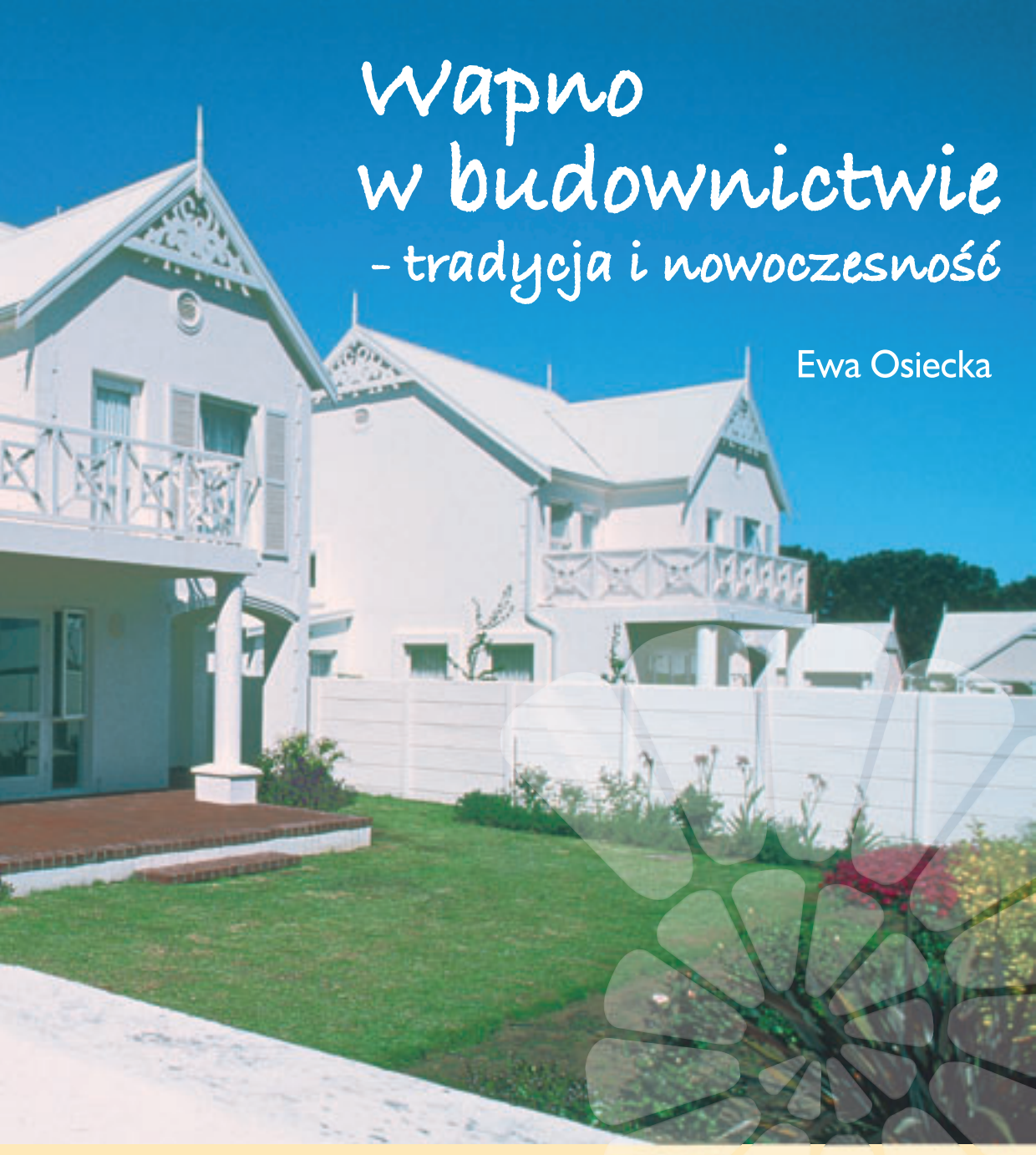
Wapno w budownictwie
- tradycja i nowoczesność

Ewa Osiecka



Kraków 2006

Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
www.wapno-info.pl

Ewa Osiecka

WAPNO W BUDOWNICTWIE – tradycja i nowoczesność

Kraków 2006

Recenzent:
prof. dr hab. inż. Jan Małolepszy

Copyright by Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego

SPIS TREŚCI

Wstęp **5**

1. Uniwersalny charakter wapna **7**

1.1. Zastosowanie wapna w budownictwie 7

1.2. Inne zastosowania wapna 9

2. Historia stosowania wapna w budownictwie **11**

3. Rodzaje wapna budowlanego – ogólny podział spoiw wapiennych **18**

4. Wapno powietrzne – produkt całkowicie naturalny **21**

4.1. Wapno palone 21

4.1.1. Wapno palone z wapieni (wapno wapniowe CL) 21

4.1.2. Wapno palone z dolomitu (wapno dolomitowe DL) 24

4.2. Wapno gaszone (hydratyzowane S) 24

4.3. Wiązanie i twardnienie wapna 27

4.4. Cykl przemian wapna w zastosowaniach budowlanych 28

5. Wapno hydrauliczne – naturalne i sztuczne **30**

6. Charakterystyczne właściwości wapna budowlanego i wynikające z nich korzyści **32**

7. Właściwości chemiczne i fizyczne stanowiące o jakości wapna w świetle wymagań normowych **36**

8. Stosowanie wapna w zaprawach budowlanych **39**

8.1. Omówienie ogólne 39

8.2. Zaprawy wapienne zwykłe – murarskie i tynkarskie 39

8.3 Zaprawy cementowo-wapienne zwykłe – murarskie i tynkarskie 45

8.4. Zaprawy gipsowo-wapienne 47

8.5. Zaprawy suche 47

8.5.1 Suche zaprawy zwykłe 48

8.5.2. Suche zaprawy mineralne do tynków pocienionych 49

8.5.3. Suche zaprawy do tynków szlachetnych 51

8.5.4. Zaprawy specjalne 51
8.5.4.1. Zaprawy zwiększające przyczepność 51
8.5.4.2. Zaprawy lekkie i ciepłochronne 51
8.5.4.3. Zaprawy konserwatorskie 52
8.5.4.4. Zaprawy do tynków renowacyjnych 54
9. Wpływ wapna na mikroklimat pomieszczeń 55
10. Problem wykwitów na powierzchniach murów 58
10.1. Przyczyny powstawania wykwitów 58
10.2. Zaprawa i beton jako źródło wykwitów 59
10.3. Mechanizmy powstawania wykwitów 59
10.4. Szczególne przypadki 61
11. Stosowanie wapna w produkcji elementów murowych 63
11.1. Wyroby wapienno-silikatowe 63
11.2. Wyroby z autoklawizowanego betonu komórkowego 66
Literatura 70
Normy 72
Załącznik. Przykłady modyfikacji zapraw wapiennych i substancje stosowane w tym celu dawniej i obecnie 73

WSTĘP

Wapno jest substancją szlachetną, towarzyszącą człowiekowi od tysiącleci, z udziałem której rozwijało się życie na Ziemi i dokonywał się rozwój cywilizacji. Niewiele jest w otoczeniu człowieka obiektów i materiałów, w powstawaniu których nie uczestniczyłoby wapno, w sposób bezpośredni lub pośredni. Jest ono i dziś materiałem uniwersalnym, stosowanym niemal we wszystkich dziedzinach gospodarki, również i w budownictwie.

Wapno budowlane, obok spoiw gipsowych, należy do najstarszych materiałów wiążących, znanych i stosowanych od najdawniejszych czasów. Przetrwanie i stosowanie przez tysiąclecia wapna jako spoiwa w budownictwie, aż do naszych czasów, świadczy o nieprzemijających zaletach tego materiału. Do czasu odkrycia cementu wapno było podstawowym spoiwem budowlanym.

Wyparte przez cement po rewolucji przemysłowej pozostało wapno nie zastąpione w licznych zastosowaniach budowlanych i wzbudza ponownie zainteresowanie. W wielu przypadkach bowiem cement ujawnia swe słabe strony, których z kolei wapno nie wykazuje i budownictwo, znajduje często właśnie w użyciu wapna odpowiedź na swe liczne problemy. Wapno jest dostrzegane jako cenny materiał nie tylko w technikach tradycyjnych, ale i w nowych rozwiązaniach współczesnego budownictwa.

Szczególne znaczenie ma wapno w rewaloryzacji budynków zabytkowych, jako materiał renowacyjny i dekoracyjny, gdzie odtwarzane są też stare składy zapraw wapiennych. A jednocześnie jest wapno materiałem nowoczesnym, wchodzącym w skład nowych rozwiązań zapraw – zwłaszcza stosowane jest do produkcji suchych mieszanek tynkarskich oraz mas klejowych i farb uwzględniających wymagania wysokiej jakości ekologicznej. Bez wapna niemożliwa byłaby produkcja szeroko stosowanych wyrobów budowlanych z betonu komórkowego (gazobetonu), czy wyrobów wapienno-piaskowych (silikatowych).

Wśród właściwości i charakterystycznych cech wyrobów wapiennych, należy szczególnie pamiętać o aspekcie zdrowotności tych materiałów. Wapno jest produktem całkowicie naturalnym i nie zawiera szkodliwych dla człowieka substancji – ani z surowca, ani z procesu produkcyjnego. Nie jest skażone „chemią', jak potocznie nazywa się domieszki chemiczne, wprowadzane do wielu materiałów budowlanych. Czystość ekologiczna wapna jest cechą bardzo ważną, wpływa bowiem na korzystne

dla człowieka kształtowanie mikrośrodowiska wnętrza budynków. Cecha ta powinna być należycie doceniona przez użytkowników budownictwa, zwłaszcza wobec ogólnej jego chemizacji, a jednocześnie mając na uwadze rozwijany obecnie kierunek budownictwa ekologicznego i wprowadzanie zasad zrównoważonego rozwoju ziemi.

Obecnie wapno, tak jak i inne materiały budowlane, jest produkowane w ściśle kontrolowanych warunkach przemysłowych, a wytwarzane produkty są objęte odpowiednimi normami, zapewniającymi niezmienność ich właściwości technicznych.

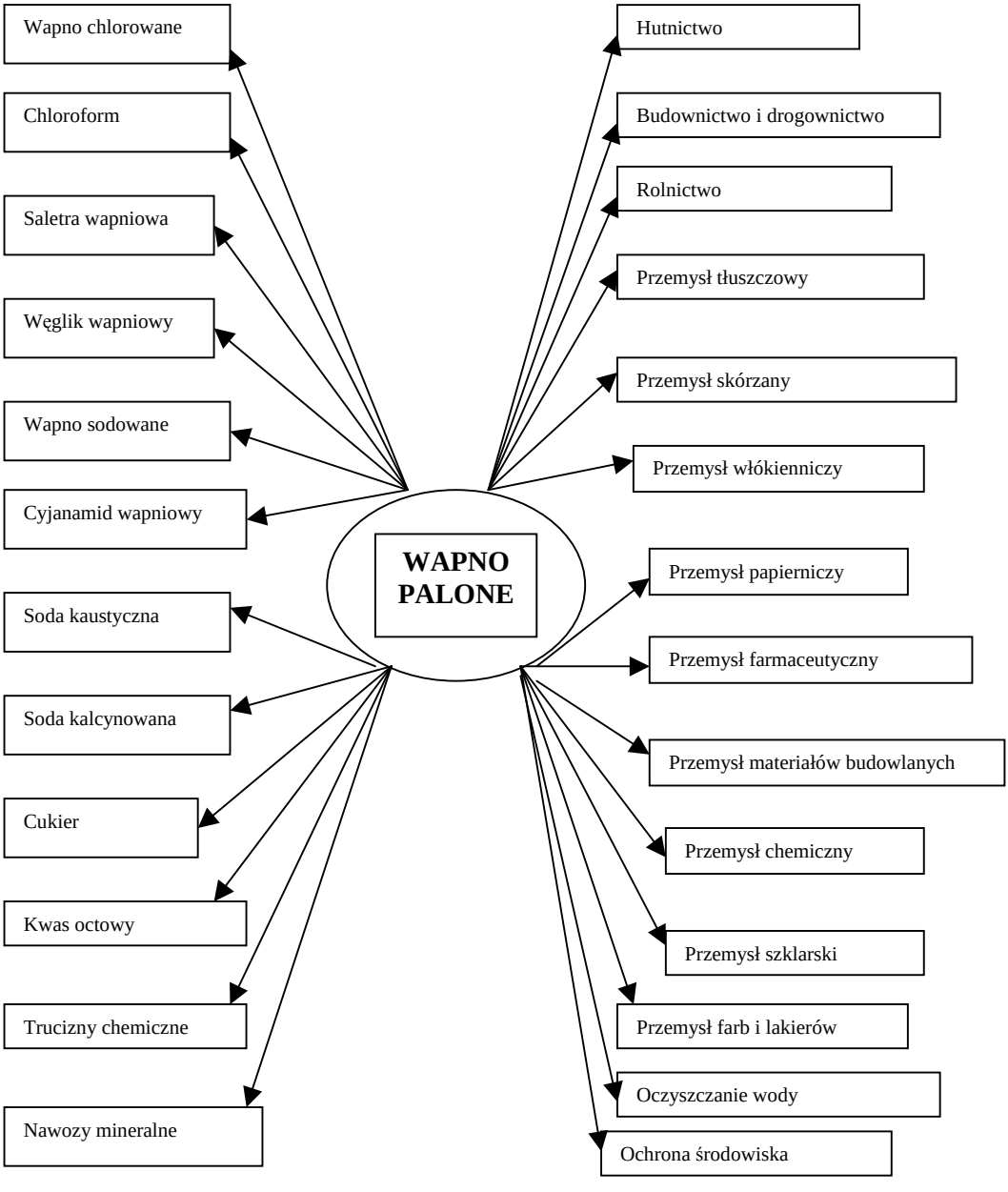
1. UNIWERSALNY CHARAKTER WAPNA

Uniwersalny charakter wapna i materiałów wapiennych przedstawia schemat, wskazujący różne dziedziny gospodarki, w których wapno jest używane, z zaznaczeniem niektórych produktów powstających z udziałem wapna (rys. 1) – bez wapna najważniejsze gałęzie życia gospodarczego musiałyby ulec likwidacji. Wapno jest tradycyjnym materiałem budowlanym, a jednocześnie jest składnikiem nowoczesnych rozwiązań materiałowych.

1.1. Zastosowanie wapna w budownictwie

W budownictwie i przemyśle materiałów budowlanych stosowane jest:

- *wapno budowlane* ogólnie w różnych postaciach – jako spoiwo do wykonywania zwykłych, tradycyjnych zapraw budowlanych murarskich i tynkarskich, nowych rozwiązań różnego rodzaju suchych zapraw, w tym w szczególności mieszanek tynkarskich o zróżnicowanym przeznaczeniu (także w połączeniu z cementem i polimerami), m.in. do tynków renowacyjnych, zapraw ciepłochronnych, do wyrobu mas klejowych, farb ściennych oraz jako dodatek uplastyczniający zaprawy cementowe i gipsowe, środek wybielający zaprawy i beton (np. architektoniczny),
- *wapno palone mielone* – jako spoiwo w produkcji betonów komórkowych, wyrobów wapienno-piaskowych i innych gotowych elementów budowlanych, a także przy robotach ziemnych z zawilgoconymi gruntami budowlanymi do ich osuszania, gdzie wapno wymieszane z wilgotną ziemią pochłania nadmiar wody, a wydzielające się ciepło hydratacji działa osuszająco,
- *wapno palone mielone i suchogaszone* – do stabilizacji i wzmocnienia struktury gruntów, jako podłoża budowlanego, poprawiając ich nośność, co następuje w wyniku wchodzenia wapna w reakcje z minerałami obecnymi w gruncie – podłoże staje się mniej plastyczne, bardziej wytrzymałe; stabilizację gruntu wapnem stosuje się np. przy budowie obiektów wielkopowierzchniowych – supermarketów, hal przemysłowych, magazynowych itp.,
- wapno powietrzne i hydrauliczne – w pracach konserwatorskich i w ochronie zabytków, do zabezpieczania murów odsłanianych w trakcie prac archeologicznych, jako materiał zgodny z substancją materiałową obiektów,
- *wapno suchogaszone* i *mączki wapienne* – jako składnik asfaltowych mieszanek do nawierzchni drogowych.



Rys. 1. Schemat zastosowań wapna palonego [wg 16]

1.2. Inne zastosowania wapna

Zastosowania wapna w innych dziedzinach gospodarczych – poza budownictwem i przemysłem materiałów budowlanych – kształtują się różnie w poszczególnych krajach, zależnie od wielu czynników, w tym od stopnia uprzemysłowienia i struktury przemysłu, od wielkości i jakości posiadanych złóż surowca wapiennego. W wielu krajach znacząca ilość produkcji wapna jest zużywana przez metalurgię, w krajach wysoko rozwiniętych – w ochronie środowiska.

Przemysł hutniczy i stalowniczy

Kamień wapienny – używany jest w hutnictwie przy produkcji żelaza i metali nieżelaznych jako topnik; wapno palone – stosuje się jako składnik umożliwiający aglomerację rudy, do odsiarczania surówki, do usuwania zanieczyszczeń tworzących żużel, jako reagent przy produkcji aluminium z rud boksytowych, jako składnik przy prowadzeniu separacji metodą flotacji różnych soli metalicznych, jako regulator zasadowości i dekoagulator.

Uzdatnianie wody

Wapno jest szeroko wykorzystywane w procesach uzdatniania wody. W uzdatnianiu wody pitnej, wapno jest dodawane w kilku etapach w postaci mleka wapiennego, w celu uzyskania odpowiedniego pH wody, przy czym rola wapna polega uprzednio na: usunięciu zawartych w wodzie substancji powodujących niepożądany zapach, smak, zabarwienie, zmniejszeniu twardości wody, dezynfekcji. Wapno usuwa twardość wody w wyniku dekarbonizacji, czemu towarzyszą procesy koagulacji, sedymentacji i filtracji. Zaletą dekarbonizacji przy użyciu wapna jest powstawanie osadów łatwych do usuwania z osadników i możliwych do wykorzystania w przyrodzie. W uzdatnianiu wody do celów przemysłowych istotnym jest działanie w kierunku ponownego wykorzystania wody w obiegu zamkniętym lub zneutralizowanie zanieczyszczeń przed odprowadzeniem wody na zewnątrz. Stosowane tu wapno palone lub hydratyzowane powoduje zobojętnienie kwasów, wytrącenie metali, siarczanów, fluorków itp. oraz powstanie osadu (szlamu), w którym substancje szkodliwe są unieruchomione i który może być bezpiecznie składowany lub w inny sposób utylizowany.

Oczyszczanie ścieków

Stosowanie wapna w technologii oczyszczania ścieków ma już długą tradycję. Wapno jest tu użytkowane w różnych procesach mechanicznych, chemicznych i biologicznych – nadając ściekom wysoki odczyn alkaliczny, współuczestniczy w niszczeniu bakterii drogą chemiczną, a następnie poprzez koagulację składników – w usuwaniu zanieczyszczeń. Wytrącone osady po neutralizacji wapnem wykazują o wiele lep-

sze właściwości sedymentacyjne niż osady powstałe w przypadku stosowania innych substancji chemicznych. Wapno daje też dobre wyniki w usuwaniu metali ciężkich.

Ochrona środowiska naturalnego

Produkty wapiennicze w ochronie środowiska naturalnego są niezastapione i znaczenie ich w tej dziedzinie wzrasta. Przykładem stosowania ich w ochronie środowiska jest oczyszczanie gazów odlotowych (spalin) powstających ze spalania węgla w zakładach energetycznych. Instalacje odsiarczania oczyszczają dostające się do atmosfery spaliny z tlenków siarki i azotu w wyniku stosowania jednego z trzech produktów wapiennych: mączki wapiennej, wapna palonego mielonego lub suchogaszonego. W niektórych instalacjach wapno bierze udział też w unieszkodliwianiu niepożądanych substancji organicznych (dioksyn, furanów) i metali ciężkich.

Wapno i jego pochodne stosuje się także:

- w przemyśle cukrowniczym, do oczyszczania cukru,
- w przemyśle papierniczym, do regeneracji roztworu sody, do przygotowywania pulpy celulozowej,
- w przemyśle farmaceutycznym, do produkcji lekarstw,
- w przemyśle chemicznym, m. in. do wytwarzania związków chemicznych stosowanych dalej w różnych technologiach produkcyjnych, np. podchlorynu wapniowego, soli wapniowych (fosforanów, szczawianów, węglanów, cytrynianów...), chlorku wapnia, tlenku etylenu, epichlorohydryny, karbidu itd.

oraz w wielu innych przemysłach, przy wytwarzaniu ogromnej liczby substancji o różnym przeznaczeniu i wielkości produkcji, przykładowo :

- w produkcji żelatyny metodą ekstrakcji alkalicznej,
- w produkcji kazeinianu wapniowego (składnika śmietanki w proszku),
- w produkcji mydła, przy zmydlania tłuszczy.

Uniwersalność wapna bez wątpienia będzie inspirować następne, nowe zastosowania tego materiału.

2. HISTORIA STOSOWANIA WAPNA W BUDOWNICTWIE

Wapno jest materiałem wykorzystywanym przez człowieka w budownictwie od tysiącleci, materiałem który przetrwał w obiektach budowlanych różne przemiany techniczne. Surowcem do produkcji wapna są skały wapienne, wapienie – osady morskie pochodzenia organicznego, powstałe z nagromadzenia się szczątków organizmów zwierzęcych, głównie szkieletów i skorupek otwornic, koralowców, muszli małż itp. Człowiek bardzo wcześnie nauczył się produkować wapno z wapieni i używać do różnych celów. Trudno określić, kiedy i w jaki sposób odkryto sposób wytwarzania wapna i jego użytkowania po zarobieniu wodą, prawdopodobnie dopomógł tu przypadek. Wapno w budownictwie stosowano początkowo głównie jako spoiwo do farb, zapraw tynkarskich, podkładów pod wymalowania, stiuków, później też do murowania.

Najstarsze znaleziska świadczące o stosowaniu wapna w budownictwie pochodzą z około 12 tysiąclecia p.n.e. z terenu wschodniej Turcji [12], gdzie stwierdzono używanie zaprawy wapiennej do budowy posadzek i tarasów. Istnieją dowody z 7 tysiąclecia p.n.e. na stosowanie w budownictwie wapna na Bliskim Wschodzie – w tym czasie powstały prawdopodobnie pierwsze piece do wypalania wapna w postaci ziemnych komór, w których układano kamienie wapienne i opalano drewnem [12]. Potwierdzone dowodami są dane pochodzące z 6 tysiąclecia p.n.e., epoki neolitu [18], wskazujące na stosowanie wapna w różnych punktach globu (Mezopotamia, Ameryka ...).

Z 3 tysiąclecia p.n.e. z obszarów Ameryki prekolumbijskiej pochodzą ślady stosowania zapraw wapiennych, często ze żwirem [18]. W tym czasie Egipcjanie stosowali wapno jako białą farbę. Na Krecie w okresie cywilizacji kreteńsko-mykeńskiej (2600–1600 lat p.n.e.) z wapna wykonywano tynki i podłoża pod malowidła ścienne.

Wapno stosowali Grecy – w 3 wieku p.n.e. obok gipsu, który był szczególnie rozpowszechniony. Wapno zostało użyte w konstrukcjach pałaców królewskich w Azji Mniejszej (np. w Pergamonie), w budowie świątyń greckich. Grecy stosowali zaprawy wapienne szczególnie jako wyprawy do wykańczania i dekorowania ścian, jako stiuki (zaprawa wapienna lub gipsowo-wapienna z pyłem marmurowym). Wapno w tych czasach było stosowane jednak nie tylko jako spoiwo do zapraw łączących elementy w murze czy do pokrywania go tynkami, biała farba, ale w połączeniu z innymi materiałami (np. organicznymi) jako materiał uszczelniający. To Grecy przy pomocy zapraw wapiennych zabezpieczali i uszczelniali zbiorniki do przechowywania wody

(cysterny w Epidauros), uszczelniali wodociągi, a także przyziemia murów – aby uczynić wapno mocniejszym i bardziej odpornym na działanie wody, dodawali do niego ziemi z Santorii i tłuczone dachówki ceramiczne. Wapno z mączką ceglaną mieszali też Fenicjanie do budowy i uszczelniania zbiorników na wodę i wodociągów. Wykorzystywano tu zwiększanie się objętości wapna przy jego łączeniu się z wodą (hydratacji) i tworzeniu $Ca(OH)_2$.

