

ANNA DUDZIŃSKA\*

## ZACHOWANIE SIĘ STWARDNIAŁEGO ZACZYNU GIPSOWEGO SUCHEGO I NASYCONEGO WODĄ POD OBCIĄŻENIEM ŚCISKAJĄCYM I ZGINAJĄCYM

### BEHAVIOUR OF DRY AND WATER-SATURATED HARDENED GYPSUM PASTE UNDER COMPRESSING AND BENDING LOAD

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono zachowanie stwardniałego zaczynu gipsowego suchego i nasyconego wodą pod obciążeniem ściskającym i zginającym. Wyznaczono wartości współczynników rozmiękania ocenionych w dwóch stanach obciążenia oraz współczynnik tarcia statycznego między tworzywem gipsowym suchym i wilgotnym a stalą. Przeanalizowano również postacie zniszczenia przy ściskaniu stwardniałego zaczynu suchego i nasyconego wodą.

*Słowa kluczowe: gips, wytrzymałość na ściskanie i zginanie, współczynnik rozmiękania, tarcie*

#### Abstract

The paper summarizes behaviour of dry and water-saturated hardened gypsum paste under compressing and bending load values of softening coefficients (analyzed in two load states) as well as static friction coefficient between dry, water gypsum and steel were assessed. Damaged sample shapes after compression of dry and water-saturated hardened gypsum paste.

*Keywords: gypsum, compressive strength, bending strength, softening coefficient, friction*

\* Mgr inż. Anna Dudzińska, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

### Oznaczenia

$f_c$	– wytrzymałości na ściskanie [MPa]
$f_f$	– wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa]
$N_m$	– nasiąkliwość [%]
$\rho_0$	– gęstość pozorna [g/cm <sup>3</sup> ]
$M$	– moment zginający [Nm]
$W$	– wskaźnik wytrzymałości [m <sup>3</sup> ]
$P$	– siła niszcząca [N]
$l$	– rozstaw podpór [m]
$b, h$	– wymiary poprzeczne beleczki [m]
$\mu$	– współczynnik tarcia
$T$	– siła tarcia [N]
$N$	– siła dociskająca [N]
$g$	– przyspieszenie ziemskie [m/s <sup>2</sup> ]
$k_c$	– współczynnik rozmiękania przy ściskaniu [–]
$k_f$	– współczynnik rozmiękania przy zginaniu [–]
$E_c$	– energia zniszczenia przy ściskaniu [Nmm]
$E_f$	– energia zniszczenia przy zginaniu [Nmm]

## 1. Wstęp

Stwardniały zaczyn z gipsu budowlanego jest typowym materiałem nieodpornym na kontakt z wodą. Z tego powodu badania jego wytrzymałości prowadzi się w stanie suchym i pełnego nasycenia wodą. Prosta miarą odporności tworzywa gipsowego, a także innych materiałów na kontakt z wodą, jest współczynnik rozmiękania. Współczynnik ten oznacza się jako stosunek wytrzymałości w stanie nasyconym wodą do wytrzymałości w stanie suchym. Jego wartość można wyznaczać albo na podstawie wytrzymałości na ściskanie, albo na rozciąganie przy zginaniu. Wartości współczynników rozmiękania określanych przy ściskaniu i rozciąganiu nie są takie same. Na ich zróżnicowanie zwraca uwagę między innymi Klin [1]. Wykorzystuje on w swojej pracy wyniki badań własnych dotyczących wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu stwardniałych zaczynów gipsowych w zależności od w/g oraz powołuje się na badania różnych autorów, takich jak: Meuś, Rzepecki, Osiecka, Mizera, Denkiewicz, Najzarek, Nowak, Wianecki, Urban, Dutkowski oraz Akerman. Według Klina, przeciętnie (tabela 1) wartość współczynnika rozmiękania tworzywa gipsowego przy ściskaniu ( $k_c$ ) stanowi od 70% do 80% jego wartości przy zginaniu ( $k_f$ ).

Tabela 1

Wartości współczynników rozmiękania dla różnych stosunków w/g wg Klina [1]

Współczynnik rozmiękania (spadek wytrzymałości) gipsów dojrzałych	Wskaźnik WG (G/W)							
	0,4 (2,5)	0,5 (2,0)	0,6 (1,67)	0,7 (1,43)	0,8 (1,25)	1,0 (1,0)	1,5 (0,67)	2,0 (0,5)
Ściskanie $k_c$	0,327	0,297	0,275	0,258	0,244	0,222	0,187	0,166
Zginanie $k_f$	0,409	0,378	0,355	0,336	0,321	0,297	0,258	0,233

W literaturze trudno jest znaleźć wyjaśnienie przyczyn tego zróżnicowania.

