenství

Geopolymery jsou zajímavou surovinou také pro slévárny. Poprvé byly geopolymery použity ve Francii, a to jako pojivo. Byly zde určeny pro speciální použití, na jádra pro tlakové lití, na odlitky se zalitými kovovými částmi a podobně. Samotvrdnoucí směsi (s křemenným ostřivem) pro toto použití obsahovaly 6-7 % pojiva.

Kvůli ekologickým požadavkům byla tendence používat anorganické systémy. V České republice byl vyvinut nový pojivový anorganický systém, ten využívá geopolymerní anorganické pojivo pro samotvrdnoucí směsi pro výrobu běžných forem a jader. Geopolymerní pojivo, jež bylo vyvinuto v ČR, se označuje jako RUDAL, dalším pojivem je například GEOPOL. Tato geopolymerní pojiva jsou čiré viskózní kapaliny s nízkým stupněm polymerace. Stupeň polymerace je zvyšován tvrdidlem, tím dochází k tvorbě polymeru s vysokou pojivou schopností [7,8].



Obrázek 11 Charakter vytvrzeného geopolimeru [7]

4.2.2 Označení této technologie

- Geopol –ST
- Geopolymerní formovací směsi
- GEOPOL – v USA [7,8].

4.2.3 Výhody a možné nevýhody dané technologie

Výhody technologie	Možné nevýhody
Jednoduchá regenerace pomocí otírkové regenerace bez použití předeřevu, a to díky adhezivní destrukci zrnové obálky	Nižší nárůst pevnosti v začátcích Samovolného vytvrzování oproti technologiím s organickým pojivem
Možnost použití až 100 % regenerátu (dle údajů výrobce)	Konečné pevnosti po vytvrzení jsou nižší než např. u směsi s furanovým pojivem
Lze použít s téměř polovičním dávkováním pojiva než u směsi s vodním sklem	Někdy může dojít k samovolné polymeraci pojiva
Velmi dobrá rozpadavost po odlití	
Šetrnost tohoto pojivového systému k životnímu prostředí	
Není náchylná k tvorbě bublinatosti a výronků na odlitcích	

Tabulka 4 Výhody a nevýhody technologie [7,8]

4.2.4 Příklady typického použití

- Anorganický geopolymerní pojivový systém je používán pro výrobu odlitků z oceli, litin, neželezných kovů i jejich slitin.
- Tento pojivový systém je vhodný pro použití křemenných, olivínových, chromitých i zirkonových písků [7,8].

4.2.5 Dávkování geopolymerního pojiva

Díky charakteru vytvrzeného polymeru lze použít nízké dávkování tohoto pojiva. Tato vlastnost se projevila jak v laboratorních podmínkách, tak i ve slévárenské praxi. Do směsi, kde je použit nový písek, se dává pojivo 1,6-1,8 hm.d. Při použití směsi, ve kterém je 75-100 % regenerátu, je dávkování pojiva 1,8 – 2 hm.d [7,8].

4.2.6 Regenerace formovacích směsí

Regenerace směsí je snadná, a to díky struktuře zrnové obálky. Z praxe vyplývá, že k regeneraci postačuje regenerace používaná pro regeneraci vratných pojiv s organickým pojivem. Regenerace je snadnější než regenerace směsí s vodním sklem, a také zde není nutno použití ohřevu vratné směsi [7,8].

Příklad regenerovatelnosti u jiných formovacích technologií

Formovací technologie	Furan	Pepset (fenol+kys.)	Alfa set (fenol + estery)	Cold - Box (polyurethan)	Vodní sklo (ester)
Cena technologie [%]	100	87	103	155	60
Výtažnost regenerátu [%]	až 95	až 95	70	až 95	až 60

Tabulka 5 Příklad regenerovatelnosti u jiných form. technologií [7,8]



Obrázek 12 Stroj na mechanickou otírkovou regeneraci [7]

4.3 Faktory ovlivňující výslednou kvalitu formy nebo jádra

Výsledné výrobky z formovací směsi s geopolymerním pojivem jsou ovlivněny mnoha faktory, zde nejdůležitější z nich uvedu [7,8].

4.4 Ostřivo

Ostřivo je základní složkou formovací směsi, a proto má také na formovací směs velký vliv. Dá se říci, že s geopolymerním pojivem lze použít všechna základní ostřiva používaná ve slévárenství [7,8].

4.4.1 Tvar a charakter povrchu zrn křemenného ostřiva

Křemenný písek s hladkými zrny umožňuje použít méně pojiva a tvrdidla, naopak když má tento písek hranatá zrna, spotřeba pojiva a tvrdidla je vyšší. Také spěchovatelnost a tekutost je horší u směsi s hranatými zrny ostřiva.

Rozdíl je také v druhu písků. Křídové písky (Provodín, Střeleč) mají delší zpracovatelnost než písky váté (Šajdíkovy Humence) [7,8].

4.4.2 Velikost zrn a jejich rozložení

Platí, že čím je menší střední hodnota zrna ostřiva, tím je větší povrch tohoto ostřiva. Větší povrch ostřiva vyžaduje použití více pojiva a tvrdidla v geopolymerní formovací směsi. Na druhou stranu, když jsou zrna malá, může to způsobit problémy s odvodem plynů.

V ostřivu se můžou vyskytnout prachové částice ostřiva, ty způsobují zhoršení kvality ostřiva a je také nutno použít více pojiva [7,8].

4.4.3 Teplota ostřiva

Ideální teplota ostřiva je 20-29 °C. Je-li teplota nižší než 10 °C, tak se zpomalují vytvrzovací reakce – zrna se hůře obalují pojivem [7,8].

