

## **Autoreferat**

# **Analiza wpływu zastosowania komponentów szklanych w postaci szkła z recyklingu na skład fazowy oraz wybrane własności użytkowe cegieł autoklawizowanych.**

Załącznik Nr 3

**Dr inż. Anna Agata Stępień**

## Autoreferat

### 1. Imię i nazwisko.

Anna Agata Stępień

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

2009-2013	Studium doktorskie (PhD), Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Architektury <b>Specjalność:</b> Inżynieria Materiałowa. Tytuł rozprawy doktorskiej: <b>„Wpływ modyfikacji składu wyrobów silikatowych na ich mikrostrukturę i właściwości użytkowe”.</b> (03.07.2013r. – publiczna obrona rozprawy doktorskiej, dr inż.)
2008 – 2009	Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Studia podyplomowe w zakresie Charakterystyki i Audytu Energetycznego Budynku. <b>Nr uprawnień: 43/PŚk/WBiJŚ/09</b>
2003 - 2008	Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Specjalność: Technologia i Organizacja Budownictwa, <b>mgr inż.</b> Tytuł pracy magisterskiej: <b>„Wpływ i ocena aspektów remontu budynku mieszkalno-usługowego zlokalizowanego w pobliżu kopalni odkrywkowej”.</b> (03.07.2008r. – obrona pracy magisterskiej).

### 3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

01.03.2023 - do chwili obecnej	Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Architektury Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Al.1000-lecia Państwa Polskiego, 25-314 Kielce Dr inż. – adiunkt badawczo-dydaktyczny
01.10.2021-31.08.2022	p.o. Kierownika Katedry Materiałów Budowlanych i Organizacji Budownictwa, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Architektury Al.1000-lecia Państwa Polskiego, 25-314 Kielce (31.08.2023 nastąpiła likwidacja Katedry)
01.10.2013 – 28.02.2023	Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Al.1000-lecia Państwa Polskiego, 25-314 Kielce Dr inż. – adiunkt badawczo-dydaktyczny
01.10.2016-16.09.2017	Uniwersytet Techniczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Zakład Budownictwa Ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom Dr inż. - adiunkt

---

01.09.2015-31.03.2016	Staż zagraniczny doktorski na University of Sherbrooke, Quebec, Kanada Tematyka: Scientific research concerning the modification of sand-lime bricks by Glass Sand and Glass Powder and microstructure of the products, mainly the formation of calcium silicate hydrate (C-S-H, Tobermorite, Gyrolite, Xonotlite, Truscotite). <b>Miejsce: University of Sherbrooke, Quebec, Canada, Department of Civil Engineering, Sherbrooke (Québec) J1K 2R1, 2500, boul. de l'Université (Wiza pracownicza)</b>
2008-2013	Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Architektury Katedra Technologii i Organizacji Budownictwa, Mgr inż. - asystent

---

**4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.**

**4.1. Tytuł osiągnięcia:** *Analiza wpływu zastosowania komponentów szklanych w postaci szkła z recyklingu na skład fazowy oraz wybrane własności użytkowe cegieł autoklawizowanych.*

**4.2. Przedmiot badań, cel oraz zagadnienie badawcze stanowiące podstawę opracowania.**

Przedmiot badań obejmuje trzy zagadnienia badawcze:

- ⇒ cegłę wapienno-piaskową powstającą w procesie obróbki hydrotermalnej i określenie możliwości zastąpienia piasku kwarcowego „QS”, który stanowi podstawę cegieł silikatowych piaskiem szklanym z recyklingu „GS” (recykling, ekologia, budownictwo i gospodarka zrównoważona);
- ⇒ proces autoklawizacji w kontekście produkcji cegły wapienno-piaskowej i możliwość modyfikacji procesu produkcji (tj. skrócenie czasu autoklawizacji);
- ⇒ analizę składu fazowego i mikrostruktury cegieł silikatowych powstających w wyniku modyfikacji tradycyjnych cegieł silikatowych piaskiem szklanym z recyklingu (GS).

Aspektem badawczym przedstawionych badań była analiza możliwości zastosowania stłuczki szklanej z recyklingu szkła kolorowego w produkcji cegieł silikatowych autoklawizowanych i określenie wpływu zastosowanej modyfikacji na właściwości fizyko-mechaniczne, mikrostrukturalne, skład fazowy oraz proces krystalizacji faz amorficznych w materiałach powstających w wyniku obróbki hydrotermalnej (temperatura ok. 200°C i ciśnienie ok. 1.6 Bara). W ramach weryfikacji trafności proponowanego rozwiązania

wykonano w warunkach laboratoryjnych próbki cegieł o wymiarach 5 x 5 x 5 cm, a cegły poddano badaniom w celu określenia ich struktury (skład fazowy), mikrostruktury oraz własności fizyko-chemicznych. Wykonano następujące badania:

- ⇒ wytrzymałość na ściskanie, jako wartość podstawową;
- ⇒ gęstość objętościową;
- ⇒ wilgotność i nasiąkliwość;
- ⇒ porowatość;
- ⇒ analizę struktury i mikrostruktury;
- ⇒ analizę geochemiczną z zastosowaniem programu GEMS-PSI w celu ustalenia kierunku krystalizacji faz amorficznych i składu fazowego cegły modyfikowanej piaskiem szklanym z recyklingu szkła butelkowego.

**Innowacyjnym podejściem badawczym, w celu określenia składu fazowego cegieł silikatowych modyfikowanych piaskiem szklanym „GS” z recyklingu było zastosowanie programu GEMS-PSI<sup>1</sup> z bazą termodynamiczną CEMDATA<sup>2</sup>. Analiza GEMS-PSI była pierwszym tego typu badaniem wykonanym dla cegieł autoklawizowanych.** Program GEMS i kompatybilną, aktualną bazę danych CEMDATA otrzymałam podczas stażu na University of California Los Angeles (USA) w 2019 roku, a następnie w 2022 roku uzyskałam aktualizację bazy.

#### **4.3. Wprowadzenie i podstawa planu badawczego.**

Zagadnienia związane z przedstawionym przeze mnie problemem badawczym zostały podzielone na 4 bloki tematyczne wpisujące się w zakres budownictwa zrównoważonego oraz ekologii. Bloki tematyczne oraz aspekty badawcze obejmują:

- ⇒ Wydobycie surowców naturalnych. Zastosowanie piasku kwarcowego w budownictwie;
- ⇒ Recykling komponentów szklanych i ich zastosowanie w budownictwie (piasek szklany barwiony). Recykling, zrównoważona gospodarka odpadami;
- ⇒ Proces autoklawizacji;
- ⇒ Zastosowanie oraz charakterystyka cegieł autoklawizowanych modyfikowanych piaskiem szklanym. Budownictwo zrównoważone, ekologia.

Szybko rozwijająca się branża budowlana oraz postępujące zmiany cywilizacyjne, konsumpcyjnie i chęć podniesienia standardów bytowych generują zmiany w otoczeniu naturalnym człowieka niejednokrotnie ingerując w krajobraz i strukturę środowiska.

---

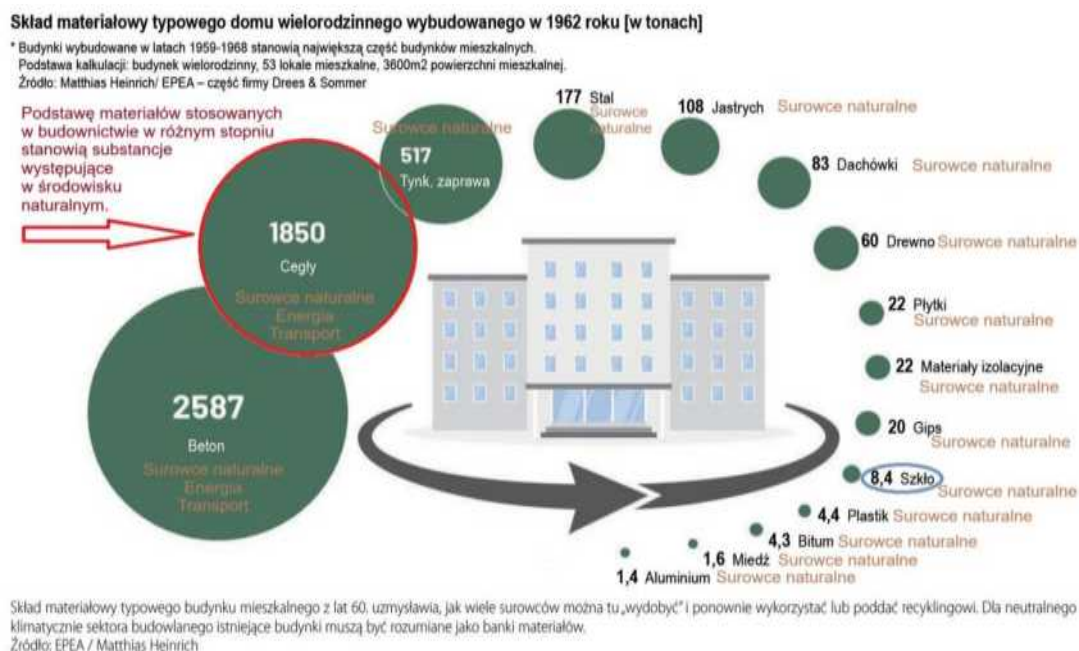
<sup>1</sup> <https://gems.web.psi.ch/>, <https://gems.web.psi.ch/contribs/GEMS-talk-Sep-2015.pdf>

<sup>2</sup> <https://www.empa.ch/web/s308/cemdata>

Tematyka środowiska, kierunków rozwoju przemysłu i roli człowieka pierwszy raz na szeroką skalę została poruszona podczas Konferencji ONZ w Rio De Janeiro w 1992 roku. Konferencji nadano nazwę „Earth Summit 1992” czyli „Szczyt Ziemi 1992” (pełna nazwa to „Konferencja Narodów Zjednoczonych na temat Środowiska i Rozwoju (ang. United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)”. Uczestnicy „Szczytu Ziemi” z 1992 roku zgodnie doszli do wniosku, że koncepcja zrównoważonego rozwoju jest celem osiągalnym dla wszystkich ludzi na świecie, niezależnie od tego w jakim sektorze działają i jakie jest ich uposażenie życiowe. Uznano przy tym, że integracja i zrównoważenie aspektów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych w zaspokajaniu potrzeb człowieka bez nadmiernej szkody dla środowiska ma kluczowe znaczenie dla podtrzymania życia ludzkiego i bezpieczeństwa klimatycznego na Ziemi. Podczas konferencji uznano również, że integracja i zrównoważenie wymiarów ekonomicznych, społecznych i środowiskowych wymaga nowego spojrzenia na sposób, w jaki produkujemy i konsumujemy, żyjemy i pracujemy oraz na podejmowane decyzje. Tematyka zrównoważonego rozwoju z Konferencji w Rio miała swoją kontynuację 20 lat później w tym samym miejscu i nazwano ją „Konferencja Narodów Zjednoczonych Rio +20” [1-3].

Powyższe analizy i ustalenia mają swoje odzworowanie w sektorze budowlanym, który jest największym konsumentem surowców naturalnych i energii, które wykorzystuje się do realizacji konstrukcji budowlanych. Poza korzyściami, jakie przedsięwzięcia budowlane ze sobą niosą m.in. komfort mieszkaniowy i nowe połączenia drogowe, można zaobserwować również wady. Obecnie największym problem branży budowlanej stała się nadprodukcja i związane z tym nadmierne wykorzystywanie kruszyw naturalnych (w tym piasku kwarcowego) do realizacji nowych konstrukcji oraz do produkcji materiałów budowlanych stosowanych w budownictwie (np. procesy wysokotemperaturowe, produkcja cementu, autoklawizacja), co prowadzi do postępujących zmian klimatycznych (ocieplanie klimatu, procesy wypalania cegieł, procesy przetwarzania surowców w produkcji budowlanej, wzrost CO<sub>2</sub> w atmosferze) [4-9]. Grafika zobrazowana na Rys. 1 przedstawia zużycie surowców, z których wykonywane są tradycyjne budynki (przykładowy budynek z 1962 roku). Nie każdy materiał można nazwać ekologicznym i naturalnym, ale praktycznie każdy materiał znajdujący zastosowanie w procesie budowy powstał z minerałów zalegających w ziemi i stanowiących jej strukturę. Konstrukcje budowlane, w tym budynki odgrywają kluczową rolę w reagowaniu na kryzys klimatyczny oraz w procesie dekarbonizacji gospodarki. Sam przemysł budowlany i realizacje budynków mieszkalnych jest odpowiedzialny za około 38%

światowych emisji dwutlenku węgla, a 10% tych emisji jest uwalnianych podczas produkcji i transportu materiałów budowlanych oraz samego procesu budowy i rozbiórki, kolejne 28% podczas eksploatacji [10].



Rys. 1. Skład materiałowy domu wielorodzinnego wybudowanego w latach 60-tych XX wieku [11].

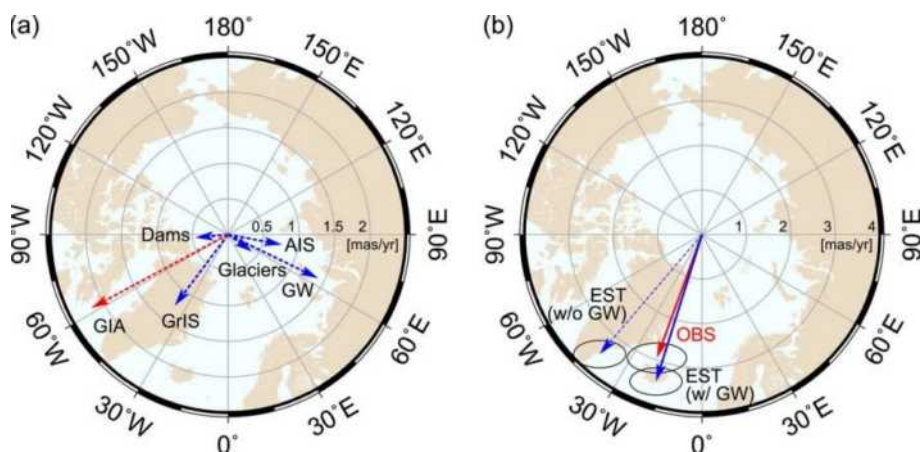
Działalność człowieka i związane z tym przedsięwzięcia budowlane doprowadzają do:

- zmian architektonicznych i ukształtowania terenu (z jednej strony kruszyw ubywa, z drugiej pojawiają się nowe, zabudowania z tzw. sztucznego kamienia tj. betonu, cegły, co wiąże się z przeobrażeniem środowiska naturalnego);
- zmian klimatycznych, w tym do ocieplania klimatu (spowodowane m.in. produkcją przemysłową);
- zmian hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych.

W dokumentacji procesu budowlanego, w skład którego wchodzi Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej ustanowione jest, że działania inżynierskie powinny być tak prowadzone, aby nie dopuścić do znacznego pogorszenia stanu wód powierzchniowych związanych z wodami podziemnymi i do powstania znaczących szkód w ekosystemach lądowych zależnych od wód podziemnych [12]. W ostatnich latach pojawiły się informacje na temat niestandardowego nachylenia Ziemi, co jest spowodowane m.in. nadmierną ingerencją i eksploatacją wód podziemnych, procesem ocieplania klimatu i topnieniem lodowców [13]. EEA<sup>3</sup> opublikowała w Światowy Dzień Wody<sup>4</sup> raport

<sup>3</sup> EEA Europejska Agencja Środowiskowa: <https://klimat.rp.pl/woda/art35933541-niepokojacy-stan-wod-gruntowych-w-unii-europejskiej>

zawierający przegląd stanu wód gruntowych w Unii Europejskiej zwracając szczególną uwagę, że ograniczone zasoby wodne, powinny być chronione zarówno przed zanieczyszczeniami, jak i nadmierną eksploatacją, aby zagwarantować ich długoterminową dostępność. Naukowcy oszacowali, że w latach 1993-2010 ludzkość wypompuwała taką ilość wody spod powierzchni Ziemi, że spowodowało to odchylenie osi obrotu planety i przesunięcie biegunów o blisko 80 centymetrów. Grafika Rys. 2 przedstawia analizę redystrybucji masy wody zapewniającej tzw. ruch biegunowy (PM - Polar Motion), czyli zmiany położenia bieguna obrotowego Ziemi względem skorupy. Wody gruntowe i inne źródła redystrybucji masy powierzchniowej wody (w tym lodowce górskie, woda magazynowana w sztucznych zbiornikach, oraz wilgotność gleby) wpływają na PM. Rysunek Rys. 2 pokazuje, że zubożenie wód gruntowych jest drugą co do wielkości przyczyną trendu wzbudzenia PM (ruchu biegunowego). Czerwona strzałka na rysunku 2 pokazuje, że wektor PM przemieszcza się w kierunku zachodniego wybrzeża Grenlandii z prędkością 6,74 cm/rok [14]. Wektory czerwony na rysunku obrazuje zaobserwowane, rzeczywiste trendy wzbudzenia PM, natomiast wektor niebieski szacowane i przewidywane trendy wzbudzenia PM (szacowany trend wzbudzenia PM jest sumą wektorową wszystkich strzałek na rysunku 2a uwzględniającą wpływ wilgotności gleby, ciśnienia barometrycznego, ciśnienia na dnie oceanu, wiatrów i prądów). Ciągłe niebieskie i przerywane strzałki pokazują szacunki wzbudzenia PM z wodami gruntowymi i bez wód gruntowych, gdyż te w znaczny sposób odpowiadają za stan hydrogeologiczny na Ziemi [14].