## 2. Cel i zakres badań

Celem badań było przeanalizowanie zachowania tworzywa gipsowego, suchego i nasyczonego wodą i na tej podstawie podjęcie próby wstępnego wyjaśnienia przyczyn zróżnicowania wartości współczynników rozmiękania ocenionych w dwóch stanach obciążenia.

Zakres badań objął stwardniały zaczyn gipsowy o stosunku wodno-gipsowym równym 0,53. Badanymi cechami była wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu, przebieg zależności między siłą ściskającą lub zginającą i skróceniem lub ugięciem badanych próbek, a także współczynnik tarcia statycznego między materiałem suchym i nasycyconym wodą a stalą. Obserwacjom poddano także sposób niszczenia się próbek suchych i nasycyconych wodą.

## 3. Próbkki i metody badań

Do badań użyto zwykłego gipsu budowlanego. Stosunek w/g = 0,53 ustalono na podstawie normy PN-EN 13279-2/2006 [2].

Z przygotowanego zaczynu gipsowego zaformowano 24 belecзки o wymiarach 40×40×160 mm. Badania prowadzono po 28 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych. Po upływie tego czasu zważono wszystkie próbki, po czym 12 z nich poddano suszeniu do stałej masy w temperaturze 45°C, kontrolując sukcesywnie ich masę. Gdy kolejne trzy pomiary były takie same, próbki uważano za wysuszone. Pozostałe 12 próbek poddano nasycaniu wodą aż do uzyskania pełnego nasycenia. Po zakończeniu moczenia wszystkie próbki ponownie zważono.

Średnia gęstość pozorną  $\rho_0$  tworzywa gipsowego suchego wynosiła 1,30 g/cm<sup>3</sup>, a nasyczonego w pełni wodą 1,54 g/cm<sup>3</sup>. Z porównania gęstości wynika, iż nasiąkliwość  $N_m$  badanego materiału wynosiła 18,5% m. Właściwość ta dla spoiw gipsowych może dochodzić nawet do 50% [3].

Badania wytrzymałości na ściskanie ( $f_c$ ) i na rozciąganie przy zginaniu ( $f_f$ ) przeprowadzono w maszynie wytrzymałościowej AllroundLine Z100 firmy Zwick/Roell.

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu ( $f_f$ ) określano na beleczkach 40×40×160 mm, zginając je siłą skupioną w środku rozpiętości przy rozstawie podpór 100 mm. Wartości naprężeń niszczących wyliczono ze wzoru

$$f_f = \frac{M}{W} \text{ [MPa]}$$

gdzie:

- $M$  – moment zginający [N\*m],
- $W$  – wskaźnik wytrzymałości [m<sup>3</sup>],
- $P$  – siła niszcząca [N],
- $l$  – rozstaw podpór, 0,1 m,
- $b, h$  – wymiary poprzeczne beleczki, 0,04 m.

Próbki obciążano przy ustalonej szybkości przyrostu ugięcia wynoszącej 0,2 mm/min.

Do oznaczenia wytrzymałości na ściskanie ( $f_c$ ) wykorzystano połówki beleczek, które ścismano na powierzchni 40×40 mm. Próbki obciążano przy stałej prędkości przyrostu skrócenia wynoszący 0,4 mm/min.

Podczas badania obydwu wytrzymałości w sposób ciągły rejestrowano zależność siła–ugięcie oraz siła–skrócenie próbek.

Wartość statycznego współczynnika tarcia  $\mu$ , między stwardniałym zaczynem gipsowym suchym i nasyconym wodą a stalą, badano na próbkach 80×40 mm za pomocą dynamometru sprężynowego o maksymalnej wartości mierzonej siły wynoszącej 10 N. Jego wartość określano ze wzoru

$$\mu = \frac{T}{N}$$

gdzie:

- $\mu$  – współczynnik tarcia,
- $T$  – siła tarcia [N],
- $N$  – siła dociskająca (w tym ciężar próbki) [N].