4.4.4 Regenerát jako ostřivo

Regenerátu můžeme použít až 100 %, regenerát však zkracuje dobu zpracovatelnosti směsi. Abychom mohli použít 100% regenerátu, musíme dodržet určité podmínky. Ty jsou uvedeny v tabulce [7]:

Parametr	Limitní hodnota
Vázaná voda	0,8%
Obsah volného Na ₂ O	0,12%
Vlhkost	0,5%
Podíly pod 0,1 mm	0,9%

Tabulka 6 Podmínky pro použití 100% regenerátu [7]

4.5 Pojivo

Typ použitého pojiva ovlivňuje především dobu zpracovatelnosti směsi a dobu rozebírání.

Pro samotvrdnoucí geopolymerní formovací směsi jsou používány 3 základní typy pojiva.

- **GEOPOL 510** – použití je především u směsí, ve kterých není použito regenerátu. Tento typ pojiva umožňuje dobrou zpracovatelnost směsi a rychlý nárůst pevností směsi.
- **GEOPOL 515** – použití s regenerátem, avšak kratší zpracovatelnost směsi
- **GEOPOL 618** – ve směsích s regenerátem zajišťuje dobrou zpracovatelnost i docela rychlý nárůst pevností. Toto pojivo má nízkou viskozitu, což umožňuje dobré obalení zrn pojivem [8].

4.5.1 Pojivo GEOPOL 510

Alkalické geopolymerní pojivo na bázi anorganických polymerů s nízkým stupněm polymerace [7,8].

Vlastnosti udávané na atestech pojiva:

- Hustota (při 20°C) – 1520 až 1540 kg m⁻³
- Obsah SiO₂ – 26 až 27,5%
- Obsah Na₂O – 14 až 15,5%
- Viskozita – 250 až 400 mPa s [7,8]

Vlastnosti orientační:

- Charakter – geopolymerní alkalické pojivo s obsahem SiO₂ a Al₂O₃
- Struktura – amorfní
- Barva a stav – bezbarvá viskózní kapalina s nízkým stupněm polymerace
- Konzistence DIN – 45 až 55 s
- Práh polymerace – 4,3 až 4,8 % Na₂O [7,8].

4.5.2 Pojivo GEOPOL 618

Alkalické geopolymerní pojivo na bázi anorganických polymerů s nízkým stupněm polymerace [7,8].

Vlastnosti udávané na atestech pojiva:

- Hustota (při 20°C) – 1500 až 1520 kg m⁻³
- Obsah SiO₂ – 25,5 až 27%
- Obsah Na₂O – 14,5 až 15,5%
- Viskozita – 120 až 270 mPa s [7,8]

Vlastnosti orientační:

- Charakter – geopolymerní alkalické pojivo s obsahem SiO_2 a Al_2O_3
- Struktura – amorfní
- Barva a stav – bezbarvá viskózní kapalina s nízkým stupněm polymerace
- Konzistence DIN – 25 až 35 s
- Práh polymerace – 6 až 6,5 % Na_2O [7,8]

4.6 Tvrdidlo

Tvrdidla ovlivňují především dobu zpracovatelnosti a rychlost vytvrzování [8].

4.6.1 Řady tvrdidel

- SA – základní řada
- RA – řada rychlých tvrdidel
- CE – řada tvrdidel s dlouhou dobou zpracovatelnosti

Nejčastěji se používá řada SA 73, ta vzniká smísením řad SA71 a SA75 v poměru 1:1 [7,8].

Tvrdidla – řada SA, základní řada tvrdidel.

Označení	Hustota (při 20°C)	Reaktivita	Vzhled
SA 71	1,14-1,18 kg m ⁻³	pomalá	bezbarvý
SA 75		rychlá	bezbarvý

Tabulka 7 Tvrdidla [7,8]

4.6.2 Dávkování tvrdidla

Běžné dávkování je 14-18% tvrdidla na množství pojiva. Čím více tvrdidla aplikujeme, tím více se zkracuje zpracovatelnost. Vyšší obsah tvrdidla také urychluje náběh pevností [7,8].

4.7 Vliv přípravy směsi

Mísení směsi:

- Důležité je obalení zrn písku pojivem, to musí zajistit mísič.
- Přesné dávkování je také velice důležité, dávkování je horší při nízkých teplotách
- Ve směsi by neměly zůstat nerozmíchané části pojiva
- Vhodnost použití suchého písku

5 PRAKTICKÝ POKUS – EXPERIMENT

5.1 Cíl

Cílem experimentu bylo změření pevnosti v ohybu geopolymerní formovací směsi. Měřena byla závislost typu ostřiva na pevnost geopolymerní formovací směsi v ohybu. Byly použity 2 typy pojiva a 4 druhy ostřiva.

5.2 Podmínky

Provedení daného experimentu se uskutečnilo v pískové laboratoři FSI odboru slévárenství. Teplota v pískové laboratoři byla 20 °C a teplota ostřiva byla rovněž 20 °C.

5.3 Postup

Nejprve bylo nabráno a převáženo na váze přesné množství ostřiva, ostřiva vždy bylo 2000 g. Po přípravě ostřiva bylo připravováno pojivo, toho bylo dávkováno 1,8 % hmotnosti pojiva na hmotnost ostřiva. V tomto případě 36 g. Poté bylo namícháno tvrdidlo, to se míchalo v poměru 1:1 ze dvou různých tvrdidel. První tvrdidlo bylo SA 71 a druhým tvrdidlem bylo tvrdidlo SA 75, tímto bylo dosaženo tvrdidla řady SA 73. Dávkování tvrdidla bylo 18 % na hmotnost pojiva. V tomto případě 6,48 g (3,24 g jednoho a 3,24 g druhého tvrdidla). Příprava tvrdidla i příprava pojiva probíhala v skleněných kádinkách a vážení přesného množství těchto složek na digitální váze.