Rys. 2. Obraz redystrybucji masy wody zapewniającej ruch biegunowy, czyli zmiany położenia bieguna obrotowego Ziemi względem skorupy. Analiza wielkości i kierunku trendów - wektory czerwony obrazuje zaobserwowane trendy wzbudzenia PM (Polar Motion), natomiast wektor niebieski szacowane i przewidywane trendy wzbudzenia PM [14].

<sup>4</sup> World Water Day, 23 Marca: [https://www.grodan.com/our-thinking/grodan-blogs/world-water-day-2023/?gad=1&gclid=CjwKCAjwu4WoBhBkEiwAojNdXjPHSCPbefL5jK8Q7bc7NvVbptq44oVLN8M9IArmstR4cvZiiLbSeRoC7WQQAvD\\_BwE](https://www.grodan.com/our-thinking/grodan-blogs/world-water-day-2023/?gad=1&gclid=CjwKCAjwu4WoBhBkEiwAojNdXjPHSCPbefL5jK8Q7bc7NvVbptq44oVLN8M9IArmstR4cvZiiLbSeRoC7WQQAvD_BwE)

Postępująca urbanizacja, zasiedlenia, procesy antropogeniczne, uprzemysłowienie i eksploatacja surowców naturalnych prowadzą do przeobrażenia środowiska naturalnego. Zmiany te w obrębie działalności budowlanej z uwagi na powstające konstrukcje dotyczą przede wszystkim: rzeźby terenu i budowy geologicznej, stosunków wodnych, gleb i klimatu. (Rys. 2, 3) [15]. XXI wiek charakteryzuje się wyjątkowo wysokim zużyciem surowców naturalnych w nowych konstrukcjach, a przy rozbiórce obiektów budowlanych materiały pochodzące z recyklingu w tzw. obiegu zamkniętym przeważnie nie są ponownie używane. Z uwagi na powyższe fakty w 1970r. ustanowiono Dzień Ziemi (Rys. 3), który ma przypominać, jak istotna jest Ziemia i jej środowisko naturalne. Pomysłodawcą Dnia Ziemi był amerykański polityk, gubernator stanu Wisconsin i senator USA Gaylord Nelson znany ze swoich działań na rzecz ochrony środowiska. Wskazywał on, że kwestie środowiskowe powinny znaleźć się na pierwszym planie krajowego programu politycznego, a rozpoczęta przez niego polityka jest dziś jeszcze bardziej aktualna. Po pierwszym Dniu Ziemi, który odbył się 22 kwietnia 1970 r., utworzono Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (EPA), a także uchwalono ustawy o czystym powietrzu, czystej wodzie i zagrożonych gatunkach [16].



Rys. 3. Obraz Ziemi i zachodzących na niej procesów związanych również z realizacją konstrukcji budowlanych i niekontrolowanym zastosowaniem kruszyw naturalnych w procesie budowy [16].

Zaangażowanie części społeczeństwa w poprawę stanu środowiska często spotyka się z niezrozumieniem. Niejednokrotnie nowopowstałe konstrukcje stają się nieużytkami z powodu nietrafionych inwestycji, a na ich wykonanie również przeznaczono zarówno środki finansowe, jak i materiałowe związane z wydobyciem surowców naturalnych. Za przykład można podać m.in.:



- Wyspa Palma stanowiąca głównie atrakcję turystyczną Dubaju i posiadłości wypoczynkowe najbogatszych ludzi Świata;
- niemiecki system ochrony „bunkier” z sypialniami w ilości 936 i ilością biur równą 900. Bunkra nigdy nie użyto, a koszty poniesiony na jego budowę szacuje się na około 3,5 miliarda euro;
- Hotel Ryugyōng – 750 milionów dolarów w Korei Północnej;
- Elektrownia w Żarnowcu - 2 miliardy dolarów i brak efektywności [17].

Jednym z podstawowych materiałów stosowanych na szeroką skalę w budownictwie jest piasek kwarcowy, stosowany głównie do produkcji sztucznego kamienia tj. betonu i cegieł oraz opakowań szklanych. W związku z powyższym uwaga w przedłożonej pracy została skupiona na tematyce nadprodukcji, wydobyciu kruszyw naturalnych (szczególnie piasku kwarcowego stosowanego do produkcji betonów i cegieł) oraz ekologii tj. zastosowanie recyklatu w postaci piasku szklanego w produkcji cegieł.

**Przedmiotem badań była cegła wapienno-piaskowa autoklawizowana, produkowana na bazie piasku kwarcowego (90% SiO<sub>2</sub>), wapna (7% CaO) i wody (3% H<sub>2</sub>O). Propozycja modyfikacji polegała na zastąpieniu piasku kwarcowego „QS” piaskiem szklanym z recyklingu szkła kolorowego „GS” w ilości 10 - 90%, skróceniu czasu autoklawizacji oraz zastosowaniu programu GEMS-PSI do analizy składu fazowego i projektowania cegieł autoklawizowanych.**

#### **4.3.1. Przemysł budowlany i wydobycie surowców naturalnych. Nadprodukcja i degradacja złóż.**

Przedstawione aspekty badawcze mają związek z ekologią i budownictwem zrównoważonym w kontekście nadmiernego wykorzystywania surowców naturalnych, a w szczególności z wydobyciem piasku kwarcowego.

Gwałtowna urbanizacja związana z rosnącą populacją i dążeniem do podnoszenia komfortu życia jest procesem wymagającym znacznych nakładów zarówno materiałowych jak i finansowych, co przekłada się na wydobycie surowców naturalnych, takich jak: węgiel, kruszywa naturalne (np.: piasek kwarcowy, dolomity, wapień, bazalty). Procesy te prowadzą do nieodwracalnego i niezrównoważonego transferu materiałów pobieranych z natury do zaspokojenia antropogenicznych potrzeb człowieka. Kruszywa naturalne stanowią około 1/3 surowców i materiałów używanych na świecie, a pod względem ilościowym stanowią największą grupę wydobytych surowców. Światowa produkcja kruszyw szacowana jest rocznie na ponad 20 mld ton i ciągle wzrasta [7,18,19,20]. Według danych Państwowego

Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego, w 2010 r. wzrósł eksport polskich piasków krzemionkowych i kwarcowych, a jego głównymi odbiorcami byli Czesi (74,60 tys. ton), Litwini (56,44 tys. ton) oraz Niemcy (37,85 tys. ton). Piaski kwarcowe występujące w Polsce pochodzą z utworów jury, kredy, trzeciorzędu i czwartorzędu. Z punktu widzenia ich genezy, wyróżnić można piaski kwarcowe syngenetyczne (pochodzenie morskie i/lub lądowe) oraz epigenetyczne (pochodzące z procesów wietrzenia i/lub krasowych) [21]. Większość piasku stosowanego w budownictwie pochodzi z kamieniołomów, jednak często jest on eksploatowany również z plaż. Piasek stosowany do produkcji w sektorze budowlanym najczęściej pochodzi z dna rzek i mórz, a nie piasku pustynnego - dlatego m.in. Burj Khalifa w Zjednoczonych Emiratach Arabskich został wybudowany przy użyciu piasku importowanego z Australii [22]. Kwestie związane z poborem kruszywa z koryt rzek oraz objęcie tego zjawiska oceną oddziaływania na środowisko ma swój rodowód normatywny w ustawodawstwie Stanów Zjednoczonych i wspomnianej wcześniej deklaracji z Rio (poprzedzonej Konferencją w Sztokholmie w 1972 r.). W Polsce kwestie poboru kruszywa z wód reguluje ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne (Dz. U. z 2005 r., nr 239, poz. 2019<sup>5</sup>) oraz Dz.U. 2016 poz. 2033 i Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej [23]. W dokumentach tych można znaleźć informacje, z których wynika, że wydobywanie z wód kamienia, żwiru, piasku i innych materiałów kwalifikowane jest jako forma szczególnego korzystania z wód [23, 24].

Niekontrolowany do tej pory udział piasku w sektorze budowlanym w różnych obszarach świata przyczynił się do:

- zniknięcia 24 indonezyjskich wysp;
- degradacji środowiska i zanieczyszczenia powietrza, ponieważ sama produkcja betonu odpowiada za 4-8% światowej emisji CO<sub>2</sub>;
- niszczenia ekosystemów;
- zmian klimatu (wytwarzanie substratów do produkcji betonów np. cementu w procesie wysokotemperaturowym).

Szacuje się, że nawet 90% plaż na świecie od 2008 roku zmniejszyło się o średnio 40 metrów, a do 2100 roku aż 67% plaż południowej Kalifornii najprawdopodobniej zniknie [25].

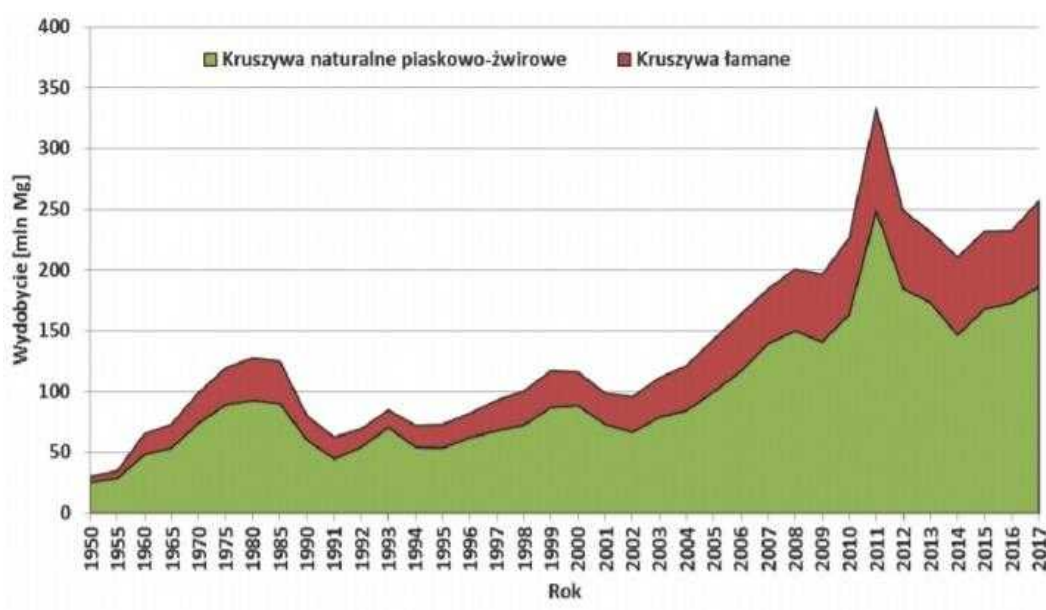
Z powyższego wynika, że nadmierne wydobywanie piasku z rzek czy mórz działa destrukcyjnie i prowadzi do zaburzenia ekosystemów, co w efekcie grozi ginięciem ryb, żółwi

---

<sup>5</sup> Prawo wodne (Dz. U. z 2005 r., nr 239, poz. 2019)

i inne gatunków zwierząt morskich czy raf koralowych [26]. Nadmiernym zużyciem rezerw piasku człowiek przyczynia się również do erozji ziemi, powodzi i osuwisk [27,28].

Rysunek 4 przedstawia wydobycie kruszyw naturalnych w Polsce w latach 1950 – 2017. W latach 1950-2002 wydobycie kruszyw w Polsce było równomierne i wynikało z sytuacji geopolitycznej kraju<sup>6</sup>. Zwiększone zużycie kruszyw datuje się na lata 1955-1985, które obejmują okres odbudowy Polski po zakończonej wojnie. Poczynając od roku 2003 obserwuje się wzrost popytu na surowce naturalne (szczególnie rok 2011, który poprzedzał EURO2012<sup>7</sup>).



Rys. 4. Wydobycie kruszyw naturalnych w Polsce w latach 1950 – 2017 [19].

Według danych magazynu Science i raportu ONZ z czerwca 2021 szacuje się, że na świecie zużywa się:

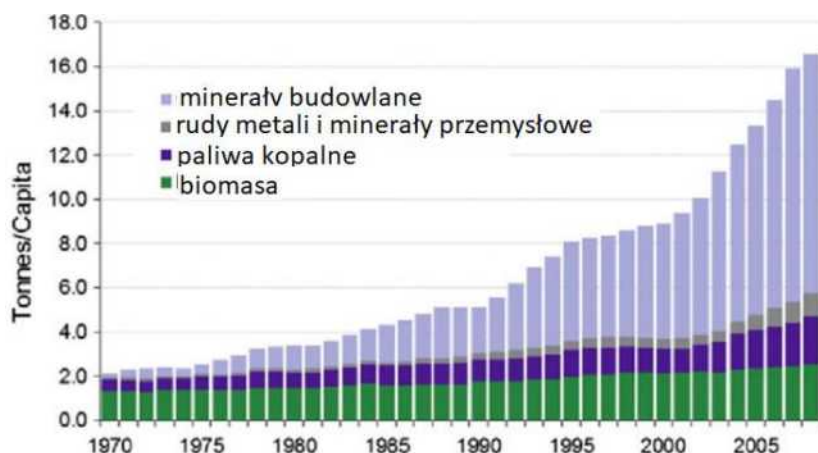
- ⇒ Ok. 50 miliardów ton piasku i żwiru do produkcji betonu, budowy dróg i infrastruktury, co daje 18 kg na osobę dziennie. Naukowcy z Uniwersytetu Stanowego w Michigan prognozują, że w ciągu następnych 30 lat co roku powstanie osiem miast wielkości Nowego Jorku [29,30];
- ⇒ Ponad 4 mld ton cementu;
- ⇒ 10% światowego zużycia wody w przemyśle przypada na produkcję betonu;

Wykres na Rys. 5 przedstawia skalę wydobycia komponentów stosowanych w produkcji budowlanej. Zauważyć można, że od roku 1995 obserwuje się wzmożone wydobycie surowców, które znajdują zastosowanie w przemyśle budowlanym.