Zaprawy wapienne stosowali Egipcjanie – analiza zapraw z piramidy schodkowej w Sakkarze (rys. 2.1)wykazała, że wykonany w piramidzie tynk, liczący trzy warstwy, był sporządzony z kolejnych mieszanin gliny, wapna i piasku kwarcowego. Wapno znali Chińczycy (mur chiński – rys. 2.2), Majowie, Babilończycy. Z zapisków na tabliczkach asyryjskich wynika, że wapno stosowano do wyrobu szkieł i szkliwa [12]. O wapnie wspomina niejednokrotnie Biblia, świadcząc o powszechności tego materiału i jego dostępności.

Rys. 2.1. Piramida schodkowa w Sakkarze.

Rys. 2.2. Mur chiński długości około 8000 km (budowa 770–211 r. p.n.e.)

Od Greków i Etrusków przejęli i szeroko rozwinęli stosowanie wapna Rzymianie. Starożytni Rzymianie przede wszystkim udoskonalili wytwarzanie, zwłaszcza wypalanie wapna oraz rozwinęli techniki budowlane wykorzystujące wapno także w konstrukcjach budynków – zaprawa stała się w murach prawdziwie materiałem wiążącym, służącym „jako warstwa plastyczna do rozkładania obciążeń i naprężeń między elementami muru". Opanowanie zjawiska karbonatyzacji i hydrauliczności wapna przez umiejętne użycie tu pucolan naturalnych i sztucznych pozwoliło opracować materiały, które do dziś zadziwiają swą jakością i wytrzymałością. Rzymianie, chcąc uczynić wapno mocniejszym i bardziej odpornym na działanie wody, mieszali je z popiołem

lub mielonymi tufami wulkanicznymi lub z mączką ceglaną. Po dodaniu piasku i grubszego kruszywa kamiennego uzyskiwali mieszanki twardniejące równie dobrze pod wodą, jak i na powietrzu, odporne na działanie wody. Były to pierwsze betony o właściwościach hydraulicznych. Z nich właśnie wznoszono budowle, z których część przetrwała do naszych czasów – np. Colosseum i Panteon w Rzymie (rys. 2.3, 2.4), termy Karakalli, bazylika Konstantyna. Budowle te i wiele innych budowanych z użyciem wapna, m.in. drogi rzymskie, przetrwały dwutysięczną próbę czasu.

Rys. 2.3. Colosseum (Rzym) budowane z użyciem betonu wapiennego

Rys. 2.4. Panteon rzymski (118 – 126 r.)

O produkcji wapna i jego zastosowaniu pisali w czasach cesarstwa rzymskiego Katon Starszy, Pliniusz, Witruwiusz, także św. Augustyn. Rzymianie doszli do perfek-

cji w stosowaniu wapna, opracowując nawet normy technologii wytwarzania i użytkowania tego spoiwa, których przestrzegania pilnowała policja budowlana. Surowe wymagania stawiano kruszywom – ich uziarnieniu, czystości. Znano też wapno palone mielone, stosowane np. do wodoszczelnych tarasów. Jako środek uodporniający zaprawy na działanie wody dodawano w chwili gaszenia wapna oliwę (wytrącające się mydła wapniowe uszczelniały materiał). Technologia wypalania wapna i wytwarzania zapraw tzw. rzymskich rozpowszechniła się w krajach cesarstwa rzymskiego.

Równolegle do Rzymu, na obszarach krajów śródziemnomorskich rozwinięte było stosowanie wapna, jako materiału wykończeniowego i dekoracyjnego. We wczesnych wiekach n.e. w świecie bizantyjskim wapno stosowano do budowy i ornamentacji domów, ale także do budowy akweduktów, zbiorników na wodę – dodawano wówczas do zapraw wapiennych tłuczoną cegłę oraz włókna lnu i konopi [18].

W dawnych wiekach poprawę właściwości fizycznych i mechanicznych zapraw wapiennych uzyskiwano stosując dodatki kleju skórnego i kostnego, łoju, wywarów z kości bydlęcych, mleka i białego sera, żywicy sosnowej, wosku pszczelego, krwi bydlęcej, jajek (żółtka i białka), niektórych olejów (lnianego, wielorybiego). Także w technikach malarskich, wykorzystujących wapno jako spoiwo, wprowadzano dodatki umożliwiające szybsze twardnienie i polepszające właściwości mieszanek przed i po związaniu – oprócz wyżej wymienionych, też takie, jak ocet, piwo, młode wino.

Z kronik rzymskich pisanych w czasach podboju Europy (Tacyt, Pliniusz) wynika, że wapno było znane podbijanym przez Rzymian ludom germańskim i celtyckim. Wapno było nie tylko materiałem budowlanym, ale służyło jako środek leczniczy i dezynfekujący – odkażający oraz niszczący pasożyty [12].

Z upadkiem Rzymu nastąpił też upadek sztuki budowlanej. Spotykane późniejsze zaprawy wapienne w budowlach IX–XI wieku np. normandzkich, saksońskich są często wykonane ze źle wypalonego wapna. Z czasem jakość wapna znów uległa poprawie. Materiał ten wytwarzano w coraz większych ilościach w związku z rozwojem miast, budowaniem głównie murów, domów, zamków, klasztorów, kościołów. Wspaniałe średniowieczne katedry gotyckie i wiele innych budowli na terenie Europy budowano z użyciem zapraw wapiennych (rys. 2.5, 2.6).

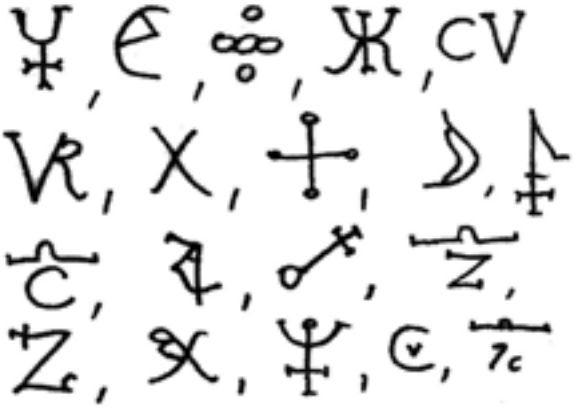
W średniowieczu wapno stosowali alchemicy do różnych doświadczeń, oznaczając je w swoich zapiskach i recepturach odpowiednimi symbolami (rys. 2.7).

Wapno chętnie stosowano w Anglii, łącząc je z dodatkiem trasu importowanego z Niderlandów, gdzie rozwinęła się wcześniej technika łączenia obu tych materiałów. W zakresie właściwości wapna i ich doskonalenia najwięcej uwagi zwracano na problem hydrauliczności. W XVIII wieku wypalając wapno z gliną uzyskano wapno hydrauliczne. Zapotrzebowanie na tego rodzaju spoiwo budowlane było ogromne w związku z rewolucją przemysłową i rozwojem komunikacji, kanałów wodnych, budową nabrzeży, mostów, tuneli, później kolei żelaznej. Jednocześnie wzrost zapotrzebowania na żelazo i stal, powstanie różnych technologii chemicznych spowodowa-

ły wielkie zapotrzebowanie na kamień wapienny i wapno, które nie mogło być już zaspokojone przez małych wytwórców lokalnych. Zaczyna powstawać przemysłowa produkcja wapna.

Rys. 2.5. Katedra Notre Dame w Chartres (1194 – 1260 r.)

Rys. 2.6. Katedra Notre Dame w Paryżu (1163 – 1250 r.)



Rys. 2.7. Symbole używane przez alchemików w średniowieczu do oznaczania wapna [12]

W XIX wieku uintensywniono prace nad otrzymaniem spoiw o szybkim wiązaniu.

Wiek XX, czas zniszczeń i szybkiej odbudowy, preferuje spoiwa sztuczne, takie jak cement. Wapno jednak wraca do stosowania, nie tylko w niezastąpionych niekiedy technikach tradycyjnych, ale w licznych nowych produktach. Pozwala budować, odnawiać i restaurować obiekty budowlane i dekorować w sposób naturalny.

Na ziemiach polskich wapno było znane od ponad 1000 lat. O najdawniejszym stosowaniu tego spoiwa świadczy rotunda na Wawelu z X wieku i pozostałości kościoła Mieszka I odkryte w wykopaliskach katedry poznańskiej, mające mury kamienne na zaprawie wapiennej. Kamień wapienny wypalano w stosach, później w piecach polowych tzw. mielerzach. Od XII wieku wypalanie kamienia wapiennego prowadzono w piecach razem z wypalaniem cegły, okresowo, kilka razy w roku. W XVI wieku w regionie krakowskim istniało 14 pieców do wypału cegły i wapna. W XIX w. na ziemiach polskich działało już wiele przemysłowych zakładów wapienniczych, zwłaszcza w okolicach Częstochowy, Inowrocławia, Kielc, Krakowa, Lwowa, na Śląsku – rozwój przemysłu wapienniczego zależał od polityki państw zaborczych na naszych ziemiach. Pionierskie znaczenie mają osiągnięcia Polaków w zakresie wytwarzania wapna hydraulicznego, bowiem dwie jego wytwórnie, jako jedne z pierwszych na świecie, powstały na ziemiach polskich, usytuowane w pobliżu przyszłego Kanału Augustowskiego [7]. Przy budowie Kanału Augustowskiego (1824–1844) stosowano wapno hydrauliczne określane nazwą „wodotrwałe wapno augustowskie", które uzyskiwano zanurzając świeżo wypalone wapno natychmiast w wodzie, w podziurawionych naczyniach, tak, aby woda mogła wyciekać, a następnie mokre wapno układano w stosy. W stosach wapno ulegało dogaszaniu i rozsypywało się na proszek, który po przesianiu, mieszano z gliną i formowano cegiełki. Po wysuszeniu cegiełki wypalano i mielono między kamiennymi walcami. Tak otrzymane spoiwo zarabiano wodą i stosowano do zalewania spoin między kamieniami lub do wykonywania betonu w drewnianych skrzyniach.

Po odzyskaniu niepodległości w 1918 r. wyniszczony wojną i zaborami kraj produkował mniej wapna niż przed rokiem 1914. Produkcja wapna palonego w Polsce w 1922 r. wynosiła niecałe 500 tys. ton. W Małopolsce i na terenie Śląska Cieszyńskiego pracowało 39 pieców do wypału wapienia, w większości sezonowych. W Wielkopolsce już przed I wojną światową działały dwa wapienniki o charakterze wielkoprzemysłowym. Ogólnie w okresie międzywojennym eksploatowano około 45 pieców kręgowych i około 55 pieców szybowych, na ogół o małym stopniu zmechanizowania. W chwili wybuchu II wojny światowej produkcja wapna w Polsce wynosiła 850 tys. ton. Po zakończeniu wojny Polska uzyskała duże centrum wapiennicze na Śląsku Opolskim, tracąc wapienniki z ziem wschodnich. W 1976 roku czynnych było w Polsce 117 pieców szybowych niskich, 73 piece szybowe automatyczne, 2 piece

dwuszybowe typu Maertza, 2 piece obrotowe z rusztem Leopola 1 piec kręgowy – produkcja wapna wynosiła ponad 5 mln ton.

W ostatnich latach w polskim przemyśle wapienniczym zaszły bardzo duże zmiany polegające na modernizacji technologii produkcji, prowadzące do polepszenia jakości produktów wapienniczych, do obniżenia energochłonności produkcji i zmniejszenia emisji pyłów i gazów do atmosfery. W tablicy 2.1. podano wykaz najważniejszych w Polsce zakładów przemysłu wapienniczego dostarczających wapno budowlane z wyszczególnieniem asortymentu produkcji.

Tablica 2.1.

Ważniejsze zakłady wapiennicze w Polsce

Zakład	Asortyment produkcji w zakresie wapna budowlanego
BUKOWA	wapno palone w bryłach, wapno palone mielone, wapno suchogaszone
GÓRAŻDŻE	wapno palone w bryłach, wapno suchogaszone
OPOLWAP	wapno palone w bryłach, wapno palone mielone
WOJCIESZÓW	wapno suchogaszone
SABINÓW	wapno palone w bryłach
TRZUSKAWICA	wapno palone w bryłach, wapno palone mielone, suchogaszone
KUJAWY	wapno palone w bryłach, wapno suchogaszone

3. RODZAJE WAPNA BUDOWLANEGO – OGÓLNY PODZIAŁ

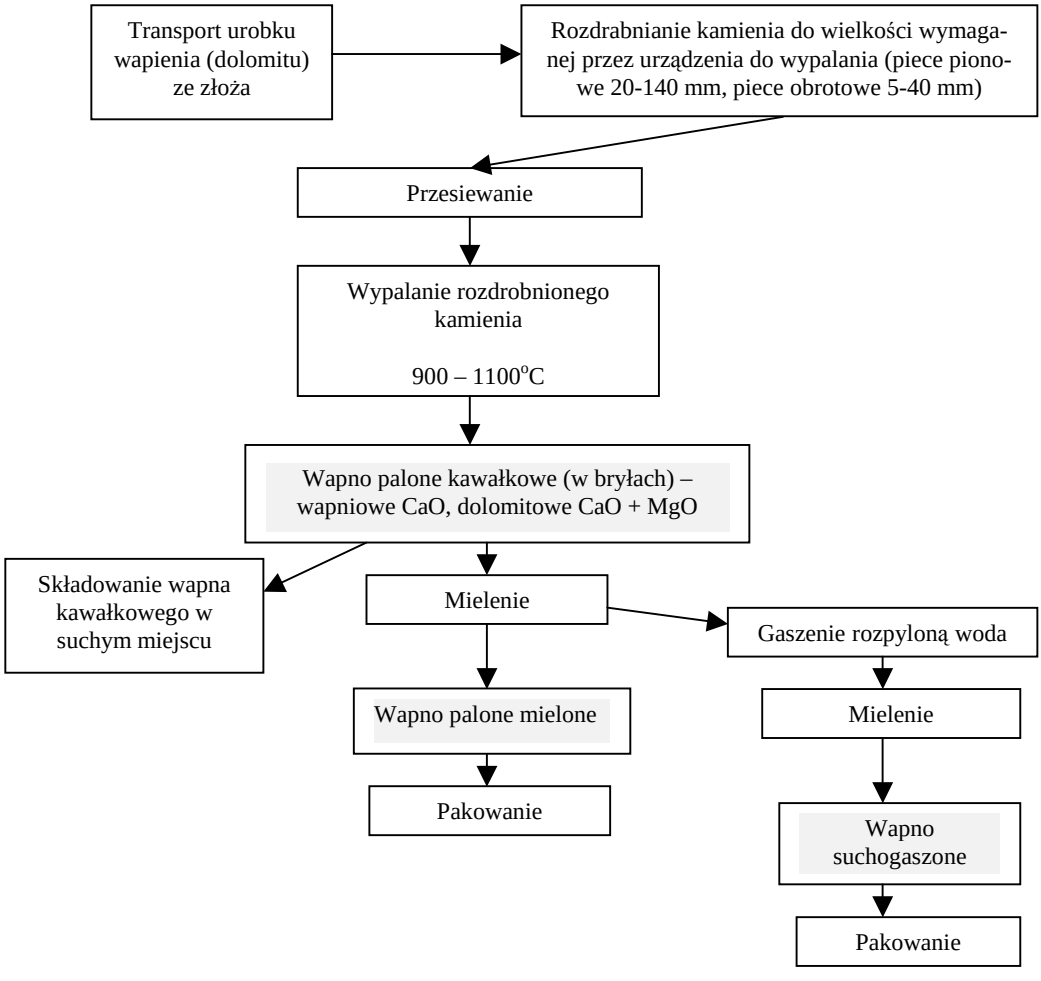
Wapno budowlane stanowi grupę spoiw wapiennych. Jest spoiwem mineralnym pochodzenia naturalnego. Używane jest w budownictwie do sporządzania zapraw murarskich, tynkarskich i specjalnych, wyrobów malarskich oraz do wytwarzania gotowych elementów murowych. W zależności od surowców i uzyskiwanych właściwości rozróżnia się następujące rodzaje wapna budowlanego:

– **wapno powietrzne** – spoiwo składające się głównie z tlenku wapnia lub wodorotlenku wapnia, po zarobieniu wodą powoli twardniejące na powietrzu pod wpływem obecnego w atmosferze dwutlenku węgla i w zasadzie nie twardniejące pod wodą, pochodzi z wypalania czystych wapieni lub wapieni dolomitowych, może to być:
  - **wapno palone** (niegaszone), oznaczone symbolem Q[*)] – kawałkowe i mielone,
  - **wapno hydratyzowane** (gaszone), oznaczone symbolem S[*)] – w postaci ciasta, zawiesiny, suchego proszku,
– **wapno hydrauliczne** – mające właściwości wiązania i twardnienia w zetknięciu z wodą, pochodzi z wypalania wapieni gliniastych – wapno hydrauliczne naturalne o symbolu NHL[*)].

Na rodzaj spoiw wapiennych, ich postać i właściwości, zasadniczy wpływ ma rodzaj użytego surowca, jego jakość, sposób wypalania i mielenia. Od chwili wydobycia surowców do otrzymania materiału wiążącego zachodzi wiele przemian i operacji technicznych – schemat otrzymywania spoiw wapiennych pokazano na rys. 3.1.

Ogólną klasyfikację wapna budowlanego według postanowień normy PN-EN 459-1 przedstawia rys. 3.2. oraz tablica 3.1. W tablicy przedstawiono podział wapna budowlanego powietrznego na podstawie zawartości w wapnie tlenków (CaO + MgO) oraz podział wapna hydraulicznego w zależności od wytrzymałości zaprawy wapiennej na ściskanie.

[*)] W opracowaniu uwzględniono zasady klasyfikacji i oznaczeń wapna budowlanego wprowadzone w normie PN-EN 459-1:2003 „Wapno budowlane. Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności”.

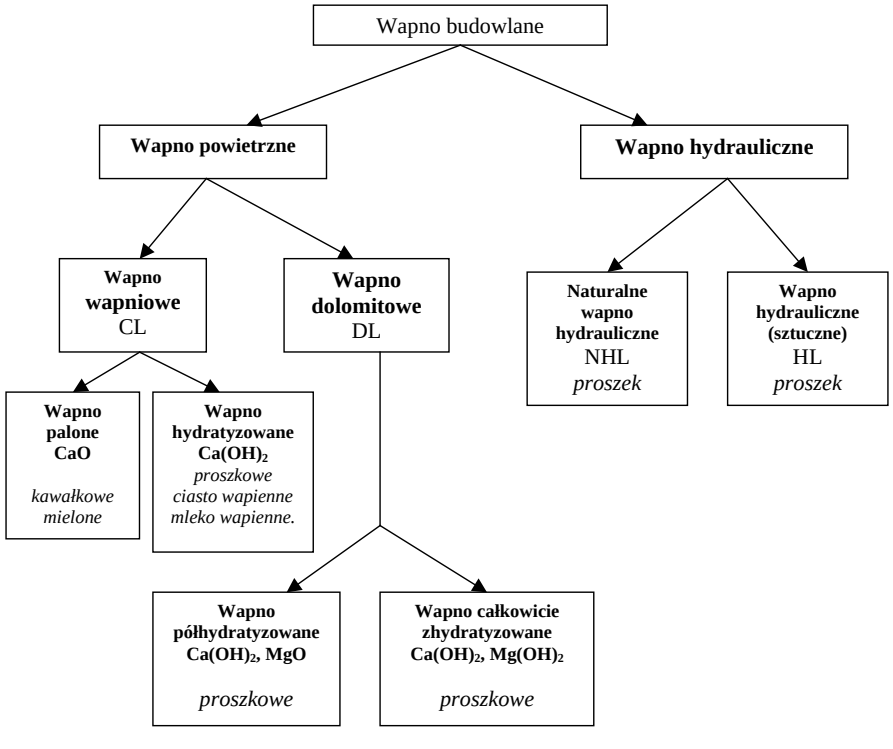


Rys. 3.1. Schemat ideowy produkcji spoiw wapiennych powietrznych

Tablica 3.1.

Rodzaje wapna budowlanego wg normy PN-EN 459-1

Oznaczenie wapna	Symbol	Zawartość CaO + MgO [% mas.]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Wapno wapniowe 90	CL 90	≥ 90	-
Wapno wapniowe 80	CL 80	≥ 80	-
Wapno wapniowe 70	CL 70	≥ 70	-
Wapno dolomitowe 85	DL 85	≥ 85	-
Wapno dolomitowe 80	DL 80	≥ 80	-
Wapno hydrauliczne 2	HL 2	-	≥ 2 do ≤ 7
Wapno hydrauliczne 3,5	HL 3,5	-	≥3,5 do ≤ 10
Wapno hydrauliczne 5	HL 5	-	≥5 do ≤ 15
Wapno hydrauliczne naturalne 2	NHL 2	-	≥ 2 do ≤ 7
Wapno hydrauliczne naturalne 3,5	NHL 3,5	-	≥ 3,5 do ≤ 10
Wapno hydrauliczne naturalne 5	NHL 5	-	≥ 5 do ≤ 15



Rys. 3.2. Rodzaje wapna budowlanego według normy PN-EN 459-1

4. WAPNO POWIETRZNE

Wapno powietrzne, twardniejące w warunkach powietrznych, obejmuje wapno palone i wapno gaszone (hydratyzowane).

4.1. Wapno palone (CaO)

Jest to wapno składające się głównie z tlenku wapnia CaO i tlenku magnezu MgO, wytwarzane przez wypalanie kamienia wapiennego lub dolomitu – oznaczane w normie symbolem Q. Występuje w postaci bezpośredniego produktu wypalenia, jako **wapno palone kawałkowe** (w bryłach), które z wodą wchodzi w reakcję egzotermiczną i służy do wykonywania ciasta wapiennego lub do dalszej przeróbki przez rozdrobnienie na spoiwo proszkowe – **wapno palone mielone**, a także do produkcji wapna suchogaszonego.

4.1.1. Wapno palone z wapieni (wapno wapniowe CL)

Wytwarzane jest z czystych wapieni, które jako podstawowy składnik zawierają węglan wapnia $CaCO_3$ (kalcyt). Wapienie mogą zawierać zanieczyszczenia w postaci domieszek węglanu magnezu $MgCO_3$, gliny, krzemionki, węgla, tlenków żelaza. Najlepsze do wypalania wapna są wapienie posiadające około 95% $CaCO_3$, gęstość ok. 2,6 g/cm^3 mikrostrukturę średnio porowatą, wytrzymałość na ściskanie 30–90 MPa.

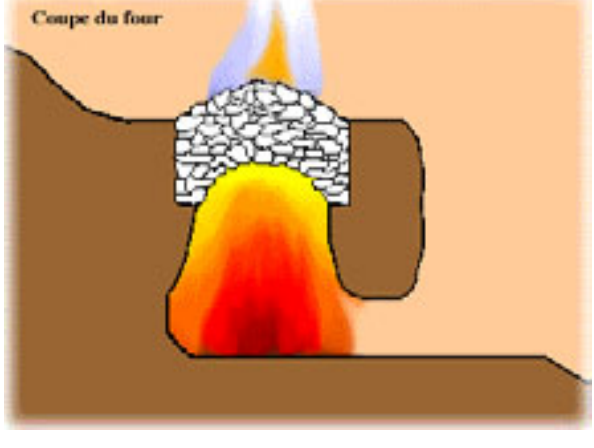
Proces wypalania wapieni polega na reakcji termicznego rozkładu węglanu wapnia (900–1100^{o}C) z wytworzeniem tlenku wapnia (wapno palone) i gazowego dwutlenku węgla. Jest to reakcja endotermiczna. Produktem wypalenia, w postaci ziaren i brył wielkości 30–180 mm, jest wapno palone (CL – ang. Calcique Lime). Powstaniu jego towarzyszy spadek masy o około 45% w odniesieniu do surowca, odpowiadający ubytkowi CO_2.

