

Efektywność i czas w dobie ekologicznej transformacji – nowy poziom przyspieszaczy twardnienia

Michał Zapala

michal.zapala@masterbuilders.com



Czynniki wpływające na rozwój wytrzymałości wczesnej betonu

- Rodzaj cementu
- Ilość cementu w m³ mieszanki betonowej
- Rodzaj wypełniacza
- W/C
- Kruszywo
- Konsystencja mieszanki betonowej
- Domieszki
- Temperatura
- Rodzaj i sposób prowadzenia obróbki cieplnej

Podstawowy schemat cyklu obróbki cieplnej

Etap I – wstępne dojrzewanie – czas po zabudowaniu mieszanki do momentu rozpoczęcia wiązania [4] - 2 do 6 godzin.

Etap II – wzrost temperatury – zalecane wartości:

- ACI 517.2R [1,3]: 11°C do 44 °C/godz.
- Z. Jamróży: do 25°C/godz. – dla elementów bez form; do 35°C/godz. – w formach z odkrytą powierzchnią $\leq 10\%$; powyżej 35°C/godz. – dla elementów w formach zamkniętych

Etap III – nagrzewanie – zalecane wartości:

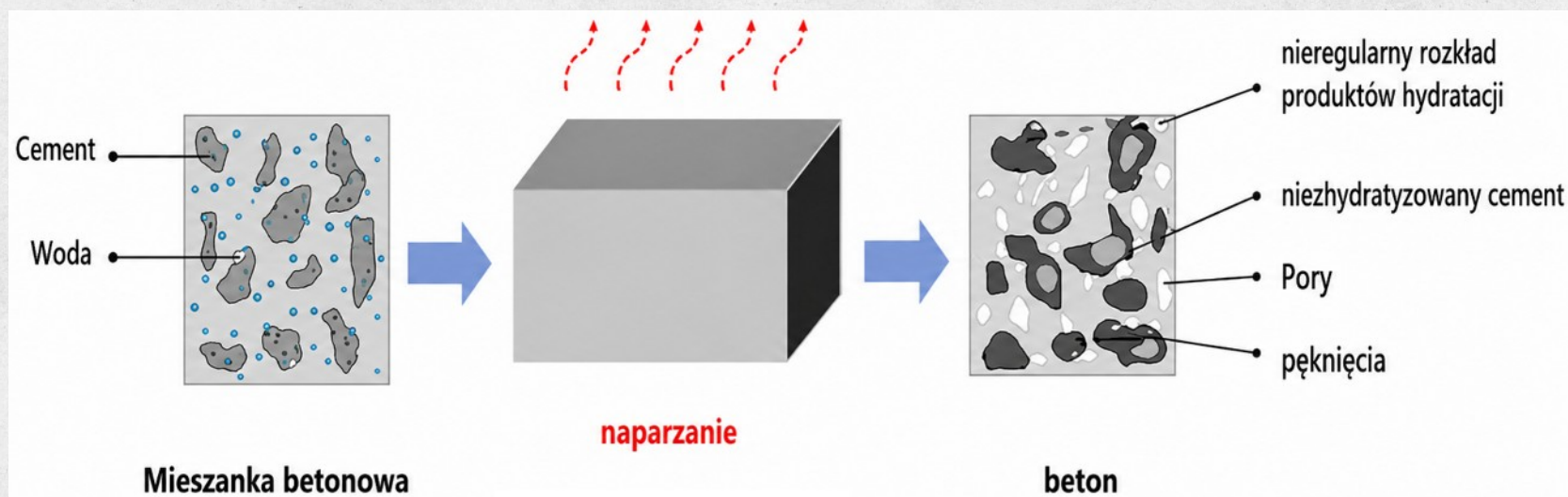
- ACI 517.2R [1]: dla cementów CEM II – dla temp. 70°C do 80°C nieznacznie większy spadek wytrzymałości 28 dniowej, niż temperaturze 48°C do 50°C
- NPCA [3]: 49°C do 60°C.
- Z. Jamróży: zależy od typu cementu, wymaganej wytrzymałości oraz rodzaju form.