<sup>6</sup> <https://warhist.pl/polska/pierwsze-lata-powojenne/>;

<https://www.renowacjeizabytki.pl/artykuly-techniczne/Odbudowa-zespolow-staromiejskich-w-Polsce-po-II-wojnie-swiatej-w-aspekcie-przemian-doktrynalnych-i-spoecznych,7037>

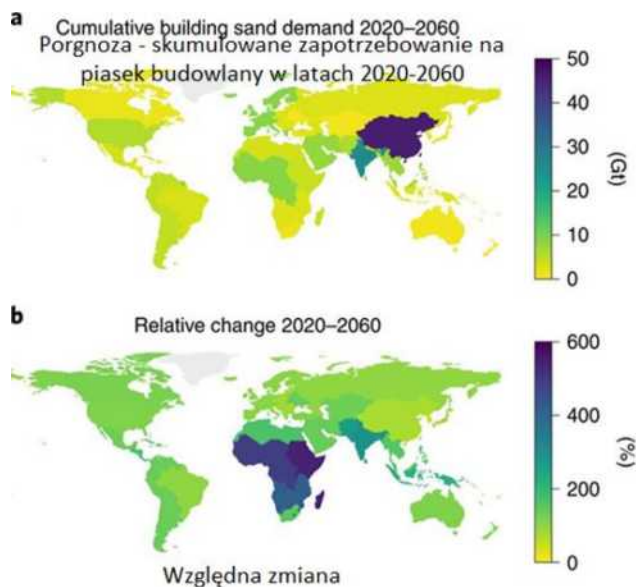
<sup>7</sup> <https://www.uefa.com/uefaeuro/history/seasons/2012/>



Rys. 5. Skalę i trendy zmian w wydobyciu komponentów stosowanych na świecie w produkcji budowlanej [31]

Rys. 6 przedstawia prognozy związane z zapotrzebowaniem na surowce naturalne na świecie do roku 2060. Prognoza opiera się głównie na zapotrzebowaniu na piasek budowlany. Kolor granatowy wskazuje obszar, gdzie prognozowana jest możliwość największego zużycia tego surowca (analizy pokrywają się z obecnym zużyciem piasku, cementu i innych materiałów stosowanych w budownictwie przez Chiny), przy czym Rys. 6a to wartość wyrażana w Gt<sup>8</sup> przy obecnych trendach i skali wydobycia, natomiast Rys. 6b wskazuje względne zmiany zapotrzebowania piasku budowlanego w procesie produkcji przy zastosowaniu środków zapobiegawczych np. recykling, czy zrównoważenie w budownictwie (tj. rozsądna gospodarka kruszywami naturalnymi) i odpowiedzialne inwestycje.

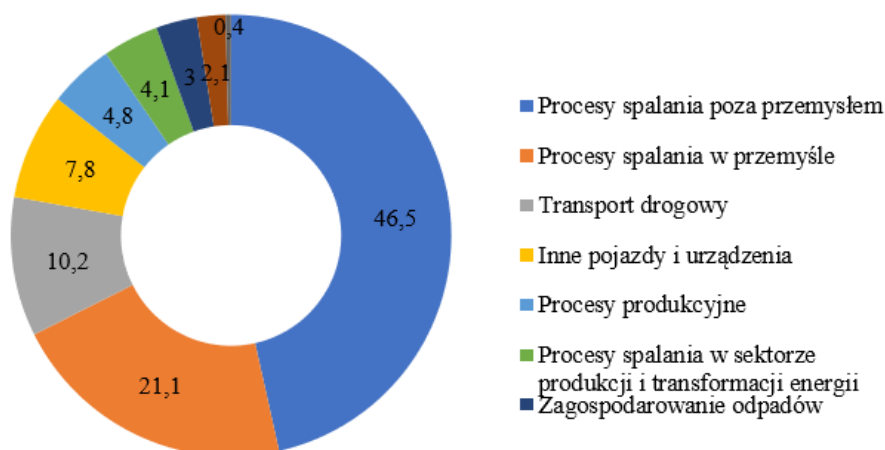
Rys. 6. Prognozowane zapotrzebowanie na surowce naturalne na świecie do roku 2060 [32].



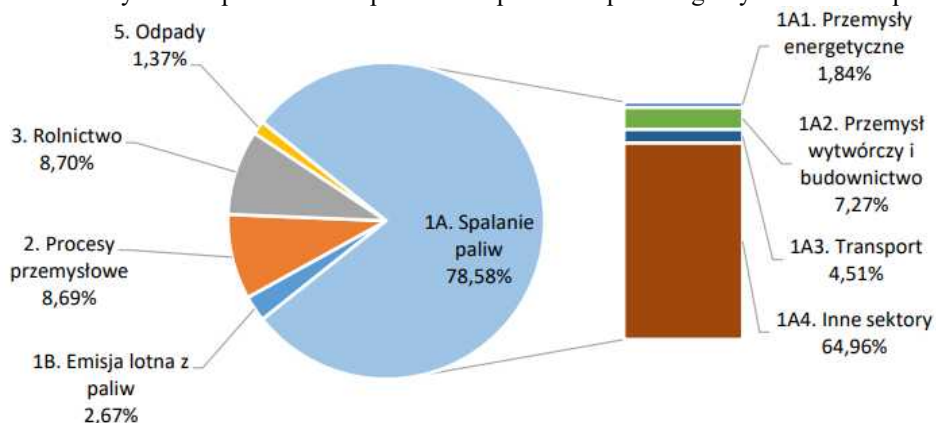
Wydobycie surowców powiązane jest również z ich transportem i przetwarzaniem, w tym procesami wysokotemperaturowymi, takimi jak autoklawizacja, czy wypalanie (produkcja cementu, ceramiki). Obok transportu, autoklawy, piece stosowane w hutach oraz piece

<sup>8</sup> Gt – Gigatona, jednostka miary

do wypalania cegieł są jedną z przyczyn zanieczyszczenia powietrza spowodowanego przez przemysł (w tym przemysł budowlany), a zanieczyszczenie to może wynosić od 10 do 30% ogółu zanieczyszczeń spowodowanych procesami spalania w przemyśle. Jak wynika z powyższych faktów w staraniu się o poprawę jakości powietrza i środowiska poza wydobyciem kruszyw naturalnych na cele budowlane jest również analiza produkcji komponentów stosowanych w produkcji budowlanej, których produkcja lub przetworzenie wymaga stosowania wysokiej temperatury i energii (np. piece do ceramiki, autoklawizacja itp.) [33]. Rys. 7 przedstawia źródła zanieczyszczeń spowodowane procesami spalania w poszczególnych sektorach przemysłu (m.in.: drogowy (w tym transport materiałów): 10,2%, produkcji i transformacji energii: 4,1%, produkcyjny i spalanie w przemyśle: ok. 25%). Kolejne wykresy przedstawiają źródła zanieczyszczenia powietrza szkodliwymi pyłami (PM<sub>10</sub> (Rys. 8), SO<sub>2</sub> (Rys. 9)).



Rys. 7. Źródła zanieczyszczeń spowodowane procesami spalania w poszczególnych sektorach przemysłu [34].



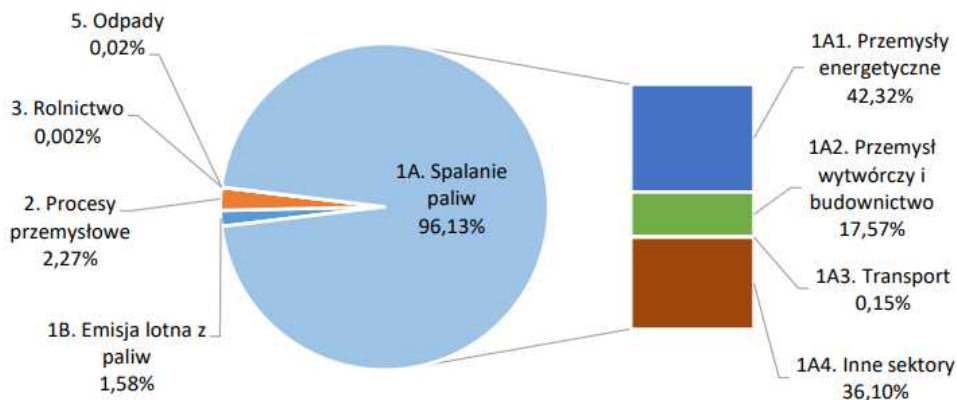
Rys. 8. Wykres źródeł pyłu PM<sub>10</sub> w Polsce w 2020 roku, źródło: Krajowy bilans emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO<sup>9</sup> pyłów, metali ciężkich i TZO<sup>10</sup> za lata 1990-2020, opracowany przez Instytut Ochrony Środowiska<sup>11</sup> – Państwowy Instytut Badawczy [35].

<sup>9</sup> NMLZO - Nietanowe lotne związki organiczne

<sup>10</sup> Trwałe Zanieczyszczenia Organiczne

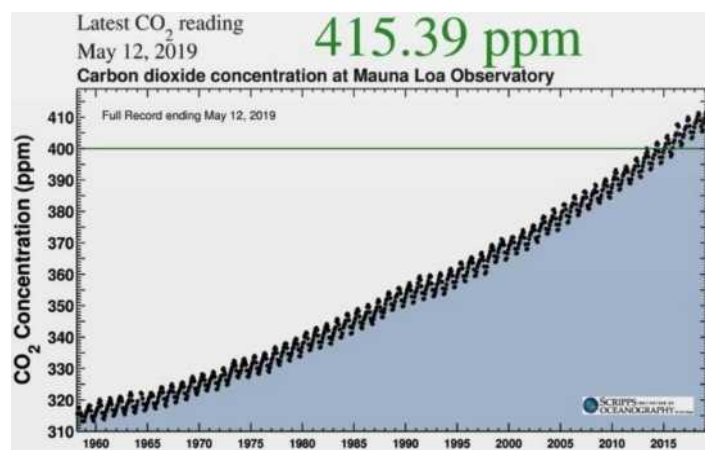
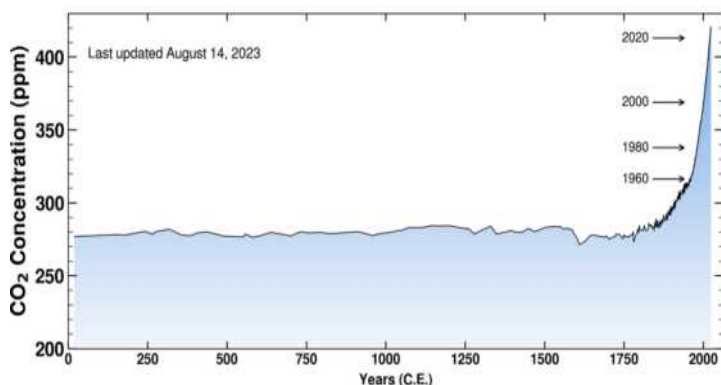
<sup>11</sup> <https://ios.edu.pl/jakosc-powietrza/>

Analiza wpływu zastosowania komponentów szklanych w postaci szkła z recyklingu na skład fazowy oraz wybrane własności użytkowe cegieł autoklawizowanych.



Rys. 9. Wykres źródeł pyłu  $\text{SO}_2$  w Polsce w 2020 roku, źródło: Krajowy bilans emisji  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ , NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 1990-2020, opracowany przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy [35].

Międzynarodowa agencja energetyczna IEA wskazuje [36], że nawet 39% globalnej emisji węgla do powietrza o źródłach związanych z energią, przypisywanych jest budynkom. Budynki zarówno na etapie eksploatacji (ogrzewanie, wentylacja, oświetlenie), jak i już wcześniej – podczas budowy (konstrukcja, użyte materiały, transport, instalacje) – są w skali globalnej istotnym elementem zanieczyszczeń powietrza [37], a te wpływają niekorzystnie na pogorszenie się stanu środowiska, a w konsekwencji na zdrowie człowieka. Nadprodukcja, nasilające się wydobycie surowców naturalnych, transport, przetwarzanie kruszyw są jedną z przyczyn zwiększenia się stężenia  $\text{CO}_2$  w atmosferze.



Rys. 10. Poziom stężenia  $\text{CO}_2$  w atmosferze – trend zmian w latach 1960-2015 [9,38].

W obserwatorium Mauna Loa na Hawajach [9] stężenie dwutlenku węgla w atmosferze mierzone jest od lat 50-tych XX wieku (Fig. 10). Naukowcy 12 maja 2019 roku odnotowali rekordowy poziom stężenia  $\text{CO}_2$  w atmosferze, który wyniósł 415 ppm (par per milion). Ostatni raz tyle dwutlenku węgla znajdowało się w ziemskiej atmosferze 3 miliony lat temu, gdy na Antarktydzie rosły drzewa, a poziom mórz i oceanów był o kilka metrów wyższy niż

obecnie. To najwyższy wynik w historii ludzkości, a według Porozumienia paryskiego<sup>12</sup> 195 państw świata zadeklarowało wspólną walkę ze zmianami klimatycznymi, poprzez redukcję emisji gazów cieplarnianych, której cel zakłada ograniczenie wzrostu średnich temperatur na świecie na poziomie max. 2 stopni Celsjusza powyżej poziomu sprzed okresu rewolucji przemysłowej<sup>13</sup>. Rozwiązaniem optymalnym, do którego państwa powinny dążyć na podstawie swoich działań jest zatrzymanie wzrostu średnich temperatur na poziomie 1,5 st. Celsjusza [9]. Z szacunków Global Footprint Network wynika, że ludzie zużywają znacznie więcej zasobów, niż Ziemia jest w stanie w naturalny sposób odtworzyć i emitują znacznie więcej odpadów, niż Ziemia może w naturalny sposób wchłonąć. **Szacuje się, że na obecnym poziomie konsumpcji zużywany jest ekwiwalent stanowiący 1,7 zasobów planety** [39]. Nadmierna eksploatacja Ziemi i postępująca urbanizacja, a także dotychczasowe modele produkcji i konsumpcji powodują, że przyroda w szybkim tempie ulega degradacji [39,40].

Zrównoważona gospodarka w znaczeniu ekologicznym to zatem szereg działań mających na celu ograniczenie negatywnego wpływu budynków na środowisko w całym cyklu ich życia, począwszy od przygotowania projektu, poprzez proces budowy, aż po eksploatację i wyburzenie, uwzględniając aspekty społeczne, ekologiczne i ekonomiczne [41,42-44]. W 2011 roku w wyniku międzynarodowych negocjacji klimatycznych Unia Europejska (UE) i Europejskie Stowarzyszenie Przemysłu Cementowego (CEMBUREAU) stworzyły tzw. Mapę drogową dla gospodarki niskoemisyjnej w 2050 r. UE zobowiązała się zredukować emisję gazów cieplarnianych (GHG) o 80-95% do roku 2050 w odniesieniu do poziomu z 1990 roku, a CEMBUREAU zadeklarował wkład w realizację tzw. Zielonego Ładu poprzez osiągnięcie celu neutralności klimatycznej cementu i sektora betonu w całym łańcuchu dostaw do 2050r. [45-48].

Raporty ONZ [49,50] sugerują, że aby uniknąć tzw. tragedii piaskowej, świat powinien skupić się na „ograniczeniu naturalnego wydobycia piasku i jego skutków w najbliższej przyszłości oraz wskazuje na konieczność budowania nowych struktur, gdzie recykling starych materiałów jest korzystnym rozwiązaniem, szczególnie w krajach rozwiniętych z bogatą infrastrukturą (np. kruszywo ceglane lub szkło). Ponadto jednym z zaleceń jest wyeliminowanie niepotrzebnych projektów budowlanych i budownictwa spekulacyjnego, a recykling odpadów stałych może również zastąpić piasek.

<sup>12</sup>Paris Agreement – porozumienie kończące 21 Konferencję ONZ w sprawie zmian klimatu w 2015 roku. Porozumienie zobowiązuje i angażuje kraje świata do długoterminowych scenariuszy i przedsięwzięć zakładających ograniczenie emisji gazów cieplarnianych zgodnie z metodologią przyjętą przez IPCC. Cel porozumienia stanowi założenie utrzymania globalnego ocieplenia na bezpiecznym poziomie, aby do 2050 r. UE była neutralna klimatycznie.

<sup>13</sup>Procesu zmian technologicznych, gospodarczych, społecznych i kulturalnych, który został zapoczątkowany w XVIII wieku w Anglii i Szkocji i zakładał przejście z gospodarki opartej na rolnictwie na przemysł manufakturowy, fabryczny i rzemieślniczy [Andrzej Chwałba: Historia Powszechna. Wiek XIX. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008, s. 68. ISBN 978-83-01-15444-8].

Rozwiązaniem przyjaznym środowisku, które może odciążyć naturalne złoża surowców mineralnych – w tym piasku kwarcowego jest recykling komponentów szklanych, szczególnie, że wytyczne wskazują na konieczność zwiększania recyklatu w przemyśle w ramach ograniczenia stosowania surowców naturalnych.

W celu poprawy warunków środowiskowych opracowywane są kolejne sposoby na ograniczenie stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze, a jednym z nich jest stosowanie symulacji termodynamicznych, co na etapie projektowania eliminuje ilość wykonanych doświadczeń, zastosowanych substratów i energii. Prof. Gaurav Sant<sup>14</sup> wraz ze współpracownikami opracował metodę, której założeniem jest tzw. zamknięcie pętli CO<sub>2</sub> podczas produkcji nowoczesnych betonów. W myśl tej metody podczas projektowania betonów należy przeprowadzić proces dekarbonizacji wapienia do postaci wapna (CaO) przy jednoczesnym wychwyceniu CO<sub>2</sub>. Następnie wapno w czasie kontaktu z wodą utworzy wapno hydratyzowane lub gaszone, której z kolei można skontaktować z CO<sub>2</sub> wychwyconym podczas dekarbonizacji, co spowoduje ponowne utworzenie wapienia [51,52].