Wypalanie wapieni

$$\underset{\text{wapień}\\ \text{węglan wapnia}}{CaCO_3} \rightarrow \underset{\text{tlenek wapnia}\\ \text{wapno palone}}{CaO} + \underset{\text{dwutlenek węgla}}{\uparrow CO_2}$$

Reakcja endotermiczna wymagająca 425 kcal do rozłożenia 1 kg wapienia

Zanieczyszczenia występujące w wapieniu wpływają na obniżenie temperatury wypalania, zwiększają stopień spieczenia wapna, a jednocześnie wchodząc w reakcje z tlenkiem wapniowym zmniejszają zawartość aktywnego CaO. Większe ilości żelaza w wapieniu są powodem żółtej barwy wapna. Im mniej wapno ma domieszek, tym jest lepsze. Wypalanie odbywa się w piecach. Pierwsze piece do wypału wapna były to prymitywne piece polowe (rys. 4.1). Współczesne piece są wielkimi nowoczesnymi urządzeniami o dużych wydajnościach powyżej 200 ton/dobę (rys. 4.2). Na reaktywność wapna palonego wobec wody mają wpływ właściwości fizyczne i chemiczne surowców użytych do produkcji wapna, temperatura i czas wypalania, rodzaj pieców i paliw stosowanych do wypalania. Przy wypale wapna bardzo ważny jest odpowiedni dobór temperatury – nie może ona być zbyt niska, gdyż wypalenie musi być całkowite, tj. wapień powinien utracić cały dwutlenek węgla, bowiem w przeciwnym razie powstaje *wapno niedopalone*, źle gaszące się z wodą. Podnoszenie temperatury wypalania powyżej niezbędnej do dysocjacji węglanu wapnia, czyli przejścia $CaCO_3$ w CaO z wydzieleniem CO_2, powoduje spadek porowatości i powierzchni właściwej wapna oraz wzrost gęstości objętościowej. Temperatura zbyt wysoka powoduje nadmierne spieczenie wapna, powstaje wówczas *wapno martwo palone*, inaczej *przepalone* – zbyt zbite, twarde, trudno gaszące się (lub wcale nie łączące się z wodą) – wapno takie wykazuje brak stałości objętości zapraw i pęczniejąc powoduje niszczenie tynków, pękanie murów. Różnice w spieczeniu pociągają za sobą istotne zmiany w szybkości reakcji CaO z wodą. Od wapna błyskawicznie reagującego, o czasie gaszenia 2 do 4 minut i wzroście temperatury do około 90^{o}C do wapna wolnogaszącego się, w okresie około 25 minut, o maksymalnym wzroście temperatury nie przekraczającym 50^{o}C.



Rys. 4.1. Piec polowy do wypalania wapna

Rys. 4.2. Nowoczesny piec wapienniczy

Większa reaktywność wapna wobec wody jest wynikiem m.in.: mniejszych wymiarów kryształów CaO, większej powierzchni właściwej materiału, występowania porów o mniejszych wymiarach, mniejszej gęstości. W miarę wzrostu temperatury wypalania, jak już wspomniano wyżej, rośnie gęstość wapna, średnia wielkość cząsteczek, natomiast maleje powierzchnia właściwa i porowatość – w konsekwencji reaktywność, co wpływa na wydłużenie czasu gaszenia wapna. Zależnie od procesu wypalania rozróżnia się:

– *wapno lekko palone* – uzyskiwane w temperaturze około 1000^{o}C, barwy białej lub jasno beżowej, porowate, o niskiej gęstości pozornej, dużej powierzchni właściwej, dużej reaktywności, o drobnych kryształach CaO wielkości 1÷2 μm;
- *wapno ostro palone* – uzyskiwane w temperaturze około 1250^{o}C, ciemnożółte lub jasnobrązowe, mało porowate, o wysokiej gęstości pozornej, stosunkowo małej powierzchni właściwej, niskiej reaktywności;
– *wapno średnio palone* – uzyskiwane w temperaturze około 1150^{o}C, beżowe lub żółte, posiadające właściwości pośrednie pomiędzy wapnem lekko- i ostro palonym, kryształy CaO wielkości 3 ÷ 6 μm;
– *wapno martwo palone* – uzyskiwane w temperaturze około 1300^{o}C, kryształy CaO powyżej 10 μm.

Wapno palone pozostawione na powietrzu wchłania wilgoć oraz dwutlenek węgla i traci właściwości wiążące przechodząc stopniowo w wodorotlenek wapnia, a następnie w węglan wapniowy. W technice zjawisko to określane jest jako wietrzenie wapna. Im drobniejsze są bryłki wapna, tym łatwiej ulegają zwietrzeniu. Z tego względu ilość bryłek o średnicy poniżej 15 mm nie powinna przekraczać w wapnie kawałkowym 10% masy dostarczanego wapna. Wapna kawałkowego nie należy ma-

gazynować na budowie, lecz niezwłocznie po przywiezieniu zgasić i przechowywać w dołach jako wapno gaszone. Składy z wapnem palonym powinny być bardzo dobrze chronione przed wilgocią. Znane są przypadki, kiedy wapno zamoczone wodą podczas ulewy spowodowało pożar wskutek silnej reakcji egzotermicznej. Wapno palone mielone zapakowane w worki papierowe z przekładką z folii lub polietylenowe może być przechowywane w suchych miejscach kilka tygodni bez obawy wietrzenia.

Obok wapna palonego wapniowego wytwarzane jest też wapno klasyfikowane jako wapno dolomitowe.

4.1.2. Wapno palone z dolomitu (wapno dolomitowe DL)

Wapno palone z wapieni dolomitowych i dolomitu produkowane jest w warunkach analogicznych jak z wapieni, przy niższej jednak temperaturze 800–900^{o}C. Wapienie dolomitowe są skałami, które zawierają obok węglanu wapnia także większe ilości węglanu magnezu $MgCO_3$, zaś dolomity składają się z minerału dolomitu $CaMg(CO_3)_2$. Wapno otrzymywane z tych surowców znane jest pod nazwą wapno magnezjowe lub dolomitowe (wg normy – dolomitowe). Jest to wapno zawierające głównie tlenek wapnia i tlenek magnezu MgO w ilości ponad 5% oraz dodatki hydrauliczne w ilości kilku procent (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3). W Polsce jest mało używane.

Wypalanie dolomitu

$$\underset{\text{dolomit}}{CaCO_3 \cdot MgCO_3} \rightarrow \underset{\substack{\text{tlenek}\\ \text{wapnia}}}{CaO} + \underset{\substack{\text{tlenek}\\ \text{magnezu}}}{MgO} + \underset{\substack{\text{dwutlenek}\\ \text{węgla}}}{2CO_2}$$

Wypalone wapno dolomitowe poddawane jest na ogół gaszeniu wodą na wapno w postaci proszkowej.

4.2. Wapno gaszone (hydratyzowane $Ca(OH)_2$)

Do celów użytkowych w budownictwie wapno palone, produkt wypalenia wapieni lub dolomitów, jest poddawane gaszeniu, tj. łączeniu z wodą według reakcji hydratacji, dając wapno gaszone, inaczej hydratyzowane, oznaczane w normie PN-EN symbolem S. Wapno w zetknięciu z wodą reaguje gwałtownie wydzielając duże ilości ciepła.

Gaszenie wapna jest zatem egzotermiczną reakcją uwodnienia, związaną z wydzielaniem się ciepła, w wyniku której wapno (tlenek wapnia) przechodzi w postać wodorotlenku wapnia, czemu towarzyszy też zwiększenie objętości. Wynika stąd ko-

nieczność stosowania wapna całkowicie uwodnionego, gdyż w przeciwnym razie mogą wystąpić w budowli punktowe miejsca ekspansji, powodujące odpryski i inne objawy niszczenia.

Dla stosowania wapna w praktyce, a także z uwagi na właściwe prowadzenie procesu gaszenia, ważna jest reaktywność wapna. Reaktywność wapna oznacza czas, po jakim temperatura podczas gaszenia wapna wodą osiąga 60°C. Rozróżnia się:

– *wapno bardzo reaktywne* – szybko gaszące się (przed upływem 6 minut), zbyt mała ilość wody może powodować przegrzanie (tzw. spalenie), co objawia się zbrązowieniem wapna, nadmiar wody jest tu mniej szkodliwy niż jej brak,
– *wapno średnio reaktywne* – umiarkowanie gaszące się (6–9 minut),
– *wapno słabo reaktywne* – wolno gaszące się (9-12 minut), zanieczyszczone lub zawierające większą ilość MgO.

Gaszenie wapna zawierającego większą ilość MgO powinno zaczynać się od zwilżenia brył i stopniowego doprowadzania wody rozpylonym strumieniem, nadmiar wody jest tu niewskazany.

Przy gaszeniu wapna należy bezwzględnie przestrzegać zasad bezpieczeństwa i stosować okulary, rękawice, odzież ochronną, z uwagi na wysoką temperaturę wapna, ryzyko rozprysku i poparzenia, a także ze względu na alkaliczny charakter wapna.

Gaszenie wapna palonego (lasowanie)

$$\underset{\text{wapno palone}}{CaO} + \underset{\text{woda}}{H_2O} \rightarrow \underset{\text{wapno gaszone}}{Ca(OH)_2}$$

tlenek wapnia — wodorotlenek wapniowy

Reakcja egzotermiczna wydzielająca 155 kcal z 1 kg wapna palonego

Reakcję CaO z wodą można przyspieszyć stosując różne elektrolity, np. $CaCl_2$ lub NaCl, a ze związków organicznych sacharozę. Opóźniają reakcję z wodą natomiast substancje powierzchniowo-czynne. W zależności od sposobu gaszenia i ilości użytej wody można uzyskać ciasto wapienne, wapno suchogaszone i mleko wapienne – wszystkie te postacie wapna stanowią chemicznie wodorotlenek wapniowy.

Ciasto wapienne. Stanowi ono plastyczną mieszaninę wodorotlenku wapniowego i nasyconego roztworu wodorotlenku wapniowego w wodzie. Otrzymywane jest przy gaszeniu wapna nadmiarem wody, w ilości od 45 do 75%, zależnie od wapna. Proces gaszenia powoduje rozpad wapna na drobne cząstki wodorotlenku. Wodorotlenek wapniowy ma bardzo dużą powierzchnię właściwą, która wywiera decydujący wpływ na reaktywność chemiczną, szybkość opadania ziaren w wodzie, plastyczność, zdolność do utrzymywania wody. Należy zaznaczyć, że rozdrobnienie spoiw mineralnych określane jest najczęściej przez *powierzchnię właściwą*, która stanowi całkowitą powierzchnię ziaren wyrażoną w cm^2 (lub m^2) materiału zawartego w 1 g (lub 1 kg) spo-

iwa. Oznacza się ją metodą Blaine'a. Ciasto wapienne stanowi układ koloidalny cząstek, których powierzchnia właściwa przy gaszeniu wapna nadmiarem wody wynosi 22500–32000 m^2/kg, natomiast przy uwodnieniu mniejszą ilością wody powierzchnia ta zmniejsza się na ogół do 15000–22000 m^2/kg [17]. Dalsze ograniczanie ilości wody, tak aby nie pozostawał żaden jej nadmiar, a więc przy wapnie suchogaszonym sprawia, że mikrostruktura produktu gaszenia staje się znacznie grubsza i powierzchnia właściwa wynosi około 8000 m^2/kg. Dzięki wielkiemu rozproszeniu cząstek $Ca(OH)_2$ ciasto wapienne posiada wysoką plastyczność. Poszczególne ziarna wodorotlenku są bowiem otoczone warstewkami wody, które zmniejszają tarcie wewnętrzne mieszaniny i nadają jej właściwości plastyczne. Przy grubszych ziarnach wodorotlenku (mniejszej powierzchni właściwej) ilość wody otaczającej ziarna jest mniejsza. Z tego powodu wapno chude, a także wapno suchogaszone, daje zaprawy o mniejszej nieco plastyczności.

W celu całkowitego zgaszenia i uzyskania doskonałej jednorodności i plastyczności ciasto wapienne powinno być przechowywane przez pewien czas w dołach ziemnych, przekrytych deskami i zasypanych warstwą piasku – dawniej ciasto wapienne dołowano tak wiele lat nawet. W czasie dołowania ulegają dodatkowemu gaszeniu cząstki niezupełnie zgaszone, znajdujące się niemal zawsze w świeżo gaszonym wapnie. Wskutek takiego dogaszania ciasto wapienne po przechowaniu staje się bardziej jednolite, lepkie i tłuste. Obecnie mechaniczne sposoby gaszenia wapna pozwoliły na znaczące skrócenie tego czasu do jednego lub kilku dni (zależnie od przeznaczenia ciasta). Zawartość wody w cieście wapiennym wynosi około 50%.

Stosowane jest pojęcie *wydajności* ciasta wapiennego, jako uzyskiwanej objętości ciasta z gaszenia jednostki masy wapna palonego. Na ogół z 1 kg wapna palonego otrzymuje się 2,2–3 l ciasta (wg PN-EN wydajność podaje się w dm^3 z 10 kg wapna palonego). Im większa jest wydajność ciasta wapiennego, tym więcej można z niego otrzymać zaprawy. Gęstość objętościowa ciasta wynosi 1300 do 1450 kg/m^3.

Z uwagi na wydajność i właściwości plastyczne ciasta wapiennego, jak też jego zdolność przyjmowania większej lub mniejszej ilości piasku – wapno może być:

- *tłuste* – dające ciasto lżejsze (gęstość 1300 kg/m^3), o bardzo dużym rozdrobnieniu cząstek, szybko gaszące się, w dotyku tłuste, bardzo plastyczne, przyjmujące dużą ilość piasku i potrzebujące więcej wody, lżejsze od pozostałych,
- *średniej tłustości*,
- *chude* – mniej rozgrzewające się przy gaszeniu i dłużej gaszące się, dające ciasto cięższe (1450 kg/m^3), brudnawe, w dotyku szorstkie, o mniejszym rozdrobnieniu i z tego względu mało plastyczne i mniej wydajne; barwa brązowa ciasta wskazuje, że wapno zgaszono zbyt małą ilością wody, zostało „spalone".

Ciasto wapienne dobrej jakości jest lepkie, tłuste i jednolite, bez grudek.

Ciasto wapienne jest doskonałym spoiwem do wyrobu zapraw tynkarskich, o lepszej plastyczności od wapna suchogaszonego, które nie wykazuje tak dużego stopnia rozdrobnienia wodorotlenku wapnia.

Wapno suchogaszone. Jest to wapno gaszone metodami przemysłowymi przy użyciu możliwie małej ilości wody. Z 1 kg wapna palonego uzyskuje się średnio 1,28 kg hydratu. Oprócz ilości wody stechiometrycznej wynikającej z równania reakcji w procesie tym niezbędny jest pewien jej nadmiar, związany głównie z odparowywaniem wody podczas gaszenia. Wapno to jest bardzo wygodną postacią spoiwa do bezpośredniego stosowania. Przetwarzanie wapna palonego na suchogaszone ma ponadto korzyść wówczas, gdy wapno palone zawiera pewną ilość domieszek krzemionki, tlenku glinu i żelaza (do ok. 15%) – przy gaszeniu bowiem na mokro, które jest mało wydajne, wyrzuca się znaczną ilość wymienionych składników, jako odpadowe, natomiast przy gaszeniu na sucho składniki te pozostają i polepszają właściwości hydrauliczne (odporność na wodę i wilgoć) oraz wytrzymałość zaprawy. Wapno suchogaszone jest niezastąpione przy wytwarzaniu suchych zapraw. Jest lekkie – ma gęstość nasypową 430–540 kg/m^3.

W Polsce wapno suchogaszone jest produkowane w 6 wytwórniach (tablica 2.1). Należy zaznaczyć, że we Francji, gdzie ostatnio obserwuje się duży wzrost zainteresowania stosowaniem wapna w budownictwie, czynnych jest obecnie 12 wytwórni dostarczających na rynek rocznie 400 000 ton wapna suchogaszonego CL 90 (dotychczasowa nazwa CAEB – Chaux Aérienne Eteinte pour le Bâtiment – wapno powietrzne gaszone dla budownictwa).

Mleko wapienne. Powstaje przez rozcieńczenie ciasta wapiennego lub gaszenie wapna dużym nadmiarem wody. Stanowi koloidalną zawiesinę wodorotlenku wapniowego w wodzie.

Wapno gaszone, które występuje w każdej z opisanych wyżej postaci – ciasta, suchego proszku, zawiesiny – w świetle nowej normy PN-EN 459-1 jest określane jako wapno hydratyzowane (S). Zgodnie z określeniem normy jest to wapno powietrzne wapniowe lub dolomitowe, otrzymywane w wyniku kontrolowanego gaszenia wapna palonego. Należy zaznaczyć, że w polskiej terminologii nazwę *wapno hydratyzowane* dotychczas stosowano zamiennie, jako synonim, dla *wapna suchogaszonego*.

4.3. Wiązanie i twardnienie wapna

Wapno do celów budowlanych stosowane jest głównie z piaskiem, po wymieszaniu z którym stanowi zaprawę wapienną. Zaprawa po ułożeniu w miejscu przeznaczenia rozpoczyna swój proces wiązania i twardnienia, którego główny mechanizm wiązania i twardnienia można przedstawić reakcją karbonatyzacji:

$$\underset{\substack{\text{wodorotlenek wapnia}\\ \text{wapno gaszone}}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{dwutlenek węgla}}{CO_2} \xrightarrow{\text{wilgoć}} \underset{\substack{\text{węglan wapnia}\\ \text{wapień}}}{\downarrow CaCO_3} + \underset{\text{woda}}{H_2O}$$

Proces wiązania i twardnienia wapna jest wynikiem kilku zachodzących równocześnie procesów:

- odparowania wody, czemu towarzyszy zagęszczenie koloidalnego $Ca(OH)_2$,
- bardzo powolnej krystalizacji wodorotlenku wapniowego, którego kryształki zrastają się tworzą szkielet krystaliczny,
- karbonatyzacji czyli rekrystalizacji węglanu wapniowego w wyniku reakcji wodorotlenku wapniowego z dwutlenkiem węgla z powietrza w obecności wilgoci – jest to główny mechanizm wiązania wapna powietrznego – powstające kryształy $CaCO_3$ i $Ca(OH)_2$ przerastają się wzajemnie, spajają ziarna piasku, tworząc zwarty monolit; karbonatyzacja przebiega stosunkowo szybko w obecności wilgoci i zachodzi na powierzchni zaprawy (ciasta), przy czym zawarty w zaprawie piasek, którego głównym zadaniem jest ograniczenie skurczu, ułatwia też wnikanie dwutlenku węgla i przyspiesza tym karbonatyzację.

Twardnienie jest procesem powolnym, długotrwałym (do kilku lat). W twardnieniu zapraw wapiennych biorą też udział obecne w niej krzemiany i gliniany (z popiołów, niedopaleń i przepaleń z procesu wypalania wapieni) oraz krzemionka z piasku – związki te reagując z wapnem i wodą (reakcje pucolanowe) tworzą pewne ilości związków hydraulicznych (uwodnionych krzemianów wapniowych), odpornych na działanie wody i łączących ziarna piasku.

Wapno dolomitowe gasi się trudniej niż wapniowe, ale daje wyższą wytrzymałość. Wapno gaszone dolomitowe powstaje w wyniku gaszenia produktu wypalenia małą ilością wody, w wyniku czego otrzymuje się sproszkowane :

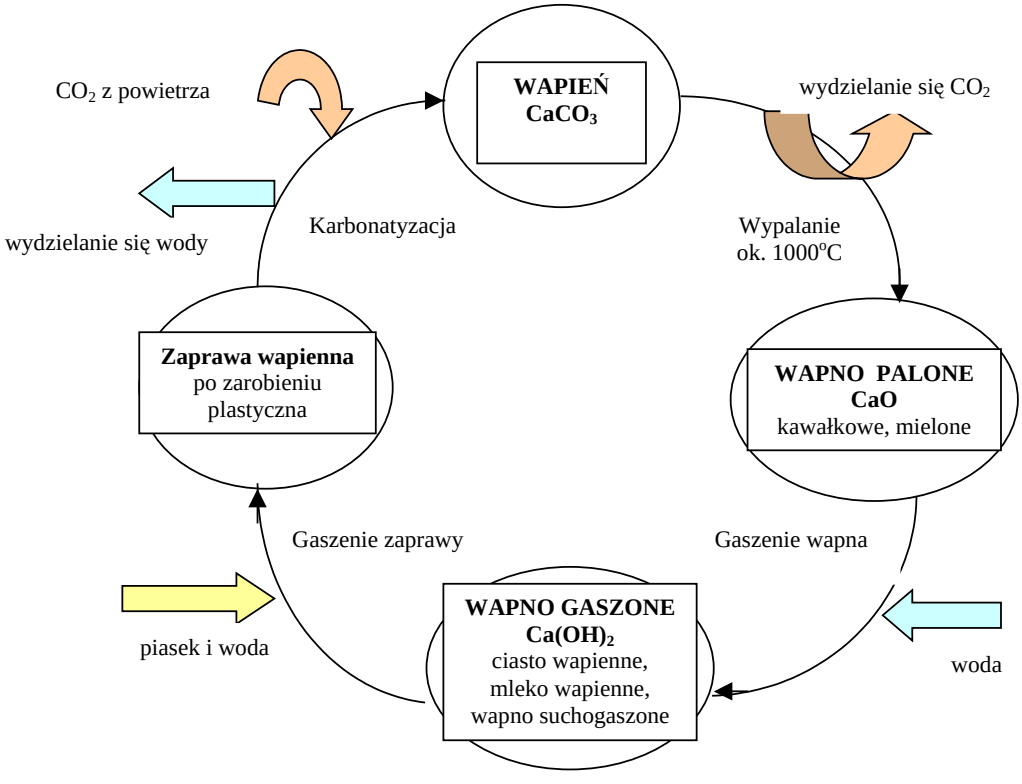
wapno dolomitowe półhydratyzowane – składające się głównie z wodorotlenku wapniowego i tlenku magnezu,

wapno dolomitowe całkowicie zhydratyzowane – zawierające głównie wodorotlenek wapniowy i wodorotlenek magnezowy.

4.4. Cykl przemian wapna w zastosowaniach budowlanych

Omówione wyżej podstawowe przemiany „*węglan wapnia – wapno – węglan wapnia*” zachodzące w produkcji i stosowaniu spoiw wapiennych w praktyce budowlanej – w ich naturalnym cyklu przemian fizykochemicznych – można prześledzić na schemacie cyklu „życia wapna” (rys. 4.3). Wypalanie wapienia (węglanu wapnia) przekształca go w tlenek wapnia i w dwutlenek węgla. Uzyskany tlenek wapnia, czyli wapno palone, gaszone dodaną do niego wodą, znajduje zastosowanie w budownic-

twie przez dodanie tez piasku – tworząc zaprawę wapienną. Woda odparowuje, a dwutlenku węgla z powietrza powoduje karbonatyzację, łączy się z zaprawą i odtwarza wapień. Można powiedzieć: koło się zamyka.



Rys. 4.3. Cykl przemian wapna przy jego wytwarzaniu i stosowaniu

5. WAPNO HYDRAULICZNE – NATURALNE I SZTUCZNE

Wapno hydrauliczne, stosowane już w Polsce w okresie średniowiecza, jest spoiwem o charakterze pośrednim między wapnem a cementem portlandzkim. Wypalane jest z wapieni marglistych, zawierających obok składnika podstawowego $CaCO_3$ znaczne ilości domieszek gliniastych – od 15 do 20%. Temperatura wypalania wynosi 900–1100^{o}C. Produkcja odbywa się w takich samych piecach, jak wapna powietrznego, przy mniejszym jednak zużyciu paliwa. W warunkach wysokiej temperatury tlenek wapnia reaguje z krzemionką i glinem z domieszek ilastych wapienia tworząc krzemiany wapnia oraz gliniany i żelaziany wapnia.

