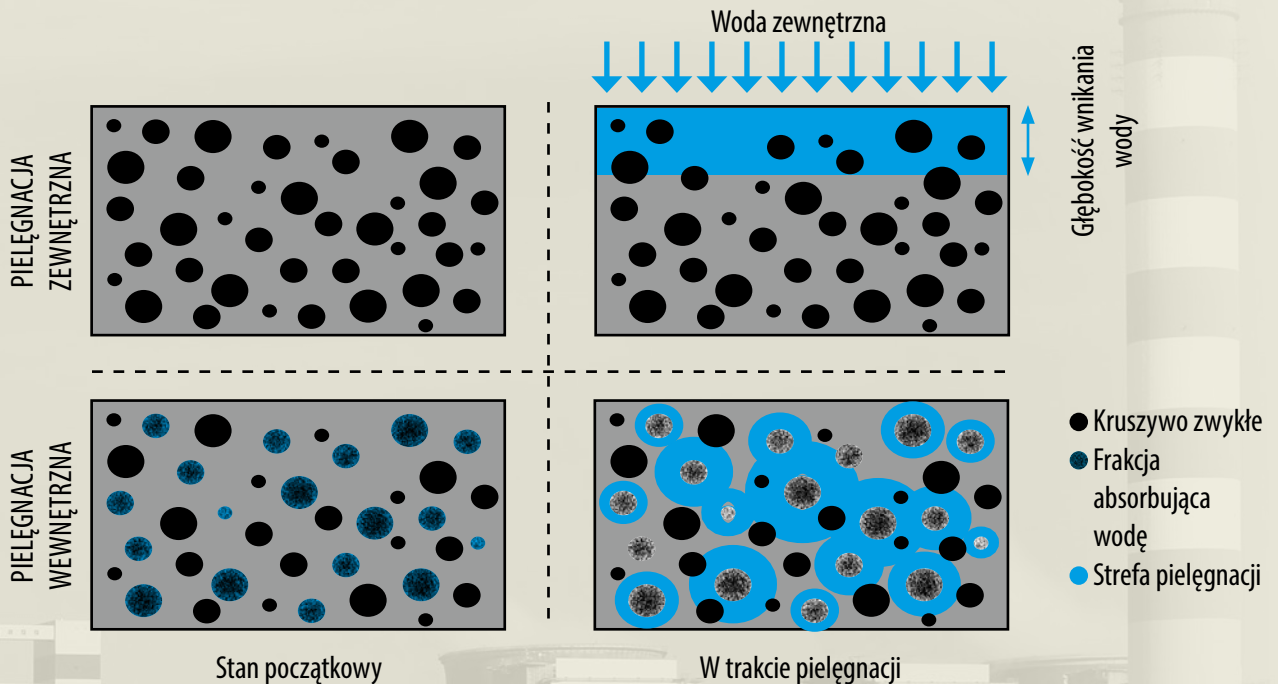


Jednym jest najistotniejszym elementów prac związanych z zabudową betonu jest pielęgnacja. Jest to zespół czynności, których celem jest wspomaganie procesu hydratacji cementu. Prowadzenie pielęgnacji ma na celu kontrolowanie temperatury i migracji wilgoci zarówno z, jak i do wnętrza betonu. Dodatkowym celem pielęgnacji jest również minimalizacja skurczu.

