

## Zastosowanie bentonitu hybrydowego do klasycznych mas formierskich

### The application of bentonite in classical moulding sands

*Aleksander Palma, Irena Izdebska-Szanda, Michał Angrecki*

*Institut Odlewnictwa, Zakład Technologii, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*  
*Foundry Research Institute, Department of Technology, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków*

*E-mail: aleksander.palma@iod.krakow.pl*

#### **Streszczenie**

Artykuł przedstawia wyniki badań laboratoryjnych nad opracowaniem nowej generacji bentonitu odlewniczego, typu hybrydowego. Przeznaczony jest on jako spoiwo do syntetycznych mas formierskich i rdzeniowych.

W dotychczasowej praktyce bentonit odlewniczy stanowi produkt przerobu jednego rodzaju gliny montmorylonitowej z jednego wybranego złoża o określonym pochodzeniu geologicznym.

Bentonit hybrydowy nie jest materiałem jednorodnym, lecz stanowi mieszaninę najczęściej dwóch lub więcej materiałów pochodzących z kilku różnych pod względem geologicznym złóż. Ta różnorodność materiałów, według wstępnych ocen, daje szansę na uzyskanie nie stosowanego w praktyce odlewniczej bentonitu hybrydowego, o wyższych w pewnych zakresach właściwościach fizykochemicznych i technologicznych. Z wstępnych badań wynika także, że bentonity te mają szereg innych parametrów przewyższających właściwości dotychczas produkowanych spoiw do syntetycznych mas formierskich.

W badaniach bentonitów hybrydowych, prowadzonych na skalę laboratoryjną, stosowano, przy wykonywaniu partii bentonitów próbnych, gliny montmorylonitowe z kilku złóż słowackich oraz il bentonitowy, pochodzenia krajowego.

Badania były prowadzone w dwóch etapach, a mianowicie w pierwszym etapie uzyskano bentonit hybrydowy na bazie tylko bentonitów słowackich, a w drugim etapie z wybranego bentonitu słowackiego i polskiego ilu bentonitowego. W obu przypadkach wyniki prac zakończyły się uzyskaniem bentonitów hybrydowych, które pewnymi właściwościami zarówno fizykochemicznymi, jak i określonymi cechami technologicznymi przewyższały bentonity wyjściowe, które zostały zastosowane do ich otrzymania. Te parametry to wyższa zawartość montmorylonitu, wyższa wytrzymałość na ściskanie na wilgotno oraz w strefie przewilżonej, a także wysoka trwałość termiczna, porównywalna z najlepszymi materiałami.

**Słowa kluczowe:** syntetyczne masy formierskie, spoiwa odlewnicze, bentonit hybrydowy

#### **Abstract**

The article presents results of laboratory tests to develop a new generation of foundry hybrid bentonite. Hybrid bentonite is intended for use as binder for synthetic moulding sands and sandmixes. In the previous practice foundry bentonite was a product of processing of one type of montmorillonite clay coming from one selected deposit with a determined geological origin.

Hybrid bentonite is not a homogenous material but a mixture of, most often, two or more materials, which come from several geologically different deposits. This material variety, according to preliminary assessments, gives a chance to obtain hybrid bentonite, which is not used in foundry practice, which has better, in certain scopes, physicochemical and technological properties. From preliminary tests it also results that these bentonites have a number of different parameters which are higher than the properties of previously produced binders for synthetic moulding sands.

For tests of hybrid bentonites, which were conducted on a laboratory scale, while preparing batches of test bentonites both montmorillonite clays from several Slovakian deposits and bentonite loam of Polish origin were used.

The tests were carried out in two stages, that is, during the first stage hybrid bentonite was obtained on the basis of two bentonites only from Slovakia, and during the second stage on the basis of selected Slovakian bentonite and Polish bentonite loam. In both cases the investigation resulted in achieving hybrid bentonites, which had higher not only physicochemical but also particular technological properties than initial bentonites which were used for the production of hybrid bentonites. These parameters include higher content of montmorillonite, higher wet compressive strength and compressive strength in the over-moisture zone, as well as high thermal durability comparable with the best materials.

**Key words:** synthetic moulding sands, foundry binders, hybrid bentonite

## Wstęp

Masy syntetyczne mają największy udział procentowy w wykonywaniu form dla odlewów, ze względu na trwałość i nieograniczoną żywotność masy oraz małą szkodliwość dla otoczenia, a także do tej pory ze względu na dostępność i stosunkowo niską cenę [1–3]. Te ostatnie uwarunkowania pogorszyły się ze względu na wyczerpanie się krajowych zasobów surowcowych, a także na wzrost cen nie tylko bentonitów, ale i kosztów ich transportu. Masy bentonitowe mają też pewne wady, jak mała płynność i podatność oraz ograniczenia w zakresie wielkości odlewów ze względu na parametry wytrzymałościowe. Dlatego masy te zastępowane są masami formierskimi z innymi spoiwami nieorganicznymi bądź organicznymi. Jednak masy klasyczne prawdopodobnie jeszcze długo będą stosowane i to w znaczącym procencie, a zatem celowe jest prowadzenie badań i prób wykonania wysokojakościowych bentonitów odlewniczych [4, 5], w tym bentonitów hybrydowych [6], które nadawałyby masie wysokie i ustabilizowane właściwości technologiczne. Innym ważnym aspektem podjęcia badań nad bentonitami hybrydowymi jest możliwość stosowania przy ich produkcji nie tylko surowców o wysokiej zawartości montmorillonitu, ale i materiałów o niższych zawartościach montmorillonitu w granicach 50% do 75% (iły bentonitowe), dzięki czemu uzyskuje się spoiwo o zadawalającym poziomie montmorillonitu, które nada masie optymalną wytrzymałość na ściskanie na wilgotno w przedziale 0,070 MPa do 0,080 MPa (7,0 N/cm<sup>2</sup> do 8,0 N/cm<sup>2</sup>) lub wyższą.

## Badania wybranych aktywowanych surowców wyjściowych ze złóż słowackich oraz krajowych, przeznaczonych do wykonania laboratoryjnych szarży bentonitów hybrydowych

Do badań wybrane zostały dwa bentonity ze złóż słowackich, oznaczone symbolami B1 i B2 oraz udostępniony przez firmę Certech Sp. z o.o., krajowy bentonit (ił bentonitowy) – wszystkie aktywowane. Zostały one wysuszone, a następnie odpowiednio zmielone, a bentonit hybrydowy uzyskany przez jednoczesne mielenie wybranych dwóch materiałów. Ocena bentonitów wyjściowych i hybrydowego była wielokierunkowa, oparta zarówno na badaniach bezpośrednich, dotyczących cech fizykochemicznych, jak i badaniach pośrednich, obejmujących oznaczenie właściwości technologicznych mas formierskich. W pierwszym etapie sporządzono na skalę laboratoryjną bentonit hybrydowy H1 z bentonitów wyłącznie słowackich (B1 i B2), a w drugim etapie uzyskaliśmy hybrydę H2 z bentonitu słowackiego B2 i polskiego iłu bentonitowego.

## Introduction

Synthetic moulding sands have the highest percentage share in preparing moulds for casts, due to their durability and unlimited life of moulding sand which has low harmfulness for the environment, and until the present day because of their availability and relatively low price [1–3]. The latter conditions deteriorated because of depletion of domestic deposits of this resource and an increase in prices of not only bentonites, but also their transportation costs. Bentonite moulding sands also have some disadvantages such as low yield point, susceptibility and limitations within the scope of casts dimensions due to strength parameters. That is why these moulding sands are being replaced by moulding sands with different inorganic or organic binders. However classical moulding sands will be probably used for a long time and with a considerable share in the overall use, hence its purpose to conduct tests and attempts to obtain high-quality foundry bentonites [4, 5], including hybrid bentonites [6], which would give the moulding sand high and stable technological properties. Another important aspect underlying tests of hybrid bentonites is that during their production it is possible to use resources not only with high montmorillonite content, but also materials with lower montmorillonite content within the range from 50% to 75% (bentonite loams), thanks to which is achieved a binder with a satisfactory content of montmorillonite, which will give the moulding sand optimal wet compressive strength within the range from 0.070 MPa to 0.080 MPa (7.0 N/cm<sup>2</sup> to 8.0 N/cm<sup>2</sup>) or higher.

## Tests of selected activated initial resources from Slovakian and domestic deposits designated for conducting laboratory samples of hybrid bentonites

For the purposes of tests two bentonites from Slovakian deposits marked with symbols B1 and B2 were chosen, as well as domestic bentonite (bentonite loam) provided by Certech Sp. z o.o. – all of the materials were activated. Bentonites were dried, and next properly ground, and hybrid bentonite was obtained by simultaneous grinding of the selected two materials. The assessment of initial and hybrid bentonites was multi-directional based on both direct tests, which regarded physicochemical properties, and an indirect test, which included determining technological properties of moulding sands.