Wypalanie wapieni marglistych

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

$$CaCO_3 + SiO_2 \rightarrow 2\ CaO{\cdot}SiO_2$$

$$CaCO_3 + Al_2O_3 \text{ i } Fe_2O_3 \rightarrow 3CaO{\cdot}Al_2O_3 \text{ i } 4\ CaO{\cdot}Fe_2O_3$$

Po wypalaniu uzyskuje się kawałki barwy szarej lub żółtawej. Podstawowymi składnikami wapna hydraulicznego są: tlenek wapniowy CaO oraz krzemiany i gliniany wapniowe, przede wszystkim $2\beta CaO{\cdot}SiO_2$ i $3CaO{\cdot}Al_2O_3$, związki o właściwościach hydraulicznych. Wypalone wapno poddaje się mieleniu, a następnie gaszeniu na sucho. Gaszenie prowadzi się ostrożnie, tak, aby całe wolne wapno zostało przekształcone w wodorotlenek wapniowy, zaś krzemiany i gliniany nie uległy uwodnieniu. W celu uzyskania produktu o najkorzystniejszych cechach przeprowadza się wstępne gaszenie w silosach, gdzie cząstki wolnego wapna ulegają zgaszeniu, a następnie po oddzieleniu w separatorze ziaren jeszcze nie zgaszonych, podaje się je przemiałowi i dopiero wówczas miesza razem ze zgaszonymi. Często jednak miele się cały produkt bez prowadzenia wstępnego zgaszenia.

Wiązanie i twardnienie wapna hydraulicznego jest procesem złożonym. Obecny w nim wodorotlenek wapniowy wiąże jak w wapnie powietrznym, przekształcając się pod wpływem dwutlenku węgla z powietrza i wilgoci w $CaCO_3$, ale zasadniczy proces wiązania zachodzi w zetknięciu się z wodą, w wyniku reakcji z nią pozostałych składników, dając uwodnione krzemiany i gliniany o charakterze hydraulicznym, jak w cemencie. Dzięki temu wapno hydrauliczne po związaniu i dostatecznie długim

twardnieniu na powietrzu może być poddane działaniu środowiska wilgotnego. Stosowane jest do zapraw murarskich przy budowie fundamentów, w piwnicach, do zapraw zastępujących zaprawy wapienno-cementowe, do wypraw tynkarskich oraz do betonów o niewielkiej wytrzymałości. Właściwości wapna hydraulicznego można poprawić jeszcze przez dodatek pucolan lub materiałów hydraulicznych.

Wapno wypalane z surowców naturalnych i przetwarzane w sposób opisany wyżej, sproszkowane, określone jest w normie PN-EN 459-1 nazwą **naturalne wapno hydrauliczne NHL** (Natural Hydraulique Lime).

Obok naturalnego wapna hydraulicznego rozróżnia się jeszcze:

– **wapno hydrauliczne HL** – otrzymywane z wypalenia zmielonego wapienia z dodatkami gliniastymi i krzemionkowymi, zawierające w swym składzie wodorotlenek wapniowy, krzemiany wapnia i gliniany wapnia, wapno to nazywane jest sztucznym wapnem hydraulicznym (spotykany dotychczas był też symbol XHL),
– **wapno hydrauliczne naturalne z dodatkami NHL-Z** - wapno wzbogacone po wypaleniu dodatkami odpowiednich materiałów pucolanowych i hydraulicznych w ilości do 20% masy.

6. CHARAKTERYSTYCZNE WŁAŚCIWOŚCI WAPNA BUDOWLANEGO I WYNIKAJĄCE Z NICH KORZYŚCI

Nieprzemijające znaczenie wapna budowlanego i duże możliwości jego stosowania w budownictwie i przemyśle materiałów budowlanych wynikają ze szczególnych właściwości wapna. Najistotniejsze z nich przedstawiono niżej.

- **Biała barwa** – pozwala wydobyć walory dekoracyjne tynków wapiennych, nieosiągalne z innymi spoiwami; dodatek wapna stosuje się do rozjaśnienia zapraw cementowych i betonu.
- **Bardzo duże rozdrobnienie** – powierzchnia właściwa wapna, będąca funkcją nie tylko rozdrobnienia, ale też porowatości otwartej ziaren wapna, wynosi dla różnych postaci wapna odpowiednio [17, 18]:

wapno palone mielone	300 – 1000 m^2/kg,
wapno hydratyzowane sproszkowane	800 – 2000 m^2/kg,
wapno hydrauliczne	300 – 800 m^2/kg,
ciasto wapienne	2250 – 3200 m^2/kg,
porównawczo cement	220 – 500 m^2/kg.

Im uziarnienie wapna palonego jest drobniejsze, tym powierzchnia właściwa jest większa i większa jest powierzchnia stykania się z wodą podczas gaszenia, które zachodzi wówczas szybciej. Powierzchnia właściwa wapna gaszonego zależy od sposobu gaszenia – szczególnie duży stopień rozdrobnienia wykazuje ciasto wapienne. Z dużym stopniem rozdrobnienia wapna wiąże się większa plastyczność i urabialność zapraw wapiennych, a także ich przyczepność do podłoża budowlanego. Zaprawy wapienne są plastyczne i doskonale urabialne. Dodatek wapna do zapraw cementowych i gipsowych poprawia ich urabialność i wpływa na łatwość mieszania. Plastyczna zaprawa umożliwia lepiej wykorzystywać urządzenia do mechanicznego nakładania. Pozwala też uzyskiwać gładkie powierzchnie, nieprzepuszczalne dla wody. Duże rozdrobnienie wapna zapobiega segregacji składników w mieszankach budowlanych, stąd też wapno jest dodawane w procesach przemysłowych np. przy wytwarzaniu szlamu piaskowego w produkcji betonu komórkowego, celem przeciwdziałania sedymentacji piasku. Wynikiem dużego rozdrobnienia wapna są jego zdolności iniekcyjne, dobre wnikanie zapraw wapiennych w materiał muru, a także kształtowanie drobnoporowatej struktury za-

praw wapiennych, w murach i na murach (tynki), która działa jak naturalny drenaż wodny, osuszając mury i zapobiegając niszczeniu materiału ściany. Pośrednio wapno wpływa w ten sposób na dobry mikroklimat wewnętrzny budynków.

- **Wysoce egzotermiczna reakcja z wodą** – wapno palone jest materiałem reagującym z wodą gwałtownie z wydzieleniem dużej ilości ciepła, reakcja gaszenia służy w praktyce do osuszania innych materiałów, m.in. wilgotnych gruntów.
- **Silna zasadowość (alkaliczność)** – wykorzystywana do neutralizacji kwasów różnego pochodzenia, kwaśnych gruntów. Dodatek wapna do betonu zwiększając odczyn zasadowy powoduje pasywację stali zbrojeniowej. Dzięki zasadowości wapno posiada właściwości **bakteriobójcze** i **dezynfekujące**, co powoduje, że tynki wapienne zapobiegają rozwojowi pleśni i grzybów, zabezpieczają przed korozją biologiczną. Wapno stosuje się do asenizacji piwnic, stajni itp. Właściwości bakteriobójcze ma też wapno zgaszone. Znane bielenie ścian wapnem, zwłaszcza na wsiach, budynków gospodarczych i nie tylko, pomieszczeń sanitarnych, jest stosowane jeszcze i dzisiaj. Wapno w ten sposób również wpływa na zdrowotność i higieniczność pomieszczeń – nawet jako składnik, np. tynków. Na co dzień stykamy się z wapnem w paście do zębów, gdzie jest ono stosowane z uwagi na jej wzbogacenie wapniem oraz ze względu na zdolności dezynfekcyjne.
- **Zdolność absorbowania znacznej ilości wody (40–50%) i jej retencja (utrzymywanie)** – pozwala dłużej zachować plastyczność zapraw, jest korzystna przy nakładaniu tynków wapiennych na bardziej porowate podłoża (odsysające wodę z zaprawy), pozwala uzyskiwać gładkie, nie porowate powierzchnie.
- **Niewielka wytrzymałość** – zaprawy wapienne dojrzewające w normalnych warunkach mają po upływie 90 dni wytrzymałość na ściskanie 1–2 MPa. Mała wytrzymałość także na rozciąganie i mały współczynnik sprężystości sprawiają, że zaprawy wapienne mogą przenosić odkształcenia, np. powstające wskutek ruchów konstrukcji wykazując znaczną odporność na powstawanie rys. Wypełniając mury i chroniąc materiał muru (kamień, ceramikę), zaprawy wapienne same ulegają niekiedy zniszczeniu, ale mogą być wówczas łatwo usuwane bez uszczerbku dla konstrukcji i zastępowane nową zaprawą wapienną.
- **Rysoodporność i wynikająca stąd dobra współpraca z podłożem** – dobrze przenosząc ruchy konstrukcji, wapno nie ulega spękaniom, posiada pewną elastyczność, czego nie wykazują tworzywa ze spoiwami cementowymi. Odkształcalność zapraw wapiennych jest ceniona przy restaurowaniu starych budynków.
- **Doskonałe zachowanie się w wysokiej temperaturze** – wapno powietrzne w 1800–2000^{o}C, wapno hydrauliczne w 800^{o}C (cement do 400^{o}C).
- **Samouzdrawianie się wapna** – tak potocznie nazywana jest właściwość związana z samoistnym zasklepianiem się rys skurczowych powstających w zaprawach wapiennych. Średnice rys są tu znacznie mniejsze niż u zapraw cementowych. W czasie powolnego procesu karbonatyzacji powstające kryształki węglanu wap-

nia, jak mikrostalaktyty wypełniają otwartą przestrzeń rys, uszczelniając powierzchnię i czyniąc ją bardziej odporną na czynniki atmosferyczne.

- **Korzystny wpływ na mikroklimat pomieszczeń** – wapno kształtuje wewnątrz budynków odpowiednie warunki zdrowotne, czyli mikroklimat, głównie poprzez:
  - naturalność swego pochodzenia i wytwarzania,
  - przepuszczalność pary wodnej (oddychanie ścian) i drenaż wody przez drobno porowatą sieć kanalików zapraw, co chroni ściany przed zawilgoceniem,
  - korzystne właściwości cieplne i akustyczne sprzyjające komfortowi życia mieszkańców,
  - właściwości bakteriobójcze,
  - walory dekoracyjne, wpływające dobrze na samopoczucie użytkowników budynków.
- **Zdolność chemicznego łączenia się wapna** z materiałami pucolanowymi naturalnymi (np. pyły wulkaniczne) i sztucznymi (np. rozdrobniona ceramika, popioły lotne, pyły krzemionkowe) lub hydraulicznymi (żużle) dająca trwałe uwodnione krzemiany wapniowe – jest wykorzystywana przy produkcji spoiw wieloskładnikowych stosowanych do produkcji zapraw i betonów.
- **Zdolność tworzenia z piaskiem** (SiO_2) w środowisku nasyconej pary wodnej w temperaturze 150–200^{o}C uwodnionych krzemianów wapniowych o dużej wytrzymałości mechanicznej – jest wykorzystywana w produkcji przemysłowej autoklawizowanych wyrobów wapienno – piaskowych i betonów komórkowych.
- **Wzrost objętości podczas hydratacji –** wapno palone CaO jest stosowane jako dodatek w produkcji cementów ekspansywnych oraz przy wytwarzaniu ekspansywnych zapraw i betonów.
- **Możliwość recyclingu** materiałów ze spoiwami wapiennymi.

Wapno dodawane do zapraw i betonów cementowych obok polepszania urabialności, poprawia też ich nieprzepuszczalność, wygląd powierzchni po rozformowaniu. Niewielki dodatek wapna do tworzyw gipsowych zwiększa ich odporność na powierzchniowe rozmywanie wodą.

Zestawienie charakterystycznych właściwości wapna przedstawiono na rys. 6.1.

W czasie prac z wapnem, zależnie od jego postaci, głównie z uwagi na wysoką alkaliczność i temperaturę przy gaszeniu wapna palonego, należy pamiętać o zabezpieczeniu skóry i oczu przed zetknięciem się z nim (rękawice, okulary, odzież ochronna). W pomieszczeniach gdzie jest większe zapylenie wapnem należy nosić maski pyłochronne.

BIAŁA BARWA

wapno jest stosowane jako dodatek do białych cementów, do betonu architektonicznego

BARDZO DUŻE ROZDROBNIENIE

powierzchnia właściwa od 800 do 3200 m^2/kg; wapno dodane do zapraw, zaczynów lub betonów cementowych poprawia urabialność i plastyczność, wygląd po rozformowaniu, nadaje nieprzepuszczalność, dobrą przyczepność

SILNIE EGZOTERMICZNA REAKCJA Z WODĄ

wykorzystywana przy osuszaniu innych materiałów, przy robotach w zimie

SILNA ZASADOWOŚĆ

pozwala neutralizować inne materiały, kwaśne grunty, wpływa na właściwości bakteriobójcze wapna, przeciwdziała rozwojowi mikroorganizmów

ZDOLNOŚĆ ABSORBOWANIA ZNACZNEJ ILOŚCI WODY (40-50%)

właściwości retencyjne korzystne przy stosowaniu zapraw wapiennych, umożliwiają dobre wiązanie zapraw przeciwdziałając odciąganiu wody przez podłoże (ścianę)

NIEWIELKA WYTRZYMAŁOŚĆ

zaprawy wapienne (1:3) dojrzewające w normalnej temperaturze mają po 90 dniach dojrzewania wytrzymałość na ściskanie około 1–2 MPa

RYSOODPORNOŚĆ

wapno zapewnia pewną elastyczność i dobre przyleganie zapraw do podłoża, zmniejsza podatność do tworzenia się rys

ZDOLNOŚĆ DO REAKCJI CHEMICZNYCH Z MATERIAŁAMI PUCOLANOWYMI I HYDRAULICZNYMI , WŁAŚCIWOŚCI EKSPANSYWNE CaO

wykorzystane w produkcji spoiw, zapraw, betonów i domieszek ekspansywnych

ZDOLNOŚĆ DO TWORZENIA Z PIASKIEM (KRZEMIONKĄ) TRWAŁYCH KRZEMIANÓW WAPNIOWYCH

w warunkach autoklawizacji (nasycona para wodna ok. 180^oC, ciśnienie ok. 1 MPa) wykorzystywana w produkcji wyrobów wapienno-piaskowych i betonów komórkowych

WPŁYW NA KSZTAŁTOWANIE ZDROWOTNYCH WARUNKÓW

w pomieszczeniach budynków

Rys. 6.1. Charakterystyczne właściwości spoiw wapiennych

7. WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE I FIZYCZNE STANOWIĄCE O JAKOŚCI WAPNA W ŚWIETLE WYMAGAŃ NORMOWYCH

Przydatność wapna oceniana w aspekcie jego stosowania w pracach budowlanych i w przemyśle materiałów budowlanych jest określona w normach, które podają podstawowe wymagania dotyczące właściwości chemicznych i fizycznych spoiw wapiennych oraz metody badań tych właściwości.

W ogólnej ocenie wapna istotny jest jego skład chemiczny, który zależy od zastosowanych surowców i technologii produkcji. Skład chemiczny wapna powinien być zgodny z wymaganiami normy podanymi w tablicy 7.1 – wymagania te dotyczą

Tablica 7.1.

Właściwości chemiczne wapna budowlanego (wg PN - EN 459-1)

Lp	Rodzaj wapna budowlanego	Zawartość (% masy)				
		CaO+MgO	MgO	CO_2	SO_3	Wapna czynnego
1	CL 90	≥ 90	≤ 5 [1)]	≤ 4	≤ 2	-
2	CL 80	≥ 80	≤ 5 [1)]	≤ 7	≤ 2	-
3	CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	-
4	DL 85	≥ 85	≥ 30	≤ 7	≤ 2	-
5	DL 80	≥ 80	≥ 5	≤ 7	≤ 2	-
6	HL 2	-	-	-	≤ 3 [2)]	≥ 8
7	HL 3,5	-	-	-	v 3 [2)]	≥ 6
8	HL 5	-	-	-	≤ 3 [2)]	≥ 3
9	NHL 2	-	-	-	≤ 3 [2)]	≥ 15
10	NHL 3	-	-	-	≤ 3 [2)]	≥ 9
11	NHL 5	-	-	-	≤ 3 [2)]	≥ 3

Uwaga. Podane wartości odnoszą się do wszystkich rodzajów wapna. W przypadku wapna palonego wartości dotyczą gotowego produktu, w przypadku innych rodzajów wapna (wapno suchogaszone, ciasto wapienne, wapno hydrauliczne) podane wartości odnoszą się do produktu pozbawionego wolnej wody i wody związanej.

Zawartość MgO do 7% jest dopuszczalna, jeżeli badanie stałości objętości według PN-EN 459-2 daje wynik pozytywny.

Zawartość SO_3 może wynosić ponad 3% do 7%, jeżeli stwierdzono stałość objętości po 28 dniach przechowywania w wodzie według PN-EN 459-2.

przede wszystkim zawartości aktywnych tlenków wapnia i magnezu (CaO + MgO), od których zależy reaktywność wapna, a także zawartości wapna czynnego (nie związanego CaO i $Ca(OH)_2$) oraz dopuszczalnych ilości dwutlenku węgla i siarki. Wszystkie rodzaje wapna budowlanego mogą zawierać niewielkie ilości domieszek stosowanych dla poprawienia urabialności lub innych właściwości wapna. W przypadku, gdy ich ilość przekracza 0,1% należy podać ilość i rodzaj domieszki.

Właściwością fizyczną mająca wpływ na wiązanie wapna jest jego rozpuszczalność w wodzie. Rozpuszczalność wapna zależy od temperatury otoczenia i maleje ze wzrostem temperatury. Rozpuszczalność tlenku wapniowego CaO w zakresie temperatury od 10 do 30^oC jest rzędu 1,3 g do 1,1 g na 1 litr roztworu nasyconego, a wodorotlenku wapniowego $Ca(OH)_2$ rzędu 1,7 g do 1,5g. Im niższa temperatura, tym rozpuszczalność wapna jest większa. Zmusza to do ochrony powierzchni budowlanych pokrytych mieszankami wapiennymi przed spływaniem wody, która mogłaby wypłukiwać część spoiwa wapiennego.

Do właściwości fizycznych wapna budowlanego, uwzględnionych w normie PN-EN 459-1 należą:

- **stopień zmielenia** – określany pozostałością na sicie o boku oczka kwadratowego 0,09 mm i 0,2 mm, nie dotyczy ciasta wapiennego,
- **wydajność** – oznaczana dla wapna palonego,
- **stałość objętości** po gaszeniu – oznaczana dla wszystkich rodzajów wapna,
- **zawartość wolnej wody** – oznaczana dla ciasta wapiennego.

Wydajność dotyczy wapna palonego przerabianego na ciasto wapienne i jest miarodajna przy ocenie wapna kawałkowego. Im większa jest jego wydajność, tym więcej zaprawy można z niego uzyskać. Według PN-EN 459-1 wydajność wapna CL nie powinna być mniejsza niż 26 dm^3 ciasta z 10 kg wapna kawałkowego (26 dm^3/10 kg).

Wytrzymałość mechaniczna wymagana jest tylko dla wapna hydraulicznego. Wytrzymałość na ściskanie zapraw z wapna hydraulicznego jest podstawą klasyfikacji tego wapna. Również tylko dla wapna hydraulicznego oznacza się czas wiązania.

Jako dodatkowe właściwości normowe spoiw wapiennych przyjęte zostały:

- **reaktywność** (omówienie tej cechy wapna podano w p. 4.2);
- **gęstość nasypowa** – dla wapna suchogaszonego (dla wapna CL powinna wynosić od 0,3 do 0,6 kg/dm^3, dla wapna DL od 0,4 do 0,6 kg/dm^3) oraz dla wapna hydraulicznego (dla HL 2 od 0,4 do 0,6 kg/$dm^{3,}$ dla HL 3,5 od 0,5 do 0,9 kg/dm^3 i dla HL 5 od 0,6 do 1,0 kg/dm^3).

Wymagania dla wapna budowlanego w zakresie podstawowych właściwości fizycznych ujętych normą PN-EN przedstawiono w tablicy 7.2.

Tablica 7.2.

Wymagania dotyczące podstawowych właściwości fizycznych wapna budowlanego (wg PN-EN 459-1)

Lp	Rodzaj wapna budowlanego	Stopień zmielenia pozostałość na sicie o boku oczka kwadratowego		Stałość objętości			Zawartość wolnej wody[1)]	Czas wiązania	
				ciasta wapiennego, wapna dolomitowego hydratyzowanego	wapna budowlanego z wyj. ciasta wapiennego, wapna dolomitowego hydratyzowanego				
		0,09 mm	0,2 mm		metoda wzorcowa	metoda alternatywna		początek	koniec
		%	%		mm	Mm	%	h	h
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	CL 90	≤ 7	≤ 2	Próba pozytywna	≤ 2	≤ 20	≤ 2	-	-
2	CL 80								
3	CL 70								
4	DL 85				-	-	≤ 2		
5	DL 80								
6	HL 2, NHL 2	≤ 15	≤ 5	-	≤ 2	≤ 20	≤ 2	≥ 1	≤ 15
7	HL 3,5, NHL3,5								
8	HL 5, NHL 5								

[1/] Dla ciasta wapiennego: zawartość wolnej wody 45%–70%

8. STOSOWANIE WAPNA W ZAPRAWACH BUDOWLANYCH

8.1. Omówienie ogólne

Samo wapno przy wiązaniu i twardnieniu kurczy się i pęka, dlatego też w budownictwie stosowane jest najczęściej w postaci mieszanki z piaskiem naturalnym i wodą. Kruszywo zmniejsza skurcz, napowietrza, ułatwiając tym twardnienie zaprawy – stanowi twardy szkielet zaprawy, wzmacniający ją, przeciwdziałający nadmiernemu osiadaniu, obniża też koszt zaprawy.

Tradycyjnie używane w budownictwie zaprawy czysto **wapienne** zastępowano w XX wieku stopniowo zaprawami **wapienno-cementowymi** i **cementowo-wapiennymi**. Od dawna znano łączenie wapna z gipsem w zaprawach gipsowo-wapiennych.

Ze względu na przeznaczenie, zaprawy wapienne i zaprawy o spoiwie mieszanym, gdzie wapno stanowi zasadniczy składnik, wytwarzane są jako: zaprawy **murarskie**, **tynkarskie** i **specjalne**.

Z uwagi na skład i sposób przygotowania rozróżnia się z kolei:

- zaprawy zwykłe – sporządzane na miejscu budowy przez dozowanie składników tj. spoiwa, kruszywa i wody oraz ich mechaniczne wymieszanie, na ogół bez specjalnych dodatków i domieszek,
- zaprawy suche – stanowiące suche mieszanki zapraw przygotowywane fabrycznie, w których podstawowym składnikiem jest wapno proszkowe, najczęściej suchogaszone, przed zastosowaniem mieszane z odpowiednią ilością wody; na ogół zawierają jeszcze specjalne dodatki i domieszki modyfikujące.

Tradycyjne, zwykłe zaprawy wapienne są używane sporadycznie w budownictwie i stanowią przedmiot szczególnego zainteresowania konserwatorów zabytków. Jakkolwiek odtwarza się dawne składy zapraw wapiennych, to jednocześnie też opracowywane są nowe rozwiązania gotowych zapraw, w tym modyfikowanych polimerami, które wprowadzane w niewielkich ilościach wpływają korzystnie na właściwości zapraw, bez zakłócenia korzystnych cech kształtowanych przez wapno.

8.2. Zaprawy wapienne zwykłe – murarskie i tynkarskie

Zaprawa wapienna jest mieszaniną wapna, piasku i wody. Należy do grupy zapraw o niskich wytrzymałościach na ściskanie (0,3 do 1 MPa), ale też do najlepiej urabialnych i najłatwiejszych w robocie, dających się rozprowadzać „jak masło” i zapewniających dobre właściwości ciepłochronne.