Po přípravě vstupních komponent bylo ostřivo nasypáno do mixérového mísiče a zde promícháno. V průběhu míchání bylo do ostřiva nalito tvrdidlo, po 1 minutě míchání této směsi bylo do směsi nalito také pojivo. Vzniklá směs se poté 2 minuty promíchávala v mísiči.

Když byla formovací směs připravena, byla zaformována do formy na trámečky o rozměru 22,5x22,5x170 mm a také do nádoby na měření zpracovatelnosti. Po uplynutí zvolených časových intervalů byly trámečky zkoušeny na pevnost v ohybu. Zkoušení probíhalo na přístroji na měření pevnosti.

Takto bylo postupováno celkem osmkrát, neboť byly použity 4 typy ostřiva a na každý typ ostřiva byly použity 2 typy pojiva.

Seznam použitých komponent k provedení experimentu:

Váha
Digitální váha SARTORIUS
Skleněné kádinky o $V=250\text{ml}$
Mixérový míšič KITCHEN AID KSM90
Keramická miska
Digitální měřák zpracovatelnosti
Digitalizovaný přístroj na měření pevnosti LRU-D, v.č. 06598

Tabulka 8 Seznam použitých komponent k provedení experimentu



Obrázek 13 Požitý mixérový míšič



Obrázek 14 Použitý přístroj na měření pevnosti

5.4 Pojiva

Byly použity 2 druhy pojiv. Pojivo GEOPOL 510 a GEOPOL 618. Tato pojiva byla poskytnuta firmou Jihomoravská armaturka spol. s.r.o.

GEOPOL 510	GEOPOL 618
<ul style="list-style-type: none"> Hustota (při 20°C) – 1520 až 1540 kg m³ Obsah SiO₂ – 26 až 27,5% Obsah Na₂O – 14 až 15,5% Viskozita – 250 až 400 mPa s 	<ul style="list-style-type: none"> Hustota (při 20°C) – 1500 až 1520 kg m³ Obsah SiO₂ – 25,5 až 27% Obsah Na₂O – 14,5 až 15,5% Viskozita – 120 až 270 mPa s

Tabulka 9 Použitá pojiva [7,8]

5.5 Tvrdidla

Byly použity 2 typy tvrdidel, SA 71 a SA 75. Po smíchání těchto dvou tvrdidel v poměru 1:1 bylo vytvořeno tvrdidlo SA 73. Tvrdidla byla poskytnuta firmou Jihomoravská armaturka spol. s.r.o.

Označení	Reaktivita
SA 71	pomalá
SA 75	rychlá
SA 73	středně rychle

Tabulka 10 Použitá ostřiva [7,8]

5.6 Ostřiva

Byly použity celkem 4 typy křemenných ostřiv.

5.6.1 Šajdíkovy Humence – ŠH-22

Patří mezi váté písky, vyznačuje se zakulacenými zrny, má pH = 6,84. Granulometrický rozbor je uveden v příloze.

5.6.2 Šajdíkovy Humence – ŠH-34

Patří mezi váté písky, vyznačuje se zakulacenými zrny, má pH = 6,84. Granulometrický rozbor je uveden v příloze.

5.6.3 Provodín – PR 31

Obsahuje méně nečistot než ostřivo ŠH, má pH = 6,1. Tvar zrn je hranatý s částečně zaoblenými hranami. Granulometrický rozbor je uveden v příloze.

5.6.4 Německé ostřivo

Ostřivo je křemenné ostřivo z Německa, bližší informace o nalezišti nejsou známy. Jeho granulometrický rozbor je v příloze, příloha 2.

5.7 Výsledky měření

5.7.1 Ostřivo Šajdíkovy Humence 22 – ŠH-22

- Formovací směs: ŠH-22 + Geopol 510: Daná tabulka ukazuje hodnoty pevností po určitých vytvrzovacích časech. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu je po 1440 minutách (24 hodinách) a to 0,375 MPa.

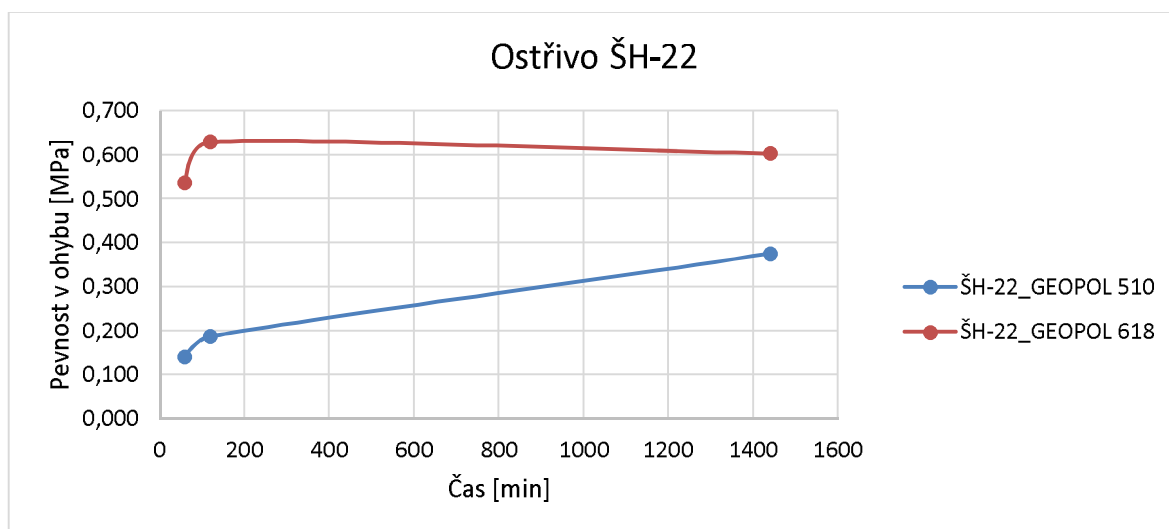
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,141
120	0,187
1440	0,375

Tabulka 11 Pevnosti form. směsi ŠH-22+Geopol510

- Formovací směs: ŠH-22 + Geopol 618: Daná tabulka ukazuje hodnoty pevností po určitých vytvrzovacích časech. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu je po 120 minutách (2 hodinách) a to 0,629 MPa. Při přípravě této formovací směsi přesáhla doba výroby dobu zpracovatelnosti a z tohoto důvodu je pevnost vyšší po 120 minutách než po 1440 minutách.

Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,536
120	0,629
1440	0,603

Tabulka 12 Pevnosti form. směsi ŠH-22+Geopol618



Graf 1 Závislost pevnosti v ohybu na čase

Z daného grafu vyplývá, že vyšší konečné pevnosti dosahuje ostřivo s pojivem Geopol 618, a to i přes to, že při přípravě této form. směsi přesáhla doba výroby dobu zpracovatelnosti směsi. Tím je také zapříčiněno klesání pevnosti s pojivem Geopol 618.

5.7.2 Ostřivo Šajdikovy Humence 34 – ŠH-34

- Formovací směs: ŠH-34 + Geopol 510: Daná tabulka ukazuje hodnoty pevností po určitých vytvrzovacích časech. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu je po 1440 minutách (24 hodinách), a to 0,861 MPa.

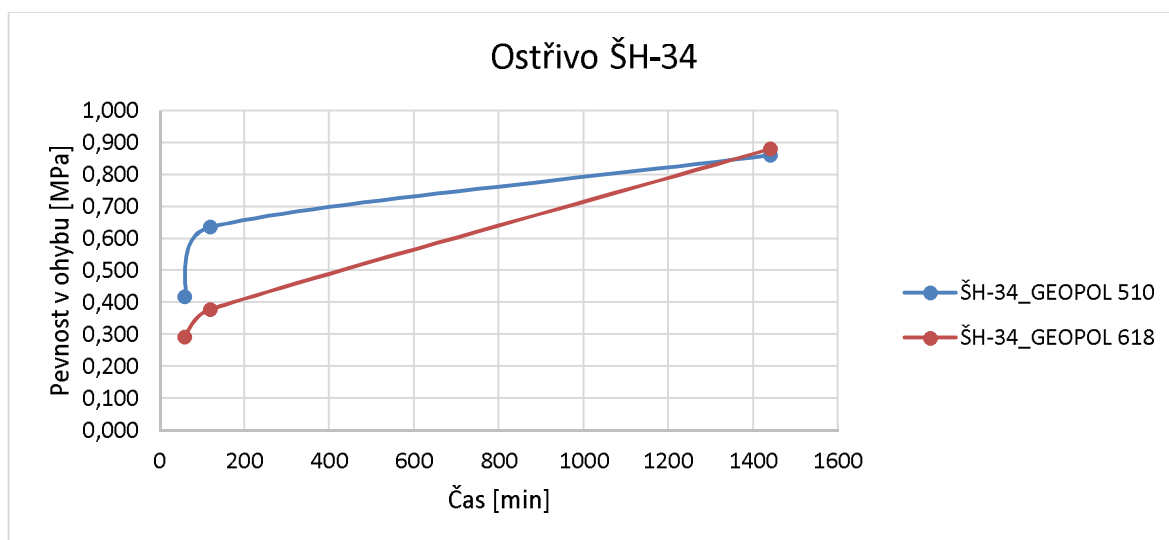
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,418
120	0,636
1440	0,861

Tabulka 13 Pevnosti form. směsí ŠH-34+Geopol510

- Formovací směs: ŠH-34 + Geopol 618: Daná tabulka ukazuje hodnoty pevností po určitých vytvrzovacích časech. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu je po 1440 minutách (24 hodinách), a to 0,881 MPa.

Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,292
120	0,378
1440	0,881

Tabulka 14 Pevnosti form. směsí ŠH-34+Geopol618



Graf 2 Závislost pevnosti v ohybu na čase

Z daného grafu vyplývá, že vyšší konečné pevnosti dosahuje ostřivo s pojivem Geopol 618, dosahuje po 1440 minutách pevnosti v ohybu 0,881 MPa. Nicméně ostřivo s pojivem Geopol 510 má vyšší počáteční pevnost, a to až do času asi 1300 minut od počátku přípravy.

5.7.3 Německé ostřivo

- Formovací směs: Německé ostřivo + Geopol 510: Daná tabulka ukazuje hodnoty pevností po určitých vytvrzovacích časech. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu je po 1440 minutách (24 hodinách), a to 0,681 MPa.

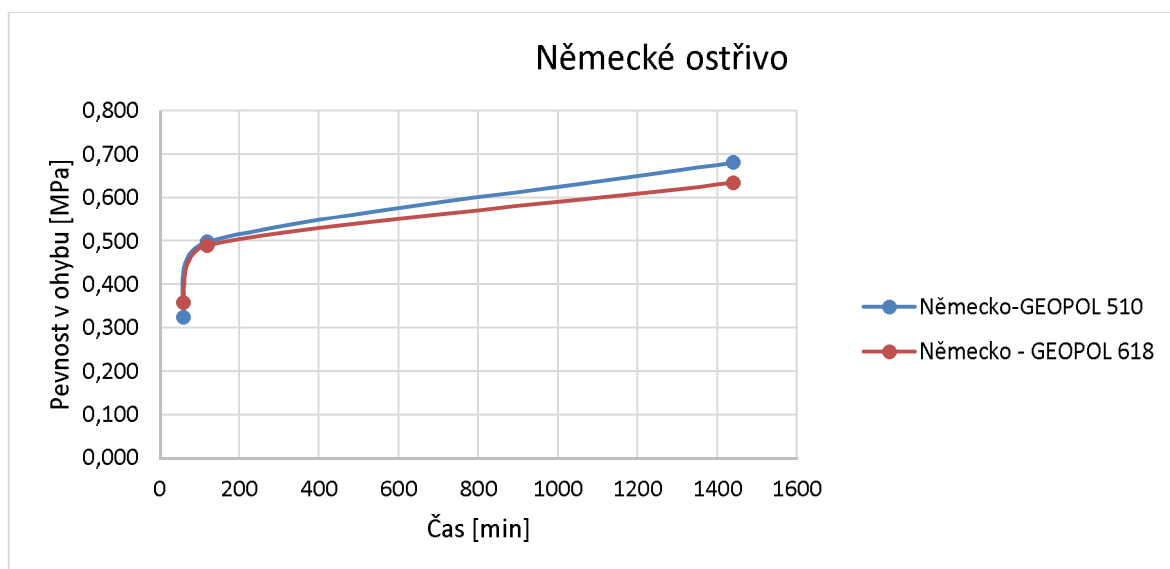
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,324
120	0,498
1440	0,681

