

*Joanna Pinińska**

WŁAŚCIWOŚCI GEOMECHANICZNE OPOK

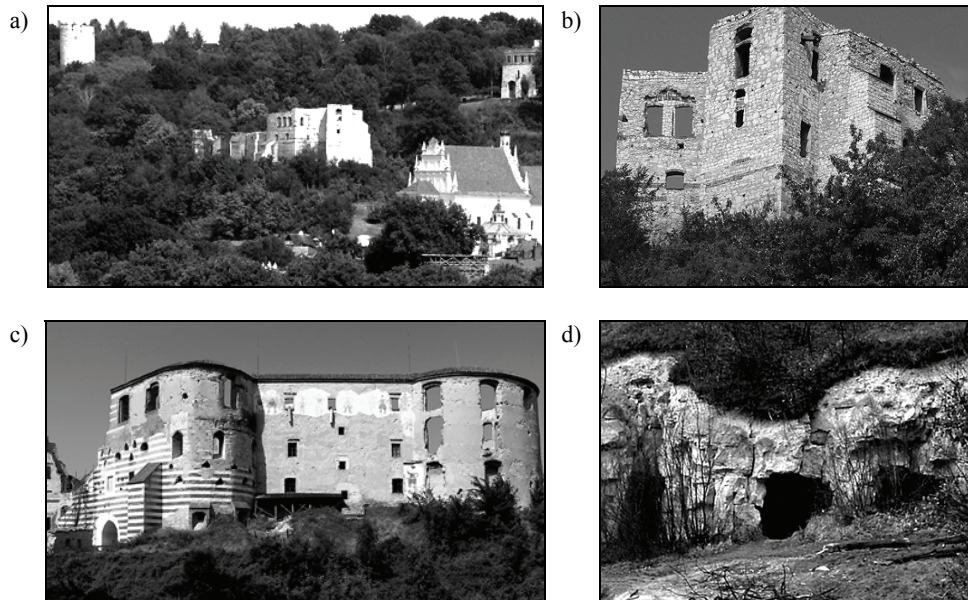
1. Wstęp

Morskie osady węglanowe górnej kredy i neogenu: kreda pisząca, margle, wapienie organiczne oraz opoki i gezy z konkrecjami krzemionkowymi, od paleolitu poprzez średniowiecze po dzień dzisiejszy, stanowiły zaplecze bogactwa kulturowego i gospodarczego Lubelszczyzny. W dolinie Wisły pradziejowe ślady górnictwa znaczą wydobycie krzemieni, cennego surowca do wyrobu broni i narzędzi, a górnictwo skał węglanowych: kredy piszącej, wapieni, opok i gez uwarunkowało w średniowieczu rozwój obronnego, sakralnego i mieszkalnego budownictwa kamiennego. Wiele założeń urbanistycznych współczesnych aglomeracji, jak np. struktury obronne i układ ulic Kazimierza Dolnego, ma swe źródła w średniowieczu, wykorzystując dawne poziomy wydobywce [6] lub, jak w Bochothnicy, Janowcu i Chełmie Lubelskim, bazując na układzie podziemnych lochów i tuneli, śladach górnictwa opok, gez i kredy piszącej (rys. 1). Nie mniej historyczne znaczenie ma górnictwo w ścianach doliny Bystrej, trwające od wieku XVI do połowy wieku XIX [3].