Etap IV – studzenie – zalecane wartości:

- ACI 517.2R [1]: do 6°C/godz. dla pierwszych 4 godz.; do 4°C/godz. dla kolejnych 4 godz.; do 2°C/godz. ostatni cykl
- NPCA [3]: nie więcej niż 11°C/godzinę.
- Z. Jamróży: do 20°C/godz. - elementy o module pow. $M_p > 2,0$; 10°C do 15°C /godz. dla elementów masywnych $M_p < 2,0$

Negatywny wpływ obróbki cieplnej betonu

- Niższa wytrzymałość końcowa betonu.
- Większa porowatość i przepuszczalność.
- Zwiększone ryzyko występowania wykwitów węglanowych.



Rys 2. Wady struktury stwardniałego betonu w wyniku pielęgnacji w wysokiej temperaturze [6].



Negatywny wpływ obróbki cieplnej betonu

- Korozja form stalowych.

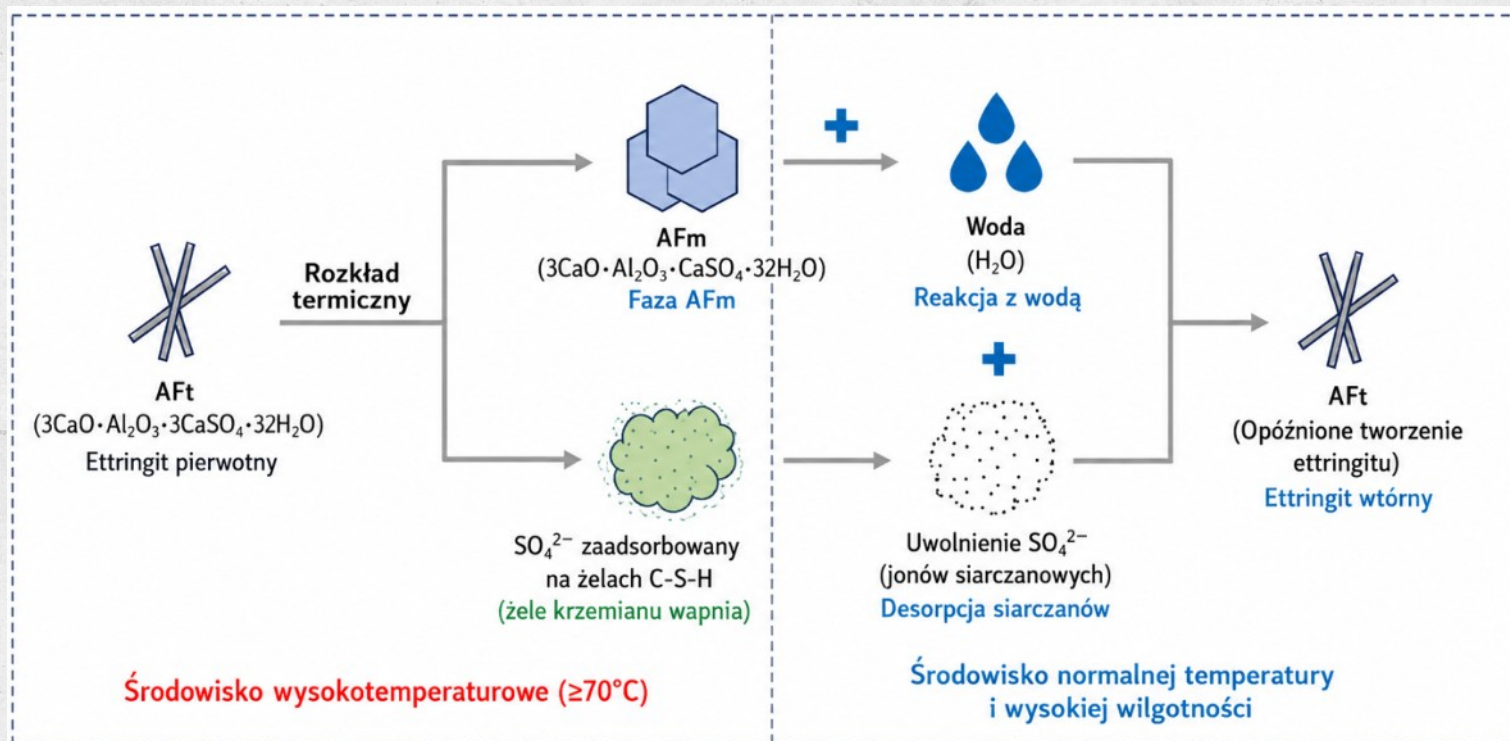


Rys 3. Skorodowana forma stalowa [8].