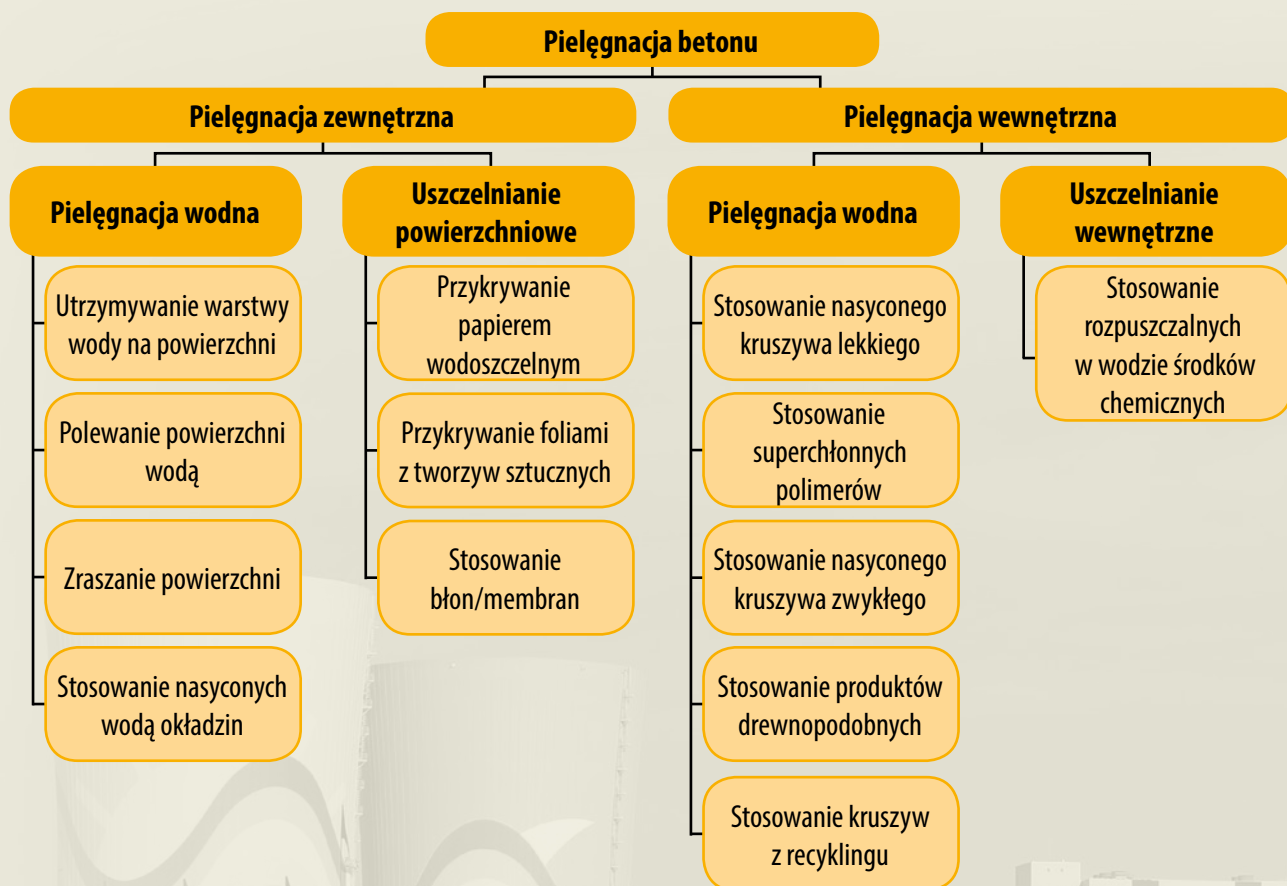
Odpowiedni dobór metody i czasu pielęgnacji zależy głównie od wymaganych właściwości betonu, założonej trwałości i wytrzymałości. Większość tradycyjnych metod pielęgnacji opiera się na oddziaływaniu na powierzchnię betonu z zewnątrz (rys. 1). Pielęgnacja wewnętrzna polega na wprowadzeniu do składu mieszanki betonowej komponentu, który ma stanowić „rezerwy” wody, dla zapewnienia warunków do postępu hydratacji (rys.1).



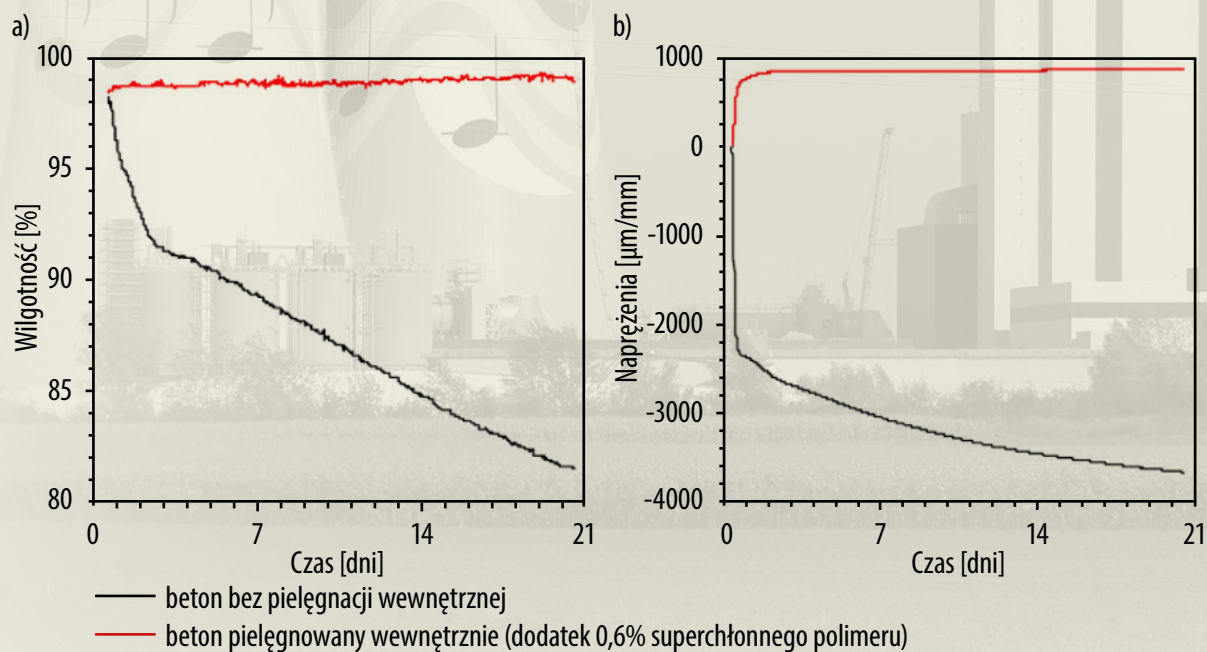
Rys. 1. Mechanizm pielęgnacji zewnętrznej i wewnętrznej betonu