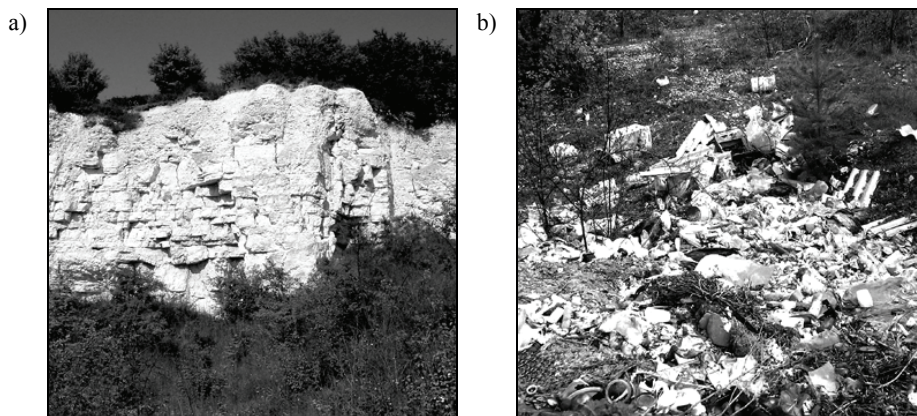
Współczesny napływ dekoracyjnego surowca zagranicznego i ekspansja miejska na tereny dawnych kamieniołomów doprowadziły do wyparcia eksploatacji z miejsc o wielowiekowej tradycji i zaniechania wydobycia opok. Kamieniołomy opok wzdłuż doliny Wisły (Nasiłów, Kazimierz Dolny, Piotrawin i Annopol) i gez w Nałęczowie i Bochothnicy, mimo walorów historycznych i krajobrazowych, stają się często przedmiotem dewastacji (rys. 2), a powszechny w średniowieczu budulec opoka — biały kamień lub geza — siwak są wykorzystywane jedynie na cele lokalnego budownictwa (rys. 3).

Szkoda również, że wiele historycznych obiektów skonstruowanych z opok utraciło swe walory wskutek pokrycia tynkami lub w wyniku konserwacji nieodpowiednimi zaprawami. Obecność w zaprawie dolomitu lub aktywnej krzemionki w reakcji z alkaliarni w cemencie wywołuje bowiem jej szkodliwe pęcznienie [1]. W wielu przypadkach zniszczenia dopełniają zaniedbania budowlane (rys. 4).

* Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

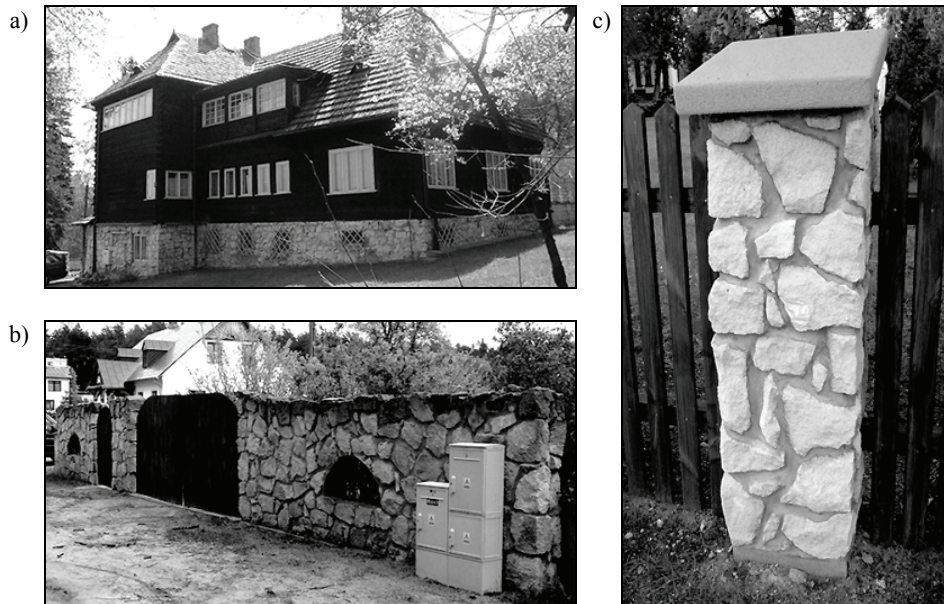


Rys. 1. Zespół obronny Kazimierza Dolnego (a), Zamek w Kazimierzu (b), Zamek Firlejów w Janowcu (c), podziemne tunele wydobywcze gez w Bochtownicy (d) (fot. M. Kurowska)