Zwykłe zaprawy wapienne sporządza się obecnie na ogół z wapna suchogaszonego, dużo rzadziej z ciasta wapiennego, wapna palonego mielonego lub hydraulicznego oraz z piasku i wody. Wapno suchogaszone, dzięki produkcji przemysłowej, ma ustaloną ja-

kość i jest szczególnie dogodne do stosowania, gdyż upraszcza wykonanie zapraw i zwiększa bezpieczeństwo robót. Na ogół wapno to należy zarabiać wodą na okres 24 do 36 godzin przed wymieszaniem z piaskiem, dla uzyskania lepszej jednorodności i plastyczności. W razie braku czasu na wcześniejsze przygotowanie wapna miesza się je na sucho najpierw z piaskiem, a następnie dodaje wodę. Obecnie produkowane jest już wapno suchogaszone, które można stosować bezpośrednio do zapraw, bez konieczności wcześniejszego moczenia w wodzie, co stanowi dalsze bardzo duże udogodnienie. Wapno to zapewnia wysoką przyczepność zaprawom do różnego rodzaju podłoży. Urabialność i plastyczność zapraw z wapnem suchogaszonym oraz ilość otrzymywanej zaprawy w odniesieniu do jednostki wapna palonego jest przy użyciu wapna suchogaszonego mniejsza niż przy zaprawach z ciastem wapiennym.

W zaprawach istotną rolę odgrywa kruszywo. Ze względu na pochodzenie piasku i kształt ziaren rozróżnia się:

- **piaski sedymentacyjne** – wydobywane jako kopaliny występujące w złożu w stanie naturalnego rozdrobnienia, a także wydobywane z dna rzek i jezior; o zaokrąglonych ziarnach i gładkiej powierzchni, korzystnie wpływają na urabialność zaprawy;
- **piaski kruszone i łamane** – rozdrabniane w wyniku mechanicznego kruszenia otoczaków oraz łamania i mielenia skał litych; odznaczają się kanciastymi kształtami i szorstką powierzchnią ziaren, tj. cechami utrudniającymi i wydłużającymi mieszanie zapraw.

W zależności od składu petrograficznego do zapraw stosowane są głównie **piaski krzemionkowe, kwarcowe**, także **węglanowe** ze skał wapiennych i dolomitowych, zapewniające lepszą przyczepność zaprawy do ziaren.

Do zapraw wapiennych, gdzie spoiwo jest słabe, wskazane jest stosować kruszywo ostrokanciaste o szorstkiej powierzchni tzw. piasek ostry, aby umożliwić lepsze zakotwienie ziaren w spoiwie. Natomiast do zapraw cementowych korzystne jest kruszywo z ziarnami okrągłymi, ponieważ wymaga ono mniej wody do osiągnięcia potrzebnego stanu ciekłości, a zwiększenie wody obniża wytrzymałość.

Piasek stosowany do wytwarzania zapraw budowlanych powinien obecnie spełniać wymagania podane w normie PN-EN 13139:2002 „Kruszywo do zapraw". Dla kruszywa do zapraw oznaczane są w miarę potrzeb gęstość ziaren i nasiąkliwość, mrozoodporność, zawartość chlorków, związków zawierających siarkę, związków organicznych, a także reaktywność alkaliczno-krzemionkowa. Norma ta - w zależności od ilości zawartych w kruszywie pyłów (cząstki < 0,063 mm) – dzieli kruszywo do zapraw na 5 kategorii wyznaczających zakres stosowania zapraw – tablica 8.1. Do zapraw tynkarskich wskazane jest kruszywo kategorii 2 o zawartości pyłów < 5%, do zapraw budowlanych kruszywo kategorii 3 o zawartości pyłów < 8%, natomiast do zapraw murarskich kruszywo kategorii 5 zawierające < 30% pyłów.

Tablica 8.1.

Klasyfikacja kruszywa do zapraw na kategorie w zależności od zawartości pyłów

Wymiar kruszywa	Maksymalny przesiew przez sito 0,063 mm, w procentach wyrażonych ułamkiem masowym				
	Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 3	Kategoria 4	Kategoria 5
0/1	3	5	8	30	>30
0/2	3	5	8	30	-
0/4; 2/4	3	5	8	30	-
0/8; 2/8					
Zastosowanie	Zaprawy do podkładów podłogowych, natryskowe, do napraw	Obrzutka, zaprawy tynkarskie	Zaprawy budowlane	Zaprawy do murów	

Tradycyjnie przyjmuje się, że korzystne uziarnienie piasku, zapewniające dobrą zwięzłość zaprawy, otrzymuje się stosując kruszywo zawierające 2/3 ziaren grubych na 1/3 ziaren drobnych – taki skład pozwala na użycie mniejszej ilości spoiwa dla przygotowania zaprawy [21]. Zwięzłość określa się stosunkiem między objętością kruszywa a objętością całej zaprawy. Stosowanie kruszywa zbyt drobnego wpływa na zwiększenie ilości spoiwa i może powodować nadmierny skurcz i spękania zaprawy. Piaskami drobnymi określa się kruszywo o maksymalnym wymiarze ziaren 1 mm, piaskami średnimi – 2 mm, grubymi – 5 mm (wg nowych zasad 8 mm).

Ilościowy udział składników podaje się stosunkiem objętościowym ciasta wapiennego (nie rozcieńczonego) lub wapna w stanie sypkim do piasku luźno nasypanego, suchego. Proporcja objętościowa nie określa jednoznacznie ilości składników w jednostce objętości zaprawy, ponieważ gęstości objętościowe spoiwa i piasku są zmienne, zależne np. od sposobu nasypywania, wilgotności i uziarnienia kruszywa. I tak przy dozowaniu piasku należy pamiętać, że piasek wilgotny po nasypaniu ma o kilka do kilkunastu procent większą objętość od piasku suchego. Dokładna jest tylko proporcja masowa, stosowana przy produkcji przemysłowej zapraw suchych.

Właściwa receptura zapraw zakłada, że spoiwo wypełnia wszystkie pustki między ziarnami piasku. Stosowany piasek w dużej mierze wpływa zatem na skład zaprawy [21]. Ilość wody zależy od przeznaczenia zaprawy, rodzaju wznoszonej konstrukcji i podłoża oraz wynikającej stąd konsystencji zaprawy – przy stosowaniu elementów murowych bardziej porowatych, chłonących wodę, zaprawa powinna mieć konsystencję rzadszą, do materiałów bardziej ścisłych, mało porowatych, zaprawa powinna być bardziej gęsta. Z reguły zaprawy murarskie są bardziej gęste (konsystencja według opadu stożka wynosi 4–8 cm) aniżeli zaprawy tynkarskie (7–12 cm).

W opisach dawnych zapraw można odnaleźć też ich receptury. I tak na przykład Witruwiusz zalecał 1 część objętościową wapna (ciasta) mieszać z 3 częściami piasku kopalnianego lub z 2 częściami piasku rzecznego. Pliniusz zaś podawał skład złożony z 4 objętości piasku kopalnianego lub 3 objętości piasku rzecznego na 1 objętość wapna.

Obaj zalecali stosowanie dodatku w postaci 1/3 objętości rozdrobnionych dachówek ceramicznych. Znacznie później Palladio (1570 r.) jako najlepszy skład zaprawy wapiennej zalecał stosowanie 3 części piasku kopalnianego na 1 część wapna lub jeśli jest to piasek rzeczny, to 2 części na 1 część wapna [21].

Przykładowe składy objętościowe współczesnych zapraw wapiennych i odpowiadające im klasy (wytrzymałość zaprawy na ściskanie po upływie 28 dni, wyrażona w MPa) przedstawiono w tablicy 8.2. Dotychczasowe pojęcie *marki zaprawy* jest zastępowane w nowych dokumentach technicznych oznaczeniem *klasy wytrzymałości zaprawy* na ściskanie.

Tablica 8.2.
Skład objętościowy i klasy zapraw wapiennych (wg PN-B-10104)

Rodzaj	Symbol rodzaju	Objętościowe proporcje składników (wapno:piasek)	Symbol odmiany	Klasa zaprawy	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]
Zaprawa wapienna	w	1:1,5	H	M1	1,0	0,45
		1:2	I	M0,5	0,5	0,40
		1:4	J	M0,25	0,3	0,25

Uwaga: do zapraw, wg PN-EN 10104 i PN-EN 459-1, należy stosować wapno budowlane: hydratyzowane CL 90-S lub CL 80-S w postaci proszku (d_p) lub ciasta (p_u), dolomitowe hydratyzowane DL 85-S1 lub DL 85-S w proszku.

Wytrzymałość zaprawy wapiennej jest wielokrotnie mniejsza od wytrzymałości cegły ceramicznej. Jednak zaprawa murarska w spoinach muru dzięki działaniu sił ściskających osiąga wytrzymałość większą, ponieważ duża powierzchnia nacisku cegieł powstrzymuje jej odkształcenia poprzeczne i zaprawa jest jakby ujęta w obręcz, podobnie jak woda w cylindrze pod tłokiem. Z tego powodu wytrzymałość murów na zaprawie wapiennej nie jest równa wytrzymałości zaprawy, ale ma wartość pośrednią między wytrzymałością cegły a zaprawy. Do murów, w których występują duże naprężenia zaprawy wapienne nie powinny być stosowane.

Zaprawy wapienne murarskie są używane do łączenia elementów z materiałów porowatych, takich, jak wyroby ceramiczne, wapienie lekkie, piaskowce, bloczki z betonu komórkowego, pustaki z betonu lekkiego kruszywowego. Dzięki zatrzymywaniu w sobie wody dobrze wnikają w materiał elementu murowego, zapewniając dobre połączenie. Mogą być jednak stosowane do murów nie zbrojonych i nie narażonych na stałe i silne zawilgocenie. Właściwości zapraw stosowanych do konstrukcji murowych powinny być określone przez normy PN lub aprobaty techniczne.

Wytrzymałością zaprawy na ściskanie miarodajną do określenia związku między wytrzymałością zaprawy na ściskanie a wytrzymałością muru wyznaczoną ze wzorów podanych w normie PN-B-03002:1999 „Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie" jest wytrzymałość średnia zaprawy f_m, badana w sposób podany w normie

PN-EN 1015-11:2001. „Metody badań zapraw do murów. Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy".

Norma PN-B-03002:1999 odpowiednio do wytrzymałości zapraw f_m dzieli je na klasy, oznaczone literą M, tworząc szereg wartości wytrzymałości wyrażonej w MPa: M1, M2, M5, M10, M20 (tab. 8.3).

Tablica 8.3.

Zakres zmian wytrzymałości na ściskanie przypisany klasie zaprawy

Klasa zaprawy	Wytrzymałość średnia [MPa]	Zakres zmian wytrzymałości w czasie badania [MPa]
M1	1	1,0 – 1,5
M2	2	1,6 – 3,5
M5	5	3,6 – 7,5
M10	10	7,6 – 15,0
M20	20	15,1 – 30,0

Zakres stosowania zapraw wapiennych w robotach murowych i tynkarskich z podaniem zalecanej konsystencji świeżej zaprawy oraz wytrzymałości na ściskanie zaprawy stwardniałej podano w tablicy 8.4.

Należy zaznaczyć, że skład zapraw tynkarskich zależy w dużym stopniu od funkcji zaprawy w tynku, a także od rodzaju podłoża (stare mury, podłoża współczesne). Ze względu na to, że tradycyjnie stosowanymi rozwiązaniami z zapraw zwykłych są tynki trójwarstwowe, warto przypomnieć tu zadania, jakie pełnią poszczególne warstwy tynku, wykonywane z zapraw o odpowiednim składzie:

- **obrzutka** – pierwsza warstwa tynku (o grubości 5 do 8 mm), zapewnia odpowiednią przyczepność do podłoża, z kolei większą przyczepność ma zaprawa o dużej zawartości spoiwa,
- **narzut** – druga warstwa tynku, zasadnicza (grubości 15 do 20 mm), nanoszona w celu wyrównania powierzchni podłoża, a także w celu zapewnienia szczelności i izolacyjności,
- **gładź** – warstwa trzecia, wykończeniowa (grubości 5 do 7 mm), nadająca powierzchni wygląd estetyczny, dekoracyjny, powinna być odporna na działanie czynników otoczenia, może być pokryta mlekiem wapiennym; w składzie zaprawy stosuje się tu mniej spoiwa.

Tablica 8.4.

Właściwości zapraw wapiennych w zależności od ich przeznaczenia [24]

Przeznaczenie zaprawy wapiennej	Konsystencja zaprawy wg opadu stożka [cm]	Wytrzymałość na ściskanie zaprawy wapiennej, minimum [MPa]
Murowanie fundamentów budynków w gruntach suchych – budynki jednokondygnacjowe mieszkalne, gospodarcze lub prowizoryczne	6 – 8	0,6 - 1
Murowanie ścian wypełniających i nadziemnych ścian nośnych w budynkach jednokondygnacjowych mieszkalnych, gospodarczych lub prowizorycznych	6 – 8	0,3 - 1
Tynki - wykonywanie obrzutki pod tynki zwykłe na ścianach wewnętrznych i stropach ceramicznych	9 – 10	0,6 - 1
Tynki - wykonywanie narzutu dla tynków zwykłych wewnętrznych	6 – 9	0,3 - 1
Tynki - wykonywanie gładzi tynków zwykłych wewnętrznych	9 – 11	0,3

Zaprawy z wapna powietrznego stosuje się jako wyprawy wewnętrzne – charakteryzują się dużą paroprzepuszczalnością, małą podatnością na zabrudzenie, wysoką odpornością na algi i grzyby, zapewniają korzystny dla użytkowników mikroklimat wnętrz. Stosowanie ich do tynków na zewnątrz nie jest zalecane. Właściwości spoiw hydraulicznych mogą uzyskać po wymieszaniu z dodatkami hydraulicznymi lub pucolanowymi – obok piasku można wówczas wprowadzać żużel wielkopiecowy, mączkę ceramiczną, popioły lotne.

Zaprawy z wapna hydraulicznego są bardziej sztywne i trudniej urabialne od zapraw z ciastem wapiennym, są natomiast bardziej wytrzymałe i odporne na działanie wilgoci, o ile miały możność uprzedniego twardnienia na powietrzu. Stosowane są jako tynki zewnętrzne i wewnętrzne, także w pomieszczeniach wilgotnych. Wymagają odpowiedniej pielęgnacji w początkowym okresie twardnienia (powolne wysychanie).

Wiązanie i twardnienie zapraw wapiennych zaczyna się na powierzchni i postępuje w głąb zaprawy. Twardnienie tynku jest tym szybsze, im warstwa zaprawy ma mniejszą grubość. Przyspieszenie wiązania zapraw wapiennych można prowadzić poprzez przyspieszenie procesu karbonatyzacji wapna, stosując sztuczne zwiększenie ilości dwutlenku węgla w otaczającym powietrzu. Samo podwyższenie temperatury może mieć skutek niepożądany, gdyż zaprawa wysychając zbyt szybko, nie przyłącza już tak CO_2 i ulega mikrospękaniom. Sztuczne przyspieszenie twardnienia w ten sposób może obniżyć wytrzymałość zaprawy, gdyż powstające kryształki $CaCO_3$ stają się mniejsze. Wiadomo z kolei, że najbardziej wytrzymałe są zaprawy w których kryształy węglanu wapniowego rosną wolno, przerastając się wzajemnie. W starożytnym Rzymie dodatkami przyspiesza-

jącymi karbonatyzację wapna, było piwo lub młode wino figowe, które ulegając fermentacji w zaprawie powodowało wydzielanie się dwutlenku węgla.

Z uwagi na wolne wiązanie zapraw wapiennych nie należy zbyt szybko pokrywać świeżego tynku tapetami lub powłokami malarskimi. Dla dobrej jakości stwardniałych zapraw wapiennych ważną czynnością wstępną jest też dobre nawilżenie podłoża, na które zaprawa jest nakładana.

Modyfikacja zapraw wapiennych. Od najdawniejszych czasów starano się polepszać właściwości świeżych mieszanek wapiennych i stwardniałych, dodając w małych ilościach różnego rodzaju substancje o charakterze domieszek. Obecnie domieszki stosuje się również, zwłaszcza jako substancje modyfikujące – w suchych mieszankach zapraw. Przykłady zakresu modyfikacji zapraw wapiennych i substancji stosowanych w tym celu dawniej i obecnie zamieszczono na końcu pracy.

8.3. Zaprawy cementowo-wapienne zwykłe – murarskie i tynkarskie

Znacznie większe zastosowanie od zapraw czysto wapiennych mają we współczesnym budownictwie zaprawy cementowo-wapienne. Należą one też do najpowszechniej stosowanych. W zaprawach tych wapno zapewnia świeżym mieszankom dobrą plastyczność i urabialność, lepszą przyczepność do podłoża, a zaprawom stwardniałym większą od zapraw cementowych rysoodporność. Cement zaś zapewnia wytrzymałość (na ściskanie od 1 do 15 MPa). Wprowadzenie wapna do zapraw cementowych pozwala zwiększyć około dwukrotnie ich przyczepność w porównaniu z zaprawami sporządzanymi z dodatkiem chemicznych domieszek plastyfikujących. Większa zawartość wapna przedłuża czas wiązania zaprawy zatrzymując dłużej wilgoć, dzięki czemu minimalizuje zmiany objętości, skurcz i powstawanie rys i porów.

Zaprawy cementowo-wapienne sporządza się z cementu portlandzkiego, hutniczego lub murarskiego przy użyciu ciasta wapiennego lub wapna suchogaszonego oraz piasku, czasem żużla. Czas zużycia zaprawy od chwili wymieszania składników nie powinien być dłuższy niż 5 godzin, a przy temperaturze powyżej 25^{o}C – nie dłuższy niż 1 godzinę. Zaprawy cementowo – wapienne stosowane są do murów podziemi, tynków zewnętrznych i wewnętrznych, do układania płytek ceramicznych.

Typowe proporcje zapraw cementowo-wapiennych podano w tablicy 8.5.

Tablica 8.5

Skład objętościowy i klasy zapraw cementowo-wapiennych (wg PN-B-10104)

Klasa cementu	Rodzaj	Symbol rodzaju	Objętościowe proporcje składników [cement:wapno:piasek]	Symbol odmiany	Klasa zaprawy	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]
32,5	Zaprawa cementowo-wapienna	cw	1 : 0,25 : 3	D	M15	15,0	3,5
			1 : 0,5 : 4	E	M10	10,0	2,5
			1 : 1 : 6	F	M5	5,0	1,6
			1 : 2 : 9	G	M2,5	2,5	0,8

Uwaga. Norma zaleca stosowanie do zapraw cementowo-wapiennych cementów CEM I lub CEM II klasy 32,5 wg PN-EN 197-1

W tablicy 8.6 przedstawiono zakres stosowania zapraw cementowo-wapiennych w zaleznosci od rodzaju konstrukcji murowej.

Tablica 8.6.

Zalecane rodzaje, odmiany i klasy zapraw cementowo-wapiennych i wapiennych w zależności od przeznaczenia.

Przeznaczenie		Symbol rodzaju	Symbol odmiany	Klasa
Ściany fundamentowe i ściany zewnętrzne poniżej poziomu terenu	konstrukcyjne	CW	D, E	M 10; M 15
	niekonstrukcyjne	CW	D, E	M 10; M 15
Ściany zewnętrzne powyżej poziomu terenu	konstrukcyjne	CW	D, E, F	od M 5 do M 15
	niekonstrukcyjne	CW	E, F	M 5; M 10
Ściany wewnętrzne	konstrukcyjne	CW	D, E, F, G	od M 2,5 do M 15
		W	H	M 1
	niekonstrukcyjne	CW	D, E, F, G	od M 2,5 do M 5
		W	H, I, J	od M 0,25 do M 1

W porównaniu z wapiennymi zaprawy cementowo-wapienne mają większą odporność na działanie wilgoci i wód opadowych oraz charakteryzuje je dobra wytrzymałość mechaniczna. Nie są jednak tak paroprzepuszczalne, jak wapienne. Mają także większą przewodność cieplną od zapraw wapiennych i z tego powodu np. nie należy ich stosować do murowania bloczków gazobetonowych w ścianach zewnętrznych. Stosowane są szeroko do wykonywania tynków zewnętrznych i wewnętrznych w pomieszczeniach wymagających wypraw mocniejszych i odporniejszych na uderzenia (np. magazyny, sklepy, warsztaty). Stosowane są też jako narzut wewnętrznych tynków wapiennych.

Wprowadzanie wapna do zaprawy cementowej w różny sposób wpływa na jej wytrzymałość:

- w zaprawach cementowych z dużą ilością cementu np. cement : piasek 1:3 do 1:4 niewielki stosunkowo dodatek wapna wprowadzony do zaprawy (10÷20% w stosunku do cementu) zwiększa, a większy (50%) obniża jej wytrzymałość;
- w zaprawach cementowych chudych np. 1: 6 do 1: 9 duży dodatek wapna (powyżej 100%) wpływa korzystnie na wytrzymałość zaprawy.

Zaprawy murarskie o składzie 1 część cementu, 2 części wapna i 9 piasku można stosować do murowania wyższych budynków (np. do 9 kondygnacji), przy współczynniku bezpie-

czeństwa rzędu 250%. Wytrzymałość zapraw zwiększa się z upływem czasu. W przypadku dużej ilości cementu zaprawy cementowo-wapienne wykazują dobre cechy mechaniczne, ale przy wiązaniu posiadają małą zdolność utrzymywania wody, którą szybko tracą. To z kolei powoduje pewną porowatość i nieszczelność powierzchni – mur jest solidny, ale pozwala wnikać wodzie deszczowej. W przypadku zapraw z wapnem występuje mniejsza wytrzymałość na ściskanie, ale zaprawa wykazuje wysoką retencję wody, co wpływa na lepszą przyczepność i gładką powierzchnię zaprawy. Mur wykonany przy użyciu takiej zaprawy będzie miał mniejszą wytrzymałość mechaniczną, zwłaszcza na początku, ale też powinien mieć większą odporność na penetrację wody [3].

Zaprawy z większą zawartością wapna – gdy na 1 część cementu przypada więcej niż 1 część wapna – określane są jako **zaprawy wapienno-cementowe**. Zaprawy te, jak i cementowo-wapienne, wytwarzane są już w dużej skali jako suche mieszanki tynkarskie lub murarskie, a także o zastosowaniu uniwersalnym (p 8.5).

8.4. Zaprawy gipsowo-wapienne

Są to mieszaniny gipsu budowlanego, wapna, piasku i wody. W porównaniu z zaprawami wapiennymi szybciej wiążą i twardnieją oraz uzyskują większą wytrzymałość. Mają też lepszą od wapiennych przyczepność do drewna. Odznaczają się dobrymi właściwościami ciepłochronnymi, wytrzymałością na ściskanie 1 do 4 MPa. Nie można ich stosować w miejscach podlegających zawilgoceniu. Występują na ogół jako gotowe mieszanki tynkarskie.

8.5. Zaprawy suche

We współczesnej praktyce budowlanej rzadziej stosuje się już zwykłe zaprawy, tradycyjnie sporządzane na miejscu budowy, natomiast wielką popularność zyskały zaprawy suche – w postaci gotowych mieszanek, w których jednym z podstawowych składników jest wapno suchogaszone, także wapno hydrauliczne. Osiągnięciem przemysłu materiałów budowlanych są te właśnie mieszanki suchych zapraw mineralnych – wapiennych i cementowo-wapiennych, o różnym przeznaczeniu, o właściwościach odpowiednio modyfikowanych zależnie od przeznaczenia, w tym także polimerami (w ilości nie większej na ogół niż 3%).

Z uwagi na korzystne kształtowanie struktury zapraw obecność wapna suchogaszonego w tych gotowych mieszankach jest niezastąpiona – zapewnia bowiem świeżo zarobionej zaprawie odpowiednie właściwości reologiczne, łatwość mieszania i nakładania metodami ręcznymi i mechanicznymi, nadaje jasny kolor, umożliwia uzyskiwanie trwałych barw pastelowych, a po stwardnieniu przepuszczalność pary wodnej. która z kolei wpływa na korzystny dla mieszkańców klimat wewnątrz pomieszczeń, co zostało już przedstawione wcześniej.