During the first stage hybrid bentonite H1 was manufactured on a laboratory scale exclusively from Slovakian bentonites (B1 and B2), and during the second stage hybrid bentonite H2 was obtained from Slovakian bentonite B2 and Polish bentonite loam.

W trakcie badań oznaczano zawartość wody, wskaźnik pH, zawartość montmorylonitu, wykonywano analizę granulometryczną bentonitów w trakcie mielenia. Badania pośrednie obejmowały pomiary wilgotności mas formierskich ( $W$ ), właściwości wytrzymałościowych na wilgotno (na ściskanie ( $R_c^w$ ), rozciąganie ( $R_m^w$ ), rozciąganie w strefie przewilżonej ( $R_m^p$ ), przepuszczalności ( $P^w$ ), płynności ( $L_D$ ), zagęszczalności ( $Z$ ), osypliwości ( $S^w$ ). Wytrzymałość na rozciąganie w strefie przewilżonej w znaczący sposób wpływa na odporność masy do generowania powierzchniowych wad odlewniczych [11, 12].

We wszystkich badaniach stosowany był piasek kwarcowy średni, płukany i klasyfikowany z Kopalni Grudzeń-Las oznaczony wg normy PN-H- 11001:1985P gatunku 1K 0,20/0,16/0,315 o jednorodności  $J = 89\%$  i średniej wielkości ziarna 0,23 mm.

Wszystkie masy sporządzane były w mieszarce laboratoryjnej typ LM1 z udziałem 93% piasku kwarcowego i 7% bentonitu przeliczonego na suchą substancję, przy stosunku wodno-glinowym od 0,3 do 0,5, o wilgotności mas 2,5; 3,0 i 3,5%. Właściwości wytrzymałościowe oznaczano za pomocą uniwersalnych aparatów wytrzymałościowych LRuE-2 oraz LRu-1 z przystawką do badania wytrzymałości na rozciąganie na wilgotno typ LRuw, wytrzymałość na rozciąganie w strefie przewilżonej aparatem typu LRP, zagęszczalność za pomocą praski.

Proces aktywacji bentonitów B1 i B2 przeprowadzono osobno na poszczególnych próbkach w firmie PTH „Certeck” Sp. z o.o. przy użyciu 4% węgla sodowego. Porcje bentonitu były wstępnie przygotowywane, a następnie na odpowiednich poletkach prowadzono ich aktywację, która trwała 5–8 dni. Następnie pobrano próbki bentonitów i po natryfikacji i wstępnym rozdrobieniu laboratoryjnie zostały przygotowane do dalszych prób. Dokonano pomiarów zawartości wody, a następnie poddano je suszeniu i mieleniu. Przebieg prób i wyniki badań przedstawiono poniżej.

## Bentonit B1 aktywowany

Średnia wilgotność bentonitu B1 przed suszeniem i mieleniem wynosiła 12,35%. Materiał był wstępnie rozdrobiony i tę próbną partię podzielono na dwie części, pierwszą – z przeznaczeniem do wykonania bentonitu do zbadania wyjściowych właściwości technologicznych masy (tabela 1), a drugą – do wykonania partii bentonitu hybrydowego. Po suszeniu przez 12 godzin materiał zawierał 1,91% wody i nadawał się już do mielenia. Wtedy poddano go mieleniu, a po każdym etapie sprawdzano stopień rozdrobienia. Mielenie odbywało się w stalowym młynku, w półgodzinnych cyklach, a po każdym wykonywano analizę sitową na sitach o prześwicie 0,056 mm i 0,16 mm.

The following properties were determined during the test: the content of water, pH value, and the content of montmorillonite. Granulometry analysis of bentonites was made during grinding. Indirect tests included the measurement of moisture of moulding sands ( $W$ ), wet strength properties (compressive strength ( $R_c^w$ ), tensile strength ( $R_m^w$ ), tensile strength in the over-moisture zone ( $R_m^p$ ), permeability ( $P^w$ ), flowability ( $L_D$ ), compactability ( $Z$ ), friability ( $S^w$ ). Tensile strength in the over-moisture zone has a significant impact on generating surface casting defects [11, 12].

In all tests quartz sand was used as medium. It constituted washed and graded sand, from the sand quarry Grudzeń-Las, which is marked according to the standard PN-H-11001:1985P as grade 1K 0.20/0.16/0.315 with homogeneity  $J = 89\%$  and average grain size 0.23 mm.

All moulding sands were made in a laboratory mixer type LM1 with 93% of quartz sand participation and 7% of bentonite participation, which were calculated into dry substance, with the water-clay ratio from 0.3 to 0.5, and with moisture of moulding sands 2.5; 3.0 and 3.5%. Strength properties were determined with the use of universal testing machines LRuE-2 and LRu-1 with an attachment type LRuw to test wet tensile strength. Tensile strength in the over-moisture zone was tested with a device type LRP, and compactability was determined with the use of a press.

The process of activating bentonites B1 and B2 was carried out for particular samples in PTH “Certeck” Sp. z o.o. with the use of 4% sodium carbonate. Batches of bentonite were initially prepared, and then activated for 5–8 days. Next, samples of bentonites were taken and after nitrification and initial refining prepared in a laboratory for further tests. Measurements of water content were made, after which bentonites were dried and ground. The course of tests and results are presented below.

## Activated bentonite B1

The average moisture of bentonite B1 before drying and grinding was 12.35%. The material was initially refined and this test batch was divided into two parts, the first – to make bentonite to test initial technological properties of moulding sand (Table 1), and the second – to make a batch of hybrid bentonite. After drying for 12 hours the water content in the material was 1.91% and was appropriate for grinding. Then the material was ground, and after each stage the degree of fineness was checked. Grinding was made in a steel mill, in 30-minute cycles, after each cycle a screen analysis was made on meshes with opening sizes 0.056 mm and 0.16 mm.

Dla bentonitu B1 cykl mielenia wyniósł 50 minut i po tym czasie uzyskano zadowalający stopień rozdrobnienia.

**Pierwszy cykl mielenia**

Czas mielenia – 20 min

Analiza sitowa: sito o prześwicie oczka 0,056 mm, pozostałość na sicie 44,3%

**Drugi cykl mielenia**

Czas mielenia – 30 min

Analiza sitowa: sito o prześwicie oczka 0,16 mm, pozostałość na sicie 1,1%  
 sito o prześwicie oczka 0,056 mm, pozostałość na sicie 12,0%

pH – 9,5

Zawartość montmorylonitu – 96%.

Wyniki badań właściwości technologicznych bentonitu wyjściowego B1 i masy z tym bentonitem przedstawiono w tabelach 1 i 2.

For bentonite B1 the grinding cycle was 50 minutes after which time a satisfactory degree of fineness was achieved.

**First grinding cycle**

Grinding time – 20 min

Screen analysis: mash with opening size 0.056 mm, screenings 44.3%

**Second grinding cycle**

Grinding time – 30 min

Screen analysis: mash with opening size 0.16 mm, screenings 1.1%  
 mash with opening size 0.056 mm, screenings 12.0%

pH – 9.5

Montmorillonite content – 96%.

Test results of technological properties of initial bentonite B1 and moulding sand with this bentonite are presented in Tables 1 and 2.