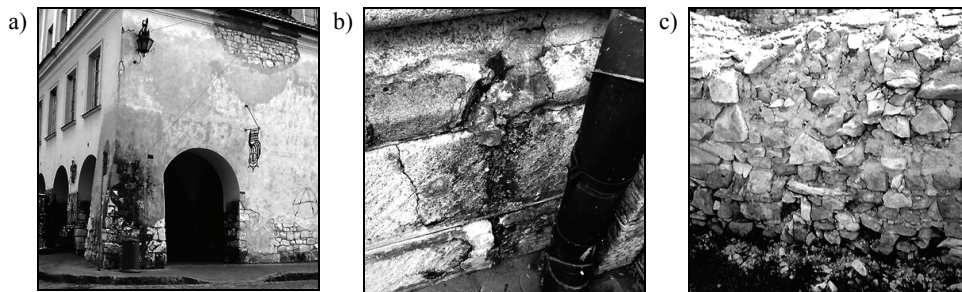


Rys. 2. Współczesny widok kamieniołomów opoki: a) Annapol, b) Kazimierz Dolny

Zachowane fragmenty budownictwa średniowiecznego opartego na opokach świadczą jednakże, jak wysokim kunsztem i wiedzą dysponowali średniowieczni budowniczy, prekursorzy dzisiejszej geoinżynierii, którzy bez użycia obecnych technik badawczych dobierali budulec zapewniający wielowiekową trwałość konstruowanym przez siebie obiektom. Wiedza ta znacznie wyprzedzała rozwój nauk geologicznych i praw geomechaniki.



Rys. 3. Lokalne zastosowanie opok w budownictwie: a) dom pisarki Marii Kuncewiczowej w Kazimierzu Dolnym, b) i c) ogrodzenia kamienne

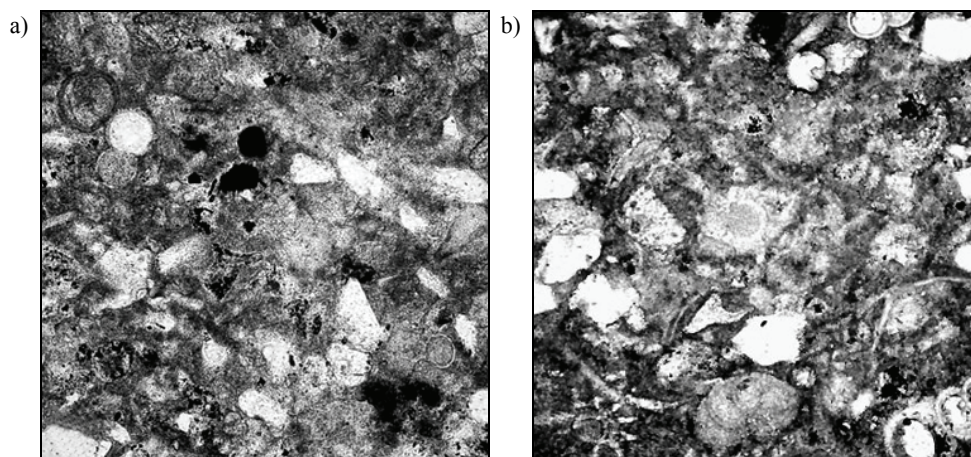


Rys. 4. Pogłębione złą konserwacją niszczenie murów: a) pokrywanie naturalnych powierzchni kamiennych „środkami ochronnymi”(Kazimierz Dolny), b) wadliwy odpływ wód opadowych, c) użytkowanie murów zamku w Janowcu jako materiału budowlanego przez miejscową ludność przed przystąpieniem do renowacji obiektu

2. Właściwości geomechaniczne gez i opok w świetle współczesnej wiedzy

Opoki, osadowe morskie skały węglanowe, powstały głównie z drobnych szczątków organicznych. Podobnie jak pokrewne im gezy są to wapienie mikrytowe (*pacstone*), w których

udział krzemionki może lokalnie przekraczać 50%. W ich bezładnej teksturze występują szczątki rozdrobnionego detrytusu organicznego, szczególnie małży i otwornic, a także liczne igły gąbek (rys. 5).