#### 4. Wyniki badań

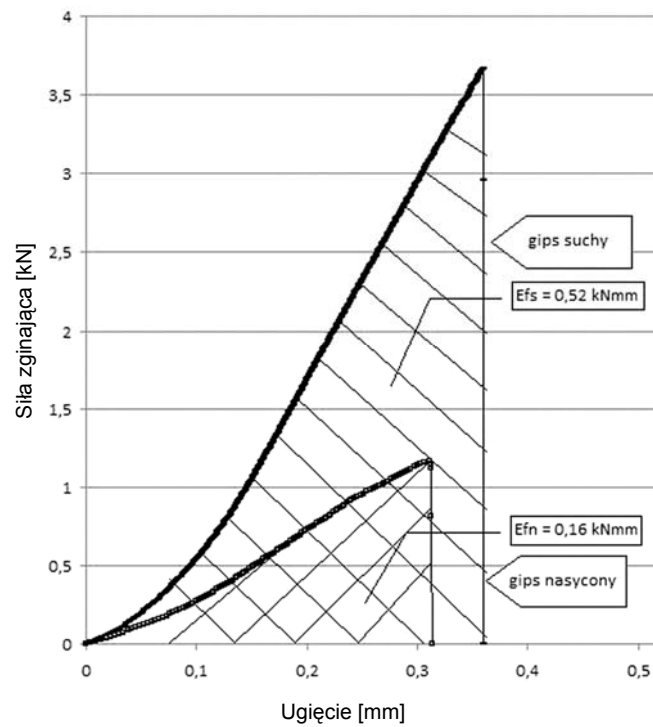
Wyniki badań **wytrzymałości na zginanie i ściskanie** w stanie suchym i nasyconym oraz obliczone współczynniki rozmiękania przedstawiono w tabeli 2.

**Zależność siła–przemieszczenie** (ugięcie przy zginaniu i skrócenie przy ścisaniu) wraz z wartościami obliczonej energii zniszczenia, rozumianej jako powierzchnia pod wykresem siła–ugięcie (do odkształcenia towarzyszącego maksymalnej wartości siły), pokazano na rysunkach 1 i 2. Przedstawione tam wykresy stanowią uśrednione formy graficzne wyników, otrzymane podczas badania 3 próbek tworzywa gipsowego suchego i 3 próbek nasyconych wodą.

Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie i na rozciąganie przy zginaniu oraz współczynniki rozmiękania

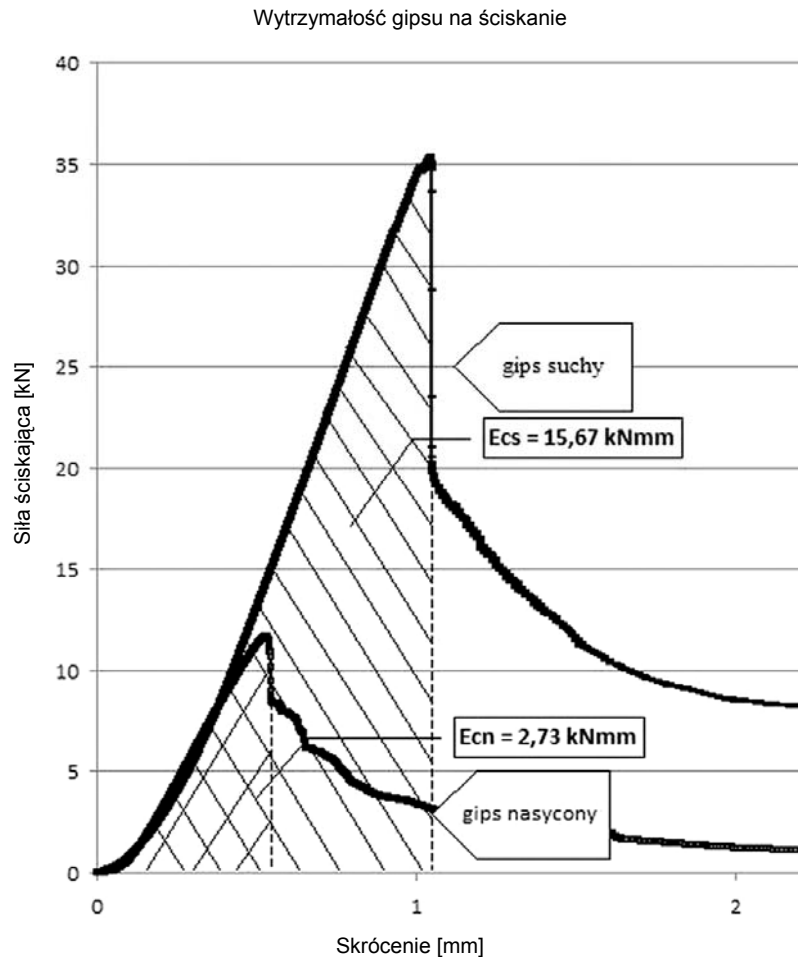
Stan wilgotnościowy tworzywa gipsowego po 28 dniach	Wytrzymałość [MPa]		Współczynnik rozmiękania	
	na rozciąganie przy zginaniu $f_t$	na ściskanie $f_c$	przy zginaniu $r_t$	przy ściskaniu $r_c$
Suchy	8,3	22,1	0,312	0,332
Nasycony	2,6	7,3		