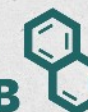


Negatywny wpływ obróbki cieplnej betonu

- Powstawanie opóźnionego ettringitu



Rys 3. Schemat powstawiania opóźnianego ettringitu [6].

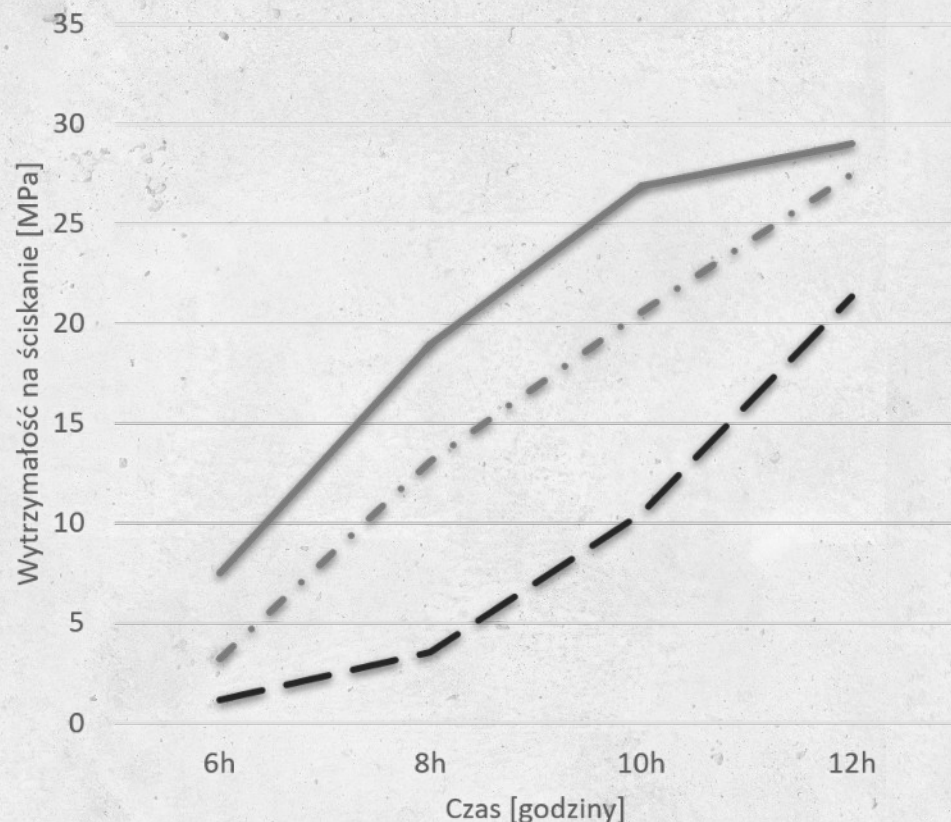


Założenia do badań porównawczych

Składniki	[kg/m ³]
CEM II/A-M (S-LL) 52,5 R	370
Mączka wapienna	55
Piasek 0/2	700
Grys wapienny 2/8	500
Grys wapienny 8/16	625
Woda efektywna	155

- Utrzymanie stałego W/C
- Konsystencja po 5 minutach w klasie S5
- Temperatura mieszanki betonowej: ~ 20°C
- Pomiar wytrzymałości na ściskanie po:
 - 6 godzinach
 - 8 godzinach
 - 10 godzinach
 - 12 godzinach
- Pomiar wytrzymałości na ściskanie w:
 - 20°C
 - 30°C
 - 40°C