Tabulka 15 Pevnosti form. směsí - Geopol510

- Formovací směs: Německé ostřivo + Geopol 618: Daná tabulka ukazuje hodnoty pevností po určitých vytvrzovacích časech. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu je po 1440 minutách (24 hodinách), a to 0,634 MPa.

Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,359
120	0,490
1440	0,634

Tabulka 16 Pevnosti form. směsí - Geopol618



Tabulka 17 Závislost pevnosti v ohybu na čase

Z daného grafu vyplývá, že vyšší konečné pevnosti dosahuje ostřívo s pojivem Geopol 510, dosahuje po 1440 minutách pevnosti v ohybu 0,681 MPa. Ostřívo s pojivem Geopol 618 má ovšem konečnou pevnost jen o 0,047 MPa nižší a to 0,634 MPa.

5.7.4 Provodín PR-31

- Formovací směs: PR-31 + Geopol 510: Daná tabulka ukazuje hodnoty pevností po určitých vytvrzovacích časech. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu je po 1440 minutách (24 hodinách), a to 0,641 MPa.

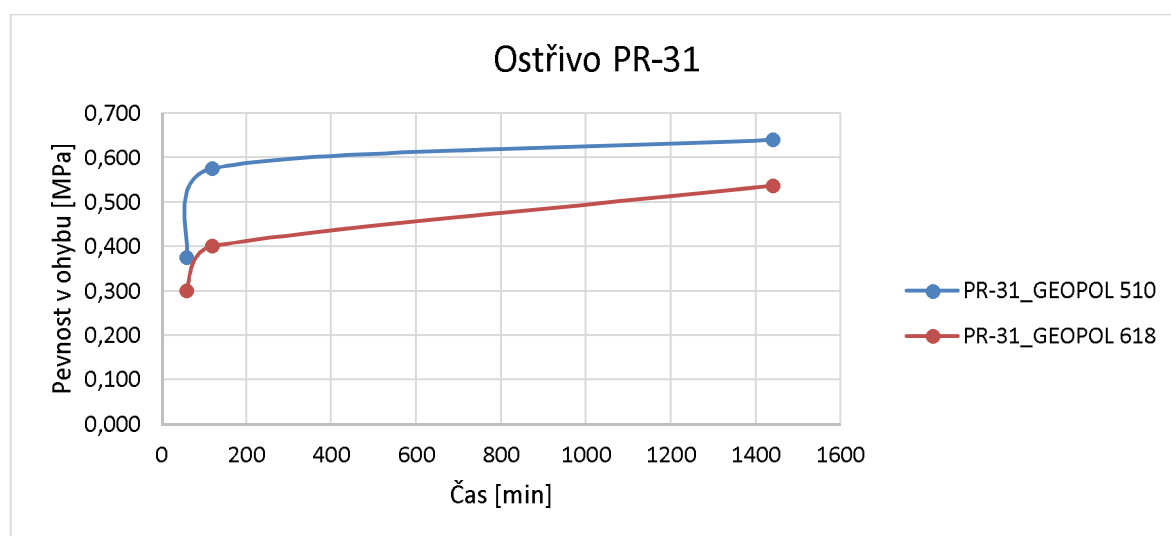
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,375
120	0,576
1440	0,641

Tabulka 18 Pevnosti form. směsi PR-31+Geopol510

- Formovací směs: PR-31 + Geopol 618: Daná tabulka ukazuje hodnoty pevností po určitých vytvrzovacích časech. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu je po 1440 minutách (24 hodinách), a to 0,537 MPa.

Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,299
120	0,401
1440	0,537

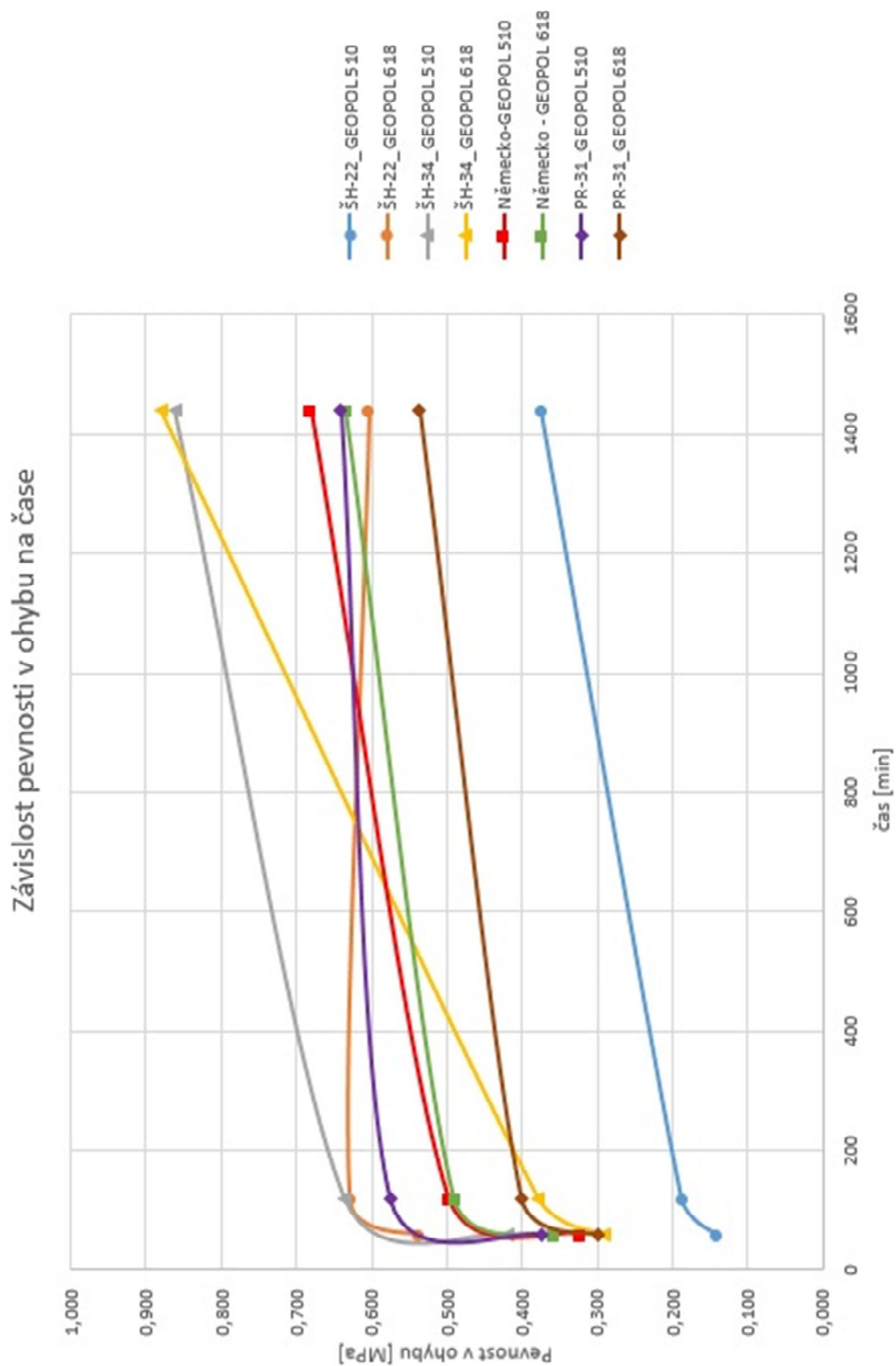
Tabulka 19 Pevnost form. směsi PR-31+Geopol618



Graf 3 Závislost pevnosti v ohybu na čase

Z daného grafu vyplývá, že vyšší konečné pevnosti dosahuje ostřivo s pojivem Geopol 510, dosahuje po 1440 minutách pevnosti v ohybu 0,641 MPa. Ostřivo s pojivem Geopol 618 má ovšem konečnou pevnost o 0,104 MPa nižší, a to 0,537 MPa.

5.8 Porovnání všech formovacích směsí



Graf 4 Porovnání pevnosti v ohybu všech použitých směsí

Porovnání všech formovacích směsí

Z daného grafu vyplývá, že nejvyšší hodnoty pevnosti v ohybu dosahují směsi s ostřivem ŠH-34. Vůbec nejvyšší pevnost v ohybu má formovací směs, kde je ostřivo ŠH-34 a pojivo Geopol 618, tato směs dosahuje pevnosti v ohybu 0,881 MPa.

Nejnižší pevnost v ohybu naopak má formovací směs, která je tvořena ostřivem ŠH-22 a pojivem 510. Pevnost této směsi je 0,375 MPa.

Pro použití v praxi by bylo nutné provést další zkoušky pevností v ohybu i s regenerátem ostřiva.

6 ZÁVĚR

Slévárenství je jedno z nejstarších výrobních odvětví, to ale neznamená, že se nevyvíjí. Tato bakalářská práce objasňuje a vysvětluje pojmy formovací směs, ostřivo a pojivo.

Bakalářská práce se zabývá novou technologií přípravy formovacích směsí, a to geopolymerní formovací směsí. Tato technologie je díky své ekologičnosti a ekonomičnosti velkým příslibem do budoucna.

Nejdříve je však potřeba vysvětlit a objasnit základní pojmy, pojivo, ostřivo a formovací směsi. Vysvětlení těchto pojmů je v bodech 1 až 3.

Následuje seznámení s pojmem geopolymer a geopolymerní pojivo. V České republice jsou nyní vyráběna a prodávána 3 pojiva, Geopol 510, Geopol 515 a Geopol 618. K nim jsou dodávány tři typy tvrdidel, CA, SA a RA. Kombinací těchto pojiv, tvrdidel a ostřiv získáváme geopolymerní směsi o různých vlastnostech.

V praktické části bylo provedeno samotné měření pevnosti geopolymerní směsi. Bylo připraveno osm různých směsí ze čtyř ostřiv a dvou geopolymerních pojiv. Formovací směs byla poté zaformována a následně, po třech časech (60, 120 a 1440 min.) proběhla samotná zkouška pevnosti v ohybu.

Nejvyšší pevnost v ohybu dosahovala formovací směs s ostřivem Šajdíkovy Humence 34 a s pojivem Geopol 618. Dosažená pevnost byla 0,881 MPa. Druhou nejvyšší pevnost měla další směs s ostřivem Šajdíkovy Humence 34 avšak s pojivem Geopol 510. Z toho vyplývá, že pro nejvyšší pevnost je vhodné ostřivo Šajdíkovy Humence 34.