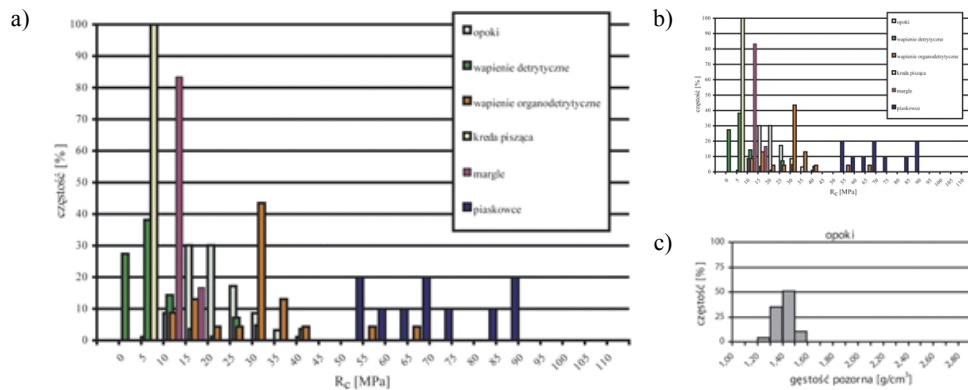


Rys. 5. Obraz mikroskopowy tekstury wapieni mikrytowych (opok i gez):
a) opoka z Nasiłowa, b) geza z Bochtownicy

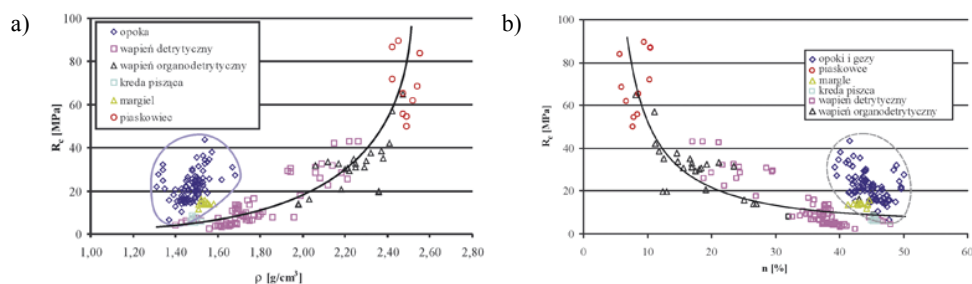
W świetle danych zawartych w bazie (BDG) Zakładu Geomechaniki UW [8], cały zespół skał węglanowych Lubelszczyzny, łącznie z opokami i gezami, charakteryzuje zgodnie z europejskimi standardami [11] wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie (R_c) klas od wysokiej do bardzo niskiej. Wytrzymałość zależy od zawartości krzemionki, charakteru detrytusu organicznego, stanu rozdrobnienia materiału oraz rodzaju spoiwa.

Na dwumodalnym histogramie rozkładu wytrzymałości na ściskanie (R_c) ogółu skał lubelskich opoki i gezy reprezentują przedział wytrzymałości rzędu od 10 do 40 MPa, co je klasyfikuje jako skały o niskiej i średniej wytrzymałości, podczas gdy stosowane także w budownictwie wapienie piaszczyste zgodnie ze standardami reprezentują średnio klasę skał wysokiej wytrzymałości [11]. Wapienie te jednakże, w przeciwieństwie do opok, są osadem niejednorodnym o losowo zmiennej wytrzymałości (rys. 6a), co stwarza dużą niepewność przy ocenie jakości materiału.