Pielęgnacja wewnętrzna została zdefiniowana przez Amerykański Instytut Betonu (ACI) jako „proces, dzięki któremu hydratacja cementu jest kontynuowana z uwagi na dostępność wewnętrznej wody, której źródłem nie jest woda zarobowa”. Idea pielęgnacji wewnętrznej zyskała na znaczeniu w ostatnich latach, ponieważ okazała się przydatnym narzędziem do poprawy właściwości betonu. Klasyfikację metod pielęgnacji betonu przedstawiono na rys. 2.

Beton może utracić kapilarną wodę w wyniku zewnętrznych oddziaływań, jak np. suszenie, parowanie z powierzchni wystawionej na działanie powietrza lub odsysanie z powierzchni wystawionej na działanie materiału chłonnego, np. poszycie deskowania. Ponadto, w mieszankach betonowych o niskim współczynniku $w/c \leq 0,42$, w procesie hydratacji cementu może zostać „zużyta” taka ilość wody kapilarnej, że wystąpi zjawisko wewnętrznego suszenia lub samoosuszenia (szczególnie przy bardzo niskim współczynniku w/c). Zjawiska te mogą powodować znaczny skurcz, zwłaszcza gdy pielęgnacja zewnętrzna jest prowadzona w ograniczonym zakresie lub całkowicie zaniechana. Skurcz spowodowany utratą wody przez beton można podzielić na dwie kategorie: skurcz autogeniczny i skurcz od wysychania. Skurcz autogeniczny odnosi się do zmniejszenia objętości produktów reakcji hydratacji cementu w stosunku do substratów, tj. cementu i wody, a także zmian objętości spowodowanych samoosuszeniem przy niskim współczynniku w/c . Skurcz od wysychania zwykle odnosi się do odkształceń betonu spowodowanych utratą wody kapilarnej, np. wskutek odparowania z powierzchni. W takich okolicznościach pielęgnacja wewnętrzna może stanowić uzupełnienie ubytku wody kapilarnej, co umożliwi dalszy postęp hydratacji, zapewni przyrost wytrzymałości, wpłynie na ograniczenie i/lub opóźnienie skurczu oraz poprawę ogólnej trwałości (rys. 3).