Pro použití ve slévárnách by bylo vhodné provést toto měření i pro směsi v nichž by bylo ostřivo regenerátem, neboť výhodou této směsi je snadná regenerovatelnost a v praxi se častěji vyskytují formovací směsi s regenerátem ostřiva.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1 SLOVÁK, Stanislav a Karel RUSÍN. *Teorie slévání*. vyd. 1. Praha: SNTL, 1990, 231 s. ISBN 80-030-0400-4

2 DVOŘÁK, Milan a KOLEKTIV. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, s. 3-64. ISBN 80-214-2683-7.

3 HORÁČEK, Milan. *Teorie slévání*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 132 s. ISBN 80-214-0293-8.

4 JELÍNEK, Petr. *Slévárenství: teorie slévárenství*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 1986, 256 s. ISBN 80-707-8952-2.

5 RUSÍN, Karel. *Disperzní formovací materiály*. 2., nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985, 184 s.

6 JELÍNEK, Petr. *Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí*. Ostřiva. Ostrava: vlastním nákladem, 2000, 138 s. ISBN 80-238-6118-2.

7 BURIAN, A. *Samotvrdnoucí směsi s geopolymerním pojivovým systémem. Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2005, roč. 53, č. 4. s. 153 - 156. ISSN 0037-6825.

8 BURIAN, A. a KOLEKTIV. *Geopolymerní pojivový systém., Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2006, roč. 54, č. 12. s. 468 - 469. ISSN 0037-6825.

9 SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004, 471 s. ISBN 80-807-6007-1.

10 JELÍNEK, Petr. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí: (chemie slévárenských pojiv)*. [Ostrava: P. Jelínek], 2004, 241 s. ISBN 80-239-2188-6.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Provodín PR31	16
Obrázek 2 Střeleč ST52.....	17
Obrázek 3 Šajdíkovy Humence ŠH 32 I.....	18
Obrázek 4 Šajdíkovy Humence ŠH 32 II	18
Obrázek 5 Lupek	20
Obrázek 6 Olivín.....	22
Obrázek 7 Zirkon	23
Obrázek 8 Chromit.....	24
Obrázek 9 Směsi s vodním sklem [3].....	29
Obrázek 10 Geopolymery - tetraedry SiO ₄ AlO ₄ [7].....	31
Obrázek 11 Charakter vytvrzeného geopolymery [7].....	32
Obrázek 12 Stroj na mechanickou otírkovou regenerace [7]	34
Obrázek 13 Požitý mixérový mísíč.....	39
Obrázek 14 Použitý přístroj na měření pevnosti.....	39

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Závislost pevnosti v ohybu na čase.....	42
Graf 2 Závislost pevnosti v ohybu na čase.....	43
Graf 3 Závislost pevnosti v ohybu na čase.....	45
Graf 4 Porovnání pevností v ohybu všech použitých směsí.....	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Granulometrie písků Š-H	19
Tabulka 2 Průměrné chemické složení.....	19
Tabulka 3 Dělení podle technologie [4].....	27
Tabulka 4 Výhody a nevýhody technologie [7,8].....	33
Tabulka 5 Příklad regenerovatelnosti u jiných form. technologií [7,8]	34
Tabulka 6 Podmínky pro použití 100% regenerátu [7].....	35
Tabulka 7 Tvrdiva [7,8].....	37
Tabulka 8 Seznam použitých komponent k provedení experimentu	39
Tabulka 9 Použitá pojiva [7,8].....	40
Tabulka 10 Použitá ostřiva [7,8].....	40
Tabulka 11 Pevnosti form. směsí ŠH-22+Geopol510.....	41
Tabulka 12 Pevnosti form. směsí ŠH-22+Geopol618.....	41
Tabulka 13 Pevnosti form. směsí ŠH-34+Geopol510.....	42
Tabulka 14 Pevnosti form. směsí ŠH-34+Geopol618.....	42
Tabulka 15 Pevnosti form. směsí - Geopol510.....	43
Tabulka 16 Pevnosti form. směsí - Geopol618.....	43
Tabulka 17 Závislost pevnosti v ohybu na čase.....	44
Tabulka 18 Pevnosti form. směsí PR-31+Geopol510.....	45
Tabulka 19 Pevnost form. směsí PR-31+Geopol618.....	45

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Kompletní výsledky měření pevnosti |
| Příloha 2 | Granulometrický rozbor německého ostřiva |
| Příloha 3 | Vlastnosti a granulometrický rozbor ostřiva Šajdíkovy Humence |
| Příloha 4 | Vlastnosti a granulometrický rozbor ostřiva Provodín |

PŘÍLOHA 1

ŠH-22 + Geopol 510	
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,117
60	0,137
60	0,169
120	0,18
120	0,186
120	0,195
1440	0,235
1440	0,541
1440	0,366
1440	0,357

ŠH-22 + Geopol 618	
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,541
60	0,531
60	0,537
120	0,511
120	0,663
120	0,713
1440	0,504
1440	0,455
1440	0,782
1440	0,671

ŠH-34 + Geopol 510	
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,458
60	0,326
60	0,471
120	0,536
120	0,748
120	0,623
1440	0,829
1440	0,909
1440	0,809
1440	0,898

ŠH-34 + Geopol 618	
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,304
60	0,285
60	0,287
120	0,427
120	0,387
120	0,321
1440	1,044
1440	1,036
1440	0,85
1440	0,593

Německé ostřivo + Geopol 510	
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,411
60	0,304
60	0,257
120	0,488
120	0,499
120	0,507
1440	0,638
1440	0,959
1440	0,431
1440	0,696

Německé ostřivo + Geopol 618	
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,29
60	0,395
60	0,391
120	0,538
120	0,387
120	0,545
1440	0,63
1440	0,627
1440	0,635
1440	0,645

PR31 + Geopol 510	
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,456
60	0,329
60	0,34
120	0,532
120	0,623
120	0,572
1440	0,797
1440	0,478
1440	0,647