Tabela 1. Właściwości technologiczne bentonitu wyjściowego B1 w temperaturze otoczenia

Table 1. Technological parameters of initial bentonite B1 at ambient temperature

Stosunek wodno-glinowy Water-clay ratio	Parametry technologiczne masy / Technological parameters of moulding sand								
	$W_m$ %	$R_c^w$ MPa	$R_m^w$ MPa	$P^w$ j.p.	$S^w$ %	Z %	$L_D$ %	$R_m^p$ N/cm <sup>2</sup>	$R_c^w/R_m^w$
0,49	3,43	0,081	0,0165	300	2,10	65	80,7	0,215	4,91

Tabela 2. Właściwości technologiczne masy z bentonitem B1 w temperaturze otoczenia i temperaturze podwyższonej

Table 2. Technological parameters of initial bentonite B1 at ambient temperature and higher temperature

Temperatura nagrzewania / Heating temperature °C	Parametry technologiczne masy / Technological parameters of moulding sand								
	$W_m$ %	$R_c^w$ MPa	$R_m^w$ MPa	$P^w$ j.p.	$S^w$ %	Z %	$L_D$ %	$R_m^p$ N/cm <sup>2</sup>	$R_c^w/R_m^w$
22	3,43	0,081	0,0165	300	2,10	65	80,7	0,215	4,91
100	3,50	0,078	0,0150	320	1,90	68	80,0	0,195	5,20
200	3,48	0,078	0,0135	310	1,80	70	81,3	0,185	5,77
300	3,58	0,076	0,0110	300	1,63	67	82,3	0,134	6,91
400	3,55	0,074	0,0095	295	1,84	67	81,7	0,107	7,79
500	3,50	0,067	0,0087	295	2,17	65	82,3	0,095	7,70
600	3,53	0,058	0,0073	290	5,87	63	82,0	0,078	7,94
700	3,58	0,048	0,0048	290	11,43	60	83,1	0,065	10,00

**Bentonit B2 aktywowany**

Średnia wilgotność bentonitu B2 przed suszeniem i mieleniem wynosiła 9,10%. Materiał był wstępnie rozdrobniony i podobnie jak w przypadku bentonitu B1 podzielono materiał na dwie części, gdzie druga część przeznaczona była do wykonania laboratoryjnej

**Activated bentonite B2**

The average moisture of bentonite B2 before drying and grinding was 9.10%. The material was initially refined and similarly to bentonite B1 divided into two parts, where the second part was designated for making a laboratory sample of hybrid bentonite.

próbki bentonitu hybrydowego. Po suszeniu przez 12 godzin materiał miał jeszcze 2,11% wody i nadawał się do mielenia. Wtedy poddano go mieleniu, a po każdym etapie sprawdzano stopień rozdrobnienia. Mielenie odbywało się w stalowym młynku, w półgodzinnych cyklach, a po każdym wykonywano analizę sitową na sitach o prześwicie oczek 0,056 mm i 0,16 mm. Dla tego bentonitu cykl mielenia wyniósł 40 minut i po tym czasie uzyskano zadawalający stopień rozdrobnienia.

Analiza sitowa: sito o prześwicie oczka 0,16 mm, pozostałość na sicie 1,6%  
 sito o prześwicie oczka 0,056 mm, pozostałość na sicie 17,1%

pH – 9,5

Zawartość montmorylonitu 80%.

Wyniki badań właściwości technologicznych bentonitu wyjściowego B2 i masy z tym bentonitem przedstawiono w tabelach 3 i 4.

After drying for 12 hours the water content in the material was 2.11% and was appropriate for grinding. Then it was ground, and after each stage the degree of fineness was checked. Grinding was made in a steel grinder, in 30-minute cycles, after each cycle a screen analysis was made on meshes with opening sizes 0.056 mm and 0.16 mm. For this bentonite the grinding cycle was 40 minutes after which time a satisfactory degree of fineness was achieved.

Screen analysis: mash with opening size 0.16 mm, screenings 1.6%  
 mash with opening size 0.056 mm, screenings 17.1%

pH – 9.5

Montmorillonite content – 80%.

Test results of technological properties of initial bentonite B2 and moulding sand with this bentonite are presented in Tables 3 and 4.

Tabela 3. Właściwości technologiczne bentonitu wyjściowego B2 w temperaturze otoczenia

Table 3. Technological properties of initial bentonite B2 at ambient temperature

Stosunek wodno-glinowy Water-clay ratio	Parametry technologiczne masy / Technological parameters of moulding sand								
	$W_m$ %	$R_c^w$ MPa	$R_m^w$ MPa	$P^w$ j.p.	$S^w$ %	Z %	$L_D$ %	$R_m^p$ N/cm <sup>2</sup>	$R_c^w/R_m^w$
0,49	3,43	0,080	0,0129	300	1,98	68	80,4	0,127	6,20

Tabela 4. Właściwości technologiczne masy z bentonitem B2 w temperaturze otoczenia i temperaturze podwyższonej

Table 4. Technological properties of moulding sand with bentonite B2 at ambient temperature and higher temperature

Temperatura nagrzewania / Heating temperature °C	Parametry technologiczne masy / Technological parameters of moulding sand								
	$W_m$ %	$R_c^w$ MPa	$R_m^w$ MPa	$P^w$ j.p.	$S^w$ %	Z %	$L_D$ %	$R_m^p$ N/cm <sup>2</sup>	$R_c^w/R_m^w$
22	3,43	0,080	0,0129	300	1,98	68	80,4	0,127	6,20
100	3,47	0,088	0,0145	305	1,76	69	81,2	0,134	6,07
200	3,51	0,073	0,0115	295	1,86	70	82,3	0,117	6,34
300	3,48	0,072	0,0110	295	2,34	67	82,4	0,105	6,55
400	3,55	0,065	0,0093	290	1,98	65	81,2	0,089	6,99
500	3,55	0,063	0,0081	295	2,46	63	81,8	0,080	7,78
600	3,60	0,054	0,0067	285	4,86	58	82,6	0,076	8,06
700	3,57	0,044	0,0043	290	14,71	55	84,3	0,067	10,23

### Krajowy il bentonitowy aktywowany

Podobnie przygotowaną laboratoryjną próbkę krajowego łu bentonitowego wcześniej aktywowanego, podzielono na dwie części z przeznaczeniem na wstępne badania laboratoryjne właściwości technologicznych mas z jego udziałem (tab. 5) oraz dla wyko-

### Activated domestic bentonite loam

A similarly prepared laboratory sample of domestic bentonite loam, which was previously activated, was divided into two parts which were designated for preliminary laboratory testing of technological properties of moulding sands with bentonite loam

niania bentonitu hybrydowego. Pierwsza część badań została rozszerzona na badania trwałości termicznej przy zróżnicowanych stosunkach wodno-glinowych w zakresach od około 0,3 do około 0,5.

Wilgotność surowca  
przed suszeniem – 5,24%  
po suszeniu – 1,41%

**Pierwszy cykl mielenia**

Czas mielenia – 30 min  
Analiza sitowa: sito o prześwicie oczka 0,056 mm –  
– 4,59 g  
materiał niezmielony – 54,1%

Domielanie – 45 min  
Analiza sitowa: sito o prześwicie oczka 0,20 mm,  
pozostałość na sicie 1,7%  
sito o prześwicie oczka 0,056 mm,  
pozostałość na sicie 17,7%

pH – 9,4  
Zawartość montmorylonitu – 68%.

participation (Table 5) and for making hybrid bentonite. The first part of the investigation was extended with thermal stability tests with different water-clay ratios within ranges from approx. 0.3 to approx. 0.5.

Resource moisture  
before drying – 5.24%  
after drying – 1.41%

**First grinding cycle**

Grinding time – 30 min  
Screen analysis: mash with the opening size  
0.056 mm – 4.59 g  
unground material – 54.1%

Refining – 45 min  
Screen analysis: mash with the opening 0.20 mm,  
screenings 1.7%  
mash with the opening 0.056 mm,  
mash with the opening 17.7%

pH – 9.4  
Montmorillonite content – 68%.

Tabela 5. Właściwości technologiczne masy z polskim łem bentonitowym w temperaturze otoczenia i temperaturze podwyższonej

Table 5. Technological properties of moulding sand with Polish bentonite loam at ambient temperature and higher temperature

Temperatura prażenia, °C / Heating temperature, °C	Stosunek wodno-glinowy / Water-clay ratio	W <sub>m</sub> %	R <sub>c</sub> <sup>w</sup> MPa	R <sub>m</sub> <sup>w</sup> MPa	P <sup>w</sup> j.p.	S <sup>w</sup> %	Z %	L <sub>D</sub> %	R <sub>m</sub> <sup>p</sup> N/cm <sup>2</sup>	R <sub>c</sub> <sup>w</sup> /R <sub>m</sub> <sup>w</sup>
20	0,36	2,53	0,070	0,0086	290	16,99	62	80,4	0,345	8,13
	0,45	3,14	0,056	0,0082	258	6,78	65	78,8	0,381	6,83
	0,49	3,43	0,059	0,0095	257	5,27	64	82,0	0,274	6,21
100	0,36	2,51	0,068	0,0119	280	22,44	63	79,6	0,350	5,71
	0,43	3,04	0,053	0,0086	248	9,82	65	78,8	0,374	6,16
	0,48	3,34	0,055	0,0065	257	4,51	66	80,8	0,274	8,46
200	0,35	2,45	0,066	0,0118	275	19,18	65	78,8	0,354	5,59
	0,43	3,04	0,059	0,0105	267	6,87	65	80,2	0,325	5,62
	0,48	3,33	0,054	0,0087	260	3,04	66	80,4	0,275	6,21
300	0,37	2,58	0,064	0,0108	270	14,01	65	79,2	0,362	5,93
	0,45	3,12	0,053	0,0078	250	7,24	66	78,8	0,370	6,79
	0,49	3,44	0,053	0,0083	252	5,29	67	80,0	0,271	6,38
400	0,37	2,56	0,070	0,0090	265	6,84	61	80,4	0,281	7,78
	0,44	3,08	0,056	0,0075	245	4,26	66	79,6	0,329	7,47
	0,49	3,41	0,053	0,0082	255	13,35	66	79,8	0,252	6,46
500	0,37	2,57	0,067	0,0119	272	35,74	55	82,8	0,129	5,63
	0,46	3,23	0,053	0,0072	265	22,00	64	82,0	0,166	7,36
	0,52	3,65	0,048	0,0055	252	20,19	65	80,0	0,166	8,72
600	0,36	2,54	0,032	nie ozn./ not indicated	210	nie ozn./ not indicated	22	84,8	0,042	nie ozn./ / not indi- cated
	0,45	3,15	0,035		258		35	84,4	0,064	
	0,52	3,67	0,031		255		48	84,0	0,051	
700	0,36	2,53	0,0	0,0	225	nie ozn./ not indicated	25	84,8	0,0	0,0
	0,43	3,07	0,0	0,0	310		40	84,4	0,059	0,0
	0,50	3,54	0,030	0,0	300		42	82,8	0,061	0,0