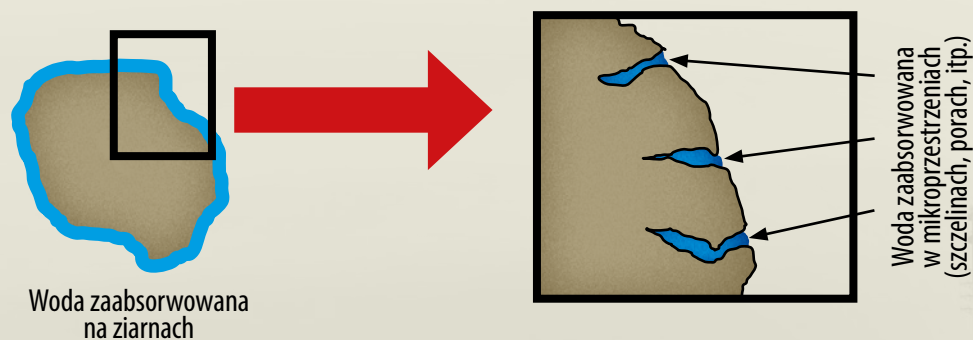


Rys. 2. Klasyfikacja metod pielęgnacji betonu

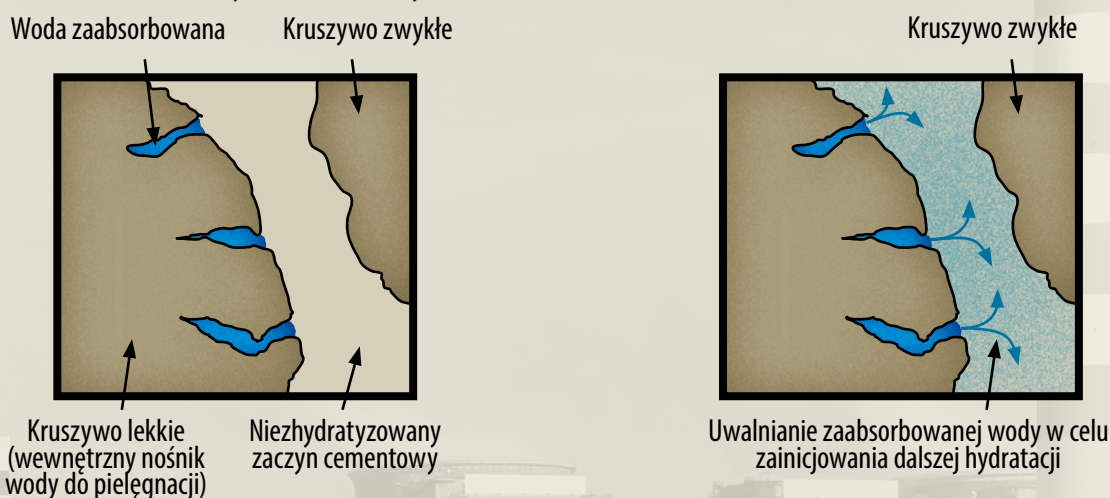


Rys. 3. Wpływ pielęgnacji wewnętrznej na wilgotność względną (a) i naprężenia autogeniczne (b) zaczynów cementowych w temperaturze 20°C

Z zasady pielęgnacja wewnętrzna polega na stosowaniu materiałów zdolnych do pochłaniania wody, np. siłami kapilarnymi, tworząc w ten sposób „rezerwy” w betonie. Woda jest absorbowana (wchłaniana) przez materiał w mikropory, szczeliny porowatej cząstki, np. ziarna kruszywa (rys. 4). Celem jest uwolnienie wody wewnętrznej po wymieszaniu i zabudowaniu betonu, gdy beton zaczyna twardnieć. W okresie dojrzewania betonu, zaabsorbowana woda powinna być stopniowo oddawana (uwalniania), aby zapewnić dalszą hydratację cementu (rys. 5).



Rys. 4. Sposób absorbowania wody na ziarnach kruszywa



Rys. 5. Postęp hydratacji w wyniku uwolnienia zaabsorbowanej wody

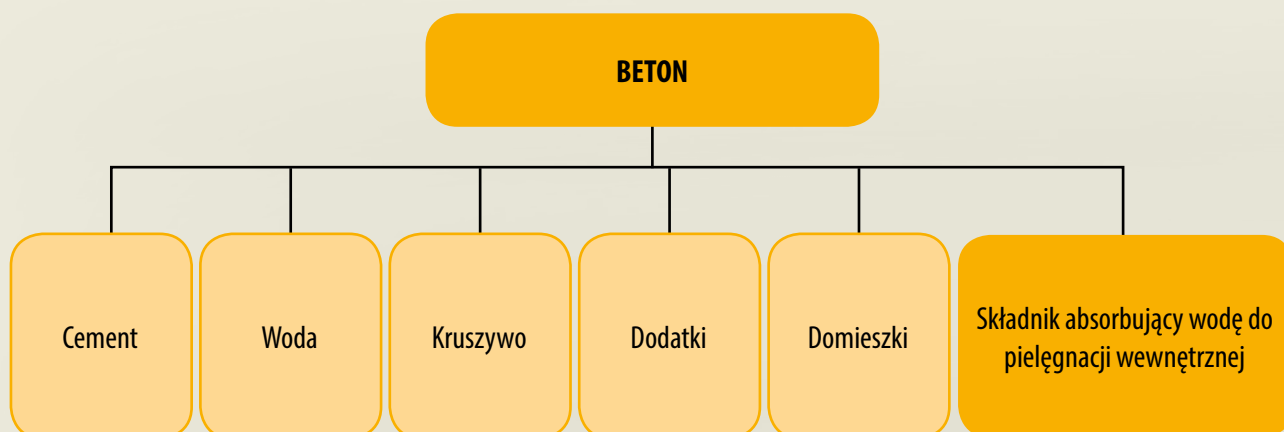
Zabsorbowana (wewnętrzna) woda jest to dodatkowa ilość wody wprowadzonej do mieszanki, która nie zostanie odliczona od ilości założonej w recepturze betonu (potrzebnej dla zapewnienia urabialności i przebiegu hydratacji). Ustalenie ilości wody potrzebnej dla zapewnienia warunków pielęgnacji wewnętrznej uzależnione jest od składu mieszanki betonowej (receptury), przyjętej metody pielęgnacji zewnętrznej i założonego celu. Ponieważ pielęgnacja wewnętrzna może potencjalnie służyć kompensacji strat wody z betonu do otoczenia, ilość zaabsorbowanej wody potrzebnej do pielęgnacji wewnętrznej zależy od zawartości cementu, a w uogólnieniu od współczynnika w/c. Dostępność zaabsorbowanej wody jest kluczowa dla zapewnienia właściwej pielęgnacji wewnętrznej.