Rozwój wytrzymałości wczesnych betonu dla receptur referencyjnych

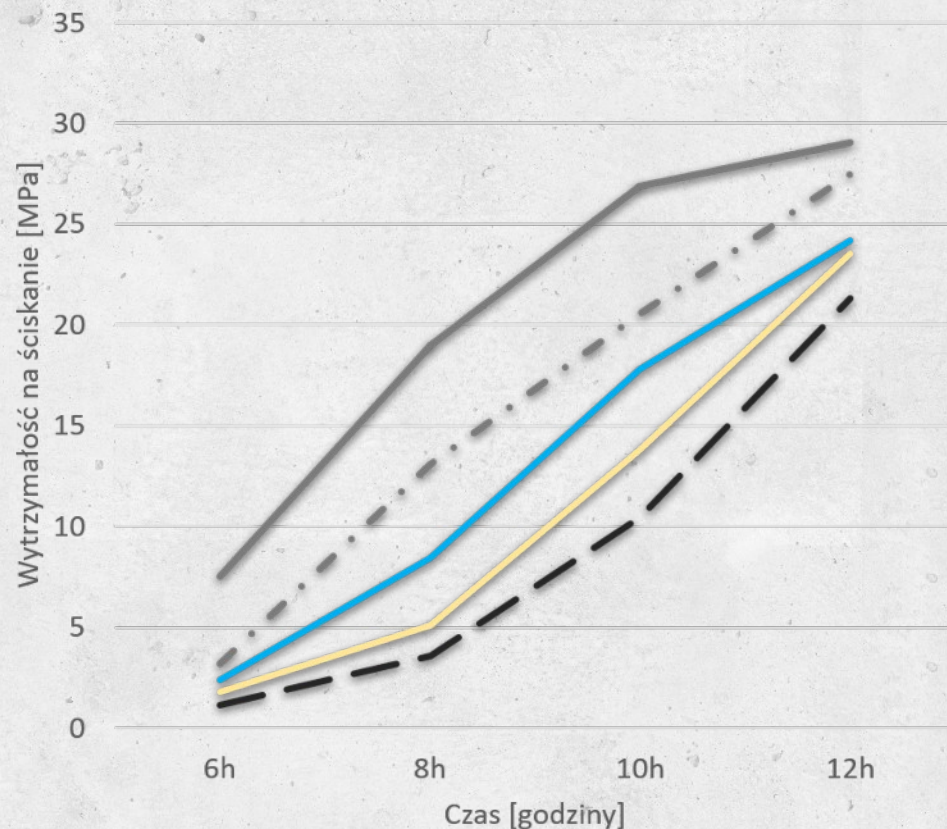


— ACE 430TR - 20°C - · - ACE 430TR - 30°C — ACE 430TR - 40°C

- 15MPa:
 - ~10h 45 min w 20°C
 - ~8h 30 min w 30°C
 - ~7h 30 min w 40°C
- 20MPa:
 - ~11h 45 min w 20°C
 - ~9h 45 min w 30°C
 - ~8h 15 min w 40°C



Rozwój wytrzymałości wczesnych betonu przy niskich dozowaniach MasterX-Seed



- 15MPa:
MasterX-Seed 300 skrócił czas o około ~1h 30 min w 20°C względem betonu referencyjnego pielęgowanego w 20°C
- 20MPa:
MasterX-Seed 300 skrócił czas o około ~1h 00 min w 20°C względem betonu referencyjnego pielęgowanego w 20°C