Do produkowanych obecnie suchych zapraw zawierających wapno należą:

– zwykłe zaprawy – uniwersalne (murarskie, tynkarskie) i tynkarskie (zewnętrzne i wewnętrzne),
– zaprawy do tynków pocienionych (mineralne i mineralno-polimerowe),
– zaprawy do tynków szlachetnych,
– zaprawy specjalne, np. zwiększające przyczepność, lekkie i ciepłochronne,
– konserwatorskie (do uzupełniania ubytków murów, wykonywania odlewów, tynkarskie), zaprawy renowacyjne.

8.5.1. Suche zaprawy zwykłe

Są to zaprawy o spoiwie mieszanym, złożonym z wapna proszkowego i cementu portlandzkiego (również białego – do białych tynków), zawierające odpowiednio dobrany piasek lub kruszywo o uziarnieniu od 1 do 4 mm, mączki mineralne np. marmurowe, wapienne oraz domieszki wpływające na urabialność i przyczepność, także często barwniki – po zmieszaniu z wodą są gotowe do użycia. Rozróżnia się zaprawy tynkarskie, murarskie oraz uniwersalne, stosowane i do murowania i tynkowania o szerszym zakresie klas w odniesieniu do normy PN-B-10104 (tablica 8.6). Mieszanki są pakowane w worki papierowe, pojemniki, przy większych dostawach dostarczane są luzem. Należy je bezwzględnie chronić przed dostępem wilgoci. Czas ich składowania nie powinien przekraczać 3 miesięcy. Zaprawy te umożliwiają kształtowanie dowolnej faktury powierzchni tynku, która może być biała lub barwna, nie wymagająca malowania. Tynki z suchych zapraw wykazują właściwości hydrofobowe i mogą być stosowane na elewacjach budynków oraz w miejscach, gdzie występuje większe nawet zawilgocenie.

Przykłady wyglądu faktur tynków wapiennych uzyskiwanych z zapraw o różnym uziarnieniu kruszywa przedstawiono na rys. 8.1 i 8.2.

Rys. 8.1. Gruba i chropowata faktura tynku wapiennego uzyskana z zaprawy o kruszywie gruboziarnistym [25]

Rys. 8.2. Delikatna faktura tynku wapiennego uzyskana z zaprawy drobnoziarnistej [25]

8.5.2. Suche zaprawy mineralne do tynków pocienionych

Jest to grupa zapraw do wykonywania tynków cienkowarstwowych tzw. pocienionych, według normy PN-EN 998-1 do wypraw o grubości 1 do 3 mm. Zaprawy są produkowane przy użyciu cementu, wapna hydraulicznego lub suchogaszonego lub ich mieszaniny oraz starannie dobranych kruszyw wypełniających i fakturujących, a ponadto dodatków modyfikujących. Tynki uzyskane z tych zapraw charakteryzują się dużą trwałością, bardzo dobra przepuszczalnością pary wodnej i dwutlenku węgla, dużą zdolnością oddawania wilgoci. Dostarczane są w postaci suchych mieszanek do zarabiania wodą na budowie. Są wykorzystywane jako wyprawy w systemach bezspoinowego ocieplania ścian oraz jako zewnętrzne wyprawy tynków zwykłych, lekkich i ciepłochronnych.

Tablica 8.7.

Przykłady gotowych, suchych mieszanek zwykłych zapraw wapiennych, cementowo-wapiennych i wapienno-cementowych dostępnych w handlu (worki 25-30 kg)

L.p.	Rodzaj suchej zaprawy	Charakterystyka, zakres stosowania
	Zaprawy uniwersalne	
1.	Wapienno-cementowa	**M2,5**; zaprawa tradycyjna przeznaczona do murowania ścian z cegieł, pustaków ceramicznych i betonowych oraz innych elementów murowych wewnątrz i zewnątrz budynków; także do wykonywania tynków tradycyjnych
2.	Cementowo-wapienna	**M5**; zaprawa tradycyjna, uwagi jw.
3.	Cementowo-wapienna	**M4** i **M7**; zaprawa przeznaczona do murowania ścian nadziemnych nośnych, filarów nośnych, murów, łuków, sklepień narażonych na obciążenia oraz do wykonywania tynków zewnętrznych
4.	Cementowo-wapienna	**M2**; zaprawa przeznaczona do murowania ścian nadziemnych nośnych i do wykonywania tynków wewnętrznych i zewnętrznych
5.	Cementowo-wapienna	**M0,6** i **M1**; zaprawa do murowania fundamentów i do wykonywania tynków zewnętrznych
	Zaprawy tynkarskie zewnętrzne	
6.	Cementowo-wapienna	**M5**; do ręcznego wykonywania tynków szarych, jako podkład pod tynki dekoracyjne, uziarnienie do 1,6 mm
7.	Cementowo-wapienna	**M3,5**; do maszynowego i ręcznego wykonywania tynków szarych (też wewnątrz), zalecana grubość jednej warstwy ok. 15 mm, całkowita grubość tynku dwuwarstwowego nie więcej niż 35 mm, uziarnienie do 1,6 mm
	Zaprawy tynkarskie wewnętrzne	
8.	Wapienna	**M 1,5**; do maszynowego wykonywania tynków z zaleceniem do ścian z nasiąkliwych elementów murowych (z betonu komórkowego, silikatów), bez potrzeby gruntowania podłoża lub stosowania obrzutki, wskazana grubość warstwy tynku powyżej 10 mm, uziarnienie do 0,4 mm
9.	Wapienno-cementowa	**M2**; do maszynowego wykonywania białych tynków cienkowarstwowych, zalecana jako zewnętrzna warstwa w tynkach wielowarstwowych; grubość jednej warstwy tynku od 2 do 5 mm, nie więcej niż 10 mm, uziarnienie do 0,5 mm
10.	Wapienno-cementowa	**M2,5**; do maszynowego i ręcznego wykonywania białych tynków jednowarstwowych na różnych podłożach, bez potrzeby gruntowania lub stosowania obrzutki, zalecana grubość powyżej 10 mm, uziarnienie do 1,6 mm
11.	Cementowo-wapienna	**M2,5**; do ręcznego wykonywania tynków, również w cienkiej warstwie, uziarnienie do 1,6 mm

8.5.3. Suche zaprawy do tynków szlachetnych

Jako gotowe, suche mieszanki produkowane są również zaprawy do tynków szlachetnych. Stanowią one mieszaninę cementu, wapna suchogaszonego, mączek kamiennych oraz dodatków – modyfikujących, barwiących (do 5% masy suchej mieszanki) i dekoracyjnych w postaci np. miki, szkła mielonego, masy perłowej (w ilości do 3%, w tym miki nie więcej niż 0,3%).

8.5.4. Zaprawy specjalne

8.5.4.1. Zaprawy zwiększające przyczepność

Są to nowe formuły zapraw cementowo - wapiennych zwiększających przyczepność mieszanek tynkarskich do podłoża. Zaprawy te stosowane są pod tynki i do szpachlowania podłoży, jako cienkowarstwowe tynki renowacyjne i elewacyjne, jako warstwy zapewniające przyczepność i do szpachlowania powierzchni betonowych.

W skład zapraw, wytwarzanych fabrycznie w postaci suchych mieszanek, wchodzą: wapno, cement, piasek, dodatki oraz włókna przeciwdziałające skurczowi. Zaprawy te można stosować również jako klej mineralny do mocowania płyt styropianowych i z polistyrenu wytłaczanego (ekstrudowanego), do mocowania płytek ceramicznych, łączenia elementów z betonu komórkowego, cegieł silikatowych itp.

8.5.4.2. Zaprawy lekkie i ciepłochronne

W formule suchych zapraw z udziałem spoiwa wapiennego zostały opracowane też lekkie zaprawy murarskie i tynkarskie o podwyższonych właściwościach cieplnych oraz zaprawy ciepłochronne o wysokich właściwościach termoizolacyjnych.

Zaprawy lekkie wykonywane są najczęściej na spoiwach cementowo-wapiennych, z dodatkiem mineralnych kruszyw lekkich, głównie perlitu i mikrosfer (najlżejsze frakcje popiołów lotnych). Zaprawy te powinny posiadać gęstość objętościową poniżej 1500 kg/m^3. Zaprawy lekkie murarskie służą do łączenia porowatych elementów murarskich – z betonów lekkich kruszywowych (np. keramzytobetonu), betonu komórkowego, ceramiki poryzowanej. Zaprawy lekkie tynkarskie przeznaczone są do wykonywania wypraw zewnętrznych i wewnętrznych na podłożach z wymienionych wyżej materiałów. Dzięki właściwie dobranym składom zaprawy te charakteryzują właściwości dostosowane do właściwości materiału podłoża:

– gęstość objętościowa w stanie suchym 600 – 1300 kg/m^3,
– współczynnik przewodności cieplnej λ 0,25 – 0,30 W/(m·K),
– współczynnik rozszerzalności liniowej cieplnej 0,5–0,8·10^{-5}/K,
– nieduża wytrzymałość na ściskanie 2,5–5 MPa,

– niski współczynnik oporu dyfuzyjnego μ = 10–15, zapewniający dobrą paroprzepuszczalność (μ cegły ceramicznej 10; gazobetonu 2,5; tynku polimerowego 300).

Zaprawy ciepłochronne (termoizolacyjne, ocieplające) stanowią szczególną odmianę zapraw lekkich. Produkowane są w postaci suchych mieszanek cementu portlandzkiego, wapna suchogaszonego, lekkich wypełniaczy perlitowych lub granulatu styropianowego (wypełniacz stanowi około 80% objętości mieszanki), domieszek modyfikujących, nie zmieniających mineralnego charakteru materiału. Mikroporowata struktura zaprawy powoduje lepszą stabilność plastyczną i doskonałą urabialność. Zaprawy charakteryzuje zmniejszony moduł sprężystości, zwiększona wytrzymałość na rozciąganie, co wpływa na szczególną odporność na powstawanie rys. Pełnią funkcję izolacji termicznej ścian budynków – głównie w systemach ocieplających ściany zewnętrzne bez wykorzystywania płyt z materiałów termoizolacyjnych (np. styropianu, wełny mineralnej). Grubość tynku ciepłochronnego może dochodzić do 10 cm. Korzyści ze stosowania tego rodzaju zapraw wynikają ze zmniejszenia współczynnika przenikania ciepła U ścian, przy równoczesnym zapewnieniu dobrej paroprzepuszczalności ($\mu \leq 10$) i odporności warstwy zaprawy na zawilgocenie. Współczynnik λ zaprawy kształtuje się tu w granicach 0,07–0,15 W/(m·K). Zaprawy ciepłochronne nanosi się jako tynki podkładowe. Przed naniesieniem tynku wierzchniego, tynk ocieplający musi być dobrze związany i w dużym stopniu wyschnięty.

Zaprawy lekkie i ciepłochronne tworzą systemy tynków termoizolacyjnych bazujących na spoiwie cementowo-wapiennym. System takich tynków składa się na ogół z trzech warstw:

– warstwa pierwsza, obrzutka, nanoszona na podłoże, o przykładowym składzie proporcji objętościowej: 1 cześć cementu portlandzkiego 32,5 + 0,5 części wapna suchogaszonego + 4 części ostrego piasku o uziarnieniu 0–4 mm; grubość warstwy 4–5 mm;
– warstwa druga, z zaprawy ciepłochronnej o właściwościach: gęstość objętościowa 250 kg/m^3, współczynnik przewodności cieplnej 0,064 W/(m·K), współczynnik oporu dyfuzyjnego μ=10, wytrzymałość na ściskanie 0,6 MPa, na rozciąganie 0,5 MPa;
– warstwa trzecia wierzchnia, fakturowa, na spoiwie mineralnym, o paroprzepuszczalności odpowiadającej warstwie ocieplającej.

8.5.4.3. Zaprawy konserwatorskie

Wapno od dłuższego czasu przeżywa swój renesans w problematyce konserwatorskiej, zwłaszcza w konserwacji murów ceglanych i kamiennych, w renowacji starych obiektów historycznych. Powtórne przypomnienie i zrozumienie roli pełnionej przez zaprawy wapienne w wiązaniu, spoinowaniu murów oraz w wyprawach tynkarskich jest swoistym odkrywaniem zasad znanych i przestrzeganych przez stulecia, a które straciły znaczenie wraz z postępem technicznym. Już w końcu XVIII wieku autor książki „Budowanie wieyskie" ks. Piotr Świtkowski pisał „Wapno duszą jest prawie trwałego budo-

wania", podkreślając wielkie znaczenie wapna w robotach budowlanych, jednocześnie wykazywał szereg uchybień w sztuce sporządzania i stosowania zapraw. W celu prawidłowego wykorzystania zalet spoiw wapiennych do celów konserwatorskich ustanawiane są specjalne międzynarodowe programy badawcze (np. Eurolime), które już pozwoliły zbadać skład i właściwości dawnych zapraw, opracować metody napraw tynków i murów w obiektach zabytkowych.

Rozwój technologii cementowych, a w drugiej połowie XX wieku fascynacja polimerami (np. żywicami epoksydowymi) spowodowały, że materiały te niewłaściwie stosowane w pracach konserwatorskich do napraw substancji zabytkowej – różniąc się znacznie swymi właściwościami w stosunku do naprawianych materiałów (np. większymi: szczelnością, wytrzymałością, rozszerzalnością cieplną) – były przyczyną zniszczenia wielu obiektów o dużej wartości historycznej.

Dobre materiały przeznaczone do prac konserwatorskich, to materiały posiadające właściwości fizyczne i mechaniczne zbliżone do odnawianych materiałów budowlanych. W nowych formułach zapraw opracowanych do tych celów stosuje się obok cementu portlandzkiego białego jako zasadniczy składnik wapno suchogaszone, a także na ogół dodatki polimerów, modyfikujące odpowiednio właściwości zapraw, starannie dobierane – np. kopolimer polioctanu winylu i estru winylowego kwasu wersenowego (sproszkowane żywice redyspergowalne), związki metylocelulozy oraz kruszywo, jak piaski kwarcowe, mączki kwarcowe, wypełniacze dolomitowe itp. W zależności od przeznaczenia dodawane są też barwniki. Obecność polimerów w składzie zaprawy w ograniczonej (regulowanej) ilości pozwala poprawić przyczepność zaprawy do podłoża i jednocześnie zwiększyć jej odporność na działanie niszczących czynników zewnętrznych. Do napraw wzmacniających i konserwacji starych zabytków stosuje się coraz częściej zaprawy wapienne z dodatkami z uwagi na poprawę odporności zapraw na działanie czynników atmosferycznych. Składy zapraw konserwatorskich (według badań europejskich i kanadyjskich programów dot. zapraw wapiennych) uwzględniają wprowadzanie domieszek – np. napowietrzających, które zwiększają odporność na działanie mrozu.

Zaprawy zawierające duże ilości cementu portlandzkiego, takie, jak stosowane w budownictwie nowoczesnym, nie są wskazane do prac konserwatorskich, ze względu na swą zbyt dużą szczelność i sztywność. Zalecane są zaprawy bardziej odkształcalne i bardziej porowate, dopasowujące się lepiej do ruchów murów i pozwalające szybciej odsychać murom.

Z programów badawczych Eurolime wynika, że należy unikać w zaprawach stosowania cementu w ilości mniejszej niż proporcje objętościowe cement:wapno:piasek jak 1: 3:12. Stwierdzono, że dodawanie niewielkich ilości cementu do zapraw wapiennych ma negatywny wpływ na wytrzymałość i trwałość zapraw. Badania kanadyjskie zalecają stosowanie dość słabych zapraw w proporcji 1 : 2 : 8, z domieszkami napowietrzającymi wpływającymi na dobrą mrozoodporność.

Wśród obecnych na polskim rynku budowlanym zapraw typu konserwatorskiego mających w swym składzie wapno, można wymienić na przykład:

– *zaprawy przeznaczone do uzupełniania* ubytków w cegle, piaskowcu i innych kamieniach naturalnych – o wytrzymałości na ściskanie 13–14 MPa, nasiąkliwości masowej 10–11%,
– *zaprawy do uzupełniania ubytków spoin oraz cegieł o niskiej wytrzymałości* – o wytrzymałości na ściskanie 3 MPa, nasiąkliwości masowej 13%.

8.5.4.4. Zaprawy do tynków renowacyjnych

Tynki renowacyjne, stanowią stosunkowo nowe rozwiązania materiałowo-technologiczne, przeznaczone do odnawiania zawilgoconych lub zasolonych murów. Jednym z rozwiązań tych tynków jest system, w którym sole z muru odkładają się w wewnętrznych warstwach i nie przedostają się na powierzchnię. Wymagane tu właściwości tynku – takie, jak wysoka przepuszczalność pary wodnej, duża porowatość i ograniczona możliwość ruchu kapilarnego wody, umożliwiające krystalizację soli we wnętrzu wyprawy bez jej uszkodzenia – są zapewnione przez obecność wapna w zaprawie. Do układania tynków renowacyjnych stosowane są suche mieszanki zapraw, zawierające jako spoiwo najczęściej wapno suchogaszone lub hydrauliczne, cement portlandzki biały (lub hutniczy), niekiedy dodatek w postaci mielonego żużla granulowanego oraz domieszki chemiczne o działaniu plastyfikująco-napowietrzającym, hydrofobizującym i retencyjnym. Jako kruszywo stosuje się piaski zwykłe lub uszlachetnione o uziarnieniu 0–2 mm. Obok piasku można stosować perlit, wermikulit, trachit, styropian. Wytwarzane są też zaprawy czysto wapienne, zalecane szczególnie do wiernego restaurowania budowli historycznych. Wapienny tynk renowacyjny ma tę zaletę, że nie powstają w nim naprężenia i spękania. Stosowanie wapna i odpowiedni dobór kruszywa zapewniają tynkom renowacyjnym paroprzepuszczalność, która jest tu wymagana i oznaczana wielkością względnego oporu dyfuzyjnego powinna mieć wartość nie większą niż niż $S_d = 0{,}2$ m (względny opór dyfuzyjny jest interpretowany jako grubość warstwy nieruchomego powietrza, wykazującą taki sam opór dyfuzji pary wodnej, jak warstwa materiału o grubości *d* wyrażona w metrach). Poza tym zaprawy do tynków renowacyjnych powinny pod względem cech technicznych odpowiadać wymaganiom dla zapraw budowlanych zwykłych i tynków zwykłych oraz ponadto spełniać wymagania w zakresie zdolności pochłaniania i magazynowania soli oraz odporności na ich działanie.

9. KORZYSTNY WPŁYW WAPNA NA MIKROKLIMAT POMIESZCZEŃ, TRWAŁOŚĆ BUDOWLI I WYPRAW

Zaprawy wapienne oraz mieszanki budowlane sporządzane z odpowiednim udziałem wapna, jak już wspominano, wywierają korzystny wpływ na kształtowanie zdrowotnych warunków mieszkaniowych w pomieszczeniach budynków – zarówno przy stosowaniu ich w charakterze zapraw tynkarskich wewnętrznych i zewnętrznych, jak i zapraw murarskich.

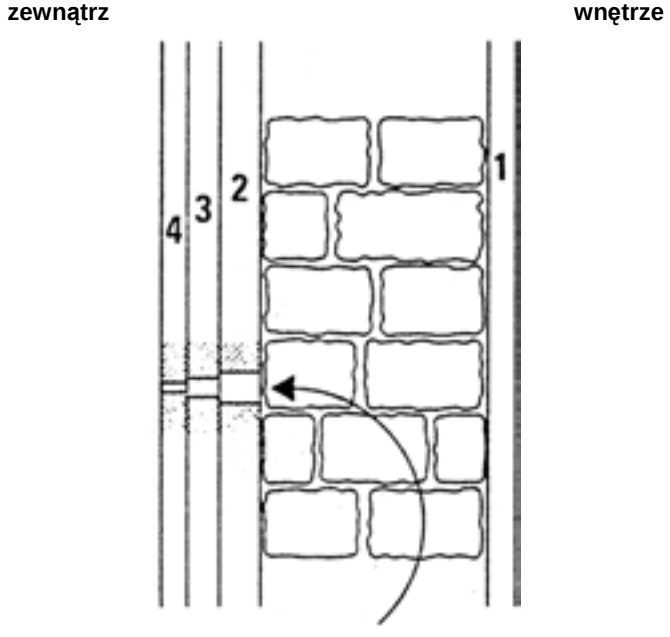
Zaprawa wapienna łatwo wchłania i oddaje parę wodną, a przy nie za dużej porowatości przeciwstawia się wnikaniu spływającej wody. Przepuszczalność pary wodnej przez wapienne tynki i spoiny w murach, nie dopuszczając do gromadzenia się w ścianie wilgoci, z jednej strony umożliwia powstawanie korzystnego dla ludzi mikroklimatu wewnętrznego, a z drugiej strony przyczynia się do lepszej współpracy tynku (lub spoiny murarskiej) z podłożem tj. z materiałem ściany, co skutkuje zwiększeniem trwałości i tynku i muru. Niszczenie tynku i muru występuje, jak wiadomo, w przypadku stosowania tynków szczelnych i sztywnych np. cementowych. Tynki cementowe, o większej wytrzymałości i małej porowatości, położone na murach ceglanych niszczeją znacznie szybciej od tynków wapiennych. Niewielka nasiąkliwość tynków cementowych chroniąca przed wnikaniem wody z atmosfery do wnętrza muru, jednocześnie stanowi przeszkodę przy przenikaniu wilgoci z muru na zewnątrz. Stwarza to duże zagrożenie – wyroby ceramiczne jako porowate pochłaniają wodę z wnętrza budynku (lub z innych źródeł), woda ta przemieszcza się stopniowo na powierzchnię zewnętrzną ściany – w przypadku, gdy nie ma tynku, woda z powierzchni odparowuje i nie występują żadne szkodliwe zjawiska. Podobnie dzieje się, gdy tynk ma zbliżoną porowatość i nasiąkliwość. W przypadku natomiast, gdy mur ceglany pokryty jest tynkiem cementowym o małej porowatości, woda przenikająca z wnętrza gromadzi się i skrapla pod powierzchnią tynku, na zewnętrznych powierzchniach ceramiki. W warunkach obniżonej temperatury, woda ta zamarza i zwiększając swą objętość powoduje odspajanie nawet najsilniejszej zaprawy, bardzo często z częścią ceramiki. Odpadanie tynku jest tym szybsze, im mocniejsza jest wyprawa tynkowa. Niszczeniu ulega nie tylko tynk, ale i materiał muru. Z tego też względu duża ostrożność powinna być zachowana przy kładzeniu tynków z żywic syntetycznych, o dużej przyczepności, ale wyższej od oryginalnego materiału budowlanego wytrzymałości i często zbyt szczelnych, uniemożliwiających dyfuzję pary wodnej. Przy dostępie wilgoci do muru (woda opadowa, kondensacyjna, gospodarcza) tynk powinien

być porowaty w takim stopniu, w jakim porowate i nasiąkliwe jest podłoże, czyli materiał muru.

Tynki wapienne mając strukturę drobno porowatą, położone na materiały o większej porowatości (np. na grubo porowate materiały ceramiczne, gazobeton) wykazują większą kapilarność i pełnią rolę systemu drenującego – ściągają wodę z muru na zewnątrz, a także nie pozwalają na przechodzenie wody deszczowej do muru. Woda pozostając wówczas w warstwie tynku, łatwiej może odparować i nie gromadzi się w ścianie. W przypadku odwrotnym zawilgoceniu ulegałby mur, co nie jest wskazane. Podobne działanie drenujące ma zaprawa wapienna w spoinach muru, między elementami ściany – przez sieć spoin ściąga wodę z muru i odprowadza ją na zewnątrz. Dzięki temu jest „oszczędzany" materiał konstrukcyjny muru, niekiedy kosztem zaprawy, którą jednak znacznie łatwiej jest wymienić, aniżeli elementy muru. Zaprawy wapienne nie narażone na silniejsze działanie opadów, wilgoci lub czynników chemicznych, są trwałe, z biegiem lat stają się mocniejsze.