Wytrzymałość gipsu na zginanie



Rys. 1. Uśrednione wykresy siła–ugięcie oraz energia zniszczenia przy zginaniu stwardniałego zaczynu gipsowego suchego i nasyconego wodą

Fig. 1. Average force–deflection relationship and damage energy in compression of dry and water-saturated hardened gypsum paste

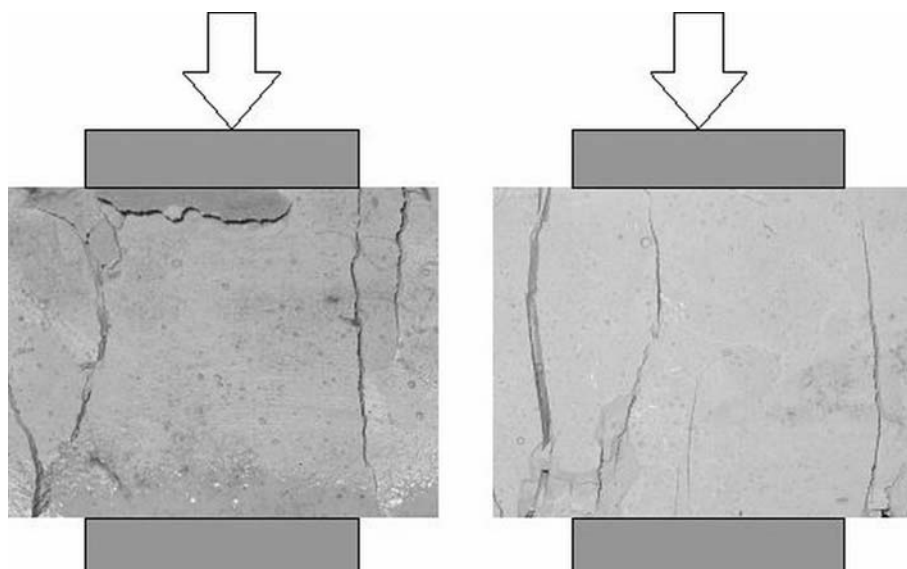


Rys. 2. Uśrednione wykresy siła–skrócenie oraz energia zniszczenia (do siły niszczącej) przy ściskaniu stwardniałego zaczynu gipsowego suchego i nasyconego wodą

Fig. 2. Average force–shortening relationship and damage energy (until occurring of damaging force) in compression of dry and water-saturated hardened gypsum paste

Na rysunku 3 przedstawiono typowe postaci zniszczenia ściskanego tworzywa gipsowego w stanie suchym i nasyconym wodą.

Wyznaczone wartości współczynnika tarcia statycznego między tworzywem gipsowym w stanie suchym i w stanie nasycenia wodą a stałą wynosiły odpowiednio:  $\mu_s = 0,559$  i  $\mu_n = 0,424$ .



Rys. 3. Typowe postacie zniszczenia ściskanych próbek stwardniałego zaczynu gipsowego nasyconego wodą (po lewej) i suchego

Fig. 3. Typical damage shapes of compressed samples of water-saturated (on the left) and dry hardened gypsum paste

## 5. Analiza wyników

*Kruchość* stwardniałego zaczynu z gipsu budowlanego suchego, rozumiana jako stosunek wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu do wytrzymałości na ściskanie jest podobna w stanie suchym i nasyconym. Wynosi ona odpowiednio 0,38 (suchy) i 0,36 (nasycony).