— ACE 430TR - 20°C

— X-Seed 100 - 1,5% - 20°C

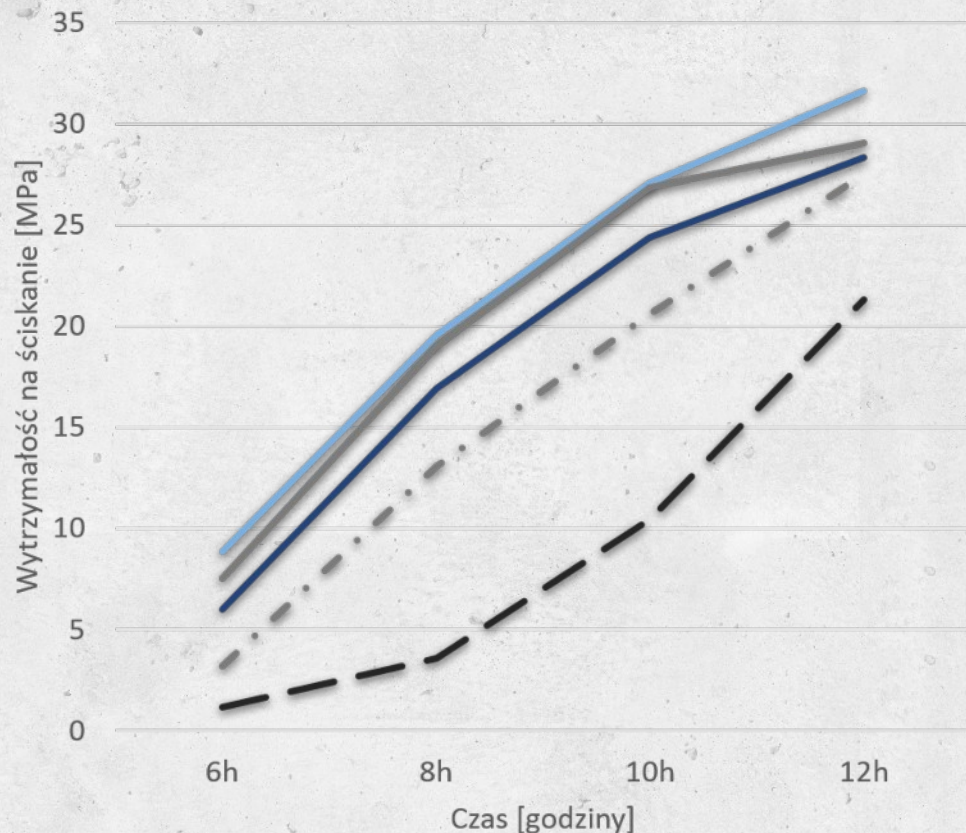
— X-Seed 300 - 1,5% - 20°C

- · - ACE 430TR - 30°C

— ACE 430TR - 40°C



Rozwój wytrzymałości wczesnych betonu przy niskich dozowaniach MasterX-Seed

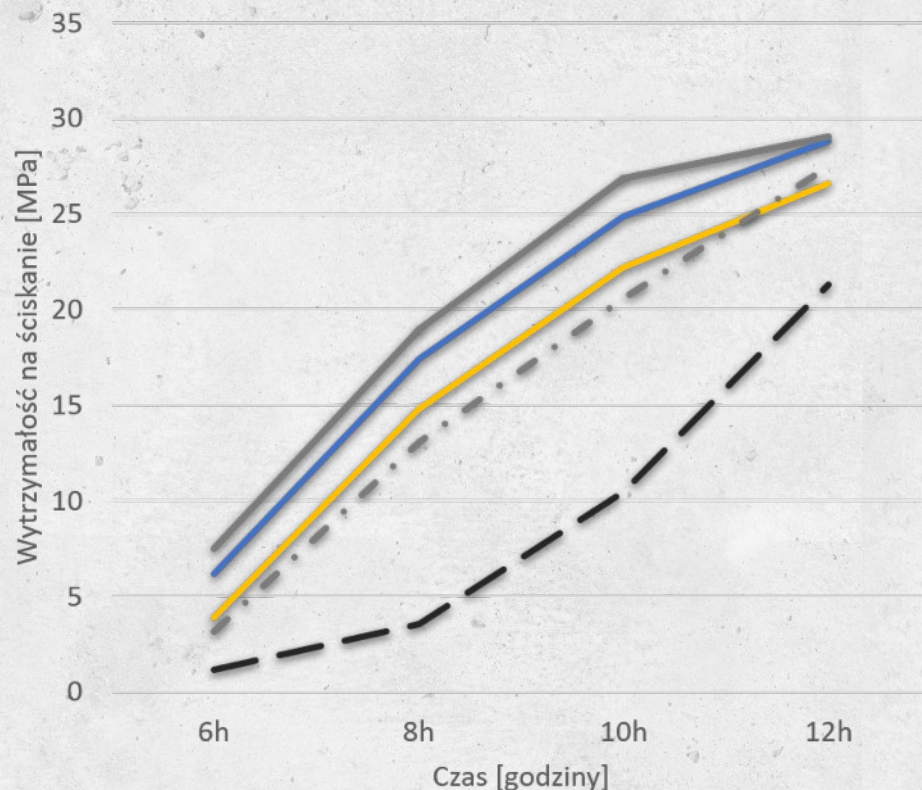


- 15MPa:
Beton z MasterX-Seed 300 pielęgnowany w 30°C osiągnął zbliżoną wytrzymałość do betonu referencyjnego pielęgowanego w 40°C
- 20MPa:
Beton z MasterX-Seed 300 pielęgnowany w 30°C osiągnął zbliżoną wytrzymałość do betonu referencyjnego pielęgowanego w 40°C

— ACE 430TR - 20°C - · - ACE 430TR - 30°C — X-Seed 100 - 1,5% - 30°C
— X-Seed 300 - 1,5% - 30°C — ACE 430TR - 40°C