Zespół naukowców z MIT (Massachusetts Institute of Technology, USA) opracował metodę pochłaniania CO<sub>2</sub> przy okazji projektowania i wykonywania betonu, którego produkcja odpowiada obecnie za znaczną część emisji dwutlenku węgla. Zespół z MIT twierdzi, że wystarczy dodać do mieszanki wodorowęglan sodu (sodę oczyszczoną), aby aż 15% całkowitej ilości CO<sub>2</sub> emitowanej przy produkcji betonu została w nim związana na wcześniejszym etapie, bez pogarszania jego jakości [53].

Uwzględniając tematykę rozwoju zrównoważonego i ekologii oraz analizowane rozwiązania i propozycje zmian technologicznych w produkcji materiałów budowlanych przedstawione rozwiązanie naukowe tj. recykling szkła butelkowego w postaci piasku szklanego (Rys. 11) w ceglach autoklawizowanych, skrócenie czasu autoklawizacji, zastosowanie programu GEMS do analizy składu fazowego i projektowania cegieł autoklawizowanych zawiera się w aktualnych postulatach badawczych i aktualnych wytycznych dotyczących ekologii i recyklingu.

---

<sup>14</sup> Gaurav N. Sant – Profesor na Civil and Environmental Engineering, Materials Science and Engineering, Henry Samueli Fellow Inaugural Pritzker Professor of Sustainability, UCLA, 5731J Boelter Hall  
Institute for Carbon Management: <https://icm.ucla.edu/>  
Profesor, dzięki któremu poznałam procesy modelowania termodynamicznego i wiedzę z zakresu budowy fazowej materiałów budowlanych i możliwości zastosowania programu GEMS-PSI.  
<https://samueli.ucla.edu/people/gaurav-sant/>, [https://scholar.google.com/citations?user=p\\_kytiYAAAAJ&hl=en](https://scholar.google.com/citations?user=p_kytiYAAAAJ&hl=en)





Rys. 11. Propozycja zastosowania piasku szklanego z recyklingu szkła w materiałach silikatowych przy jednoczesnym skróceniu czasu autoklawizacji [54,55,56].

Zagadnienia dotyczące rozwoju zrównoważonego, ekologii, nadprodukcji i nadmiernego wykorzystywania surowców naturalnych zostały poruszone w następujących publikacjach z przedłożonego Cyklu publikacji (wg załączników A):

**A1. Anna Stepien** *Recycling in Building Materials. Analysis of the Possibilities and Results of Using Recycled Glass Sand in Autoclaved Materials.* ENERGIES 2023, 16(8), 3529, ISSN: 1996-1073, pp. 1-29.

**A3. Anna Stepien, Paulina Kostrzewa, Ryszard Dachowski** *Influence of barium and lithium compounds on silica autoclaved materials properties and on the microstructure.* JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, Vol.236, 117507, ISSN: 0959-6526 (print); 1879-1786 (web), 1 Nov.2019, pp.1-14.

**A6. Anna Stepien, Jerzy Z. Piotrowski** *Thermal insulation of autoclaved materials.* JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES (OPIScience) J. Phys.: Conf. Ser. 2069 012037, Vol. 2069, 2021, 1742-6588 (print); 1742-6596 (web), pp.1-9.

**A8. Anna Stepien, Ryszard Dachowski, Jerzy Z. Piotrowski** *Insulated Autoclaved Cellular Concretes and Improvement of Their Mechanical and Hydrothermal Properties.* Chapter in the Monograph: THERMAL INSULATION AND RADIATION CONTROL TECHNOLOGIES FOR BUILDINGS By: J. Kosny and D. W. Yarbrough, SPRINGER NATURE 2022, ISBN: 978-3-030-98693-3, pp. 393–419.

**A9. Anna Stepien, Jerzy Z. Piotrowski, Magdalena Balonis, Sławomir Munik, Maria Krechowicz, Milena Kwiatkowska** *Sustainable Construction—Technological Aspects of Ecological Wooden Buildings.* ENERGIS 2022, 15(23), 8823; ISSN: 1996-1073, pp.1-24.

#### 4.3.2. Cegła wapienno-piaskowa i proces autoklawizacji w warunkach przemysłowych.

Przedmiotem badań jest cegła silikatowa, która powstaje w warunkach hydrotermalnych tj. temperatura ok. 200°C i ciśnienie ok. 1.6 Bara, której produkcja bazuje na piasku kwarcowym, wapnie i wodzie. Tradycyjna cegła silikatowa autoklawizowana w zależności od klasy wyrobu odznacza się następującymi parametrami :

- ⇒ Wytrzymałość na ściskanie: 15 ÷ 20 MPa;
- ⇒ Gęstość objętościowa: ok. 1,6 ÷ 2,2 kg/dm<sup>3</sup> (średnio 1,7 kg/dm<sup>3</sup>);
- ⇒ Nasiąkliwość: około 18% w stosunku do masy wyrobu.

Przykładowe materiały:

- => Bloczek H+H Silikat A w klasie gęstości 2,0 i wymiarach 250 x 180 x 220 mm;
- => H+H Silikat APLUS w klasie gęstości 2,2 i wymiarach 250 x 180 x 220 mm;
- => H+H Silikat<sup>15</sup> A12 w klasie gęstości 1,8 i wymiarach 250 x 120 x 220 mm.

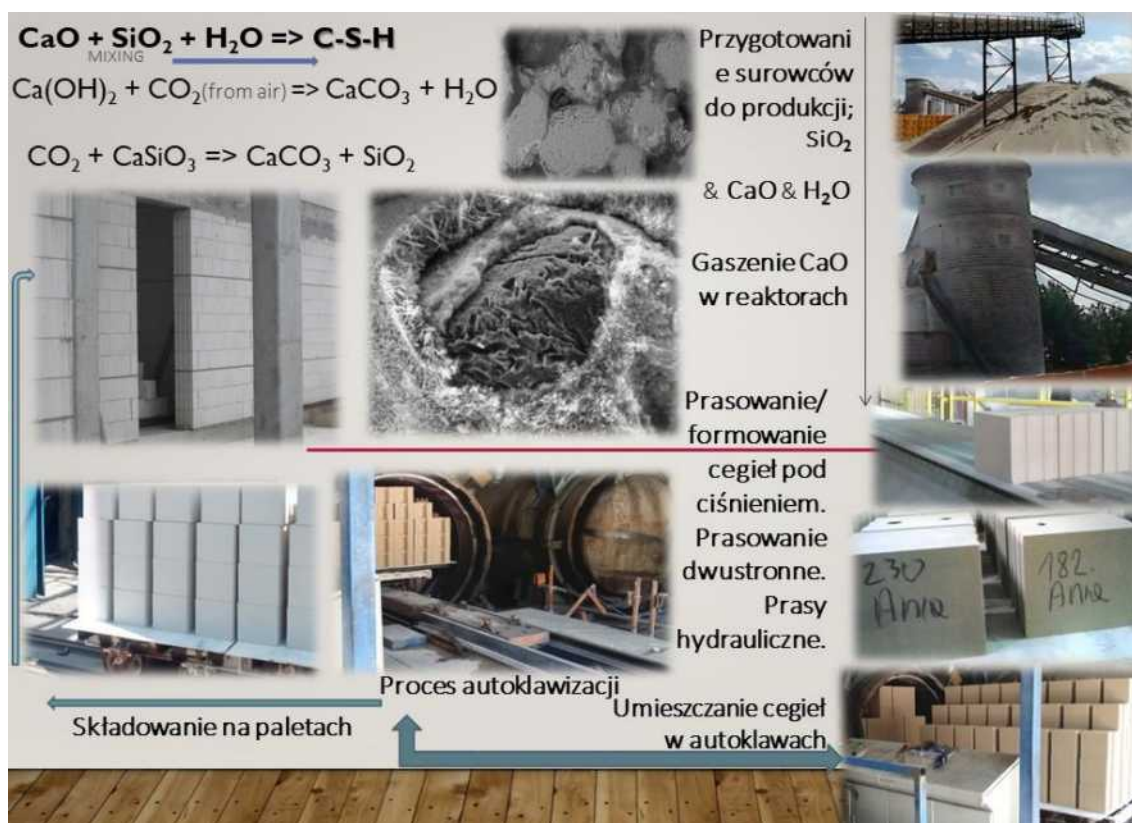
Tradycyjne cegły wapienno-piaskowe (silikatowe) produkowane w warunkach przemysłowych są materiałami budowlanymi, które powstają w warunkach hydrotermalnych. Cegła autoklawizowana określana jest mianem naturalnej i powstaje z: piasku (SiO<sub>2</sub>: 87-90%), wapna (CaO: 3-7%) i wody (H<sub>2</sub>O: 3-5%). Technologia produkcji cegły wapienno-piaskowej (Rys. 12) jest odwzorowaniem procesu powstawania piaskowca w warunkach naturalnych, a sam proces produkcji cegieł silikatowych jest określany jako ekologiczny i przebiega w pięciu podstawowych etapach:

- ⇒ Składowanie i mieszanie surowców - wapno i piasek składowane są w silosach, skąd dozowane są do mieszalników w stosunku wagowym (wapno 1 : piasek 12) i mieszane, jako sucha mieszanka.
- ⇒ Przeistoczenie w hydrowapno (wodzian wapnia) - po dodaniu do przygotowanej masy (wapienno-piaskowej) wody otrzymuje się hydrowapno (wodzian wapna), która następnie umieszczana jest w reaktorach, gdzie ma miejsce gaszenie wapna i podniesienie temperatury masy do około 60°C. Proces ten trwa około 4 godzin.
- ⇒ Formowanie – w automatycznych prasach - następuje formowanie masy silikatowej pod ciśnieniem z wykorzystaniem pary wodnej (ciśnienie prasowania to około 200 Bar = 20 MPa);
- ⇒ Hartowanie tzn. autoklawizacja - sprasowane elementy umieszczane są w autoklawach, w których temperatura pary wodnej wynosi około 200°C przy ciśnieniu około 1,6 MPa na okres około 4-8 godzin (w zależności od formatu bloczków i wymaganej

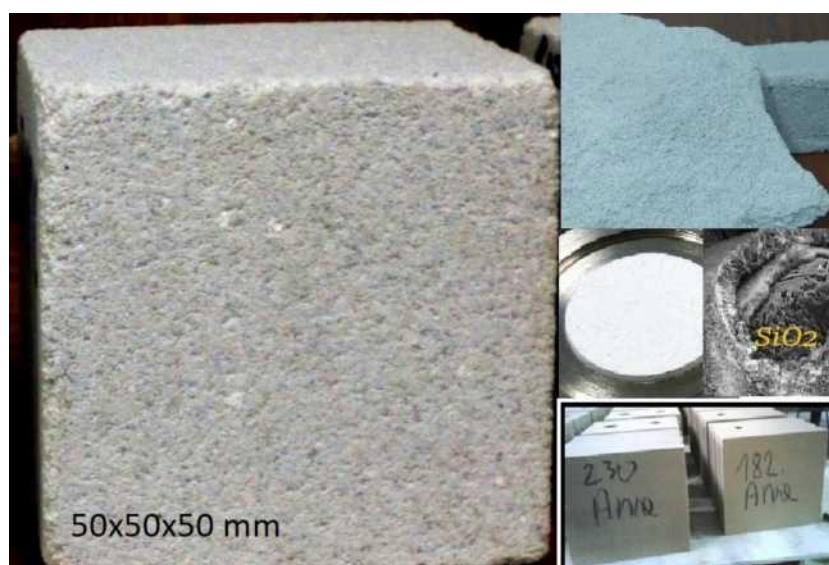
<sup>15</sup> <https://www.hplush.pl/zaklad-ludynia> (dawne Grupa SILIKATY)

projektowanej wytrzymałości). W tym czasie zachodzą reakcje chemiczne między wapnem a piaskiem. Następuje rekrytalizacja mieszanki za sprawą której bloczki uzyskują dużą wytrzymałość mechaniczną i trwałość.

⇒ Chłodzenie, kontrola jakości, pakowanie - po etapie chłodzenia i wyjęcia z autoklawów bloczki silikatowe zostają poddane kontroli jakości i umieszczane są na paletach, jako produkty gotowe do transportu [57].



Rys. 12. Proces produkcji tradycyjnej cegły silikatowej w warunkach przemysłowych.



Rys. 13. Produkcja cegły silikatowej tradycyjnej (bloczki produkowane w warunkach przemysłowych (25 x 18 x 22 cm), próbki laboratoryjne (5 x 5 x 5 cm), przełam, mikrostruktura).

Grafika przedstawiona na Rys. 12 to proces produkcji tradycyjnej cegły silikatowej. Zdjęcia wykonano w Zakładzie Produkcji Silikatów w Ludyni (obecnie firma H+H). Produkcja laboratoryjna obejmowała wykonanie bloczków o wymiarach 5 x 5 x 5 cm (Rys. 13). Podczas produkcji laboratoryjnej wykorzystany został autoklaw laboratoryjny, a proces produkcji cegieł był odwzorowaniem procesu produkcji w warunkach przemysłowych. W trakcie badań skrócono czas autoklawizacji z 8 do 5 godzin.

#### **4.3.3. Recykling komponentów szklanych.**

Szkło, obok betonu i stali, jest materiałem najczęściej stosowanym w budownictwie, przemyśle, nauce oraz w życiu codziennym. Tak powszechne zastosowanie szkła prowadzi do powstawania znacznej ilości odpadów szklanych. Odpady szklane to recyklat pochodzący m.in. z :

- butelek szklanych (bezbarwnych i kolorowych);
- szyb okiennych o różnym przeznaczeniu i gęstości;
- opakowań szklanych;
- naczyń użytku codziennego;
- ekranów monitorowych itp.

Szkło bezbarwne jest dokładnie czyszczone i ponownie zagospodarowane w przemyśle, natomiast większy problem stanowi szkło barwione, które z uwagi na zanieczyszczenie i barwniki często jest trudne w utylizacji i zalega na wysypiskach odpadów. Szybki rozwój gospodarczy Polski i innych krajów Europejskich zintensyfikował nagromadzenie odpadów szklanych, a szkło kolorowe stanowi narastający problem utylizacji odpadów [58]. W Polsce konsumpcja opakowań szklanych ukształtowała się na poziomie ponad 1 mln. ton rocznie, a zebranych do recyklingu metrycznych opakowań szklanych było ponad 400 tys. ton., co oznacza, że stopa recyklingu szkła w Polsce kształtuje się na poziomie ok. 44%. Najnowsze dane FEVE(1) (The European Container Glass Federation [59]) wskazują, że w 2018 r. w 28 krajach Unii Europejskiej średnio 78% szklanych butelek i słoików było segregowanych i poddanych recyklingowi oraz wróciło na rynek w postaci nowych opakowań. Obserwowany jest sukcesywny wzrost na tym polu (np. w 2017 r. było to 76%). Jako cel na 2030 r. branża szklarska postawiła sobie zbiórkę 90% opakowań pokonsumenckich, którą wspomóc ma inicjatywa Close The Glass Loop powołana w 2020 roku (w Polsce: Twórz Zamknięty Obieg Szkła). W Polsce ilość recyklatu szkła wzrasta, a Główny Urząd Statystyczny (Bank Danych Lokalnych, dostęp we wrześniu 2021 r.) mówi tu o 463 tys. ton w 2017 r., 505 tys. ton w 2018 r. i już 733 tys. ton w roku 2020.

Jak wskazano w raporcie „Środowiskowe aspekty projektowania opakowań”, produkowane obecnie opakowania szklane są 30% lżejsze od tych produkowanych jeszcze 50 lat temu, ich produkcja pochłania 70% mniej energii, a emisje dwutlenku węgla są o 50% niższe. Zapotrzebowanie na szkło z recyklingu jest dużo wyższe niż podaż, a raport wskazuje wręcz, że stłuczka szklana jest kluczowa dla efektywnej produkcji opakowań szklanych [60].