Wartości **współczynników rozmiękania** określone przy ściskaniu i zginaniu okazały się mało zróżnicowane. Współczynnik rozmiękania przy ściskaniu (porównując energie) jest wprawdzie mniejszy niż przy zginaniu, lecz stanowi aż ponad 90% tego drugiego.

Wartości **energii zniszczenia**, co oczywiste wobec zróżnicowania wytrzymałości w obydwu rodzajach obciążenia, są każdorazowo większe w przypadku ściskania. W przypadku tworzywa gipsowego suchego energia zniszczenia przy ściskaniu jest 30-krotnie, a w przypadku nasyconego 17-krotnie większa od energii zniszczenia przy zginaniu.

**Współczynnik tarcia statycznego** między stwardniałym zaczynem gipsowym nasyconym wodą i powierzchnią stalową stanowi około 75% współczynnika tarcia między próbką suchą i stalą.

Zarejestrowane bardzo podobne **postacie zniszczenia** przy ściskaniu tworzywa gipsowego suchego i nasyconego (rys. 3) wskazują, iż nasylenie materiału wodą nie powoduje zmiany postaci zniszczenia. Tarcie jest na tyle duże, że odkształcenia poprzeczne przekrojów stykających się z płytami prasy są w obydwu przypadkach w podobnej mierze krępowane.

## 6. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań niestety nie pozwalają na wyjaśnienie przyczyn różnicowania wartości współczynnika rozmiękania stwardniałego zaczynu gipsowego określonego przy ściskaniu i zginaniu. Stanowić one mogą jedynie przyczynek do opisu zachowania tworzywa gipsowego suchego i nasyconego wodą pod obciążeniem ściskającym i zginającym.

Wnioski, jakie na ich podstawie można sformułować, są następujące:

1. Współczynniki rozmiękania określone przy zginaniu i ściskaniu mogą przyjmować bardziej zbliżone wartości, niż podaje Klin [1]. Wynoszą one odpowiednio 0,312 (zginanie) i 0,332 (ściskanie).

W literaturze można znaleźć informacje o współczynnikach rozmiękania tworzywa z gipsu budowlanego przy ściskaniu, przekraczających wartość 0,8. Dotyczy to gipsów z domieszkami hydrofobizującymi i poryzującymi, co świadczy o korzystnym kształtowaniu cech wytrzymałościowych przez wprowadzone impregnaty [4, 5]. Podobne efekty uzyskuje się, stosując mieszanki gips-cement-pucolana, gdzie współczynniki rozmiękania zawierają się w granicach 0,96–1,04 [6].

2. Energia potrzebna do zniszczenia ściskanego stwardniałego zaczynu gipsowego suchego jest 30-krotnie większa, niż w przypadku próbki nasyconej. Jest to rezultat dużej wrażliwości tworzyw gipsowych na wodę i wynikającym z tego spadkiem wytrzymałości w stanie pełnego nawilgocenia [4]. Warto zauważyć, że w przypadku zginania energia potrzebna do zniszczenia materiału suchego jest tylko 17 razy większa niż nasyconego.
3. Nasylenie wodą próbki gipsowej nie powoduje zmiany postaci zniszczenia przy ściskaniu.

W obydwu przypadkach tarcie jest na tyle duże, że odkształcenia poprzeczne przekrojów stykających się z płytami prasy są w podobnej mierze krepowane, co powoduje postać zniszczenia jak na rysunku 3.

## Literatura

- [1] Klin S., *Analiza zmienności wytrzymałości i odkształcalności gipsu w różnych stanach naprężeń i wilgotności*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska, Wrocław 2005.
- [2] PN-EN 13279-2, 2006, *Spoiva gipsowe i tynki gipsowe, część 2, Metody badań*.
- [3] Gawlicki M., Małolepszy J., Roszczyński W., *Właściwości spoiw gipsowych kształtujące ich cechy użytkowe*, Cement Wapno Beton, 5/2002, 211-214.
- [4] Pichniarczyk P., *Hydrofobizacja lekkich poryzowanych zaczynów z gipsu syntetycznego otrzymywanego w procesie odsiarczania spalin*, Cement Wapno Beton, 4/2000.
- [5] Ostrowski C., *Metody uodparniania tworzyw gipsowych na działanie wody i ich ocena*, Cement Wapno Gips, 2/1983, 46-49.
- [6] Osiecka E., *Odporność na działanie wody tworzyw z syntetycznego gipsu dwuwodnego, cementu i pucolan*, Cement Wapno Beton, 5/2001, 192-195.