Rozwój wytrzymałości wczesnych betonu przy wysokich dozowaniach MasterX-Seed

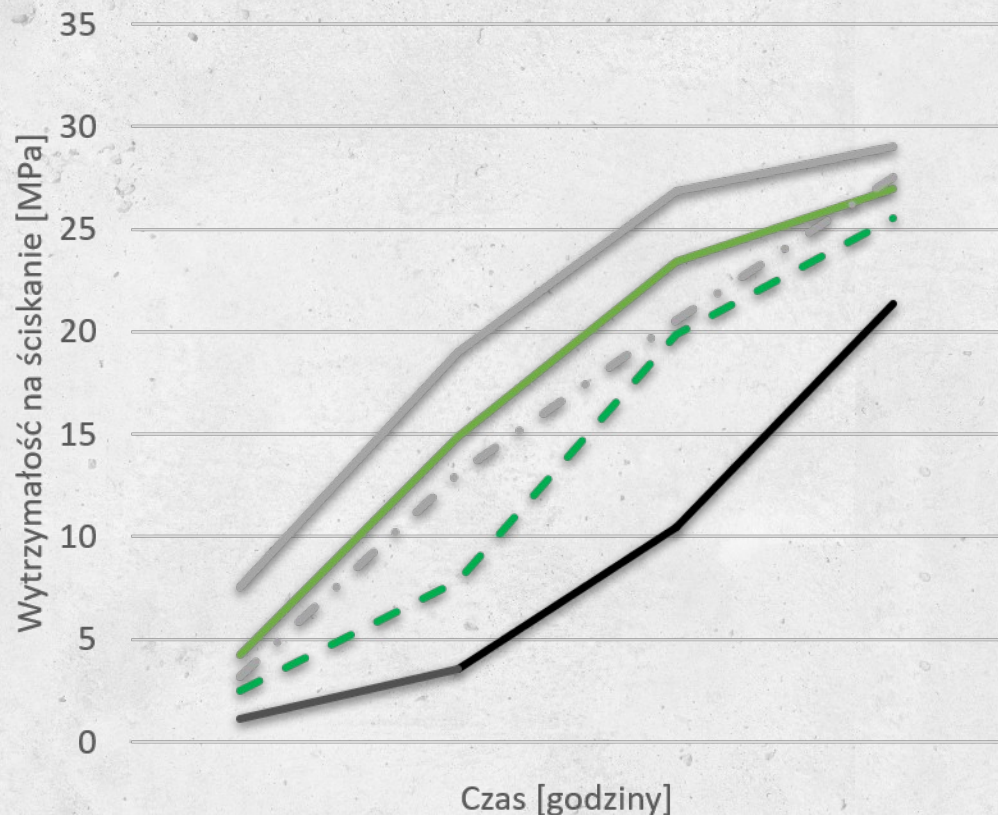


- 15MPa:
MasterX-Seed 300 skrócił czas o około ~3h 00 min w 20°C względem betonu referencyjnego pielęgnowanego w 20°C
- 20MPa:
MasterX-Seed 300 skrócił czas o około ~3h 15 min w 20°C względem betonu referencyjnego pielęgnowanego w 20°C

— ACE 430TR - 20°C — X-Seed 100 - 4,0 % - 20°C — X-Seed 300 - 4,0% - 20°C
- · - ACE 430TR - 30°C — ACE 430TR - 40°C



Rozwój wytrzymałości wczesnych betonu z nowego typu przyspieszaczem twardnienia



- 15MPa:
MasterCO₂re HES 30 skrócił czas o około ~2h 45 min w 20°C względem betonu referencyjnego pielęgnowanego w 20°C
- 20MPa:
MasterCO₂re HES 30 skrócił czas o około ~2h 45 min w 20°C względem betonu referencyjnego pielęgnowanego w 20°C