Przetwarzanie stłuczki szklanej w kontekście rozwoju zrównoważonego to korzyści w postaci ekonomicznej i ekologicznej:

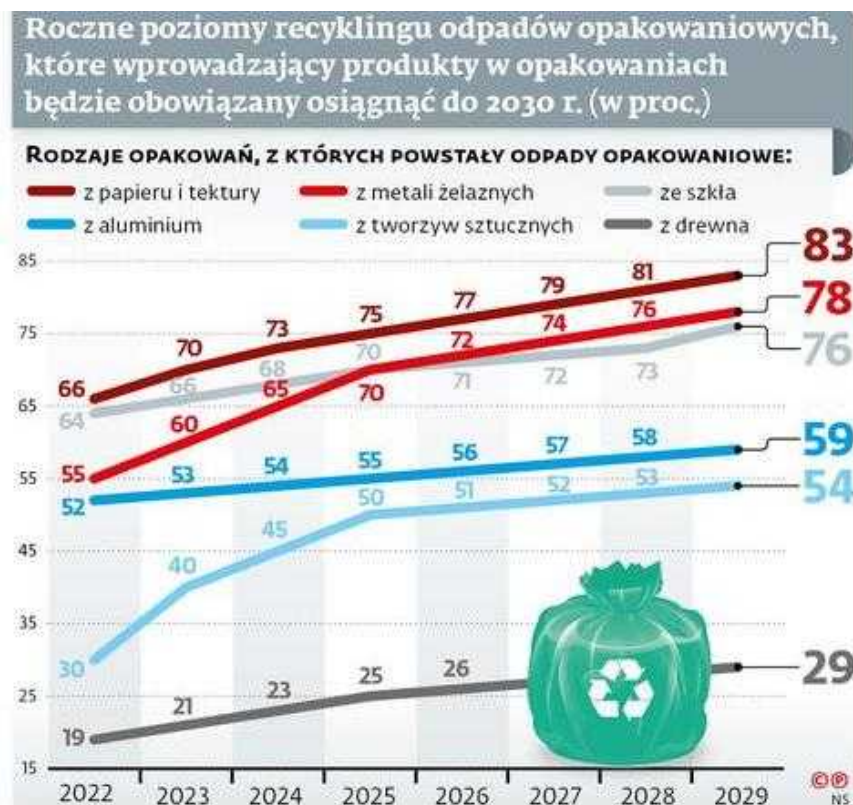
⇒ 1 tona stłuczki szklanej zastępuje 1,2 tony nieodnawialnych surowców naturalnych (wydobycie i transport);

⇒ wzrost udziału stłuczki szklanej o 1% przy wytwarzaniu szkła powoduje oszczędność energii o ok. 0,25%, poza tym oszczędza się wodę potrzebną do produkcji i ogranicza emisję szkodliwych tlenków do atmosfery.

Wykres Rys. 14 Przedstawia szacunkową ilość szkła wprowadzanego na rynek w poszczególnych latach (2009-2014) w tys. ton i potencjalny stopień jego odzysku. Prognoza ta tematycznie zbiegła się i łączy z konferencjami ONZ w Rio de Janeiro [1,2]. Natomiast Rys. 15 przedstawia prognozy do roku 2030 ilości opakowań szklanych wprowadzonych na rynek w stosunku do ilości recyklatu i konieczności jego ponownego zagospodarowania.



Rys. 14. Szacunkowa ilość szkła wprowadzanego na rynek w latach 2009-2014 w tys. ton i potencjalny stopień odzysku szkła [61].



Rys.15. Prognozy do roku 2030 ilości opakowań szklanych wprowadzonych na rynek w stosunku do ilości recyklatu [62].

W 2010 roku firma Owens-Illinois, Inc. (NYSE: OI) [63] - największy na świecie producent opakowań szklanych przeprowadziła ocenę cyklu życia (LCA – Life Cycle Assessment [64]) szkła śledząc pełny cykl życia opakowania tzn. od wydobycia surowców po ponowne użycie lub recykling pojemnika szklanego. Korzystając z publicznie dostępnych danych na temat produkcji aluminium i tworzyw PET, wykazano, że szkło ma najkorzystniejszy ślad węglowy. Szczegółowa metodologia analizy LCA jest obecnie zawarta przede wszystkim w następujących normach międzynarodowych:

- ⇒ EN ISO 14040:2006 Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Zasady i struktura [42];
- ⇒ EN ISO 14044:2006 Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Wymagania i wytyczne [43];
- ⇒ ISO/TR 14047:2003 Zarządzanie środowiskowe - Ocena wpływu cyklu życia - Przykłady stosowania ISO 14042 [44];
- ⇒ Tłumaczenie ISO TS 14048: 2002 Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Format dokumentowania danych - polskie tłumaczenie ISO/TS 14048 [65].

Cały obszar związany z recyklingiem szkła w branży budowlanej dotyka kwestii zwanej wspólnie „zrównoważonym budownictwem”. W UE w 2011 r. opublikowano komunikat

Komisji Europejskiej zatytułowany „Plan działania na rzecz zasobooszczędnej Europy”. Z jednej strony w sektorze budowlanym zidentyfikowano duże wydobywanie zasobów naturalnych z drugiej strony duży potencjał potencjalnych oszczędności. Zestaw nowo utworzonych norm serii EN 15000 (często wykorzystujących wcześniej opracowane normy ISO) stanowi wspólny europejski system oceny zrównoważonego budownictwa i wyrobów budowlanych, oparty na cyklu życia.

W dziedzinie wyrobów budowlanych znaczenie problemu recyklingu wzrasta w związku z włączeniem siódmego wymagania podstawowego do CPR tj. rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 - CPR, które zakłada stopniowe tworzenie EPD = deklaracji środowiskowych produktu, w przypadku których podstawowym narzędziem jest także LCA. Zmiana sposobu gospodarowania surowcami naturalnymi i ideą recyklingu wymaga kontroli nie tylko ze strony państw i organizacji, ale też podejścia indywidualnego człowieka. W ostatnich latach popularnością cieszy się idea „zero waste”, co oznacza „zero odpadów” (5R):

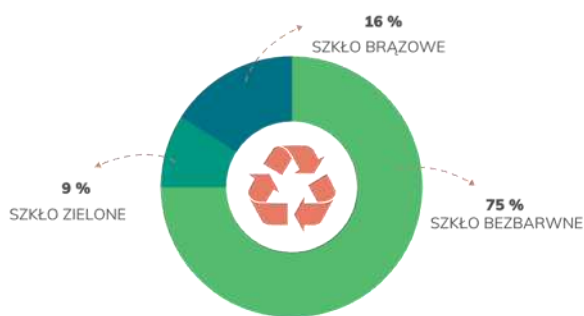
- |                          |                                       |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Refuse – Odmawiaj     | 4. Recycle – Przetwarzaj i przerabiaj |
| 2. Reduce – Redukuj      | 5. Rot – Kompostuj                    |
| 3. Reuse – Użyj ponownie |                                       |

Z danych wynika, że recykling szkła w Europie wynosi ok. 75% w Europie, a w USA 26.6%, natomiast reszta jest składowana [66]. Z wprowadzonych na rynek w 2001 roku ok. 850 tys. ton opakowań szklanych ponownie przetworzono tylko 140 tys. ton. Pozostałe szkło (ok. 700 tys. ton) nie zostało zagospodarowane i prawdopodobnie pozostaje na składowiskach wraz z innymi odpadami [67,68].

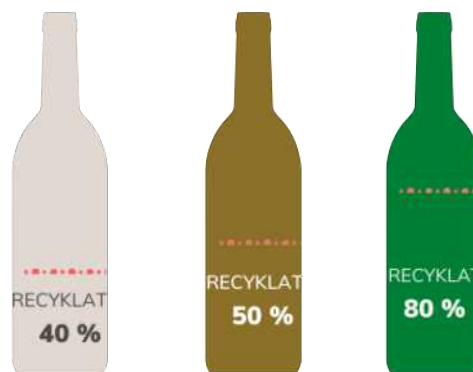
W strukturze opakowań szklanych ok. 80% stanowią opakowania ze szkła bezbarwnego tzw. flint [69]. Rysunki Rys. 16 i Rys. 17 przedstawiają udział procentowy recyklatu w ponownej produkcji wraz z podziałem na kolory składowanego szkła. Najbardziej cenionym rodzajem szkła jest jednak szkło bezbarwne z uwagi na zminimalizowany poziom zanieczyszczeń i stanowi 75% szkła z recyklingu (Rys. 16). Ponadto do przetworzenia i ponownego zastosowania faktycznie trafia:

- 40% recyklatu zawiera szkło bezbarwne;
- 50% recyklatu zawiera szkło brązowe;
- 80% recyklatu zawiera szkło zielone.

Z technologicznego punktu widzenia nie ma możliwości mieszania szkła bezbarwnego z innymi kolorami bez zastosowania specjalnej, energochłonnej technologii [71].



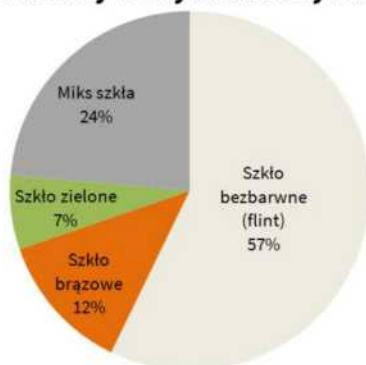
Rys. 16. Udział kolorów szkła w recyklingu [70].



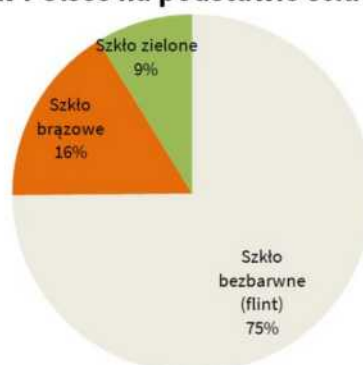
Rys. 17. Udział recyklatów w produkcji butelek [70].

Szkło gorszej jakości, które nie spełnia wymogów hut trafia na wysypiska a stamtąd do produkcji w tym do zastosowania w przemyśle budowlanym (głównie do modyfikacji materiałów budowlanych) [70].

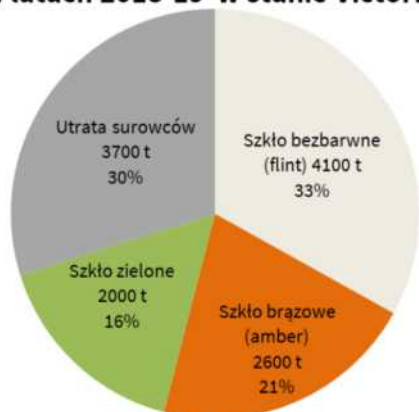
#### Struktura sprzedaży stłuczki szklanej w Krynicki Recykling



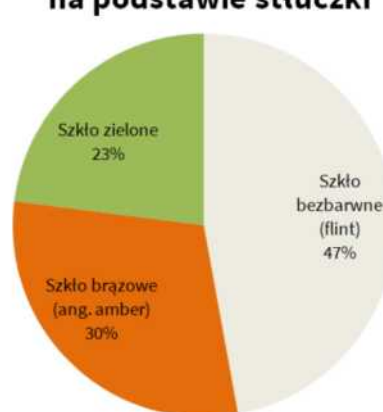
#### Rynek opakowań szklanych w Polsce na podstawie stłuczki

Rys.18 Rynek szkła i struktura sprzedaży stłuczki szklanej w Polsce (Krynicki Recykling<sup>16</sup>) [69].

#### Miesięczna ilość stłuczki szklanej w latach 2018-19 w stanie Victoria



#### Rynek szkła w Victorii na podstawie stłuczki



Rys. 19 Rynek szkła i miesięczna ilość stłuczki szklanej zebrana w latach 2018-2019 w stanie Victoria w Australii [69].

<sup>16</sup> <https://krynicki.pl/> - Spółka Krynicki Recykling jedna z największych firm w Polsce zajmująca się recyklingiem szkła. Spółka od 2007 r. utrzymuje system zarządzania jakością ISO 9001 w zakresie skupu, produkcji i sprzedaży stłuczki szklanej. Krynicki Recykling pozyskuje stłuczka szkła dzięki współpracy z gminami, producentami wyrobów w opakowaniach szklanych, przedsiębiorstwami komunalnymi, punktami skupu surowców wtórnych oraz sortowniami i wysypiskami śmieci.



W zależności od kraju ilość produkowanych materiałów i recyklatu różnią się między sobą. Poniżej przedstawione zostały dane dotyczące Polski (Rys. 18) i Australii (Rys. 19).

Z powyższego wynika, że struktura opakowań szklanych w Europie zawiera następujący procent szkła z recyklingu:

- szkło bezbarwne zawiera 40% recyklatu (75% rynku);
- szkło brązowe zawiera 50% recyklatu (16% rynku);
- szkło zielone zawiera 80% recyklatu (9% rynku);
- szkło bez określonego koloru zawiera 52% recyklatu (margines)

Powyższe dane świadczą o tym, że średni poziom zawartości recyklatu w opakowaniach szklanych zawiera się w przedziale 45% z 75%. Pozostaje 30% niewykorzystanej stłuczki szklanej i ta właśnie jeśli nie zalega na wysypiskach może znaleźć zastosowanie w produkcji materiałów budowlanych [70].

Stłuczka szklana w różnej postaci (głównie jako puder szklany i piasek szklany) jest stosowana w produkcji budowlanej, głównie w procesie modyfikacji betonów oraz asfaltu, rzadziej w modyfikacji cegieł. Jedną z wczesnych publikacji dotyczących zastosowania komponentów szklanych w budownictwie pochodzi z roku 2009 [72]. Autorzy przywołanej publikacji wskazali, że szkło odpadowe stosowane w betonach, jako kruszywo drobne w ilości do 30%, wpływa korzystnie na właściwości użytkowe betonu. W przytoczonej publikacji stwierdzono, że wytrzymałość na zginanie i ściskanie próbek betonowych z 20% zawartością odpadów szklanych zazwyczaj jest wyższa średnio o ok. 4-10% (po 28 dniach od produkcji), w stosunku do próbki kontrolnej nie zawierającej stłuczki. Wyniki wskazały na tendencję spadków do zmniejszania się wytrzymałości wraz ze wzrostem udziału szkła odpadowego w masie surowcowej, dlatego dodatek ten stosowano w ilości: 10%, 15% i 20% recyklatu w modyfikowanej masie betonowej.

Stłuczka szklana i popioły fluidalne stosowane są również w produkcji spoiw. Dla tej modyfikacji badania wytrzymałości na ściskanie wskazały na możliwość zastosowania popiołów fluidalnych, jako aktywatora stłuczki szklanej. Badane popioły zawierały znaczne ilości aktywnego wapna, które powodują silną alkalizację środowiska, co sprawia, że stłuczka szklana staje się aktywna. Najprawdopodobniej w takim układzie szkło zachowuje się jak pucolana w zaczynach cementowych, reagując z wolnym wodorotlenkiem wapnia, co prowadzi do powstawania fazy C-S-H.

Wpływ stłuczki szklanej jest szczególnie widoczny w dłuższym czasie dojrzewania od momentu produkcji materiału. Fakt ten wskazuje na istotny wpływ alkaliów zawartych

w szkło, które uwalniają się do hydratyzującego układu w miarę postępu procesu hydratacji ziaren szkła i na proces twardnienia modyfikowanego materiału [73].