Teoretyczna ilość wody koniecznej dla zapewnienia warunków pielęgnacji wewnętrznej, w przypadku betonu z wysoką zawartością cementu (betonu wysokowartościowego), obliczona na podstawie modelu Powers'a, zakładającego zrównoważenie samoistnego osuszania wynosi blisko 40kg/m^3 . Najszersze zastosowanie metoda pielęgnacji wewnętrznej znajduje właśnie w produkcji betonów wysokowartościowych i betonów wysokich wytrzymałości. Wynika to głównie z ukształtowania struktury betonu (betony wysokowartościowe charakteryzują się zwartą i szczelną strukturą), a tym samym ograniczonej możliwości migracji wody z powierzchni.

W betonie „rezerwy wody” mogą być formowane przed lub po rozpoczęciu mieszania. Tworzenie bufora wodnego oparte jest na zasadach fizycznych, tj.:

- fizycznie zaabsorbowana woda, np. woda w superabsorbujących polimerach,
- woda fizycznie utrzymywana, np. woda kapilarna w drobnych porach kruszywa,
- woda niezwiązana, np. kapsułkowana woda w cząstkach polimeru / parafiny.

Środki do pielęgnacji wewnętrznej można dodawać do zwykłej mieszanki betonowej (rys. 6) w stanie suchym lub nasyconym (zależnie od rodzaju materiału i szybkości pochłaniania wody). Wprowadzenie tych środków do składu betonu w procesie produkcji (mieszania) zapewnia ich równomierne rozmieszczenie w pobliżu hydratyzujących ziaren cementu. Jest to szczególnie istotne ze względu na to, że kształtująca się w procesie hydratacji struktura matrycy cementowej, ulega zagęszczeniu, przez co zdolność do migracji wody jest ograniczona w czasie. W początkowym okresie hydratacji szacowany zasięg migracji wody wynosi 20 mm, w okresie końcowym zaledwie 1 mm.