— ACE 430TR - 20°C

— CO2re HES 30 - 2,2% - 20°C

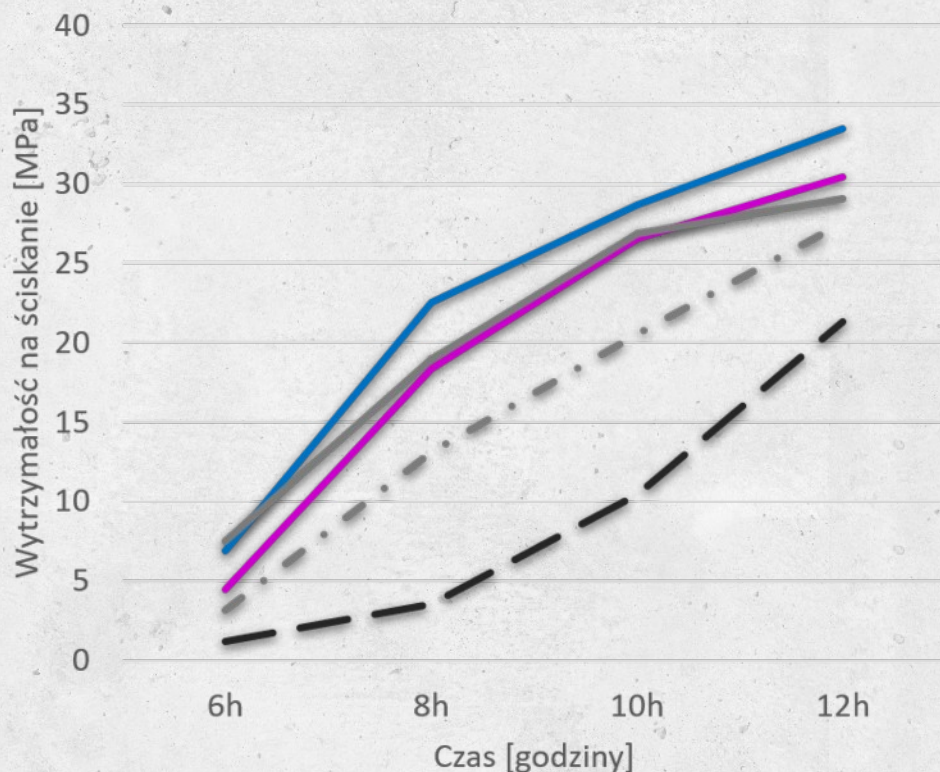
--- CO2re HES 20 - 1,7% - 20°C

- · - ACE 430TR - 30°C

— ACE 430TR - 40°C



Rozwój wytrzymałości wczesnych betonu z nowego typu przyspieszaczem twardnienia



— ACE 430TR - 20°C

— CO2re HES+Boost - 2,5 % - 20°C

— CO2re HES+Boost - 5,0% - 20°C

- - ACE 430TR - 30°C

— ACE 430TR - 40°C

- 15MPa:
MasterCO₂re HES 30 w połączeniu z MasterBoost w 20°C pielęgnacji pozwolił na uzyskanie wytrzymałości zbliżonych lub wyższych od betonu referencyjnego pielęgnowanego w 40°C
- 20MPa:
MasterCO₂re HES 30 w połączeniu z MasterBoost w 20°C pielęgnacji pozwolił na uzyskanie wytrzymałości zbliżonych lub wyższych od betonu referencyjnego pielęgnowanego w 40°C



MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS

— Born to
accelerate



MasterCO2re HES 30

MasterX-Seed 300NEXT

MasterBoost 3000

KONFERENCJA 2026
ZIELONA REWOLUCJA W TECHNOLOGII BETONU

STOWARZYSZENIE
PRODUKTÓW
CHEMII BUDOWLANEJ
SPChB



Literatura

- [1] Z. Jamróży, „Beton i jego technologie”, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa, 2006.
- [2] A. Singh Sidhu, R. Siddique, „Review on effect of curing methods on high strength concrete”, Construction and Building Materials, August 2024.
- [3] National Precast Concrete Association, „Curing wet-cast precast concrete”, 03-2026
- [4] ACI 517.2 R, Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure
- [5] R. Haigh, O. Ameri Sianaki, „Traditional and Advanced Curing Strategies for Concrete Materials: A Systematic Review of Mechanical Performance”, Sustainability, and Future Directions, Applied Sciences, 15 October 2025
- [6] H. Yang, Z. Shen, „Mechanical properties and microstructure of cement-based materials bys different high-temperature curing methods; a review’, Journal of Building Engineering, 2024
- [7] A. Stefański, R. Żywica, „Technologia produkcji prefabrykowanych elementów betonowych dla budownictwa mieszkaniowego”, PWN, Warszawa 1979
- [8] Chat GPT

Dziękuję za uwagę

Adres e-mail: michal.zapala@masterbuilders.com