PR31 + Geopol 618	
Čas [min]	Pevnost v ohybu [MPa]
60	0,271
60	0,285
60	0,342
120	0,402
120	0,363
120	0,437
1440	0,448
1440	0,453
1440	0,468
1400	0,779

PŘÍLOHA 2

Vzorek č.:	slév.písek	Zákazní k:	ASK						
Označení:	Německo	Poznámka (není přenášeno do protokolu): vlhkost : 0 %							
Datum odběru:		09.04.13							
Datum zkoušky:		15.04.13							

Navážka směsi	[g]	50	r Hustota materiálu ostřiva g/cm ³	2,65	pro křemen
Ostřivo po výplavu	[g]	49,94	navážka ostřiva na prodyšnost g		Zpracoval:
Vyplavitelné látky	[g]	0,06	prodyšnost n.j.p.		Datu
	%	0,12	r _s Sypná obj. hmotnost ostřiva g/cm ³	0,000	m:
			použito pro M1	22,60	
				0	

pořadové č.	Síta(dno=0,02)	zbytek		součet	M1	M2	M1*g	M2*g	pro d50	pro d75	pro d25
	11	g	%	%	cm ² /g	mm			0,2	0,16	0,2
1	1,000	0	0,00	0,00	22,6	1,000	0	0,00	0,214	0,161	0,297
2	0,630	0,38	0,76	0,76	27,7	0,794	11	0,30	0,214	0,161	0,297
3	0,400	4,08	8,16	8,92	43,9	0,502	179	2,05	0,214	0,161	0,297
4	0,315	5,38	10,76	19,68	63,2	0,355	340	1,91	0,214	0,161	0,297
5	0,200	17,28	34,57	54,25	87,8	0,251	1517	4,34	0,214	0,161	0,297
6	0,160	10,67	21,34	75,60	125,6	0,179	1340	1,91	0,214	0,161	0,297
7	0,125	9,31	18,62	94,22	158,6	0,141	1477	1,32	0,214	0,161	0,297
8	0,100	2,25	4,50	98,72	200,9	0,112	452	0,25	0,214	0,161	0,297
9	0,080	0,52	1,04	99,76	251,1	0,089	131	0,05	0,214	0,161	0,297
10	0,063	0,06	0,12	99,88	316,1	0,071	19	0,00	0,214	0,161	0,297
11	0,020	0	0,00	99,88	544,6	0,035	0	0,00	0,214	0,161	0,297
výplav	0,01	0,06	0,12	100,00							
	celkem	49,99	100				5464,1	12,124			
	celkem ostř	49,93									
	rozdíl:	-0,010									
S _{th} Teoretický povrch cm ² /g:				109,43	Pravidelnost zrnitosti ostřiva d ₇₅ /d ₂₅ %						54,2
MK _{calc} Střední velikost zrn mm				0,243	log w						73,3
AFS				62,4	log w %						70,4
d ₅₀ mm:				0,214	Podíly ostřiva pod 0,1 mm %						1,16
d ₇₅ mm:				0,161	n _{th} Teoretický specifický počet zrn ks/g						128552
d ₂₅ mm:				0,297	S _w Specifický měrný povrch cm ² /g						-

PŘÍLOHA 3

Označení	nové Původné	SH 30 Š 70 ŠH	SH 31 Š 50 ŠH	SH 32 Š 35 ŠH	SH 33 Š 27 ŠH	SH 34 Š 22 ŠH
AFS		20	25	39	49	62
D ₅₀	[mm]	0.70	0.50	0.35	0.27	0.22
D _{75/25}		65	65	57	68	68

Třída zrnitosti	[mm]	Podíl v hmot. %				
> 1.4						
1 - 1.4		8	1			
0.71 - 1		42	16	2		
0.5 - 0.71		42	37	10	1	
0.355 - 0.5		7	37	40	15	2
0.25 - 0.355		1	7	38	49	28
0.18 - 0.25			2	9	29	51
0.125 - 0.18				1	5	17
0.063 - 0.125					1	2
< 0.063						

Chemické a fyzikální vlastnosti (typické hodnoty)

SiO ₂	[%]	96.00
Fe ₂ O ₃	[%]	0.2
Al ₂ O ₃	[%]	2

Strata žháním	[%]	0.3
Vlhkost'	[%]	8 / 0.2
Vyplavitelné látky	[%]	0.2
Spiekavost'	[°C]	> 1300

ŘÍLOHA 4

Označení	PR 30	PR 30/31	PR 31	PR 32	PR 33	
AFS	17	24	39	45	50	
D ₅₀	[mm]	0.82	0.56	0.38	0.34	0.30
D _{75/25}		59	68	57	61	65

Třída zrnitosti	[mm]	Podíl v hmot. %				
> 2		0.5				
2 - 1.4		5.5				
1.4 - 1		24	3	1	0.5	
1 - 0.71		33	15	4.5	2.5	0.1
0.71 - 0.5		27	49	19	10	1.4
0.5 - 0.355		9	29	33	29	25
0.355 - 0.25		1	3	27	37	47
0.25 - 0.125			1	14	19	24
0.125 - 0.063				1.5	2	2.5
< 0.063						

Chemické a fyzikální vlastnosti (typické hodnoty)

SiO ₂	[%]	99.0
Fe ₂ O ₃	[%]	0.030
Al ₂ O ₃	[%]	0.300

Vyplavitelné látky	[%]	0.15
Ztráty žháním (1100 °C)	[%]	0.3
Spiekavost	[°C]	> 1500
Vlhkost (vlhký / sušený)	[%]	6 / 0.2
Reaktivnost pisku s alkáliemi (ČSN 72 1179)		
- stanovení úbytku zásaditosti	[mmol/l]	38.56
- stanovení koncentrace SiO ₂	[mmol/l]	8.91