## Próby i badania wykonania laboratoryjnych próbek bentonitów hybrydowych

Dotychczas, wykorzystując najważniejsze i charakterystyczne cechy bentonitów, jakimi są zdolność do wymiany jonowej, podatność na dyspergowanie wodą, zdolność do pęcznienia, produkowano bentonity odlewnicze pochodzące z jednego złoża [7–10]. Od niedawna rozpoczęto także próby produkcji bentonitów z różnych złóż, o odmiennych cechach i różnym pochodzeniu geologicznym, przez łączenie ich w procesie jednoczesnego mielenia. W pierwszych próbach zastosowano do badań laboratoryjnych dwa bentonity słowackie o wysokiej zawartości montmorillonitu i wilgotności wyjściowej przed mieleniem 9,1% oraz 12,35%, które zostały poddane suszeniu do wilgotności około 2% i poddane jednoczesnemu mieleniu. Poniżej podano parametry materiałów wyjściowych, czas suszenia oraz przebieg mielenia i analizę sitową, a także właściwości technologiczne wyjściowe w temperaturze otoczenia i badania trwałości termicznej mas formierskich sporządzonych z bentonitem hybrydowym, przy stosunku wodno-glinowym wynoszącym około 0,5 (tab. 6, rys. 1–3).

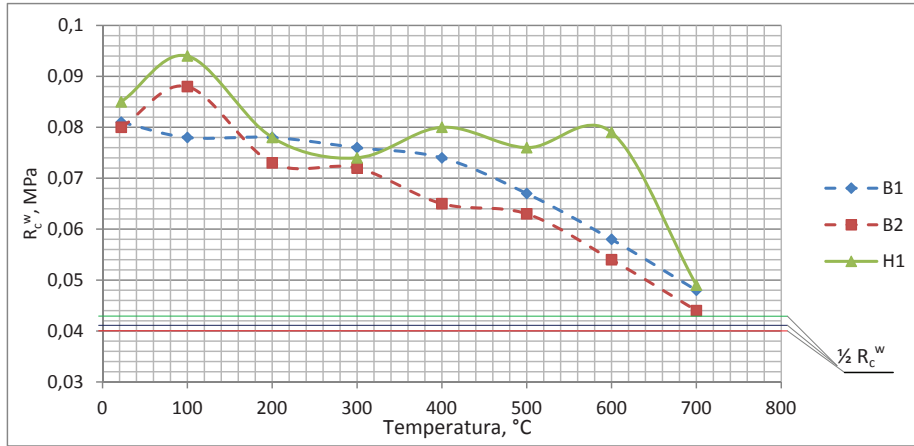
## Trials and tests of laboratory samples of hybrid bentonite

So far, using the most important and characteristic properties of bentonites, which are the ion exchange ability, susceptibility to dispergation in water, ability to swell, foundry bentonites have been produced from resource coming from one deposit [7–10]. Since recently attempts to produce bentonites from different deposits with different properties and geological origin have been made by combining them in a process of simultaneous grinding. During the first attempts two Slovakian bentonites were used with high content of montmorillonite and initial moisture before grinding 9.1% and 12.35%, which were dried to achieve moisture around 2% and simultaneously ground. In the following sections are given parameters of initial materials, drying time, the course of grinding and screen analysis, as well as initial technological properties at ambient temperature and tests of thermal stability of moulding sands made from hybrid bentonite, with the water-clay ratio approx. 0.5 (Table 6, Figs. 1–3).

Tabela 6. Właściwości technologiczne masy z bentonitem hybrydowym H1 w temperaturze otoczenia i temperaturze podwyższonej

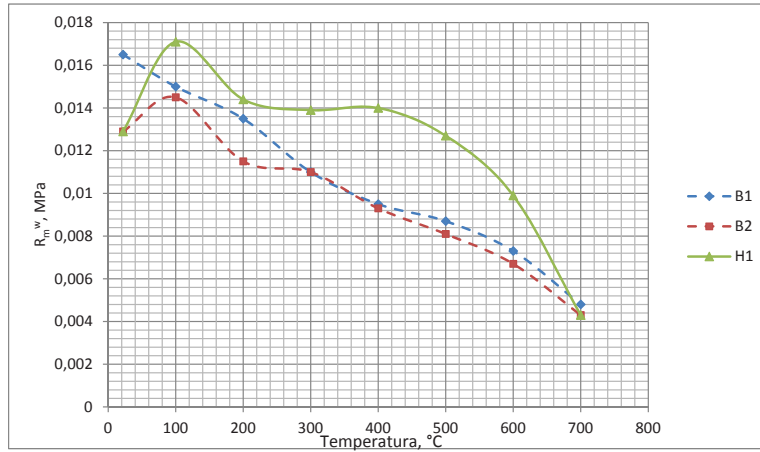
Table 6. Technological parameters of moulding sand with hybrid bentonite H1 at ambient temperature and higher temperature

Temperatura nagrzewania / Heating temperature °C	Parametry technologiczne masy / Technological parameters of moulding sand								
	$W_m$ %	$R_c^w$ MPa	$R_m^w$ MPa	$P^w$ j.p.	$S^w$ %	$Z$ %	$L_D$ %	$R_m^p$ N/cm <sup>2</sup>	$R_c^w/R_m^w$
22	3,43	0,085	0,0129	272	2,99	66	81,3	0,417	6,58
100	3,50	0,094	0,0171	295	1,90	66	82,1	0,421	5,49
200	3,52	0,078	0,0144	260	8,12	67	82,8	0,400	5,41
300	3,48	0,074	0,0139	265	8,59	66	82,0	0,375	5,32
400	3,41	0,080	0,0140	267	12,17	65	82,4	0,318	5,71
500	3,47	0,076	0,0127	265	14,18	66	82,1	0,267	5,98
600	3,40	0,079	0,0099	277	18,52	66	81,6	0,204	7,17
700	3,50	0,049	0,0043	287	19,47	46	79,2	0,086	11,39



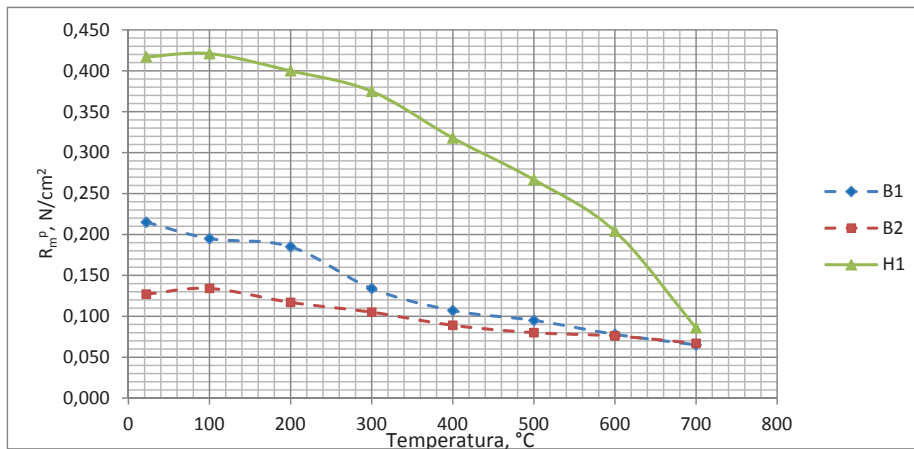
Rys. 1. Określenie trwałości termicznej (wytrzymałości połówkowej) bentonitów wyjściowych B1 i B2 i bentonitu hybrydowego H1