Korzystne oddziaływanie tynku wapiennego na mikroklimat budynku przez niedopuszczenie do długotrwałego zawilgocenia muru wynikać powinno zatem z odpowiedniej struktury kolejnych warstw tynku. Zależy od prawidłowego wykonawstwa i przestrzegania obowiązujących tu zasad. Pierwsza z tych zasad, którą przedstawiono wyżej, wymaga, aby ze względów technicznych, tynk był słabszy od podłoża. Druga zasada wymaga, aby każda kolejna warstwa tynku miała wytrzymałość mniejszą od poprzedniej. Ważne jest przestrzeganie odpowiednio długiego czasu odsychania kolejnych warstw tynku. Zasadą wykonywania tynków zewnętrznych, mającą na celu zmniejszenie wpływów zawilgocenia, zwłaszcza w części przyziemia (strefa cokołowa), jest stosowanie takiego układu warstw tynku, w którym warstwa z drobnymi porami jest nakładana na warstwę z porami większymi. Pozwala to na względnie szybkie odprowadzanie na zewnątrz wilgoci wnikającej do wyprawy tynkarskiej, na zasadzie mechanizmu przemieszczania się wody z kapilar większych do mniejszych. Pracę tynku wapiennego, w zakresie regulacji wilgoci w murze wyjaśnia rysunek 9.1. Przedstawia on tynk z wapna hydraulicznego, wykonany w systemie trzech warstw o malejącej porowatości w kierunku zewnętrznej powierzchni muru, mający zmniejszać zawilgocenia tynku strefy przyziemia [18].

Właściwe cechy techniczne tynków wapiennych i wynikające stąd działanie zdrowotne materiału, zależy też od przestrzegania ogólnych wskazań prowadzenia robót tynkarskich – ważne są tu odpowiednie warunki zewnętrzne, w szczególności: temperatura podłoża nie mniejsza niż 5^{o}C, temperatura zewnętrzna od 5 do 30^{o}C, ochrona nakładanego tynku przed wiatrem i bezpośrednim działaniem słońca, odpowiednia pora roku dla robót tzn. wiosna i jesień.



Rys. 9.1. Struktura tynku wapiennego trójwarstwowego o malejącej porowatości warstw:
1 – tynk gruboporowaty,
2 – tynk z kruszywem 0–5 mm,
3 – tynk z kruszywem 0–3 mm,
4 – gładź, kruszywo 0 – 2 mm o dobranej krzywej uziarnienia.

Na tworzenie zdrowego mikroklimatu w pomieszczeniach wykończonych tynkiem wapiennym (czy farbami wapiennymi) wpływa również posiadany przez wapno odczyn zasadowy, który zabezpiecza pokryte powierzchnie przed rozwojem grzybów, pleśni i flory bakteryjnej, daje właściwości bakteriobójcze, odstrasza robactwo.

W aspekcie zdrowotności pomieszczeń, korzystne jest wprowadzanie do zapraw i betonów w miarę możliwości wapna jako domieszki uplastyczniającej – naturalnej, nieszkodliwej, bakteriobójczej, zamiast domieszek chemicznych nie zawsze obojętnych dla zdrowia, z uwagi na występującą niekiedy emisję substancji toksycznych (np. formaldehydu z domieszek upłynniających typu SMF – sulfonowana melamina z formaldehydem, SNF – sulfonowany naftalen z formaldehydem).

Kończąc ten rozdział, można by powiedzieć: im więcej wapna w budynku, tym dla użytkowników zdrowiej.

10. PROBLEM WYKWITÓW NA POWIERZCHNIACH ŚCIAN

Jednym z niepożądanych zjawisk występujących niekiedy na powierzchniach murów, również tynkowanych, są różnego rodzaju wykwity i naloty, a także obserwowany ostatnio dość często rozwój glonów, grzybów i mchów na elewacjach budynków. Problem powstawania wykwitów występuje od bardzo dawna i poświęcono mu już wiele uwagi.

10.1. Przyczyny powstawania wykwitów

Zjawisko tworzenia się wykwitów jest następstwem wielu czynników i szczególnych uwarunkowań obiektu budowlanego, ale zawsze musi tu występować woda obecna w murze i rozpuszczona w niej sól odpowiednich substancji. Woda zawierająca sole wędrując przez mur, kieruje się ku jego powierzchni, gdzie odparowuje pozostawiając osad w postaci wykwitu lub nalotu krystalizującej soli. Wykwity powstają na ogół na zewnętrznych powierzchniach budynków, ale mogą też tworzyć się wewnątrz, gdy zaburzony jest ruch wilgoci w ścianie w kierunku na zewnątrz, co może występować przy dużym zawilgoceniu ścian i ich uszczelnieniu od zewnątrz (np. wadliwe rozwiązanie ocieplenia ścian, przemarzanie ścian).

Podstawową przyczyną pojawiania się nalotów i wykwitów, a także mikroorganizmów, na powierzchniach murów jest zawilgocenie muru, w przypadku tynków – ich wykonywanie na zawilgoconych ścianach lub później pojawiające się trwałe zawilgocenie muru.

Źródła wilgoci zawartej w murze bywają bardzo różne: woda gruntowa, woda opadowa, kondensacyjna, woda przechodząca z wnętrza budynku. Pojawienie się wody w murze i trwałe zawilgocenie ścian może być z kolei spowodowane: błędami rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych obiektu, brakiem lub wadliwą izolacją przeciwwilgociową, uszkodzeniem lub brakiem drenażu wokół budynku, niewłaściwą jakością użytych materiałów, nieumiejętnym ich doborem, niestarannym wykonawstwem budowlanym itp.

Źródłem soli tworzących wykwity na murach mogą być: materiały elementów murowych (ceramiczne, z lekkich betonów kruszywowych, gazobetonu, kamienia), użyte zaprawy, inne materiały stosowane w konstrukcji, zanieczyszczenia wody dostającej się do ścian.

Bezpośrednią przyczyną powstawania wykwitów są zatem obecne w wodzie zanieczyszczenia w postaci łatwo w niej rozpuszczalnych soli, które dostały się z wymienio-

nych wyżej źródeł – najczęściej z elementów murowych, z zaprawy cementowej, z wody gruntowej, opadowej czy zanieczyszczonej mgły. Solami tymi są głównie *siarczany sodu, potasu, magnezu, wapnia, amonu, krzemiany sodu, węglany sodu i wapnia, a także chlorki i azotany*. Krystalizują na powierzchni muru tworząc naloty, ale także mogą powodować trwałe uszkodzenia i zniszczenia materiałów (tynków, muru).

10.2. Zaprawa i beton jako źródło wykwitów

W prowadzonych długoletnich badaniach nad wykwitami w kanadyjskim Instytucie Badań Budowli [15] stwierdzono, że tworzenie się wykwitów na murach jest mniej lub bardziej związane z użytą zaprawą budowlaną. Zauważono, że przy stosowaniu niektórych cegieł i zapraw nie obserwuje się powstawania wykwitów, natomiast przy tych samych cegłach, ale innej zaprawie wykwity pojawiają się na murze. Badania wykwitów wykazały przeważającą w nich zawartość siarczanów sodu i potasu, co pozwala wnioskować o ich pochodzeniu z cementu portlandzkiego. Zastąpienie w zaprawie wapna cementem zwiększa intensywność wykwitów, w zależności od ilości cementu oraz zawartych w nim związków sodu i potasu (alkaliów). Wykazano też wpływ struktury elementów muru – np. przy stosowaniu cegieł o dużej chłonności wody i zaprawy o dużej zawartości cementu występuje silna skłonność do powstawania wykwitów, natomiast przy tej samej zaprawie i cegłach o mniejszej chłonności wody, zjawisko wykwitów na powierzchni ulega znacznemu ograniczeniu lub nie występuje.

Wykwity na murach powstają często w miejscach murów przylegających do konstrukcji lub elementów betonowych. Zawarte w betonie związki rozpuszczalne, pod wpływem nawilżania wodą opadową, migrują w materiał sąsiedniej ściany, bardziej porowatej i tam według opisanego niżej mechanizmu tworzą na powierzchni muru naloty. Siarczany wapnia w środowisku cementu (obecnych w nim soli glinu) – zaczynu, zaprawy, betonu – mogą tworzyć silnie zwiększający swą objętość *ettringit* $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ (sól Candlota, bakcyl cementowy), który z kolei może powodować destrukcję tynku i ściany.

10.3. Mechanizmy powstawania wykwitów

Woda, która dostaje się do wnętrza muru, powoduje rozpuszczanie soli i wędrówkę roztworów ku powierzchni. Na powstawanie i intensywność wykwitów wpływa szczególnie wilgotność okresowa i zmiany temperatury. Nasilenie powstawania wykwitów obserwuje się w okresie zimowym, zmniejszenie na wiosnę. W innych porach roku wykwity mogą znikać z murów. Parowanie wody zawartej w budowli zmienia się bowiem, jak wiadomo, w poszczególnych porach roku: w lecie bywa duże i sole rozpuszczalne odkładają się raczej wewnątrz muru, a nie na jego powierzchni, natomiast zimą parowanie jest znacznie mniejsze, woda z roztworami kieruje się ku zewnętrznej powierzchni muru i parując pozostawia na niej naloty krystalicznych soli o specyficznym wyglądzie – np. siarczan sodu daje puszysty nalot, siarczanu potasu tworzy nalot szklisty. Występuje

też drugie zjawisko znacznie bardziej szkodliwe, powodujące rozsadzanie elementów muru, odspajanie tynku, przy krystalizacji soli zwiększających swą objętość.

Zmiany objętości soli są szkodliwe zwłaszcza, gdy przechodzą one z jednej do drugiej postaci krystalizacyjnej, w zależności od wiązania mniejszej lub większej ilości wody krystalizacyjnej, na co wpływa temperatura otoczenia. Na przykład siarczan sodu Na_2SO_4 w temperaturze poniżej 32,5^oC krystalizuje z 10 cząsteczkami wody $Na_2SO_4.10H_2O$, co zwiększa czterokrotnie objętość cząsteczki, a w temperaturze powyżej 32,5^oC przechodzi w sól bezwodną– w zależności zatem od warunków atmosferycznych kryształy tej soli mogą być raz w postaci uwodnionej, innym razem nie uwodnionej. W wyniku zmian temperatury mogą występować wykwity, ale też pękanie, kruszenie i odpryskiwanie materiału zaprawy i muru. Podobne działanie ma siarczan magnezu $MgSO_4$ obecny w materiale ściany np. w cegłach ceramicznych – przy krystalizacji znacznie zwiększa swą objętość, tworzy $MgSO_4$. $7H_2O$ i ponadto może reagować z wapnem zaprawy tworząc pod powierzchnią cegieł galaretowaty osad wodorotlenku magnezowego oraz siarczan wapnia (gips), według reakcji:

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + Mg(OH)_2$$

Związki te działają rozsadzająco na wyroby ceramiczne, odspajają tynk.

Dwutlenek węgla z atmosfery w warunkach dużej wilgoci otoczenia tworzy kwas węglowy, który może przekształcać węglan wapnia $CaCO_3$ z powierzchni tynków wapiennych w łatwiej rozpuszczalny wodorowęglan wapnia $Ca(HCO_3)_2$ – tworzący białawy nalot, wypłukiwany z biegiem czasu z powierzchni ściany:

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

Wreszcie tlenek siarki SO_2, obecny w powietrzu miejskim i rejonów uprzemysłowionych, tworząc z wodą kwas siarkowy działa na wapno z wytworzeniem dwuwodnego siarczanu wapnia, związku o zwiększonej objętości:

$$CaCO_3 + H_2SO_4 + H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2$$

Wystąpienie wykwitów na powierzchniach z zapraw wapiennych jest zatem możliwe w przypadku oddziaływania na nie czynników zewnętrznych – niektórych soli pochodzących głównie z zawilgoconego muru, z zaprawy cementowej, kwaśnych substancji z atmosfery.

Należy podkreślić, że czyste chemicznie spoiwa wapienne są pozbawione soli rozpuszczalnych i składników potencjalnie aktywnych (np. gipsu, cementu) i nie stanowią źródła powstawania wykwitów na powierzchni ścian. Przeciwnie, wapno wstrzymuje ich powstawanie poprzez swoje zdolności samozasklepiania rys, utrudniając tym wnikanie szkodliwych substancji i w pewnym sensie izolując się od nich.

Zaprawa wapienna przy suchej przegrodzie ściennej, dobrym wykonaniu zaprawy i właściwym przeprowadzeniu robót murarskich czy tynkarskich, nie sprzyja powstawaniu

na niej wykwitów, a tym bardziej, ze względu na wysoką alkaliczność, nie sprzyja rozwojowi na niej pleśni, glonów czy grzybów.

Środkiem zaradczym przeciw tworzeniu się wykwitów na tynkach jest przede wszystkim prawidłowe wykonywanie hydroizolacji fundamentów budynku i murów (izolacji pionowych i poziomych), a w przypadku zawilgocenia muru odcięcie dostępu wody powodującej zawilgocenie i doprowadzenie do osuszenie muru. Postępowaniem prowadzącym do osuszenia muru jest np. usunięcie uszkodzeń drenażu gruntu przylegającego do muru, zapewnienie poziomej izolacji przeciwwilgociowej, zaizolowanie złączy między murem a elementami betonowymi itp. W celu uniknięcia występowania wykwitów należy stosować odpowiednio dobrane materiały budowlane – zaprawy wapienne, cementy o niskiej zawartości alkaliów. Należy właściwie składować elementy murowe, aby nie uległy zawilgoceniu i zanieczyszczeniu solami z gruntu itd. W rozwiązaniu budynku przewidzieć okapy dachowe.

Usuwanie nalotów z wysuszonego już muru odbywa się przez szczotkowanie. Po całkowitym wyschnięciu ściany można ją pomalować odpowiednią farbą.

10.4. Szczególne przypadki

Stosowane obecnie szeroko cienkowarstwowe mineralne zaprawy tynkarskie barwione w masie, zawierające wapno, w początkowym okresie wiązania i twardnienia są wrażliwe na bezpośrednie zawilgocenie wskutek deszczu, mżawki, opadającej mgły, a także na zawilgocenie pośrednie, przy wilgotności względnej powietrza powyżej 80%. Okres ten może trwać od 2 do 3 dni przy temperaturze normalnej i wilgotności względnej ok. 50%, natomiast do 7 dni lub dłużej przy temperaturze obniżonej i dużej wilgotności otoczenia. W świeżo naniesionym tynku może wówczas lokalnie następować zmiana barwy oraz mogą tworzyć się naloty węglanu wapnia w wyniku reakcji niezwiązanego jeszcze wodorotlenku wapnia z dwutlenkiem węgla z powietrza. Jest to spowodowane zachowaniem się materiału w niekorzystnych dla niego warunkach cieplno-wilgotnościowych. Węglan wapnia przekształca się w wodorowęglan wapnia, który po pewnym czasie może być spłukany z powierzchni przez deszcze. Sposobem zaradczym jest tu zalecane obecnie wymalowanie tzw. egalizujące – to jest jednokrotne nałożenie na tynk specjalnej farby silikonowej lub krzemianowej, stosunkowo szybko po związaniu tynku (2–7 dni licząc od jego wykonania) [6]. Wymalowanie wyrównuje barwę tynku, zmniejsza wodochłonność zaprawy, nadaje właściwości samooczyszczania, a jednocześnie nie zmniejsza paroprzepuszczalności tynku.

11. STOSOWANIE WAPNA W PRODUKCJI BUDOWLANYCH ELEMENTÓW MUROWYCH

11.1. Wyroby wapienno-piaskowe (silikatowe)

Sposób produkcji prasowanej cegły wapienno-piaskowej przy użyciu wapna mielonego został ogłoszony w r. 1880 przez W. Michaelisa. Polega on na nawilżeniu mieszaniny wapna i piasku, zgaszeniu masy tj. zhydratyzowaniu wapna w masie, a następnie sprasowaniu jej z jednoczesnym uformowaniem elementów oraz autoklawizacji w gorącej parze wodnej. Stosowana do produkcji mieszanka składa się w ok. 90% mas. z piasku kwarcowego oraz w ok. 10% mas. z wapna palonego mielonego – wapno powinno wykazywać czas gaszenia nie dłuższy niż 20 minut oraz temperaturę gaszenia nie mniejszą niż 70^{o}C. Ilość dodawanej wody wynosi ok. 6%. Istotną cechą odróżniająca zaprawę wapienną w cegle wapienno-piaskowej jest jej stosunkowo duża wytrzymałość uzyskiwana w efekcie obróbki cieplnej w autoklawie. W warunkach autoklawizacji, pod działaniem nasyconej pary wodnej w temperaturze 170–200^{o}C i ciśnieniu 0,8–1,6 MPa, krzemionka piasku łączy się z wapnem, tworząc nierozpuszczalne krzemiany wapniowe (stąd nazwa *silikaty*), które spajają ziarna piasku w wytrzymały i zwarty materiał. Wyroby są białe, ale można barwić je dodatkiem pigmentów.

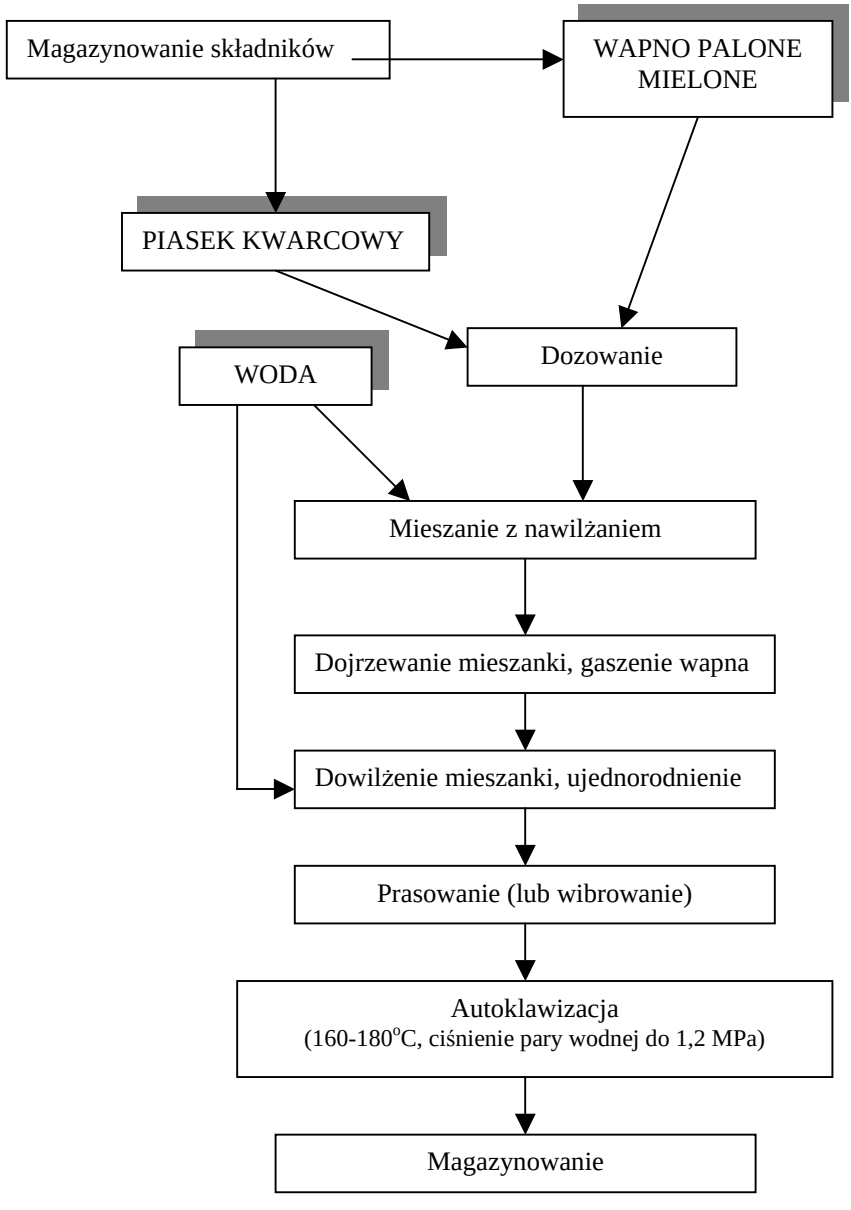
Produkowane są tu różnego rodzaju i wielkości elementy murowe, głównie cegły i bloki drążone nieprzelotowe, pustaki wentylacyjne, kształtki ścienne. Obok elementów o gładkich powierzchniach wytwarzane są też wyroby wapienno-piaskowe z fakturą łupaną, stosowane do wykonywania elewacji budynków, do budowy ogrodzeń.

Wyroby wapienno-piaskowe charakteryzuje duża wytrzymałość na ściskanie od 8 do 35 MPa, a możliwa do 60 MPa. Gęstość pozorna cegieł wynosi 1900 kg/m^3, a wyrobów drążonych 1400–1500 kg/m^3, nasiąkliwość do 6%, zaś współczynnik przewodności cieplnej dla cegieł 1,0 W/(m·K), zaś dla bloków drążonych 0,86 W/(m·K). We właściwym zastosowaniu z materiałami termoizolacyjnymi wyroby silikatowe umożliwiają wznoszenie ścian o współczynniku przenikania ciepła rzędu U = 0,25÷0,28 W/(m^2·K).

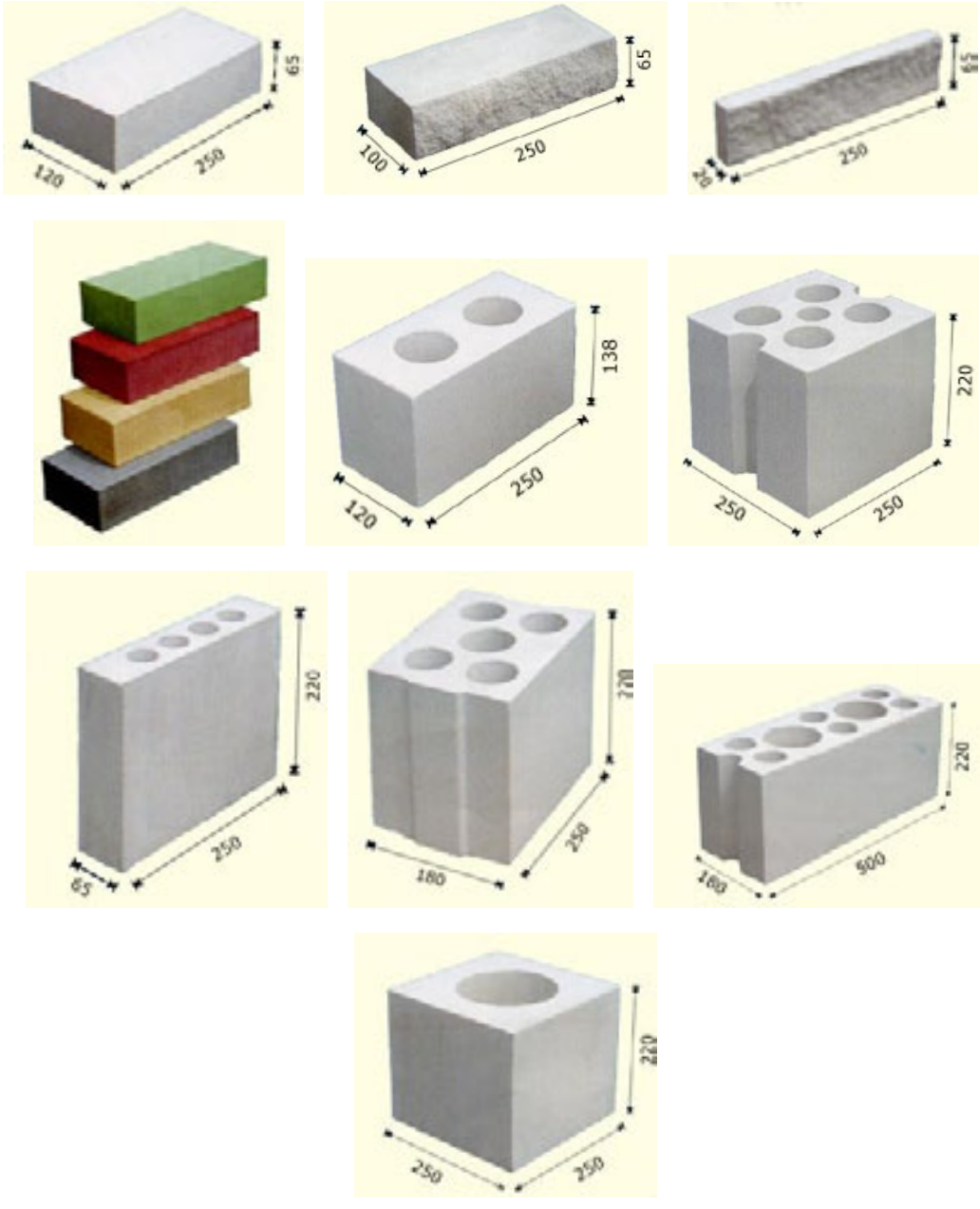
Producenci oferują obecnie systemy wyrobów wapienno-piaskowych, złożone z kompletu różnych elementów umożliwiających wznoszenie całego obiektu.