Zaletą opok jest nie tylko ich jednorodność. Ze względu na swą bloczność i lekkość opoki stanowią surowiec łatwy do urabiania. Dzięki mikroporowatej strukturze, należąc do klasy skał bardzo lekkich i lekkich (ρ_s od 1,4 do 1,6 g/cm³) o wysokiej porowatości ($n > 35\%$) (rys. 6a i b), stanowią doskonały materiał izolacyjny. Mimo lekkości (ρ) i znacznej nasiąkliwości (n) na tle innych skał Lubelszczyzny charakteryzują je korzystne cechy wytrzymałościowe (R_c do 40 MPa) (rys. 7).



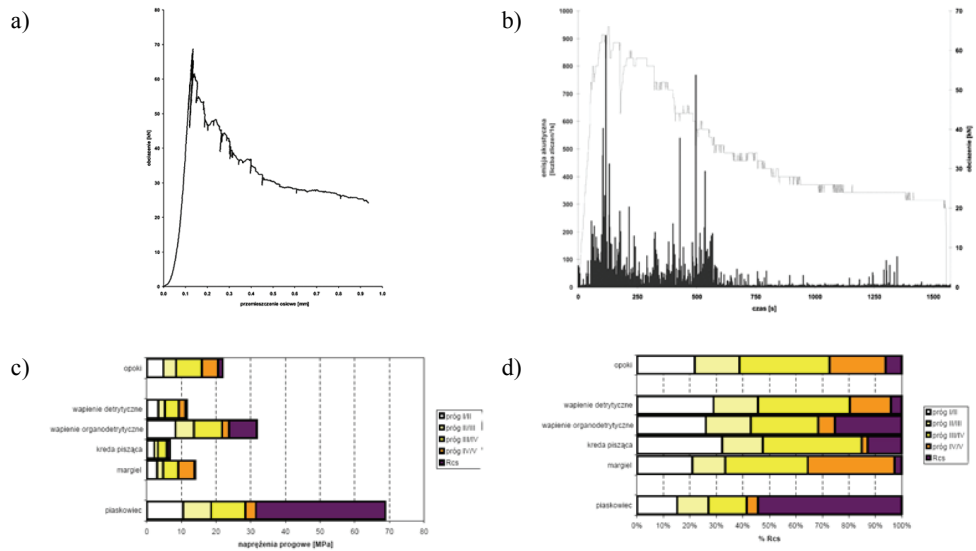
Rys. 6. Diagramy właściwości węglanowych skał Lubelszczyzny:
a) wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie (R_c), b) porowatość (n), c) gęstość objętościową (ρ)



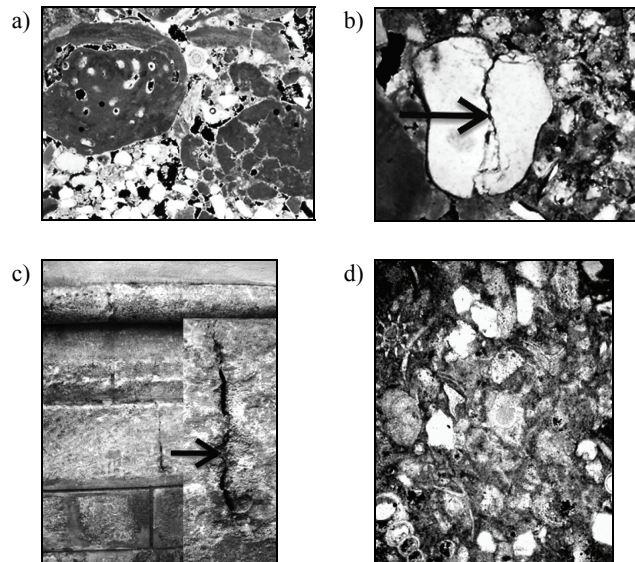
Rys. 7. Zależność wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (R_c) skał lubelskich od:
a) gęstości objętościowej (ρ), b) nasiąkliwości wagowej (n)

Równocześnie, pomimo że opoki, podobnie jak i pozostałe skały węglanowe Lubelszczyzny są materiałem kruchym o niskim module sprężystości ($E_{st} < 5$ GPa), cechuje je korzystny wysoki próg pęknięcia niestabilnego, pojawiający się praktycznie na granicy ich wytrzymałości, oraz wysoka pokrytyczna wytrzymałość rezydualna (rys. 8a), co potwierdza obraz sygnałów emisji akustycznej (rys. 8b). W bardziej wytrzymałych wapieniach piaszczystych spękania inicjalne pojawiają się już przy naprężeniach rzędu 30% R_c , a do ich pęknięcia niestabilnego dochodzi po przekroczeniu zaledwie 45% granicy wytrzymałości R_c (rys. 8c i d).