W publikacji N. Tamanna and all [74] słuczka szklana stosowana była w betonach poprzez zastąpienie naturalnego piasku rzeczno-recyklatem w ilości 20%, 40% i 60% całkowitej masy piasku. W badaniach wykorzystano wielobarwne szkło sodowo-wapniowe. Wyniki badań wykazały poprawę wytrzymałości mechanicznej betonu oraz lepszą odporność na penetrację jonów chlorkowych, co ograniczyło ekspansję spowodowaną reakcją alkalia-krzemionka. Silną segregację zaobserwowano podczas modyfikacji betonu piaskiem szklanym z recyklingu, gdzie zmianom uległy właściwości plastyczne betonu [75]. Profesor A. Tagnit-Haomu<sup>17</sup> [76], jako jeden z pionierów, stosował sproszkowane kolorowe butelki szklane w postaci pudru szklanego (Glass Powder GP) do modyfikacji betonu. Wykorzystywał on pył powstający po przetworzeniu butelek na proszek (tj. piasek szklany). Ponieważ pył powstający podczas mielenia butelek jest materiałem pucolanowym (puder szklany GP jest bogaty w amorficzną krzemionkę (~70%)) wykorzystanie odpadowego proszku szklanego w modyfikacji betonów jest uzasadnione. Badania przedstawione przez Tagnit-Hamou wskazały, że mieszanki betonowe produkowane z dodatkiem GP, jako zamiennika 10-30% cementu portlandzkiego wykazują korzystne właściwości mechaniczne i charakteryzują się wysoką trwałością. Jak udowodniły badania dodatek GP wpływa na porowatą strukturę materiału, a ta z kolei odgrywa kluczową rolę w modyfikacji właściwości mechanicznych i wytrzymałościowych betonów i innych materiałów budowlanych.

Inne badania pokazują, że dodatek szkła w postaci proszku szklanego (WGP) przyczynia się do urabialności masy surowcowej, ale prowadzi do wydłużenia czasu wiązania [50]. Udowodniono również, że duże ilości (do 70%) klinkieru cementu portlandzkiego w nowoczesnych betonach i ekologicznej produkcji tzw. ECO-cemencie może być zastąpiona odpadami szklanymi [77,78,79]. Mieszane kolorowe odpady szklane z recyklingu to materiał, którego nie można ponownie wykorzystać w przemyśle szklarskim z uwagi na zanieczyszczenie szkła barwionego. Beton można zatem uznać za punkt wyjścia dla nadwyżek szkła pochodzącego z recyklingu, a prognozy związane z recyklingiem odpadów szklanych wymuszają konieczność poszukiwania nowych rozwiązań [80,81]

---

<sup>17</sup> A.Tagnit Hamou – Professor, Wydział Budownictwa University of Sherbrooke UdeS, Sherbrooke, Quebec, Canada. Profesor, który zapewnił mi możliwości pracy nad modyfikacją procesu autoklawizacji i zapoczątkował proces badawczy modyfikacji cegieł silikatowych piaskiem szklanym z recyklingu – proces przedstawiony w niniejszym Autoreferacie. <https://scholar.google.fr/citations?user=8hsdNeUAAAAJ&hl=fr>

#### **4.4. Proces badawczy i metodologia. Analiza wpływu zastosowania komponentów szklanych w postaci szkła z recyklingu na skład fazowy oraz wybrane własności użytkowe i budowę fazową cegieł autoklawizowanych**

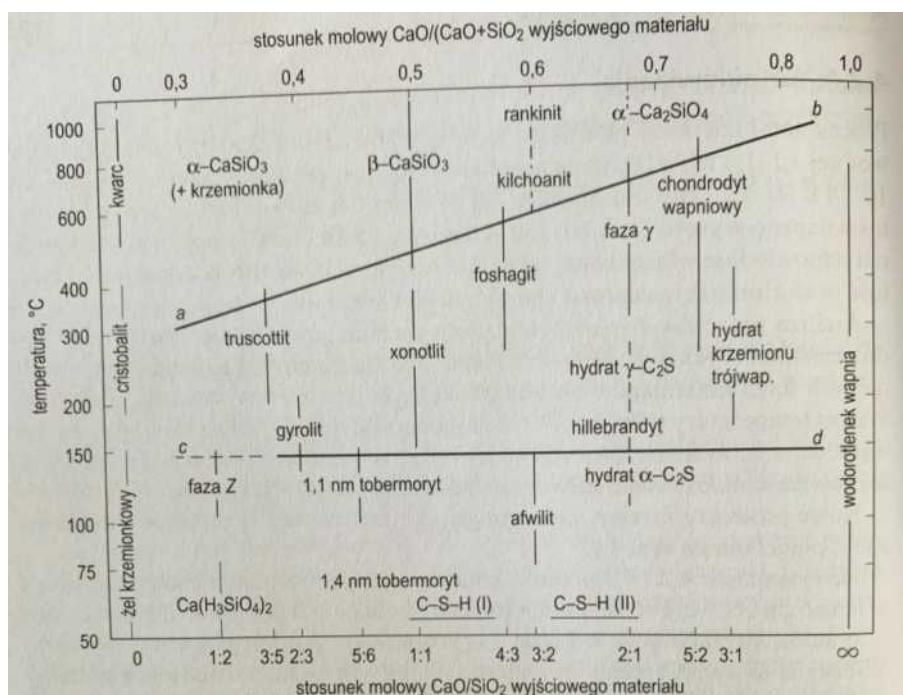
Na właściwości użytkowe konstrukcyjnych materiałów budowlanych składa się wiele czynników takich jak: jakość substratów stanowiących masę surowcową, technologia produkcji, odpowiednia eksploatacja, choć ta ostatnia zależna jest od czynników środowiskowych. Z kolei właściwości użytkowe są odzwierciedleniem struktury i mikrostruktury materiałów.

Przedmiotem badań jest cegła wapienno-piaskowa powstająca w warunkach hydrotermalnych, analiza składu fazowego cegły tradycyjnej oraz modyfikacja masy surowcowej recyklatem w postaci piasku szklanego oraz modyfikacja procesu autoklawizacji, który standardowo zamyka się w 8 godzinach (1h +6h + 1h). Termin autoklawizacja związany jest z procesem zachodzącym w autoklawach zamkniętych hermetycznie, podgrzewanych paliwem opałowym (np. węglem). W autoklawach w warunkach określanych jako hydrotermalne (hydro=woda, termal=termalne=ciepło) zachodzą procesy i reakcje chemiczne gwarantujące odpowiednią wytrzymałość i jakość powstających w ten sposób wyrobów. Temperatura wody w urządzeniach jest stabilizowana, bądź ograniczana poprzez temperaturę wrzenia wody, która przy normalnym ciśnieniu atmosferycznym wynosi 100°C. Zwiększenie ciśnienia umożliwia osiągnięcie wyższej temperatury w granicach 180-200°C. W zamkniętym autoklawie, w trakcie jego podgrzewania wzrasta ciśnienie, głównie w wyniku parowania wody. Ciśnienie w autoklawach jest ograniczane automatycznym zaworem ciśnieniowym [83, 82]. Skład fazowy materiałów budowlanych w tym cegieł wapienno-piaskowych składa się głównie z dwóch faz: amorficznej i krystalicznej o różnym stopniu częstotliwości. Komponenty stosowane do ich produkcji posiadają z reguły strukturę krystaliczną (np. SiO<sub>2</sub>) lub amorficzną (popiół lotny, piasek szklany). W betonach fazą dominującą jest amorficzna faza C-S-H, przy czym faza amorficzna stanowi wielkość rzędu 60-70%, co wiązane jest z trwałością betonu (przy zachowaniu odpowiednich warunków środowiskowych, np. betony z czasów rzymskich krystalizują do dziś, choć sposób ich produkcji uległ do dziś zmianie [84,85,86]. Inaczej sytuacja wygląda w materiałach autoklawizowanych, gdzie udział faz amorficznych, na rzecz krystalicznych jest minimalny i ma to związek ze sposobem ich powstawania tj. wysoka temperatura i ciśnienie, co powoduje krystalizację fazy C-S-H.

W zabiegach zmierzających do podniesienia stopnia wykorzystania recyklatów w budownictwie i redukcji zużycia piasku kwarcowego komponentem alternatywnym

do produkcji cegieł silikatowych w proponowanym rozwiązaniu jest piasek szklany (korzystnie o uziarnieniu  $<80-160>\mu\text{m}$ ) stosowany w masie wapienno-piaskowej w ilości  $<10 - 90>\%$  wag.). Piasek szklany jest materiałem niestabilnym termodynamicznie, co oznacza, że w ustalonych warunkach np. podwyższonego ciśnienia lub temperatury ma możliwość przekształcania się z jednej fazy w inną np. z fazy amorficznej w fazę krystaliczną. W związku z powyższym głównymi aspektami prowadzonych analiz były:

- ⇒ Modyfikacja składu masy surowcowej wapienno-piaskowej - w tym całkowita eliminacja piasku kwarcowego QS na rzecz piasku szklanego kolorowego GS;
- ⇒ Skrócenie czasu autoklawizacji przy zachowaniu optymalnych właściwości produktu końcowego (założono wartość optymalną wytrzymałości na ściskanie nie mniejszą niż 10 MPa dla cegły silikatowej produkowanej na bazie piasku szklanego);
- ⇒ Określenie kierunku krystalizacji faz amorficznych z zastosowaniem kodu modelowania geochemicznego do analizy ilościowej budowy fazowej cegieł autoklawizowanych powstałych całkowicie na bazie piasku szklanego.



Rys. 20 Charakterystyka fazowa, uwodnione krzemiany wapnia – zależność stosunku molowego CaO/SiO<sub>2</sub> do temperatury [87].

Fotografia Rys. 20 przedstawia charakterystykę fazową w zależności od stosunku spoiwa wapiennego do piasku kwarcowego i temperatury.

Jednym ze sposobów projektowania wg obecnie obowiązujących procedur oraz analizowania budowy fazowej materiałów budowlanych jest program GEMS-PSI (Gibbs Energy Minimization Software for Geochemical Modeling) do określenia trwałości termodynamicznej modyfikowanych materiałów. Pakiet GEMS-PSI obecnie stosowany jest

głównie do materiałów na bazie cementu, a w ramach modelowania termodynamicznego może posłużyć do ilościowego określenia wpływu prekursora (tj. rodzaju cementu lub innego spoiwa - w przypadku cegieł silikatowych wapno), składu chemicznego i zawartości poszczególnych substratów badanego materiału na zespoły fazowe. Znając właściwości materiałów budowlanych oraz ich skład chemiczny można prowadzić symulację w celu ustalenia najbardziej korzystnych parametrów, składu i proporcji modyfikowanego materiału i określić kierunek krystalizacji faz amorficznych [88,89,90,91]. W połączeniu z eksperymentalnymi ocenami zgrupowań fazowych oraz z wykorzystaniem analizy rentgenowskiej i analizą porowatości materiału z dodatkiem piasku szklanego, uzyskane informacje stanowią bazę do określenia potencjalnie odpowiednich kombinacji zastępowania spoiwa i ich optymalnych poziomów dawkowania. Program jest tym bardziej korzystny, że posiadając wiedzę nt. betonów, cegieł czy materiałów budowlanych, składu chemicznego materiału oraz możliwych do zaistnienia reakcji można przewidywać i projektować nowe materiały budowlane bez konieczności wykonywania prób laboratoryjnych. Odpowiednie badania można wykonać po uzyskaniu zadowalających wyników z przeprowadzonej symulacji. Uzyskane obliczenia i prowadzone symulacje dostarczają informacji nt. „wskaźników trwałości” dotyczących stabilności poszczególnych faz i stałych hydratów oraz ryzyka szkodliwych procesów, takich jak atak siarczanu, korozja i reakcje odwapnienia, aby określić, czy założony skład materiału może być bardziej wrażliwy na wymienione wyżej czynniki oraz w jaki sposób poszczególne mechanizmy produkcji lub jakość materiału (szczególnie spoiwa) wpływają na jego długoterminową wydajność podczas eksploatacji.

Zdolność do zatrzymywania szkodliwych substancji faza C-S-H zyskuje głównie dzięki:

⇒ Fizycznej integralności matrycy C-S-H stwarzającej barierę utrudniającą wydostanie się „uwięzionych” substancji na zewnątrz;

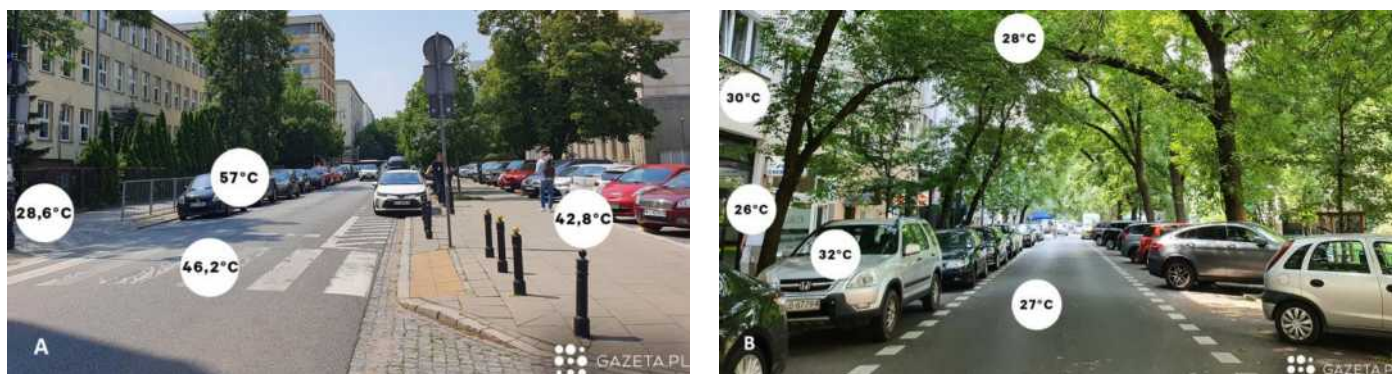
⇒ Przez tzw. „potencjał immobilizacyjny” – pojęcie wprowadzone przez Gibbsa dla określenia stabilizacji chemicznej poprzez sorpcję i wytrącanie się produktów reakcji pomiędzy odpadem, a zaczynem i innymi substancjami biorącymi udział w reakcjach przemiany i występującymi w betonach i środowisku [92].

⇒ Zdolność „inkorporacji” czyli wcielania się obcych elementów w struktury betonu [93,94,95].

Istotna jest skrupulatna analiza mikrostruktury, stopnia krystalizacji i budowy fazowej materiałów budowlanych i fazy C-S-H szczególnie poddawanych modyfikacjom, w celu zapobiegania niekontrolowanej krystalizacji faz amorficznych wynikających z modyfikacji

betonu oraz w wyniku działania na beton temperatury wyższej niż 30°C (jest to obecnie największy problem związany z ocieplaniem klimatu i betonowaniem terenów zielonych (odczuwalna temperatura w „zabetonowanych miastach” sięga często powyżej 40°C (Fig. 21)). Program GEMS-PSI (Gibbs Energy Minimization Software for Geochemical Modeling - Paul Scherrer Institut: <https://gems.web.psi.ch/> [88,89,96]) został zastosowany do prowadzenia symulacji termodynamicznych w celu określenia stopnia krystalizacji uwodnionych krzemianów wapnia w materiałach autoklawizowanych modyfikowanych piaskiem szklanym.

Cegły i materiały autoklawizowane z uwagi na proces produkcji tj. temperatura ok 200°C wyklucza problem związany z tak drastyczną i niekontrolowaną krystalizacją, bowiem poza sytuacjami sztucznego podgrzewania materiału budowlanego lub w wyniku sytuacji losowej naturalne osiągnięcie temperatury wyższej niż 200°C jest mało prawdopodobne (może to nastąpić w wyniku wspomnianej sytuacji losowej tj. pożaru lub katastrofy ekologicznej np. wybuch wulkanu, trzęsienie ziemi i wydostawanie się magmy na jej powierzchnię).



Rys. 21. Analiza temperatury odczuwalnej w miastach: a) teren tzw. zabetonowany z ograniczeniem terenów zielonych; b) teren miejski ze strefą zieleni [97].