Fig. 1. Determining thermal stability of initial bentonites B1 and B2, and hybrid bentonite H1



Rys. 2. Wytrzymałość na rozciąganie w stanie wilgotnym bentonitów wyjściowych B1 i B2 i bentonitu hybrydowego H1

Fig. 2. Wet tensile strength of initial bentonites B1 and B2, and hybrid bentonite H1



Rys. 3. Wytrzymałość na rozciąganie w strefie przewilżonej bentonitów wyjściowych B1 i B2 i bentonitu hybrydowego H1

Fig. 3. Tensile strength in the over-moisture zone of initial bentonites B1 and B2, and hybrid bentonite H1



Wilgotność bentonitu przed suszeniem i miele- niem wynosiła odpowiednio  $W = 9,10\%$ ,  $12,35\%$ , a średnia  $10,72\%$ . Materiał był wstępnie rozdrobniony. Po suszeniu przez 12 godzin materiał miał zawartość  $2,04\%$  wody i wtedy poddano go mieleniu. Dla tego bentonitu cykl mielenia wyniósł 40 minut i po tym czasie uzyskano zadawalający stopień rozdrobnienia.

Analiza sitowa: sito o prześwicie oczka  $0,16\text{ mm}$ ,  
pozostałość na sicie  $1,3\%$   
sito o prześwicie oczka  $0,056\text{ mm}$ ,  
pozostałość na sicie  $14,8\%$

pH –  $9,5$

Zawartość montmorylonitu –  $68\%$ .

Bentonit hybrydowy, utworzony z dwóch skła- dowych bentonitów B1 i B2, pochodzących ze złóż słowackich, ma wyższe właściwości w stosunku do materiału wyjściowego – wytrzymałość masy formierskiej na ściskanie w stanie wilgotnym  $R_c^w$  wynosi aż  $0,085\text{ MPa}$  i jest wyższa od uzyskiwanej dla bentonitów wyjściowych (odpowiednio  $0,081\text{ MPa}$  i  $0,080\text{ MPa}$ ). Wytrzymałość na rozciąganie w strefie przewilżonej, która w znaczący sposób wpływa na odporność masy do generowania powierzchniowych wad odlewniczych jest wysoka i wynosi  $0,417\text{ N/cm}^2$ . Przewyższa ona dwukrotnie wartości, jakie uzyskano z bentonitami wyjściowymi (odpowiednio  $0,215\text{ N/cm}^2$  i  $0,127\text{ N/cm}^2$ ). Odporność bentonitu hybrydowego na działanie wysokiej temperatury podczas zalewania jest wyższa od bentonitów wyjściowych w pełnym zakresie prowadzonych badań, tj. do  $700^\circ\text{C}$ .

W drugim etapie badań podjęto próbę łączenia bentonitu słowackiego i krajowego ilitu bentonitowego o znacznie mniejszej zawartości montmorylonitu. Do produkcji zastosowano bentonit aktywowany B2 i polski ilit bentonitowy.

Czas mielenia –  $1,0$  godzina

Analiza sitowa: sito o prześwicie oczka  $0,20\text{ mm}$ ,  
pozostałość na sicie  $1,6\%$   
sito o prześwicie oczka  $0,056\text{ mm}$ ,  
pozostałość na sicie  $9,4\%$ .

Mielenie surowców o wilgotności poniżej  $5\%$  przeprowadzono w stalowym młynku kulowym. Para- metry mielnika, tj. komory, w której zachodzi mielenie za pomocą stalowych kul to: średnica  $310\text{ mm}$  i długość  $520\text{ mm}$ . Prędkość obrotowa wynosiła  $100\text{ obr./min}$ . Po przesianiu, zgodnie z normą odsiew przeliczony na sicie  $0,16\text{ mm}$  powinien stanowić max.  $2\%$  – wyniósł  $1,6\%$ , a na sicie  $0,056\text{ mm}$  poniżej  $20,0\%$  – wyniósł  $9,4\%$ .

Uzyskany bentonit hybrydowy, poddany został badaniom dotyczącym cech fizyko-chemicznych, jak i w zakresie najważniejszych parametrów technolo- gicznych, jakim musi odpowiadać masa formierska do odlewania na wilgotno (tab. 7, rys. 4–6).

Bentonit hybrydowy wyprodukowany z bentonitu słowackiego B2 i polskiego ilitu bentonitowego, mimo znacznie zróżnicowanej wytrzymałości na ściskanie

Bentonite moisture before drying and grinding was respectively  $W = 9.10\%$ ,  $12.35\%$ . The average was  $10.72\%$ . The material was initially refined. After drying for 12 hours the material had water content of  $2.04\%$  after which it was ground. For this bentonite the grinding cycle was 40 minutes after which time a satisfactory degree of fineness was achieved.

Screen analysis: mash with the opening size  
 $0.16\text{ mm}$ ,  
screenings  $1.3\%$   
mash with the opening size  
 $0.056\text{ mm}$ ,  
screenings  $14.8\%$

pH –  $9.5$

Montmorillonite content –  $68\%$ .

Hybrid bentonite, obtained from two bentonites B1 and B2, which come from Slovakian deposits, has higher properties when compared to the initial material – wet compressive strength  $R_c^w$  is  $0.085\text{ MPa}$  which is higher than the value achieved for initial bentonites ( $0.081\text{ MPa}$  and  $0.080\text{ MPa}$ , respectively). Tensile strength in the over-moisture zone, which significantly influences the resistance of moulding sand to generate surface casting defects, is high and equals  $0.417\text{ N/cm}^2$ . It doubles the values which were achieved with initial bentonites ( $0.215\text{ N/cm}^2$  and  $0.127\text{ N/cm}^2$ , respectively). Heat resistance of hybrid bentonite, while pouring melt, is higher than for initial bentonites in the full scope of tests, i.e. to  $700^\circ\text{C}$ .

During the second stage of tests an attempt was made to combine Slovakian bentonite with domestic bentonite loam with considerably lower montmorillonite content. Activated bentonite B2 and Polish bentonite loam were used for the purposes of production.

Grinding time –  $1.0$  hour

Screen analysis: mash with the opening size  
 $0.20\text{ mm}$ , screenings  $1.6\%$   
mash with the opening size  
 $0,056\text{ mm}$ , screenings  $9.4\%$ .

Grinding of resources at moisture below  $5\%$  was made in a steel ball mill. The parameters of the grinding medium i.e. the chamber in which grinding is conducted with the use of steel balls are: diameter  $310\text{ mm}$  and length  $520\text{ mm}$ . Rotational speed was  $100\text{ rpm}$ . After screening, according to the standard, mash fraction achieved with the use of the opening size  $0.16\text{ mm}$  should constitute max.  $2\%$  – it was  $1.6\%$ , and with the use of the opening size  $0.056\text{ mm}$  below  $20.0\%$  – it was  $9.4\%$ .

The obtained hybrid bentonite was submitted to physicochemical tests and tests within the scope of the most important technological parameters which must be met by moulding sand for casting in wet moulds (Table 7, Figs. 4–6).

Hybrid bentonite produced from Slovakian bentonite B2 and Polish bentonite loam, despite considerably differentiated compressive strength of

mas z nimi sporządzonych, wynoszącej przy wilgotności mas 3,5% odpowiednio 0,080 MPa i 0,059 MPa, pozwolił uzyskać wytrzymałość  $R_c^w$  produktu na poziomie 0,078 MPa.

moulding sands with its participation which at moisture 3,5 % equals 0.080 MPa and 0.059 MPa, allowed achieving strength  $R_c^w$  of the product at the level of 0.078 MPa.