Wyroby silikatowe (rys. 11.2, 11.3) stosuje się do budowy ścian konstrukcyjnych w wielokondygnacyjnych budynkach, słupów w budownictwie mieszkaniowym, użyteczności publicznej, także przemysłowym. Obecnie produkowane wyroby mogą być stoso-

wane też do wykonywania ścian w gruncie. Są przydatne w budownictwie inwentarskim, gdzie wykazują dużą trwałość.



Rys. 11.1. Uproszczony schemat ideowy produkcji wyrobów wapienno-piaskowych



Rys. 11.2. Wyroby wapienno-piaskowe

Rys. 11.3. Budynek z wyrobów wapienno-piaskowych

11.2. Autoklawizowany beton komórkowy

Beton komórkowy został wyprodukowany po raz pierwszy w latach 20-ych ubiegłego stulecia, w Szwecji. Po II wojnie światowej jego technologia bardzo szybko przyjęła się i rozwinęła w Polsce. Jest to materiał lekki, o dobrych właściwościach termoizolacyjnych. Mieszanina, z której jest produkowany, zawiera następujące składniki:

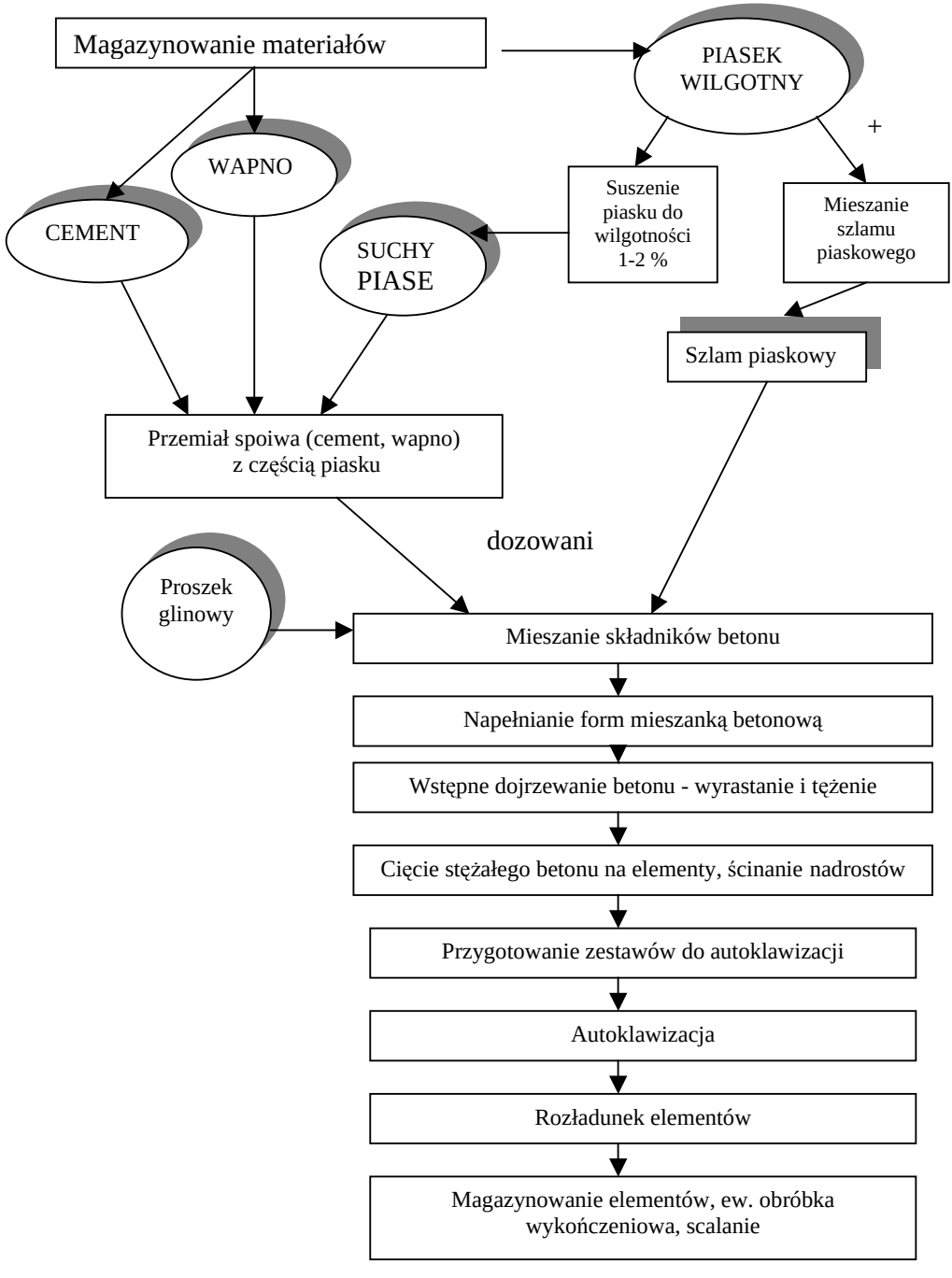
– spoiwo – najczęściej cement i wapno palone mielone,
– kruszywo drobne – piasek kwarcowy lub popioły lotne,
– wodę,
– dodatek gazotwórczy – proszek glinowy (aluminiowy) + substancja powierzchniowo-czynna.

Mieszanką tych składników wypełnia się formy, nadające jej jeszcze przed obróbką cieplną kształt bloków. W świeżej, jeszcze płynnej mieszance, proszek glinowy w środowisku zasadowym, jakie daje wapno, wytwarza gaz – wodór, według reakcji:

$$3Ca(OH)_2 + 2Al + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3H_2$$

Pęcherzyki wodoru powodują, że plastyczna mieszanka rośnie w formach, przy jednoczesnym wiązaniu i twardnieniu masy otaczającej pęcherzyki. Po wyrośnięciu i wstępnym dojrzewaniu, wilgotny półprodukt po opuszczeniu boków form, jest cięty na bloczki odpowiedniej wielkości i autoklawizowany.

Istnieje kilka podstawowych technologii produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego, czyli gazobetonu. Najbardziej znana i stosowana jest uniwersalna polska technologia Unipol, w wariancie piaskowym lub popiołowym, obie wykorzystujące wapno palone mielone (rys. 11.4).



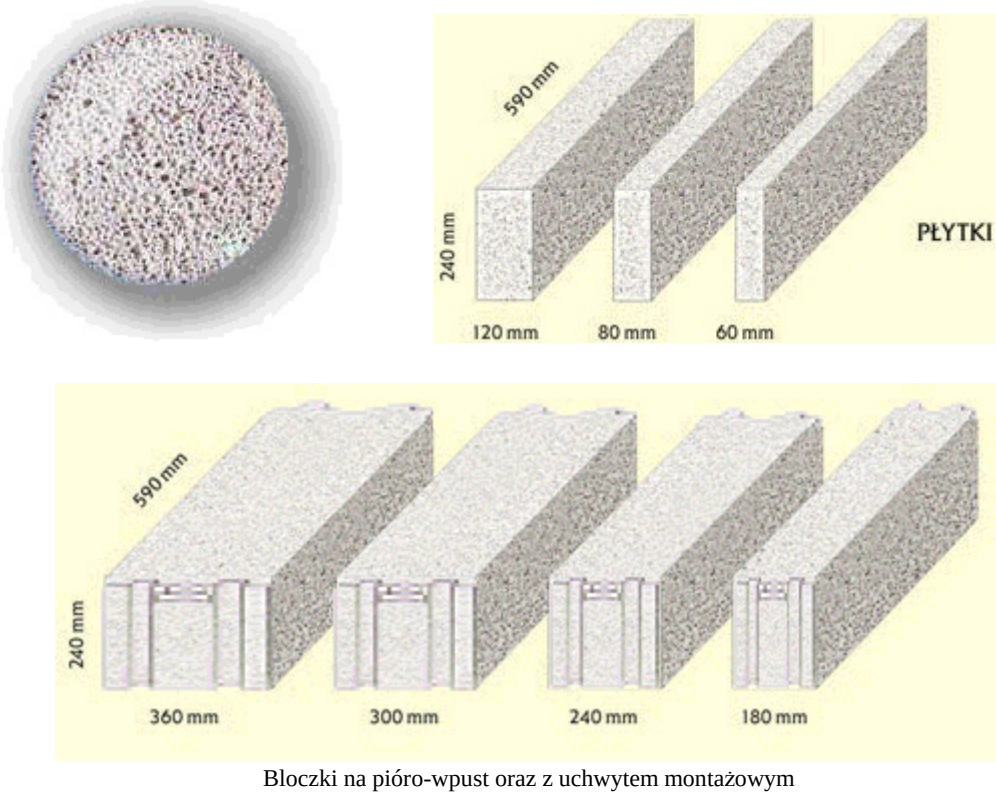
Rys. 11.4. Uproszczony schemat ideowy produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego metodą UNIPOL – wariant piaskowy

Dzięki procesowi autoklawizacji (reakcjom krzemionki z wapnem w warunkach hydrotermicznych) wyroby gazobetonowe pomimo silnie porowatej struktury

mają wystarczająco dużą wytrzymałość na ściskanie – wynosi ona od 1,5 do 7 MPa, zależnie od gęstości objętościowej. Gęstość objętościowa gazobetonu może wynosić od 300 do 700 kg/m^3, stanowi ona podstawę do podziału betonu na odmiany. Dobre właściwości cieplne gazobetonu wyrażają się niskim współczynnikiem przewodności cieplnej, którego wartość zależnie od odmiany betonu wynosi od 0,15 do 0,30 W/(m·K).

Z betonu komórkowego są produkowane elementy murowe do budowy ścian, jak bloczki i płytki, kształtki np. typu nadproży, elementy stropowe, dachowe (rys. 11.5).

Beton komórkowy jest powszechnie stosowanym „ciepłym" materiałem konstrukcyjnym w niskich budynkach i wypełniającym w ścianach budynków szkieletowych.



Bloczki na pióro-wpust oraz z uchwytem montażowym

Rys. 11.5. Elementy z betonu komórkowego

LITERATURA

[1] Affelt W.J.: Wapno duszą jest prawie trwałego budowania. IV Konf. nt. Inżynieryjne Problemy Odnowy Staromiejskich Zespołów Zabytkowych. Kraków maj 1998.
[2] Boyton R.S.: The Chemistry and Technology of Lime and Limenstone. New York 1980.
[3] Brylicki i in.: Technologia budowlanych materiałów wiążących. Cz. I. Wapno i Gips. Wyd. Szkolne i Pedagogiczne. 1992.
[4] Czarnecki L., Łukowski P., Garbacz A., Chmielewska B. : Ćwiczenia laboratoryjne z chemii budowlanej. Of. Wyd. Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1999.
[5] Davison J.I.: Mortier pour maconnerie. Conseil national de recherches Canada. Inst. de rechersche en construction. CBD-163-F.
[6] Gaczek M., Fiszer S.: Tynki. T. III. XVIII Ogólnopolska Konf. Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. PZITB. Bielsko-Biała. Ustroń, 26 luty – 1 marca 2003
[7] Górewicz J.: Kanał Augustowski. Refleksje o spoiwie hydraulicznym. Cement Wapno Gips 1984, nr 4.
[8] Janowski Z. : Konstrukcje ścienne. T. III. XVIII Ogólnopolska Konf. Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. PZITB. Bielsko-Biała. Ustroń, 26 luty – 1 marca 2003.
[9] Kurdowski W.: Spoiwa wapienne. Cement Wapno Gips 1989, nr 3.
[10] Kurdowski W.: Chemia cementu. PWN. Warszawa 1991.
[11] Lysek N.: Zaprawy tynkarskie - dlaczego wapno suchogaszone. Kalejdoskop Bud. 2000, nr 2, Renowacje 2001, nr 3.
[12] Nocuń - Wczelik W.: Wapno jako materiał uniwersalny. Ceramika-Mat. Ogniotrwałe 2001, nr 1.
[13] Osiecka E.: Wybrane zagadnienia z technologii mineralnych kompozytów budowlanych. Of. Wyd. Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2000.
[14] Piechowicz M.: Wyroby ceramiki budowlanej w zagadnieniach konserwacji zabytków. Biblioteka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków Seria B. Tom XLIX.
[15] Ritchie T.: Effloressences. Conseil national de recherches Canada. Inst. de rechersche en construction. CBD-6-F.
[16] Skalmowski W.: Technologia materiałów budowlanych. T. II. Wyd. Arkady. Warszawa 1966.
[17] Skalmowski W. Chemia materiałów budowlanych. Arkady. Warszawa 1971.
[18] Techniques et pratique de la chaux. Ed. Eyrolles, 1995.
[19] Wapno dar natury. Wyd. Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna.
[20] Westfal L., Gawlicki M.: Wapno w budownictwie. Renowacje 2001, nr 3.
[21] Westfal L.: Wapno - „ojciec rodziny" wapniowych spoiw wiążących. Renowacje 2004, nr 1 i 2.
[22] Zapotoczna-Sytek G.: Buduję dom z betonu komórkowego. Wyd. COIB. Warszawa 2000.
[23] Żenczykowski W.: Budownictwo ogólne. T I . Materiały i wyroby budowlane. Wyd. Budownictwo i Architektura. Warszawa 1956.
[24] Żenczykowski W.: Budownictwo ogólne. T I . Materiały i wyroby budowlane. Pod red. Z. Dziarnowskiego. Arkady. Warszawa 1992.
[25] Strony internetowe
   a) http://www.rockwellime.com
   b) http://graymont.com
   c) http://limeindustries.com
   d) http://variance.free.fr/chaux

e) http://www.école-avignon.com
f) http://www.guilde-chaux.com
g) http://www.patrimoine-facades.com/fiche chaux
h) http://perso.wanadoo.fr
i) http://www.muratordom.pl – W.Krupa: Tynki wapienne. Fot. K.Zasuwik

NORMY

PN-EN 459 – 1 Wapno budowlane. Część 1: Definicje, wymagania, kryteria zgodności
PN-EN 459 – 2 Wapno budowlane. Część 2: Metody badań
PN-EN 459 – 3 Wapno budowlane. Część 3: Ocena zgodności
PN-B-10104. Wymagania dotyczące zapraw murarskich ogólnego przeznaczenia. Zaprawy o określonym składzie materiałowym, wytwarzane w miejscu budowy.
PN-B-03002:1999 Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie.
PN-EN 998-1:2004 Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 1. Zaprawy tynkarskie
PN-EN 998-2:2004 Wymagania dotyczące zapraw do murów. Część 2. Zaprawy murarskie

Pakiet norm PN-EN Metody badań zapraw do murów:
PN-EN 1015-1:2000 Określanie rozkładu wielkości ziarn (metodą analizy sitowej)
PN-EN 1015-2:2000 Pobieranie i przygotowanie próbek zapraw do badań
PN-EN 1015-3:2000 Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozpływu)
PN-EN 1015-4:2000 Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą penetrometru)
PN-EN 1015-6:2000 Określenie gęstości objętościowej świeżej zaprawy
PN-EN 1015-7:2000 Określenie zawartości powietrza w świeżej zaprawie
PN-EN 1015-9:2001 Określenie czasu zachowania właściwości roboczych i czasu korekty świeżej zaprawy
PN-EN 1015-10:2001 Określenie gęstości wysuszonej stwardniałej zaprawy
PN-EN 1015-11:2001 Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy
PN-EN 1015-12:2002 Określenie przyczepności do podłoża stwardniałych zapraw na obrzutkę i do tynkowania
PN-EN 1015-17:2002 Określenie zawartości chlorków rozpuszczalnych w wodzie w świeżych zaprawach
PN-EN 1015-18:2003 Określenie współczynnika absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym stwardniałej zaprawy
PN-EN 1015-19:2000 Określenie współczynnika przenoszenia pary wodnej w stwardniałych zaprawach na obrzutkę i do tynkowania
PN-EN 1015-21:2003 Określenie odpowiedniości jednowarstwowych zapraw na obrzutkę do podłoży

ZAŁĄCZNIK

PRZYKŁADY MODYFIKACJI ZAPRAW WAPIENNYCH I SUBSTANCJE STOSOWANE W TYM CELU DAWNIEJ I OBECNIE

Od najdawniejszych czasów stosowano różne sposoby modyfikacji właściwości świeżych, jak i stwardniałych zapraw wapiennych wprowadzając do nich różnego rodzaju odpowiednie dodatki i domieszki substancji naturalnych. Miały one na celu:

- *Polepszenie procesu wiązania i twardnienia poprzez oddziaływanie na pełniejszą i szybszą karbonatyzację*

  Dodatkami stosowanymi w tym celu do zapraw było piwo i młode wino (figowe).

- *Utrzymanie dobrej urabialności (zatrzymanie wody)*

Z uwagi na konieczność przy niektórych pracach z materiałami wapiennymi przedłużenia okresu ich urabialności, pomimo, że samo wapno odznacza się zdolnościami retencyjnymi – wprowadza się niekiedy domieszki jeszcze bardziej zwiększające retencję wody. Regulowanie tego samą ilością wody jest ryzykowne – nadmiar jej w zaprawie wywołuje większe mikrospękania, a z kolei niedomiar pylenie powierzchni. Domieszki retencyjne opóźniają parowanie wody z zaprawy i nadają elastyczność, niekiedy poprawiają strukturę porowatości. Tradycyjnymi domieszkami zatrzymującymi wodę są: *oliwa, olej lniany, klej skórny, dekstryna* (poprawia też przyczepność*), cukier*, z nowych domieszek dobrze już znana jest – *metyloceluloza*; stosowane też są *kwasy owocowe*, które opóźniają wiązanie i zwiększają czas przydatności świeżej zaprawy.

- *Opóźnienie wiązania*

Było niekiedy niezbędne, na przykład przy prowadzeniu kilkudniowych prac wykończeniowych powierzchni, jak polerowanie – dobre efekty uzyskiwano stosując dodatek mieszaniny wapna palonego, mleka i cukru.

- *Polepszenie właściwości mechanicznych i fizycznych zapraw*

Wprowadzono w tym celu: *klej skórny, klej kostny, łój, keratynę, mleko i biały ser, kazeinę, naturalne żywice* (np. z pinii), *wosk pszczeli, krew bydlęcą, jajka, olej rybi*, obecnie stosuje się *żywice syntetyczne*. Takie dodatki, jak łój, tłuszcze, a z nowszych stearyniam magnezu poprawiające szczelność zapraw, należy stosować ostrożnie, gdyż wpływają też na ograniczenie paroprzepuszczalności (też hydrofobizacja).

- *Poprawa twardości*

Dodatkami wpływającymi szczególnie na twardość zapraw są: *łój, żywice naturalne* i *syntetyczne*. Stosowano też dawniej wywar z szyszek pinii, który nadawał ponadto odporność na wodę deszczową.

- *Napowietrzanie zapraw*

Dodatek substancji tworzących w zaprawie liczne pęcherzyki powietrzne, miał na celu uzyskanie większej odporności zapraw na działanie mrozu, poprawę właściwości cieplnych (termoizolacyjnych) i zmniejszenie skurczu. Dodatkami napowietrzającymi były: *olej lniany, oliwa, krew bydlęca, mocz, piwo z moczem*.

- *Hydrofobizacja*

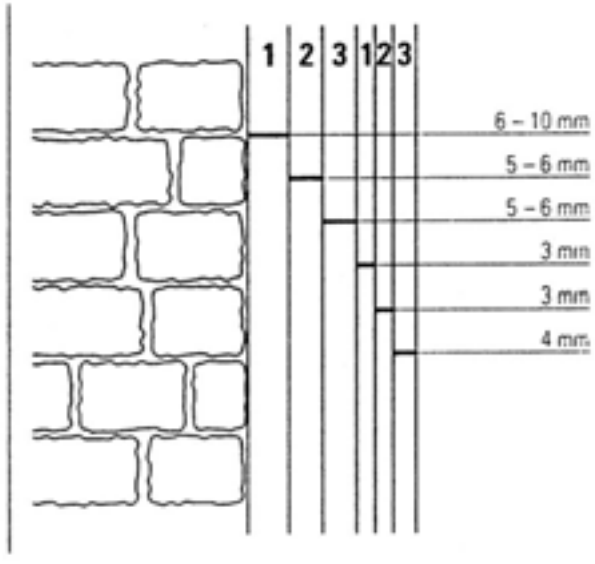
Wśród domieszek zmniejszających wnikania wody i uszczelniających sieć kapilar w strukturze zaprawy rozróżnia się domieszki hydrofobizujące, wprowadzane do masy zaprawy lub stosowane powierzchniowo, przy czym należy uważać, gdyż często domieszki te powodują ograniczenie przepuszczalności pary wodnej. Do domieszek nadających hydrofobowość zaprawom wapiennym należą: *tłuszcze, łój* (przy budowie rurociągów w akweduktach stosowano mieszaninę wapna i łoju), *talk* (sproszkowany krzemian magnezu) zwiększający odporność zaprawy na działanie wilgoci i mrozu, *stearynian magnezu*. Przykładem tynków wapiennych wodoszczelnych wykonywanych przed dwoma tysiącami lat jest częściowo zachowany tynk akweduktu w Cezarei w Palestynie (rys. 1).

Obecnie najczęściej stosowanymi domieszkami modyfikującymi właściwości zapraw wapiennych są *polimery*.

Trudno ocenić, które domieszki były lepsze, czy te dawniej stosowane, czy współcześnie. I jedne i drugie, poprawiając pewne właściwości zapraw, bez wątpienia jednocześnie wpływają w jakiś sposób na inne cechy. Obecnie do modyfikacji zapraw wapiennych produkowanych przemysłowo stosuje się domieszki polimerowe.

W praktyce budowlanej mając na uwadze poprawę właściwości mechanicznych zapraw wapiennych dodaje się do nich cementu, gipsu lub wapna palonego mielonego. W tym ostatnim przypadku ciepło hydratacji wapna powoduje szybsze parowanie wody i intensywniejszą krystalizację $Ca(OH)_2$.

W celu opóźnienia hydratacji CaO w zaprawach z wapna palonego mielonego można wprowadzać dodatek gipsu w ilości 3–5%. Zmniejsza on także rozszerzalność liniową zapraw, wpływa na wzrost ich wytrzymałości o 1,5 do 2 razy [14]. Z kolei gips budowlany dodany do zaprawy z ciasta wapiennego powoduje przyspieszenie jej twardnienia i także zwiększenie wytrzymałości stwardniałej zaprawy, ponadto zwiększa przyczepność do cegły i drewna [23]. Zapraw takich nie należy stosować w miejscach podlegających zawilgoceniu.



Rys. 1. Tynk w akwedukcie rzymskim w Cezarei palestyńskiej [18]:
1 – warstwa tynku szarego, zawierająca węgiel,
2 – warstwa tynku białego z mączką marmurową,
3 – warstwa tynku czerwonego z dodatkiem tłuczonej cegły.

→ ściśnięcie warstw zapraw w tynku zwiększa wytrzymałość i ogranicza powstawanie rys
→ dodatek mączki marmurowej zwiększa trwałość
→ dodatek sproszkowanej cegły ceramicznej powoduje reakcję pucolanową (właściwości hydrauliczne)

Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
www.wapno-info.pl

Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
30-056 Kraków, ul. Toruńska 5, tel: 012 626 18 76, fax: 012 626 28 87
e-mail: info@wapno-info.pl
strona www.wapno-info.pl

ISBN 83-921755-1-4