Korzystne cechy deformacyjne opok na tle innych, bardziej wytrzymałych skał lubelskich uzasadniają badania płytek cienkich. Jak można zauważyć w obrazie mikroskopowym, niejednorodna struktura wapieni piaszczystych zbudowanych z dużych, nieregularnych fragmentów muszli jest podatna na intragranularne pęknięcia bioklastów, tzw. pęknięcie załączkowe [8] inicjujące dalszy rozpad materiału (rys. 9a i b). Spękania te stają się drogami krążenia agresywnych roztworów obniżających w długim przedziale czasu wytrzymałość skały (rys. 9c). Mikrytowa struktura opok z zawartością drobnych otwornic i igłami gąbek jest na te procesy znacznie bardziej odporna (rys. 9d).



Rys. 8. Przedkrytyczny i pokrytyczny przebieg niszczenia opok: a) krzywa deformacji (opoka z Kazimierza Dolnego); b) odpowiadający deformacji przebieg sygnałów emisji akustycznej, c) i d) średnie wartości naprężenia na granicach faz deformacji: c) wartości bezwzględne, d) wartości w relacji do wytrzymałości R_c (%). I/II faza kompaktacji, II/III faza sprężystości, III/IV faza pękania stabilnego, IV/V faza pękania niestabilnego

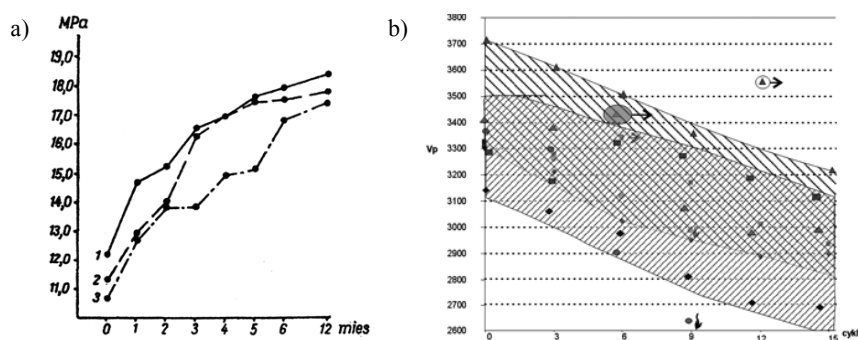


Rys. 9. Strukturalna podatność na pęknięcie wapieni z zawartością dużych fragmentów szczątków organicznych (a i b), rozwój korozji w wyniku krążenia roztworów w szczelinach (c), odporna na mikropekanie mikrytowa struktura opok (d)

3. Odporność opok na czynniki deterioracji

Na korzystne cechy opok jako materiału budowlanego w nowoczesnym ujęciu zwrócili uwagę już w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku Kowalski [4], Łozińska-Stępień [5], Drągowski [2]. Z badań laboratoryjnych i praktyki budowlanej w czasie prac związanych z regulacją Wisły w rejonie Kazimierza Dolnego wynika także, że opoki po wydobyciu ze złoża ulegają utwardzeniu i ustaje ich początkowo gwałtowne nasiąkanie wodą (rys. 10a) — zatem stają się także bardziej odporne na działanie korozyjne roztworów. Stosowane w budownictwie opoki muszą być zatem dostatecznie długo sezonowane i odprężone.