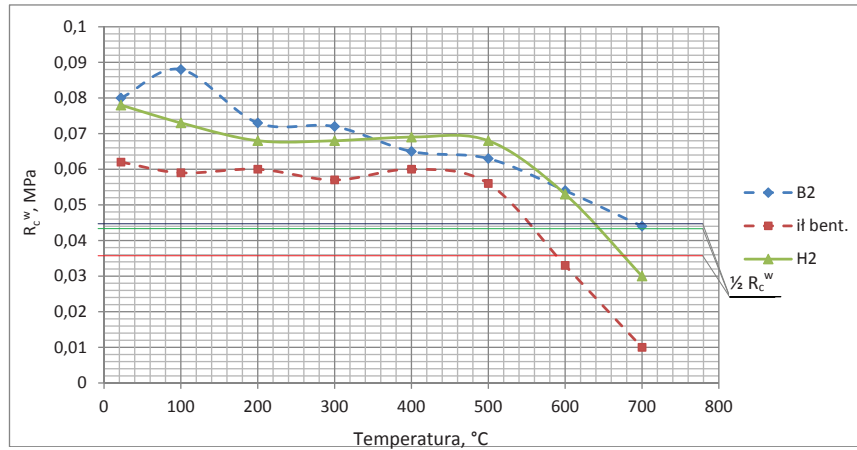
Tabela 7. Właściwości technologiczne masy z bentonitem hybrydowym H2 w temperaturze otoczenia i temperaturze podwyższonej

Table 7. Technological properties of moulding sand with hybrid bentonite H2 at ambient temperature and higher temperature

Temperatura prażenia, °C / Heating temperature, °C	Stosunek wodno-glinowy / Water-clay ratio	$W_m$ %	$R_c^w$ MPa	$R_m^w$ MPa	$P^w$ j.p.	$S^w$ %	Z %	$L_D$ %	$R_m^p$ N/cm <sup>2</sup>	$R_c^w/R_m^w$
20	0,35	2,44	0,083	0,0142	298	17,71	63	81,2	0,370	5,84
	0,44	3,12	0,069	0,0125	263	7,70	66	80,0	0,432	5,52
	0,49	3,40	0,078	0,0124	268	2,28	65	80,8	0,322	6,29
100	0,37	2,56	0,081	0,0137	287	18,70	64	80,8	0,413	5,91
	0,44	3,07	0,072	0,0114	253	10,32	65	80,4	0,420	6,32
	0,47	3,32	0,073	0,0091	268	2,61	66	82,0	0,386	8,02
200	0,36	2,52	0,081	0,0137	280	18,14	64	79,6	0,397	5,91
	0,43	3,00	0,076	0,0131	270	5,87	65	80,0	0,342	5,80
	0,48	3,34	0,068	0,0124	267	4,74	65	81,6	0,327	5,48
300	0,36	2,54	0,077	0,0125	278	19,67	64	79,6	0,393	6,16
	0,44	3,08	0,065	0,0113	257	8,80	66	78,8	0,410	5,72
	0,49	3,41	0,068	0,0121	260	3,54	66	80,8	0,361	5,61
400	0,37	2,56	0,079	0,0115	275	7,56	60	80,8	0,352	6,87
	0,44	3,10	0,070	0,0105	250	5,52	65	80,0	0,384	6,67
	0,48	3,36	0,069	0,0121	263	4,60	66	80,4	0,356	5,70
500	0,36	2,49	0,095	0,0142	283	32,80	51	81,6	0,218	6,69
	0,44	3,06	0,073	0,0129	282	20,71	63	80,8	0,275	5,66
	0,51	3,56	0,068	0,0122	260	16,92	66	80,4	0,263	5,57
600	0,38	2,63	0,060	0,0030	220	nie ozn./ not indicated	24	83,6	0,082	20,0
	0,45	3,15	0,058	0,0059	232	41,36	40	82,4	0,097	9,83
	0,52	3,65	0,053	0,0054	230	30,55	58	81,6	0,107	9,81
700	0,37	2,63	0,0	0,0	235	nie ozn./ not indicated	21	86,8	0,0	0,0
	0,45	3,15	0,030	0,0	320	nie ozn./ not indicated	44	86,4	0,065	0,0
	0,51	3,58	0,030	0,0	310	nie ozn./ not indicated	47	84,8	0,068	0,0

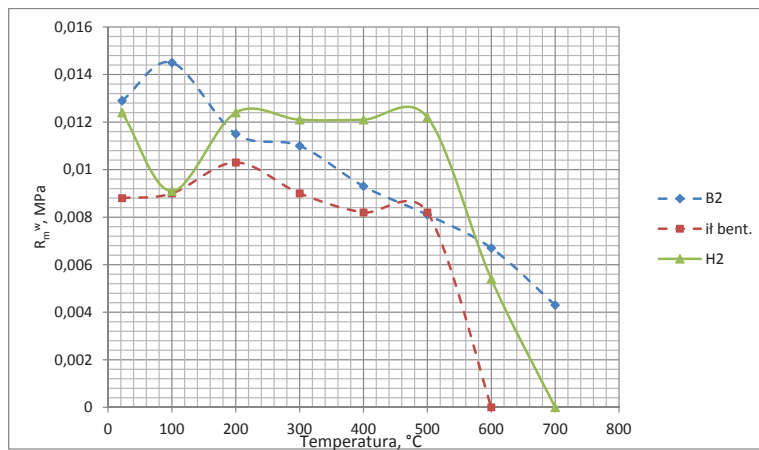
Badania trwałości termicznej (temperatura, przy której  $R_c^w$  zmniejsza się o 50% w stosunku do  $R_c^w$  masy wyjściowej przed ogrzewaniem), określanej w trakcie nagrzewania, studzenia i kolejnego nawilżania masy formierskiej w zakresie wilgotności 2,5%, 3,0%, 3,5% wykazały, że masa z bentonitem hybrydowym charakteryzuje się wyższą trwałością termiczną. Uzyskany bentonit hybrydowy charakteryzuje się również wysokim poziomem odporności na powstawanie wad odlewniczych ( $R_c^w : R_m^w$ ).

Tests of thermal stability (temperature at which  $R_c^w$  decreases by 50% in relation to  $R_c^w$  of the initial moulding sand before heating), which was determined during heating, cooling and consecutive tempering of moulding sand within the moisture values 2.5%, 3.0%, 3.5% proved that moulding sand with hybrid bentonite is characterised by higher thermal stability. The obtained hybrid bentonite is also characterised by a high level of resistance to generating casting defects ( $R_c^w : R_m^w$ ).



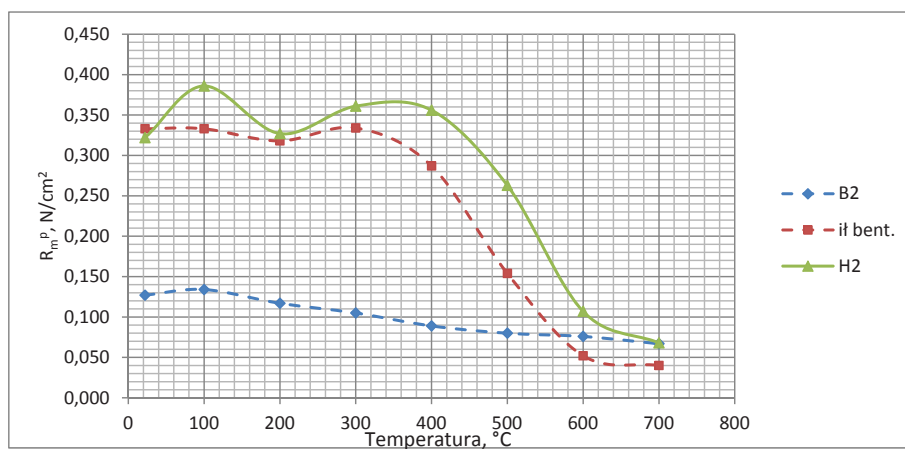
Rys. 4. Określenie trwałości termicznej (wytrzymałości połówkowej) materiałów wyjściowych: bentonitu B2 i łu bentonitowego oraz bentonitu hybrydowego H2

Fig. 4. Determining thermal stability of initial materials: bentonite B2 and bentonite loam as well as hybrid bentonite H2



Rys. 5. Wytrzymałość na rozciąganie w stanie wilgotnym materiałów wyjściowych: bentonitu B2 i łu bentonitowego oraz bentonitu hybrydowego H2

Fig. 5. Wet tensile strength of initial materials: bentonite B2 and bentonite loam as well as hybrid bentonite H2



Rys. 6. Wytrzymałość na rozciąganie w strefie przewilżonej materiałów wyjściowych: bentonitu B2 i łu bentonitowego oraz bentonitu hybrydowego H2

Fig. 6. Tensile strength in the over-moisture zone of initial materials: bentonite B2 and bentonite loam as well as hybrid bentonite H2

### Badania porównawcze termicznej trwałości próbných szarzy bentonitów hybrydowych i bentonitu obecnie stosowanego

Bentonit hybrydowy sporządzony w warunkach laboratoryjnych porównano z ogólnie dostępnym bentonitem Specjal produkcji ZGM Zębiec S.A., o podstawowych wymaganych parametrach:

pH – 9,5

wytrzymałość na ściskanie  $R_c^w$  – min. 0,075 MPa

osypliwość w stanie wilgotnym  $S^w$  – max. 3,0%

wskaźnik pęcznienia 2 g bentonitu  $W_p$  – min. 17,0%

zawartość węglanów – max. 5,0%

montmorylonit – min. 75%

przemiał – 80% ziaren poniżej 0,056 mm.