Rys. 6. Skład betonu poddanego pielęgnacji wewnętrznej

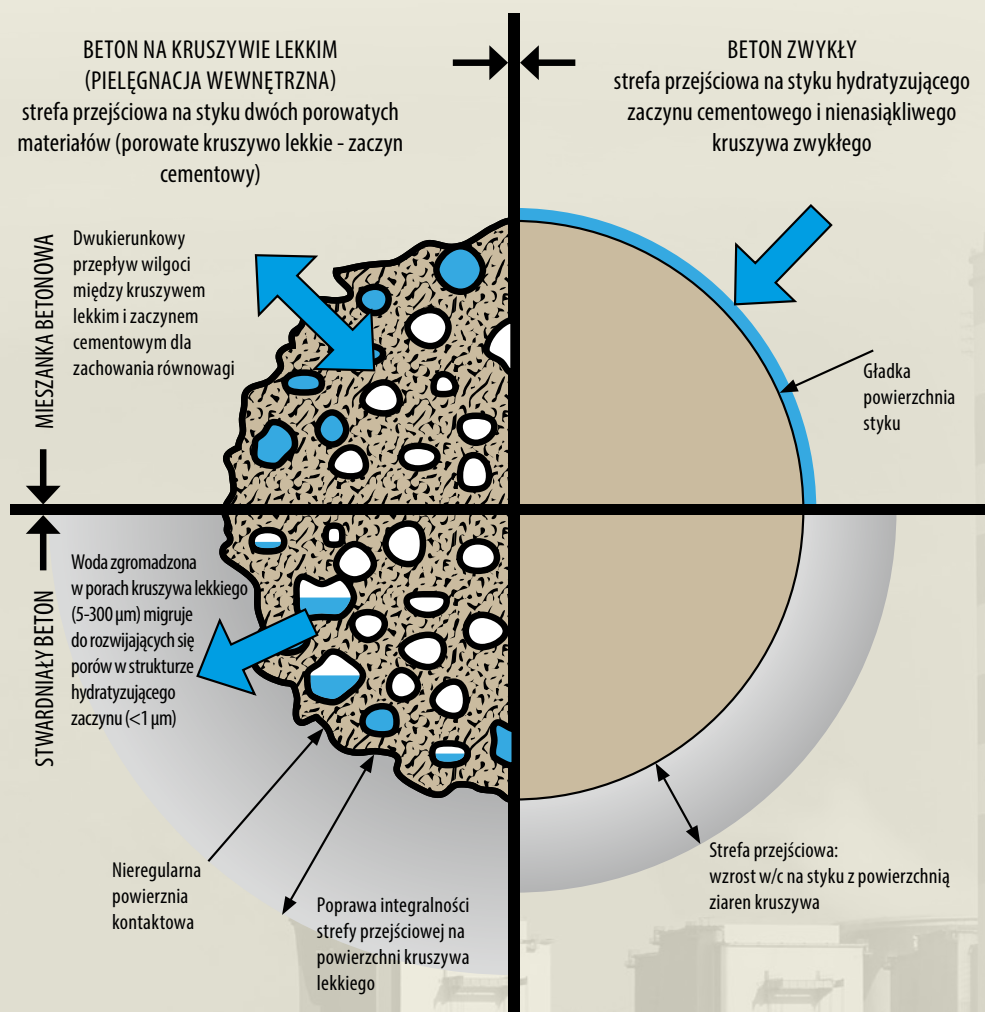
Możliwe są dwa główne sposoby wprowadzenia do betonu „dodatkowej” wody. Pierwszy, stosowany od lat, to wprowadzenie do składu mieszanki betonowej w pełni nasyconego wodą, mocno porowatego kruszywa lekkiego. Drugi, bardziej zaawansowany technologicznie, polega na zastosowaniu superabsorbentów polimerowych (SAP) jako domieszki do betonu.

Kruszywo lekkie stosowane jako nośnik wody dla zapewnienia warunków pielęgnacji wewnętrznej, musi być odpowiednio dobrane pod względem jakościowym, tak aby nie pogarszać specyfikowanych właściwości betonu. Kruszywa lekkie są bardzo porowate i mogą absorbować znaczne ilości wody. Zanim kruszywo lekkie zostanie wprowadzone do mieszanki betonowej, musi być zanurzone w wodzie. Całkowite nasycenie może potrwać wiele godzin lub dni, ponieważ powietrze obecne w cząsteczkach opóźnia wnikanie wody. Jeśli natomiast kruszywo lekkie w stanie suchym zostanie dodane do mieszalnika, osiągnięte zostanie tylko częściowe nasycenie. Ponadto ziarna cementu mogą częściowo wnikać w strukturę porów kruszywa razem z wodą, co poprawi właściwości strefy kontaktowej, ale w pewnym stopniu organiczny efekt pielęgnacji wewnętrznej. Wstępnie nasączone kruszywo lekkie w twardniejącym betonie uwalnia wodę z drobnych porów do otaczającego zaczynu cementowego (rys. 7). Z uwagi na zwiększoną dostępność wody dla przebiegu hydratacji i aktywność pucolanową na powierzchni ziaren kruszywa lekkiego strefa przejściowa między ziarnami kruszywa a zaczynem cementowym ma lepszą przyczepność niż w przypadku betonu zwykłego.

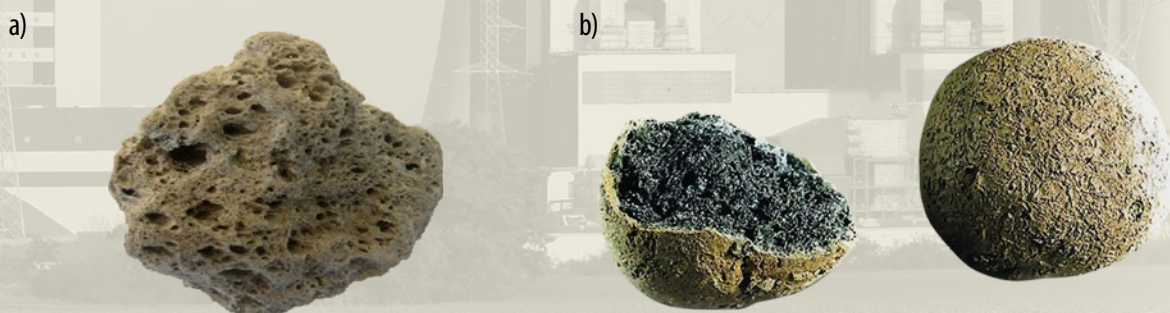
Podstawowym mechanizmem odpowiedzialnymi za utrzymywanie wody w porach ziaren kruszywa lekkiego są siły kapilarne. Tylko pory o rozmiarze powyżej 100 nm są przydatne do przechowywania wewnętrznej wody. W mniejszych porach woda jest trzymana tak mocno, że nie jest dostępna dla reakcji hydratacji.