Badania laboratoryjne odporności opok na działanie roztworów agresywnych oparte na standardach europejskich [9, 10] i monitorowane zmianami prędkości fal ultradźwiękowych wskazują, że procesy degradacji w opokach stabilizują się relatywnie szybko, a osłabienie strukturalne nie przekracza 20% (rys. 10b).

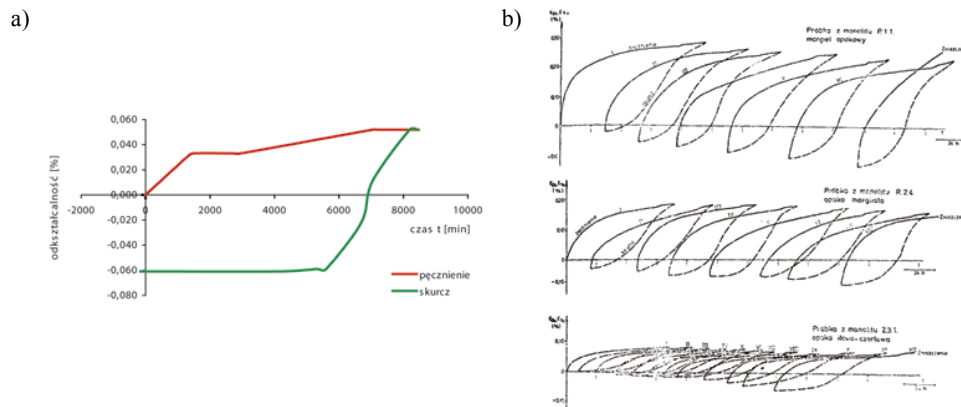


Rys. 10. Przemiany właściwości opok w czasie: a) wytrzymałości po sezonowaniu [5], b) zmiany prędkości fali podłużnej (V_p) podczas cyklicznego nasączenia roztworem soli Na_2SO_4 [9]

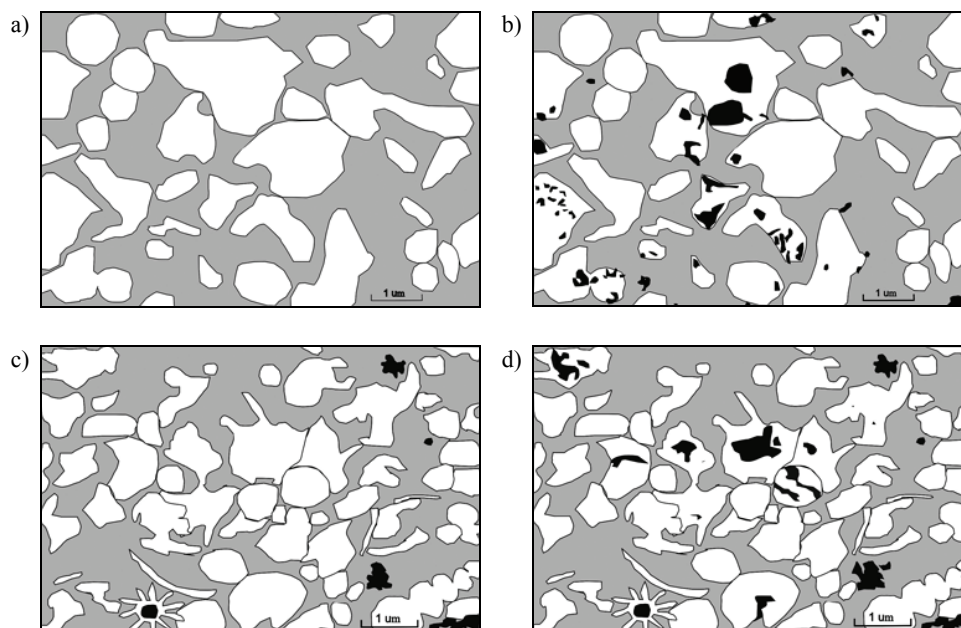
Należy sadzić, że na stabilizację procesów korozji opok ma wpływ ustabilizowany przebieg procesów pęcznienia i skurczu (rys. 11 a i b).