Badania prowadzono zgodnie z polską normą PN-85/H-11003, a ich wyniki podano w tabeli 8 oraz w formie wykresów (rys. 7–10).

### Comparative research of thermal stability of hybrid bentonite samples and bentonite used at present

Hybrid bentonite made under laboratory conditions was compared with commonly available bentonite Specjal produced by ZGM Zębiec S.A., with basic required parameters:

pH – 9.5

compressive strength  $R_c^w$  – min. 0.075 MPa

friability in the moist state  $S^w$  – max. 3.0%

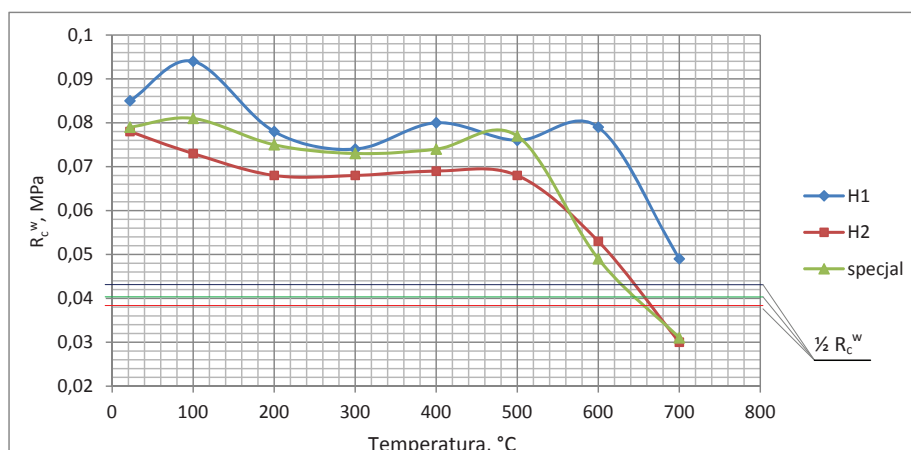
swell index 2 g of bentonite  $W_p$  – min. 17.0%

carbonates content – max. 5.0%

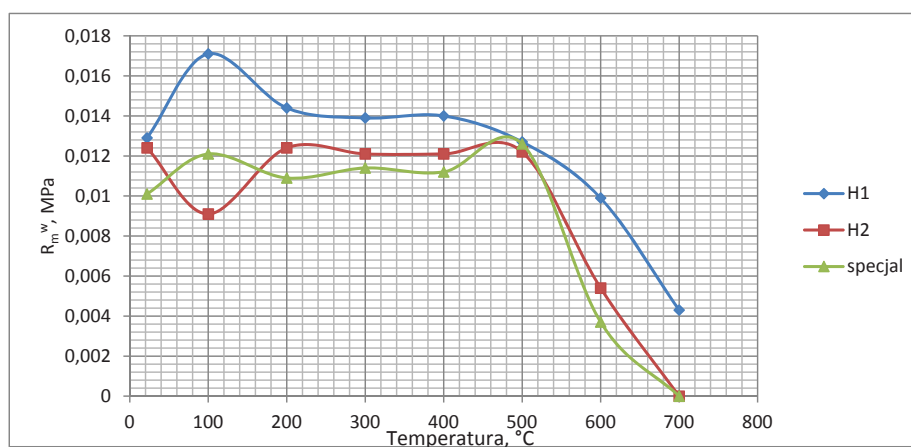
montmorillonite – min. 75%

milling – 80% of grains below 0.056 mm.

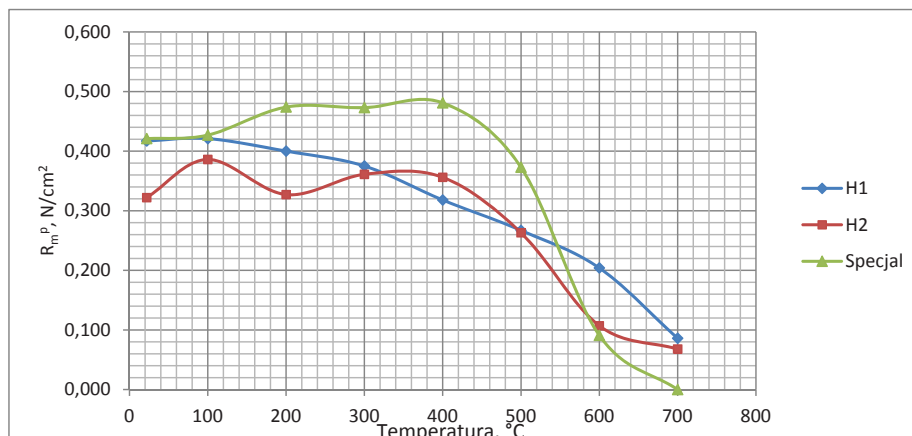
The tests were carried out according to the Polish standard PN-85/H-11003, and its results are presented in Table 8 and in the form of diagrams (Figs. 7–10).



Rys. 7. Określenie trwałości termicznej (wytrzymałości połówkowej) bentonitów hybrydowych i bentonitu Specjal  
 Fig. 7. Indication of thermal stability of hybrid bentonites and bentonite Specjal



Rys. 8. Wytrzymałość na rozciąganie w stanie wilgotnym bentonitów hybrydowych H1 i H2 i bentonitu Specjal  
 Fig. 8. Wet tensile strenght of hybrid bentonites H1 and H2, and bentonite Specjal



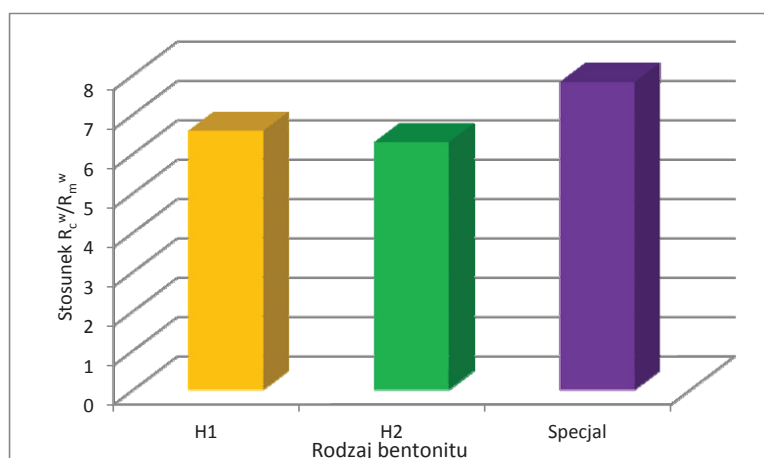
Rys. 9. Wytrzymałość na rozciąganie w strefie przewilżonej bentonitów hybrydowych H1 i H2 i bentonitu Specjal  
 Fig. 9. Tensile strenght in the over-moisture zone of hybrid bentonites H1 and H2, and bentonite Specjal

Badania te jako badania pośrednie, poprzez ocenę mas formierskich sporządzanych z bentonitów hybrydowego i innego powszechnie stosowanego w odlewniach, prowadzono w celu porównania właściwości technologicznych uzyskanych bentonitów hybrydowych z jednym z lepszych materiałów stosowanych obecnie w szeregu odlewniach. Badania prowadzono w porównywalnych warunkach i z zastosowaniem tej samej aparatury pomiarowej. Badania wykazały, że uzyskane bentonity hybrydowe w zakresie właściwości technologicznych sporządzanych z nim mas formierskich, dorównują jakością stosowanym w odlewniach bentonitom odlewniczym, a w niektórych obszarach osiągają wyższe parametry.

Bentonity hybrydowe charakteryzują się wysokim poziomem odporności na powstawanie wad odlewniczych (rys. 10), ocenianym na podstawie parametru  $R_c^w : R_m^w$  (im niższy jest stosunek  $R_c^w : R_m^w$  w zakresie od 5 do 12, tym masa odporniejsza jest na powstawanie wad typu zaprószenie, strup, przypalenie) [8].

These tests as a form of indirect tests, which assessed moulding sands from hybrid bentonite and other bentonite commonly used in foundries, were made in order to compare technological properties obtained from hybrid bentonites with one of better materials nowadays used in a number of foundries. Tests were conducted in comparable conditions and with the use of the same measurement devices. The tests proved that the achieved hybrid bentonites within the range of technological properties of moulding sands made with their participation have a matching quality to commonly used foundry bentonites, and in some areas they achieve higher parameters.