Celem zapewnienia dużego rozproszenia, ale jednocześnie równomiernego rozmieszczenia ziaren kruszywa pielęgnującego w strukturze betonu, należy odpowiednio dobrać uziarnienie kruszywa – powinny to być frakcje drobne (maksymalna wielkość ziaren 10 mm), najlepiej piaskowe, stosowane jako częściowy zamiennik zasadniczego kruszywa (piasku) w ilości 10÷25%. Wprowadzenie grubszych frakcji kruszywa lekkiego, jako źródła wody do pielęgnacji wewnętrznej, prowadzi raczej do znacznego zmniejszenia wytrzymałości na ściskanie betonu.

Jako kruszywa lekkie, zapewniające bufor wodny do pielęgnacji wewnętrznej, mogą być stosowane, zarówno naturalne kruszywa lekkie (pumeks, perlit, ziemia okrzemkowa), jak i lekkie kruszywa sztuczne, np. ziarna spiekane z popiołów lotnych, czy glin pęczniących (rys. 8). Warunkiem koniecznym jest, aby wykazywały duże możliwości absorpcji (magazynowania) wody.

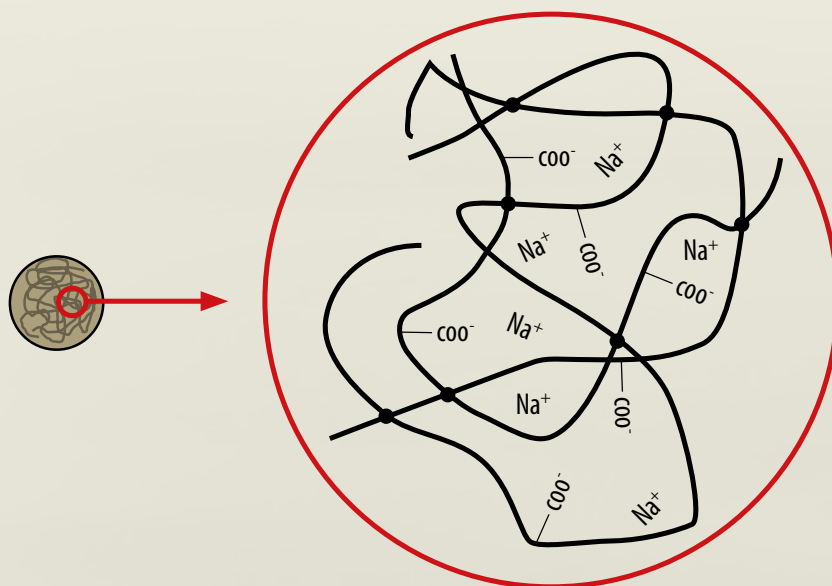


Rys. 7. Kształtowanie strefy przejściowej na styku kruszywo – zaczyn cementowy w warunkach pielęgnacji wewnętrznej