Program GEMS jest uniwersalnym kodem do modelowania geochemicznego, który wymaga wprowadzenia danych elementarnych (opiera się na analizie składu pierwiastkowego) i wykorzystuje minimalizację energii Gibbsa do obliczania zespołów i specyfikacji równowagi fazowej. Parametry procesu podczas symulacji w GEMS (temperatura, ciśnienie) mają podstawowy wpływ na szereg reakcji chemicznych, a także na tworzenie i transformację stałych hydratów. Transformacje fazowe podlegają procesom termodynamicznym i kinetycznym, a zatem wpływają na proces produkcji konkretnego materiału budowlanego (inaczej krystalizuje beton, a inaczej materiały poddawane obróbce hydrotermalnej). W badaniach szczególna uwaga zwrócona będzie na analizę procesu krystalizacji i powstawania faz, które uważa się za związane z utratą wody w materiale m.in. podczas działania na wyrób wysokiej temperatury lub procesu autoklawizowania (tzw. ścieżka

regulowana termodynamiczną stabilnością faz). Oddziaływania chemiczne obejmujące ciała stałe, roztwory stałe i wodny elektrolit są obliczane jednocześnie. Do symulacji wykorzystana została baza danych CemDATA [98]. Bazę danych Cemdata18 opracowano dla uwodnionych cementów portlandzkich, glinianu wapnia, sulfoglinianu wapnia i cementów mieszanych, a także materiałów aktywowanych alkaliami i jest ona kompatybilna z programem GEMS i PHREEQC. CemDATA obejmuje właściwości termodynamiczne określone na podstawie wykonanych danych eksperymentalnych, przy czym baza jest nadal aktualizowana i uzupełniana. Cemdata18 zawiera dane termodynamiczne dla typowych hydratów cementu, takich jak fazy C-S-H, AFm i AFt, hydrogranet, hydrotalcyt, zeolity i M-S-H, które są ważne w temperaturach w zakresie od 0 do co najmniej 100°C [<https://www.empa.ch/web/s308/cemdata>]. Program GEMS-PSI, jak i bazę danych CemDATA otrzymałam podczas stażu na University of California Los Angeles, jako pracownik naukowy. W procesie badawczym szczególnie nastawienie skierowałam na fazy takie jak: C-S-H, M-S-H, tobermoryt, gyrolit, natrolit, xontolit (<http://thermoddem.brgm.fr/> [99]). Dokładne zbadanie składu fazowego cegieł autoklawizowanych wyprodukowanych całkowicie na bazie piasku szklanego było możliwe dzięki zastosowaniu kodu modelowania geochemicznego i programu GEMS-PSI. Program jest kompatybilny z bazą CemDATA i działa w ustalonym zakresie temperatur - do celu mojej modyfikacji ustalono zakres działania programu w granicach 25°C (tj. temperatura wyjściowa dla każdej grupy materiałowej) do 200°C (temperatura autoklawizacji). Dzięki takim zabiegom można ustalić stopień i kierunek krystalizacji faz amorficznych bez konieczności wykonywania długoletnich modyfikacji laboratoryjnych czy kosztownych zabiegów przemysłowych. Warunkiem jest posiadanie wiedzy nt. zespołów fazowych i właściwości materiałów, których dotyczy modyfikacja. Do przedstawionych analiz zostaną wykorzystane następujące badania:

=> analiza właściwości fizyko-mechanicznych: wytrzymałość na ściskanie, gęstość objętościowa, wilgotność i nasiąkliwość oraz porowatość materiału końcowego.

=> analiza struktury (skład fazowy) i mikrostruktury materiału końcowego tj. produkowanego na bazie piasku szklanego z recyklingu szkła butelkowego:

1. XRF – ilościowa analiza pierwiastkowa materiałów, która stanowi podstawę do modelowania geochemicznego;
2. X-ray diffraction analysis (XRD)
3. Scanning Electron Microscope: SEM z analizą EDS.

4. Thermodynamic modeling/Pakiet oprogramowania do modelowania termodynamicznego GEMS-PSI [100].

Rozpoznanie mikrostruktury materiałów budowlanych i sposobu ich reagowania na zmiany środowiskowe jest ważne również z punktu widzenia ochrony środowiska oraz budownictwa i rozwoju zrównoważonego, tym bardziej, że zastosowanie tego rodzaju programu umożliwia ograniczenie nieefektywnych prób laboratoryjnych, co ogranicza zużycie substratów oraz energii do produkcji materiałów podczas prób laboratoryjnych. Proponowane rozwiązanie wpisuje się w zagadnienia rozwoju zrównoważonego, ekologii i ekonomii (Rys. 22).



Rys. 22. Wykorzystanie stłuczki szklanej podczas produkcji cegieł autoklawizowanych przy skróconym czasie autoklawizacji, jako modyfikacja sprzyjająca zasadom rozwoju zrównoważonego<sup>18</sup>.

Fotografia Rys. 23 przedstawia ogólny sposób prowadzenia badań w ramach przedstawionego zagadnienia badawczego. Na zdjęciu widoczne są:

- a) materiały stanowiące przedmiot zagadnienia badawczego tj. piasek kwarcowy „QS” oraz piasek szklany z recyklingu szkła „GS”;
- b) masy silikatowe: po lewej stronie masa silikatowa wykonana na bazie piasku kwarcowego, wapna i wody, a po prawej stronie masa silikatowa wykonana na bazie piasku szklanego, wapna i wody;
- c) autoklaw laboratoryjny (czas autoklawizacji skrócony z 8 do do 5 godzin);
- d) Cegły wykonane na bazie piasku kwarcowego: 90%, wapna: 7% i wody: 3% (lewa strona) oraz cegły wykonane całkowicie na bazie piasku szklanego z recyklingu: 90%, wapna: 7% i wody: 3% (prawa strona).

<sup>18</sup> Wykres zmodyfikowany na podstawie: <http://mieszkajenergospaszczednie.pl/poradnik-inwestora/sownik-pojec/179-sownik-pojec>





Rys. 23. Schemat prowadzonych badań w zakresie przedstawionego zagadnienia badawczego.

### Oznaczenia główne:

QS – piasek kwarcowy o strukturze krystalicznej;

GS – piasek szklany o strukturze amorficznej i uziarnieniu  $< 80-160 > \mu\text{m}$ ;

XRF – analiza składu pierwiastkowego (ang. X-Ray Fluorescence);

XRD – rentgenowska analiza fazowa (ang. X - Ray Diffraction);

SEM – elektronowa mikroskopia skaningowa (ang. Scanning Electron Microscopy);

CT – tomografia komputerowa.

GEMS-PSI – symulacja geochemiczna z zastosowaniem programu GEMS-PSI (Gibbs Energy Minimization Software for Geochemical Modeling).

### Badania fizyko-mechaniczne wykonano w oparciu o następujące normy:

PN-EN 1996-2: 2010; Eurokod 6 -- Projektowanie konstrukcji murowych - Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.

PN-EN 772-13: 2001; Metody badań elementów murowych – Część 13: Wyznaczanie gęstości netto i brutto muru w stanie suchym (z wyjątkiem kamienia naturalnego).

PN-EN 771-2+A1:2015-10; Wymagania dotyczące elementów murowych - Część 2: Elementy murowe silikatowe.

PN-EN 772-1; (Norma Zastąpiona przez PN-EN 772-1+A1:2015-10: Metody badań elementów murowych -- Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie.

PN-EN 1936: 2010; Metody badań kamienia naturalnego - Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości.

PN-EN 993-1: 2019-01 – Metody badań zwartych formowanych wyrobów ogniotrwałych - Część 1: Oznaczanie gęstości pozornej, porowatości otwartej i całkowitej.

### **Badania struktury, mikrostruktury i budowy fazowej wykonano stosując następujące techniki badawcze:**

#### **XRD:**

⇒ dyfraktometr Empyrean PANalytical w zakresie  $5-70^\circ 2\theta$ . Identyfikację jakościową składu fazowego próbek przeprowadzono na podstawie bazy danych ICDD PDF-2. Pomiary przeprowadzono w układzie Bragga-Brentano (AGH).

⇒ Dyfraktometr D8 DISCOVER (UCLA, LA, USA):

Konfiguracja	$2\theta$
Pomiar średnicy koła	Ustawienie pośrednie od 500 mm do 1080 mm.
Zakres Kątowy	$360^\circ$
Maks. użyteczny zakres kątowy	$-110^\circ < 2\theta \leq 168^\circ$
Maksymalna prędkość kątowa	$20^\circ/\text{s}$ (depending on accessories)
Źródła promieniowania rentgenowskiego	Turbo źródło promieniowania rentgenowskiego: od 1,2 kW do 18 kW, w zależności od wielkości ogniska i typu anody.

#### **SEM:**

Zdjęcia prezentowane w przedstawionym opracowaniu oraz w artykułach zostały wykonane przy użyciu czterech rodzajów mikroskopów skaningowych:

⇒ mikroskop FEI Nova NanoSEM™ 230 (UCLA, LA, USA);

⇒ Hitachi S-3400 (UdeS, Kanada);

⇒ IROL 5400 współpracujący z analizatorem EDS (AGH, PL);

⇒ QuantaFEG, FEI Company z analizatorem EDS (PSk, Kielce, PL).

#### **POROWATOŚĆ:**

⇒ **Tomografia komputerowa CT:**

Analizę Micro CT przeprowadzono na skanerze CT Nikon XT H 225 ST (data produkcji: listopad 2018, Wielka Brytania). Skan CT przeprowadzono przy użyciu lampy odbłaskowej. Maksymalna moc tej lampy wynosi 225 kV i 225 W.

Skany wykonano bez filtra przy napięciu 180 kV i prądzie 139 uA.

Czas ekspozycji: 250 ms.

Wykonano 4476 projekcji, które zmontowano w model 3D, a każda projekcja została wygenerowana z 4 klatkami na projekcję. Rozmiar woksela (rozdzielczość) wynosiła 15  $\mu\text{m}$ . Wszystkie parametry zostały dobrane eksperymentalnie, aby zapewnić najlepszą jakość obrazu. Podczas tomografii komputerowej określono pory za pomocą narzędzia do analizy porowatości/wtrąceń w programie VG Studio Max.

⇒ **Porozymetria rtęciowa:**

Badania porowatości przeprowadzono przy użyciu piknometru helowego QUANTACHROME ULTRAPYC 1200e (Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, GA, USA) na próbkach o nieregularnym kształcie i masie około 10–25 g.

**XRF:**

X-ray fluorescence spectrometers PANalytical (analiza składu chemicznego).

**GEMS-PSI****METODA MODELOWANIA TERMODYNAMICZNEGO**

Ilościową i jakościową analizę składu fazowego oraz symulacje i modelowanie składu masy silikatowej wykonano z zastosowaniem pakietu oprogramowania GEMS-PSI<sup>19</sup>. GEMS to kod do modelowania geochemicznego o szerokim zastosowaniu, który jako dane wejściowe wymaga zbiorczej analizy elementarnej (skład chemiczny próbki) i wykorzystuje minimalizację energii Gibbsa do obliczania zespołów równowagi fazowej w badanych materiałach. Jednocześnie obliczane są interakcje chemiczne obejmujące ciała stałe, roztwory stałe i wodny elektrolit. Do symulacji wykorzystano standardową bazę danych minerałów GEMS uzupełnioną bazą danych cementu<sup>20</sup>. Dane termodynamiczne dla gyrolitu i ksontolitu zaczerpnięto z [<http://thermoddem.brgm.fr/>]. We wszystkich obliczeniach przyjęto warunki wolne od CO<sub>2</sub>.

Nazwa	Formuła	$\Delta_f G^\circ$ [kJ/mol]	$\Delta_f H^\circ$ [kJ/mol]	$S^\circ$ [J/K/mol]	$C_p^\circ$ [J/K·mol]	$V^\circ$ [cm/mol <sup>3</sup> ]	$M$ [g·mol <sup>-1</sup> ]
gyrolite	Ca <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>7,5</sub> (OH)·2H <sub>2</sub> O	-4550	-4917	309	325	137	337.4
xonotlite	Ca <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>17</sub> (OH) <sub>2</sub>	-9465	-10022	573	628	256.9	714.985
natrolite	Na <sub>2</sub> (Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> )O <sub>10</sub> ·2H <sub>2</sub> O	-53166	-57186	359	359.23	169.200	380.224

$\Delta_f G^\circ$  - standard molar Gibbs energy of formation at  $T_o=298$  K;  $\Delta_f H^\circ$  - standard molar enthalpy at  $T_o=298$  K;  $S^\circ$  - standard molar entropy at  $T_o=298$  K;;  $C_p^\circ$ - heat capacity at  $T_o=298$  K,  $V^\circ$ -molar volume

**Literatura**

- <https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992>.
- <https://odpowiedzialnybiznes.pl/publikacje/szczyt-ziemi-rio20-przyszlosc-jakiej-chcemy/>
- W. Sztumski *Zrównoważony rozwój – zrównoważony człowiek (zewnętrzne i wewnętrzne uwarunkowania zrównoważonego rozwoju)*. EUNOMIA 2(97)/2019.
- J.J. Biernacki, J.W. Bullard, G. Sant, K.Brown, F.P. Glasser, S.Jones, T.Ley, R.Livingston, L. Nicoleau, J. Olek, F. Sanchez, R. Shahsavari, P.E. Stutzman, K. Sobolev, T.Prater *Cements in the 21st Century: Challenges, Perspectives, and Opportunities*. Journal of the American Ceramic Society 100 (7), 2746–2773.
- G. Guven, A. Arceo, A. Bennett, M. Tham, B. Olanrewaju, M. McGrail, K. Isin, A.W. Olson, S. Saxe, *A construction classification system database for understanding resource use in building construction*. Sci. Data 2022, 9, 42. <https://www.nature.com/articles/s41597-022-01141-8>.
- K. Apak, *Traditional Wall Construction Technology of the Ottoman Empire in Relation to the Seismic Resistance of Bath Structures in the Marmara Region*. In Structural Analysis of Historical Constructions; Aguilar, R., Torrealva, D., Moreira, S., Pando, M.A., Ramos, L.F., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2023; Volume 18, pp. 250–258; Electronic ISSN 2211-0852, Print ISSN 2211-0844.
- W. Kozioł, Ł. Machniak, A. Borcz, I. Baic, *Mining of aggregates in Poland—Opportunities and threats*. Inżynieria Miner. J. Pol. Miner. Eng. Soc. 2016, 2, 175–182.

<sup>19</sup> Kulik, D., Berner, U., Curti, E., Modelowanie podziału równowagi chemicznej za pomocą kodu GEMS-PSI. Raport naukowy PSI, <http://gems.web.psi.ch>, 2003. tom. 4: s. 109-122

<sup>20</sup> Barbara Lothenbach, Dmitrii A Kulik, Thomas Matschei, Magdalena Balonis, Luis Baquerizo, Belay Dilnesa, George D Miron, Rupert J Myers, Cemdata18: A Chemical thermodynamiczna baza danych dla uwodnionych Cementy portlandzkie i materiały aktywowane alkali, 2019, Cement and Concrete Research 115, 472-506.