Hybrid bentonites are characterised by a high level of resistance to generate surface casting defects (Fig. 10), assessed on the basis of  $R_c^w : R_m^w$  parameters (the lower the  $R_c^w : R_m^w$  ratio within the scope from 5 to 12, the more resistant moulding sand to generate defects such as sand holes, scabs, and burn-ons [8].



Rys. 10. Porównanie odporności na powstawanie wad bentonitów hybrydowych i bentonitu Specjal  
 Fig. 10. Comparison of resisatnce to generate defects of hybrid bentonites and bentonite Specjal

## Podsumowanie

1. Bentonit hybrydowy, utworzony z dwóch składowych bentonitów pochodzących ze złóż słowackich, ma wyższe właściwości w stosunku do materiału wyjściowego – wytrzymałość masy formierskiej na ściskanie w stanie wilgotnym  $R_c^w$  jest wyższa od uzyskiwanej dla bentonitów wyjściowych.
2. Wytrzymałość na rozciąganie w strefie prze-wilżonej, która w znaczący sposób wpływa na odporność masy do generowania powierzchniowych wad odlewniczych przewyższa dwukrotnie wartości, jakie uzyskano z bentonitami wyjściowymi.
3. Stosunek wytrzymałości  $R_c^w : R_m^w$ , który winien wynosić 5 : 1 do 12 : 1 jest również korzystny i dla masy badanej w temperaturze otoczenia wynosi dla hybrydy 6,58, co gwarantuje odpowiednią odporność na powstawanie wad powierzchniowych, takich jak: strupy, żyłki i blizny.
4. Badania właściwości termicznych bentonitów, czyli odporności na działanie wysokiej temperatURY podczas zalewania, wykazały także wyższość bentonitu hybrydowego w pełnym zakresie prowadzonych badań, tj. do 700°C.
5. Bentonit hybrydowy wyprodukowany z bentonitu słowackiego i polskiego łu bentonitowego, mimo znacznie zróżnicowanej wytrzymałości na ściskanie mas z nimi sporządzonych, pozwolił uzyskać wytrzymałość  $R_c^w$  produktu na poziomie zbliżonym do poziomu bentonitów pierwszego gatunku.
6. Do produkcji bentonitu hybrydowego można zastosować bentonity o znacznie gorszych właściwościach fizykochemicznych (np. łu bentonitowy), a różniących się właściwościami technologicznymi między sobą nawet o 25% i uzyskać materiał, który zgodnie z normą jest w pierwszej klasie.
7. Badanie trwałości (temperatura, przy której  $R_c^w$  zmniejsza się o 50% w stosunku do  $R_c^w$  masy wyjściowej przed ogrzewaniem), bardzo ważnej cechy mas klasycznych, badanej w trakcie nagrzewania, studzenia i kolejnego nawilżania masy formierskiej w zakresie wilgotności 2,5%, 3,0%, 3,5% wykazały, że masa z bentonitem hybrydowym charakteryzuje się wyższą trwałością termiczną.
8. Bentonit hybrydowy charakteryzuje się wysokim poziomem odporności na powstawanie wad odlewniczych, ocenianym na podstawie parametru  $R_c^w : R_m^w$ .
9. Utrata właściwości wiążących, czyli oolityzacja, a więc powstanie otoczki nieaktywnej gliny wokół ziarn piasku w bentonicie hybrydowym nastę-

## Summary

1. Hybrid bentonite, obtained from two bentonites, which come from Slovakian deposits, has higher properties as compared to the initial material – wet compressive strength  $R_c^w$  is higher than the value achieved for initial bentonites.
2. Tensile strength in the over-moisture zone, which significantly influences the resistance of moulding sand to generate surface casting defects, doubles the values which were achieved with initial bentonites.
3. Strength ratio  $R_c^w : R_m^w$  which should be 5 : 1 to 12 : 1 is also favourable and for the moulding sand tested at ambient temperature for hybrid bentonite it equals 6.58, which guarantees proper resistance to generating surface defects, such as: scabs, veining and scars.
4. Tests of thermal properties of bentonites which are heat resistant to hybrid bentonite while pouring melt also proved the dominance of hybrid bentonite in the full scope of tests, i.e. to 700°C.
5. Hybrid bentonite produced from Slovakian bentonite and Polish bentonite loam, despite considerably differentiated compressive strength of moulding sands with its participation allowed achieving strength  $R_c^w$  of the product at the level similar to first class bentonites.
6. For the production of hybrid bentonite, bentonites with significantly worse physicochemical properties can be used (e.g. bentonite loam), which differ with respect to technological properties even by 25% and achieve material, which according to the standard is first class.
7. Tests of thermal stability (temperature at which  $R_c^w$  decreases by 50% in relation to  $R_c^w$  of the initial moulding sand before heating), a very important property of classical moulding sands, which was determined during heating, cooling and consecutive tempering of moulding sand within the moisture values 2.5%, 3.0%, 3.5% proved that moulding sand with hybrid bentonite is characterised by higher thermal stability.
8. Hybrid bentonite is also characterised by a high level of resistance to generating casting defects, which was assessed on the basis of ( $R_c^w : R_m^w$ ) parameter.
9. The loss of binding properties, which is the origin of an inactive film of clay around sand grains in hybrid bentonite, takes place in the same way as for the best bentonites e.g. Specjal, at a temperature higher than 600°C (thermal stability test).

puje, podobnie jak w przypadku najlepszych bentonitów np. Specjal, w temperaturze powyżej 600°C (badanie trwałości termicznej masy).

## Podziękowania

W artykule przedstawiono wyniki badań prowadzonych w ramach projektów realizowanych przez Instytut Odlewnictwa w ramach działalności statutowej w latach 2010 i 2012: zlecenia 9015/00 i 2007/00. Autorzy dziękują firmie PTH „Certechn” za udostępnienie materiałów wyjściowych do badań.

## Acknowledgments

The paper presents results of tests which were made within the framework of projects executed by the Foundry Research Institute within the statutory activities in the years 2010 and 2012: orders 9015/00 and 2007/00. We would like to thank PTH “Certechn” for providing initial materials for tests.

## Literatura/References

1. Wyszomirski P., Lewicka E. (2005). Bentonity jako uniwersalny surowiec wielu dziedzin przemysłu. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 3(21), 5–19.
2. Bolewski A., Budkiewicz M., Wyszomirski P. (1991). *Surowce ceramiczne*. Warszawa: Wydawnictwa Geologiczne.
3. Bolewski A., Manecki A. (1993). *Mineralogia szczegółowa*. Warszawa: Wydawnictwo Polskiej Agencji Ekologicznej.
4. Pezarski F., Palma A., Izdebska-Szanda I. (2011). Innowacyjna technologia produkcji bentonitu odlewniczego z wykorzystaniem wyselekcjonowanych frakcji, powstających przy wytwarzaniu sorbentów. *Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa MOTROL 2011*, 13, 269–280.
5. Palma A., Izdebska-Szanda I. (2012). Wysokojakościowy bentonit odlewniczy produkowany z surowca bentonitu suszonego i wyselekcjonowanych frakcji powstających przy produkcji sorbentów higienicznych. *Prace Instytutu Odlewnictwa*, 3(52), 63–75, DOI: 10.7356/iod.2012.12.
6. Brummer G. (1998). Eine neue Generation von Bentoniten – Ergebnisse aus Labor, Technikum und Praxis. *Giesserei*, 12, 55–60.
7. Kościółko H., Wyrwicki R. (red.). (1996). *Metodyka badań kopalin ilastych*. Warszawa–Wrocław: Państwowy Instytut Geologiczny.
8. Lewandowski J.L. (1997). *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe AKAPIT.
9. Sakwa W., Wachelko T. (1981). *Materiały na formy i rdzenie odlewnicze*. Katowice: Wydawnictwo Śląsk.
10. Vasková I., Fecko D., Malik J., Futáš P. (2010). Physical and chemical clay binder characteristics from various locality and their influence on some technological properties of bentonite moulding mixtures. *Archives of Foundry Engineering*, 1 special issue (10), 211–216.
11. Izdebska-Szanda I., Pezarski F., Maniowski Z. (2003). Badania wytrzymałości mas formierskich w strefie przewilżonej z zastosowaniem aparatury nowej generacji. *Materiálové Inžinierstvo*, 3(10).
12. Pezarski F., Izdebska-Szanda I., Maniowski Z., Morek J. (2004). Kontrolle der Formstofffestigkeit im Kondensationswasserbereich ist ein Faktor, der die Vermeidung der Oberflächenfehler der Gussstücke ermöglicht. SAND TEAM Międzynarodowa Konferencja: *Forstoffbedingte Gussfehler*, 139–148.