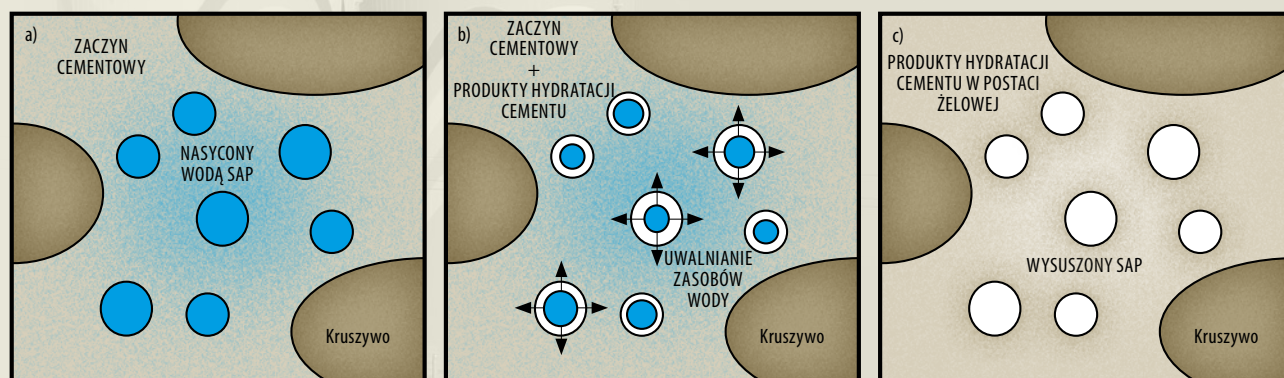
Rys. 8. Przykłady kruszyw lekkich stosowanych w celu zapewnienia warunków pielęgnacji wewnętrznej a) pumeks naturalny, b) kruszywo z glin spiekanych Leca®

Domieszki stosowane do pielęgnacji wewnętrznej nazywane są ogólnie superabsorbentami polimerowymi. Superchłonny polimer (SAP) jest materiałem polimerowym, który jest zdolny do pochłaniania znacznej ilości cieczy z otoczenia i zatrzymywania jej w strukturze, bez rozpuszczania. Teoretycznie SAP mogą przyjąć maksymalną ilość wody, która jest ok. 5000 razy większa niż masa własna. Superabsorbenty polimerowe są kowalencyjnie usieciowanymi kopolimerami akryloamid/kwas akrylowy, które występują w dwóch różnych stanach: napęczniałe i zwinięte (rys. 9). Najczęściej są to kopolimery akryloamidowe, etylenowe kopolimery kwasu meleinowego, kopolimery alkoholu winylowego, sole sodowe kwasu poliakrylowego, karboksymetyloceluloza, itd. SAP znalazły szerokie zastosowanie jako materiał high-tech, np. do soczewek kontaktowych, pieluszek dla niemowląt, gaszenia pożarów i pielęgnacji gleby. Szybkość absorpcji produkowanych komercyjnie SAP wynosi około 50g/g w rozcieńczonych roztworach soli. W roztworach o wysokiej zawartości jonów, takich jak porowaty roztwór porowy zaczynu cementowego, chłonność może wynosić poniżej 20g/g. W zależności od rodzaju polimeru i oczekiwanego efektu w celu zapewnienia warunków pielęgnacji wewnętrznej SAP stosowane są na poziomie dozowania w ilości $0,3 \div 0,6\%$ masy cementu.



Rys. 9. Schematycznie przedstawiona cząstka SAP

Zasadę działania superchłonnych polimerów w betonie przedstawiono na rys. 10. Wprowadzone do mieszanki betonowej SAP są nasycone wodą (rys. 10a), w trakcie hydratacji cementu, w fazie, w której względna wilgotność w układzie porów maleje, SAP uwalnia wodę do zaczynu, aby przedłużyć hydratację (rys. 10b). W trakcie dalszej hydratacji SAP wysycha i pozostawia pory w stwardniałym betonie (rys. 10c).



Rys. 10. Schemat zasady działania SAP w trakcie wiązania i twardnienia betonu

Ze względu na zasadę działania w betonie, stosowanie superchłonnych polimerów może przejawiać wielorakie efekty:

- umożliwienie wewnętrznej pielęgnacji poprzez wspomaganie i przedłużanie procesu hydratacji cementu,
- opóźnienie i ograniczenie autogenicznego skurczu,
- wprowadzenie porów w strukturę stwardniałego betonu (efekt analogiczny jak przy stosowaniu domieszki napowietrzającej) – zapewnienie poprawy mrozoodporności,
- obniżenie wytrzymałości na ściskanie w wyniku zwiększonej porowatości matrycy cementowej.

Reasumując należy stwierdzić, iż pielęgnacja wewnętrzna jest doskonałym uzupełnieniem pielęgnacji zewnętrznej, jednak nie stanowi ona jej substytutu. Stosując pielęgnację wewnętrzną zapewnia się:

- redukcję skurczu autogenicznego,
- pełniejszą hydratację cementu,
- redukcję zarysowań,
- zwiększoną wytrzymałość wczesną i końcową,
- zwiększoną trwałość,
- utrzymywanie wysokiej wilgotności wewnątrz elementu.

Jednak, pomimo wielu zalet, pielęgnacja wewnętrzna nie zapewni należytych warunków dojrzewania, np. na powierzchniach silnie narażonych na oddziaływania czynników zewnętrznych.