W bezpośredniej analizie płytek cienkich i na przetworzonych cyfrowych analizach obrazu (rys. 12) można zauważyć, że najbardziej wrażliwy na korozję jest materiał węglanowy bioklastów, nie ulega natomiast korozji mikrytowy materiał spoiwa. Równocześnie ze względu na drobne rozmiary otwornic i pozostałego rozdrobnionego detrytusu organicznego ogniska korozji mają niewielki ograniczony zasięg.

Ze współczesnych badań geomechanicznych wynika zatem, że powszechne w średniowieczu stosowanie opok i gez jako lokalnego materiału konstrukcyjnego było w pełni uzasadnione nie tylko dostępnością, lekkością i łatwością urabiania surowca, lecz także jednorodnością cech wytrzymałościowych, zdolnością twardnienia, dobrymi właściwościami izolacyjnymi oraz ze względu na mikrytowy charakter struktury odpornością na mikropeknięcie, a w konsekwencji małą podatnością na antropogeniczne działania korozyjne.



Rys. 11. Cykle pęcznienia i skurczu: a) opoka z Kazimierza Dolnego, b) opoki lubelskie o różnym stopniu marglistości [2]



Rys. 12. Obraz cyfrowy wpływu kwaśnego roztworu H_2SO_3 [10] na strukturę gezy i opok. Gezy z Bochońcice: a) przed działaniem roztworu, b) po działaniu roztworu; opoki z Nasilowa: c) przed działaniem roztworu, d) po działaniu roztworu

LITERATURA

- [1] Czarniecki L., Mierzwa J.: Korozja siarczanowa betonu — skutki intensywności oddziaływania środowiska, Mat. XI Konferencji Naukowo-Technicznej „Trwałość budowni i ochrona przed korozją — Kontra’98”. Kraków, 1998, s. 71–78

- [2] *Dragowski A.*: Inżyniersko-geologiczna charakterystyka niszczenia skał masywów Wyżyny Lubelskiej w wyniku pęcznienia i skurczu. *Biuletyn Geologiczny UW*, t. 29, 1981, s. 5–103
- [3] *Gazda L, Gazda B.*: Górnictwo skalne Nałęczowa. „Historia i współczesność górnictwa na terenie Lubelszczyzny”. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej 2005, s. 37–43
- [4] *Kowalski W.C.*: Wytrzymałość na ściskanie budowlanych skał senońskich przelomowego odcinka Wisły Środkowej na tle ich litologii. *Biuletyn Geologiczny UW*, cz. I, t. 2, 1961, s. 1–113
- [5] *Łozińska-Ściepień H.*: Właściwości fizyczno-mechaniczne skał turońskich przelomowego odcinka Wisły Środkowej (okolic Annopola) na tle ich litologii. *Biuletyn Geologiczny UW*, t. 6, 1965, s. 1–133
- [6] *Pawłowski A.*: Eksploatacja skał węglanowych w procesie rozwoju krajobrazu kulturowego małopolskiego przelomu Wisły. „Historia i współczesność górnictwa na terenie Lubelszczyzny”. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej 2005, s. 109–116
- [7] *Pinińska J.*: Zastosowanie badań nieniszczących w wytrzymałościowej klasyfikacji skał i masywów skalnych. *Prace Nauk. GIG. Górnictwo i Środowisko* 4, 2002, s. 81–95
- [8] *Pinińska J., Dziedzic A.*: Właściwości wytrzymałościowe i odkształceniowe skał Polski, t. 9. Region Lubelski. Warszawa Wyd. Zakład Geomechaniki UW 2006
- [9] PN-EN 12370:2001 — Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie odporności na krystalizację soli
- [10] PN-EN 13919:2004 — Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie odporności na starzenie spowodowane działaniem SO₂ w obecności wilgoci
- [11] PN-EN ISO 14689-1 Badania geotechniczne — rozpoznawanie i klasyfikowanie skał. Część 1: Oznaczanie i opis