8. <https://wiedza.pkn.pl/web/wiedza-normalizacyjna/zrownowazone-budownictwo>
9. <https://smoglab.pl/poziom-co2-w-atmosferze-przekroczyl-415-ppm-po-raz-pierwszy-od-narozdzin-ludzkości/>
10. A.Kuczera, M. Płoszaj-Mazurek *Zerowy ślad węglowy budynków. Mapa drogowa dekarbonatyzacji budownictwa do roku 2050*. Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego, Czerwiec 2021.
11. EPEA / Matthias Heinrich; <https://swiat-szkła.pl/article/18203-recykling-szka-paskiego-stan-obecny>.
12. Dz.U. 2016 poz. 2033. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej
13. Ch. Mooney *Half of Earth's glaciers could melt even if key warming goal is met*. The Washington Post, January 5, 2023; <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2023/01/05/glaciers-melt-this-century-warming/>
14. S. Ki-Weon, R. Dongryeol, E. Jooyoung, J. Taewhan, K. Jae-Seung, Y. Kookhyoun, Ch. Jianli, Clark R. Wilson *Drift of Earth's Pole Confirms Groundwater Depletion as a Significant Contributor to Global Sea Level Rise 1993–2010*. Geophysical Research Letters, Vol. 50, Issue 12, 28 June 2023, e2023GL103509; <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2023GL103509>
15. S. Czaja *Zmiany stosunków wodnych w warunkach silnej antropopresji (na przykładzie konurbacji katowickiej)*. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, ss.189. Katowice 1999.
16. <https://wordpressua.uark.edu/sustain/earth-day-then-and-now/>
17. <https://ekantor.pl/tak-nie-buduj-czyli-4-nietrafione-inwestycje-w-budynki/?args>
18. <https://www.conserve-energy-future.com/sustainable-construction-materials.php>
19. W. Kozioł, I. Baic *Kruszywa naturalne w Polsce—Aktualny stan i przyszłość*. Przegląd Górniczy 2018, 74, 1–8; MIESIĘCZNIK STOWARZYSZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW GÓRNICICTWA.
20. [https://zpe.gov.pl; Zintegrowana Platforma Edukacyjna: Wykorzystanie gospodarcze skał. Wykorzystanie\\_gospodarcze\\_skał%20.pdf](https://zpe.gov.pl; Zintegrowana Platforma Edukacyjna: Wykorzystanie gospodarcze skał. Wykorzystanie_gospodarcze_skał%20.pdf)
21. <http://surowce-naturalne.pl/zastosowanie-piaskow-kwarcowych/>
22. A. Beldowicz *Dlaczego kraje importują piasek z drugiego końca świata? ZIELONE TECHNOLOGIE*, Publikacja z dn. 17.03.2021. <https://klimat.rp.pl/zielone-technologie/art17074381-dlaczego-kraje-importuja-piasek-z-drugiego-konca-swiata>
23. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20160002033>
24. <http://www.tnz.most.org.pl/korupcja/materialy/Analiza%20przepis%20rawnych%20w%20zakresie%20wydobycia%20kruszywa.htm>
25. <https://klimat.rp.pl/zielone-technologie/art17074381-dlaczego-krajeimportuja-piasek-z-drugiego-konca-swiata>].
26. G.Adamczyk *Czy druk 3D może pomóc w odnawianiu raf koralowych?* (artykuł z dnia: 01 listopada 2022) <https://swiatoze.pl/czy-druk-3d-moze-pomoc-w-odnawianiu-raf-koralowych/>
27. The mining of sand, a non-renewable resource: <https://www.greenfacts.org/en/sand-extraction/index.htm>
28. <https://nikalab.pl/blogs/ekologia/dlaczego-szklo-nie-jest-eko>
29. <https://irme.pl/czy-wydobycie-piasku-moze-zdestabilizowac-swiat/>
30. <https://www.science.org/content/article/world-needs-get-serious-about-managing-sand-says-un-report>
31. R.Wennersten, S. Qie *United Nations Sustainable Development Goals for 2030 and Resource Use*. ResearchGate, Chapter - October 2017; DOI: 10.1007/978-3-319-63007-6\_19.
32. X. Zhong, S. Deetman, A.Tukker, P. Behrens *Increasing material efficiencies of buildings to address the global sand crisis*. Nature Sustainability 5(5):1-4. May 2022; DOI: 10.1038/s41893-022-00857-0.
33. <https://breathelife2030.org/pl/news/reducing-air-pollution-brick-making-industry/>
34. <https://pie.net.pl/smog-powoduje-43-tys-przedwczesnych-zgonow-rocznie-i-kosztuje-polska-gospodarke-miliardy-złoty/>
35. <https://ranking-oczyszczaczy.pl/poradnik-czystego-powietrza/skad-smog-w-polsce/>
36. F. Birol *Polska 2022 – Przegląd Polityki Energetycznej*. Międzynarodowa Agencja Energetyczna/International Energy Agency. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/c32bc33d-af02-4a71-b915-3ba5453ef6c3/Poland2022\\_Fullreport\\_Polish.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/c32bc33d-af02-4a71-b915-3ba5453ef6c3/Poland2022_Fullreport_Polish.pdf)
37. <https://hadart.pl/pl/czym-oddychamy-wplyw-budownictwa-na-zanieczyszczenia-powietrza/>
38. <https://keelingcurve.ucsd.edu/>
39. <https://klimada2.ios.gov.pl/zuzycie-zasobow/>
40. <https://www.earthovershoot.org/what-we-do/footprint.html>
41. A.Stepien *Recycling in Building Materials. Analysis of the Possibilities and Results of Using Recycled Glass Sand in Autoclaved Materials*. ENERGIES 2023, 16(8), 3529, ISSN: 1996-1073, pp. 1-29. Pkt.: 140. <https://doi.org/10.3390/en16083529>.
42. EN ISO 14040; PN-EN ISO 14040:2009/Ap1: Zarządzanie Środowiskowe—Ocena Cyklu Życia—Zasady i Struktura/Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Structure. Polish Standardization Committee PKN, Warsaw 2014, 2006.
43. EN ISO 14044; Zarządzanie Środowiskowe—Ocena Cyklu Życia—Wymagania i Wytyczne/Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines. 2006.
44. ISO/TR 14047; Zarządzanie Środowiskowe—Ocena Wpływu Cyklu Życia—Przykłady Stosowania/Environmental Management—Life Cycle Impact Assessment—Application Examples. 2003.
45. <https://cembureau.eu/>
46. <https://www.bta-czasopismo.pl/wydarzenia/uwolnic-budownictwo-z-kajdan-kongres-urbi>

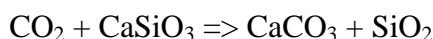
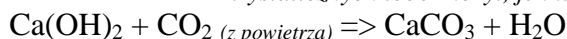
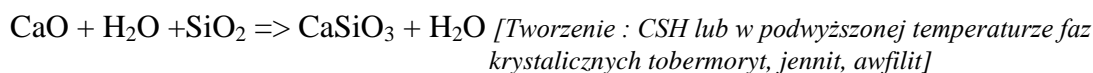
47. <https://www.stambet-bud.pl/blog/czy-piasek-sie-kiedys-skoczy>
48. A. Stepien, J.Z. Piotrowski, M. Balonis, S. Munik, M. Krechowicz, M. Kwiatkowska *Sustainable Construction— Technological Aspects of Ecological Wooden Buildings*. ENERGIS 2022, 15(23), 8823; ISSN: 1996-1073, pp.1-24 Pkt.: 140. <https://doi.org/10.3390/en15238823>
49. <https://ios.edu.pl/aktualnosci/raport-onz-na-temat-stanu-srodowiska-na-ziemi/>
50. <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/raport-onz-tylko-globalna-interwencja-pozwoli-uniknac-katastrofy-6595.html>
51. <https://www.forbes.com/sites/alanohnsman/2023/04/12/equatic-startup-co2-green-hydrogen/?sh=7e594ad6426a>
52. K.Vance, G.Falzone, I.Pignatelli, M.Bauchy, M. Balonis, G.Sant *Direct Carbonation of Ca(OH)<sub>2</sub> Using Liquid and Supercritical CO<sub>2</sub>: Implications for Carbon-Neutral Cementation*. Industrial & Engineering Chemistry Research Volume 54, Issue 36. American Chemical Society 2015.
53. M. Matacz *Nowy beton ma pochłaniać dwutlenek węgla*. <https://forsal.pl/swiat/aktualnosci/artykuly/8692468,nowy-beton-ma-pochlaniac-dwutlenek-wegla.html>, 2 kwietnia 2023.
54. <https://climate.nasa.gov/effects/>
55. A. Stepien, B. Potrzyszcz-Sut, D.P. Prentice, T. Oey, M. Balonis *The Role of Glass Compounds in Autoclaved Bricks*. BUILDINGS 2020, 10(3), 41, ISSN: 2075-5309, pp. 1-24. doi:10.3390/buildings10030041
56. A. Stepien *The Impact of Glass Additives on the Functional and Microstructural Properties of Sand-Lime*. Inter.J.of Civil and Environmental Engineering, Vol:11, No:3, 2017. ISNI:0000000091950263. Conference: 19th International Conference on Civil Engineering and Adapting Civil Engineering Practice, 5-6 March 2017, Rome, Italy. [https://www.researchgate.net/publication/315381983\\_The\\_impact\\_of\\_glass\\_additives\\_on\\_the\\_functional\\_and\\_microstructural\\_properties\\_of\\_sand-lime\\_bricks](https://www.researchgate.net/publication/315381983_The_impact_of_glass_additives_on_the_functional_and_microstructural_properties_of_sand-lime_bricks)  
<https://prezi.com/y4nszpswc3py/romathe-impact-of-glass-additives/>
57. <https://sil-pro.pl/pl/proces-produkcji>
58. <https://swiat-szkla.pl/article/7313-zastosowanie-stluczki-szklanej-i-popiolow-fluidalnych-do-produkcji-spoiw>
59. <https://feve.org/>
60. Recykling szkła w soczewce. Październik 2021; <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/recykling-szklo-stluczka-szklana-dane-10898.html>: *dostęp dnia: 26.07.2023r.*
61. <https://forsal.pl/artykuly/373456,polskie-firmy-falszuja-dane-o-obowiazkowym-recyklingu-szkla.html>
62. <https://www.swiat-szkla.pl/component/content/article/5872>
63. <https://www.o-i.com/>
64. I. Szymańska *Ocena Cyklu Życia (LCA) opakowań w koncepcji zrównoważonego rozwoju/ Life Cycle Assessment (LCA) of packaging in the concept of sustainable development*. SIGMA-NOT 2021, T. 75, nr 9. DOI 10.15199/65.2021.9.6
65. ISO/TS 14048 "Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Format dokumentowania danych"
66. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/glass-material-specific-data>
67. A. Kuśnierz *Recykling szkła*. [www.bg\\_utp\\_edu\\_plartpicimb20nr2062010picimb6kusnierz22.pdf](http://www.bg.utp.edu.pl/artpicimb20nr2062010picimb6kusnierz22.pdf)
68. <https://www.swiat-szkla.pl/kontakt/948-technologiczne-aspekty-produkcji-szkla.html>
69. P. Poszwa *O jednorazowości opakowań szklanych, czyli recykling szkła w praktyce*. [eko-logicznie.com](http://eko-logicznie.com); <https://eko-logicznie.com/fakty-i-mity/o-jednorazowosci-opakowan-szklanych-czyli-recykling-szkla-w-praktyce/>
70. <https://beskidzka24.pl/czy-szklo-przetwarza-sie-w-nieskonczonosc/>.
71. Z. Cholewicki *Energia z odpadów w łańcuchu logistycznym przedsięwzięć recyklingowych na przykładzie Recycling Park sp. z o.o. w Kamionce*. "Termiczne przekształcanie odpadów – Nowe perspektywy dla lokalnych instalacji WtE w Polsce", 26-28 listopada 2019 r, Katowice.
72. Z. Zainab, A. Ismail, AL-Hashmi Enas *Recycling of waste glass as a partial replacement for fine aggregate in concrete*. Waste Management, Vol. 29, Issue 2, February 2009, pages 655-659.
73. Ł. Gołek, E. Kapelusznia. *Zastosowanie stluczki szklanej i popiołów fluidalnych do produkcji spoiw*. Kategoria: Wydanie 05/2013; <https://swiat-szkla.pl/article/7313-zastosowanie-stluczki-szklanej-i-popiolow-fluidalnych-do-produkcji-spoiw>
74. N. Tamanna R. Tuladhar, N. Sivakugan *Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete*. Constr. Build. Mater. 2020, 239, 117804.
75. M. Małek, W. Łasica, M. Jackowski, M. Kadela *Effect of Waste Glass Addition as a Replacement for Fine Aggregate on Properties of Mortar*. Materials 2020, 13, 3189
76. A.; Tagnit-Hamou, A. Bengougam *Glass Powder as a Supplementary Cementitious Material*. Concr. Int. 2012, 34, 56–61.
77. X. Jiang, R. Xiao, Y. Bai, B. Huang, Y. Ma, *Influence of waste glass powder as a supplementary cementitious material (SCM) on physical and mechanical properties of cement paste under high temperatures*. J. Clean. Prod. 2022, 340, 130778
78. K. Sobolev, P. Türker, S. Soboleva, G. Iscioglu, *Utilization of waste glass in ECO-cement: Strength properties and microstructural observations*. Waste Manag. 2007, 27, 971–976.
79. R.Siauciunas, K. Baltakys *Formation of gyrolite during hydrothermal synthesis in the mixtures of CaO and amorphous SiO<sub>2</sub> or quartz*. Cem. Concr. Res. 2004, 34, 2029–2036.

80. <https://sozosfera.pl/odpady/dobry-projekt-ustawy-o-systemie-kaucyjnym-ale/#:~:text=Zmiany%20w%20kierunku%20less%20i,%2075%25%20w%202030%20r.>
81. A. Stepien, J.Z. Piotrowski Thermal insulation of autoclaved materials JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES (OPIScience) J. Phys.: Conf. Ser. 2069 012037, Vol. 2069, 2021.
82. A. Stepien *Analysis of Porous Structure in Autoclaved Materials Modified by Glass Sand*. CRYSTALS 2021, 11(4), 408, ISSN: 2073-4352, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/cryst11040408>
83. K.Łaskawiec, P.Gębarowski *The impact of reduction time autoclaving on properties of aerated concrete*, DNI BETONU 2016, [https://www.dnibetonu.com/wp-content/pdfs/2016/laskawiec\\_gebarowski.pdf](https://www.dnibetonu.com/wp-content/pdfs/2016/laskawiec_gebarowski.pdf).
84. <https://przegląd-techniczny.pl/artykuly?id=1967>
85. <https://www.rp.pl/archeologia/art18754461-antyczny-beton-lepszy-niz-portlandzki>
86. <https://www.polskieradio.pl/39/156/artykul/3100393,tajemnica-rzyskiego-betonu-rozwiazana-to-moze-oznacza-rewolucje-w-budownictwie>
87. G.Zapotoczna-Sytek, S.Balkovic *Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia, właściwości, zastosowanie*. PWN 2013, ISBN: 978-83-0117-339-5.
88. <https://gems.web.psi.ch/tests/TestNaCl-dep.html>
89. <https://gems.web.psi.ch/tests/>
90. B. Lothenbach, D.A., Kulik, T. Matschei, M. Balonis, L. Baqueriz, B.Z. Dilnesa, G.D.Miron, R. Myers Cemdata18: *A chemical thermodynamic database for hydrated Portland cements and alkali-activated materials*. Cement and Concrete Research 115, (2019): 472-506.
91. S.Adu-Amankwah, M. Zajac, C. Stabler, B. Lothenbach, L.B.Black *Influence of limestone on the hydration of ternary slag cements*. Cement and Concrete Research, (2017) 100, 96-109.
92. M.L.D. Gougar, B.E. Scheetz, D.M. Roy *Ettringite and C-S-H Portland cement phases for waste ion immobilization: A review*. Waste Management, Vol. 16, Issue 4, 1996, Pages 295-303.
93. J. Kuterasińska-Warwas, A. Król *Leaching of heavy metals from cementitious composites made of new ternary cements*. E3S Web of Conferences 19, 02019 (2017), EEMS 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20171902019.
94. E. L'Hôpital, B. Lothenbach, D.A.Kulik, K.Scrivener, *Influence of calcium to silica ratio on aluminium uptake in calcium silicate hydrate*. Cement and Concrete Research, 85, (2016): pp. 111-121.
95. Z. Shi, B. Lothenbach, M.R. Geiker, J. Kaufmann, A. Leemann, S.Ferreiro, J. Skibsted *Experimental studies and thermodynamic modeling of the carbonation of Portland cement, metakaolin and limestone mortars*. Cement and Concrete Research, 88, (2016), pp. 60-72.
96. <https://gems.web.psi.ch/>
97. <https://wiadomosci.gazeta.pl/wiadomosci/7,174372,28637778,gdy-beton-i-asfalt-rozgrzewa-sie-do-czerwonosci-zielone-ulice.html>
98. B.Lothenbach, B.Ma, B. *Synthesis, characterization, and thermodynamic study of selected Na-based zeolites*. Cement and Concrete Research, 135, 106111 (18 pp.). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106111>.
99. <http://thermoddem.brgm.fr/>
100. D. Kulik, U. Berner, E. Curti *Modelling chem. equilibrium partitioning with GEMS-PSI*. PSI Scientific Report, 2003. Vol.4.
101. Statistica 10.0 — pakiet oprogramowania Advanced Data Analysis Suite, pierwotnie opracowany przez StatSoft Inc.
- NORMY:**
102. PN-EN 1996-2: 2010; Eurokod 6 -- Projektowanie konstrukcji murowych -- Część 2: Wymagania projektowe, dobór materiałów i wykonanie murów.
103. PN-EN 772-13: 2001; Metody badań elementów murowych – Część 13: Wyznaczanie gęstości netto i brutto muru w stanie suchym (z wyjątkiem kamienia naturalnego).
104. PN-EN 771-2+A1:2015-10; Wymagania dotyczące elementów murowych -- Część 2: Elementy murowe silikatowe.
105. PN-EN 772-1; (Norma Zastąpiona przez PN-EN 772-1+A1:2015-10; Metody badań elementów murowych -- Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie.
106. PN-EN 1936: 2010; Metody badań kamienia naturalnego -- Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości.
107. PN-EN 993-1: 2019-01 – Metody badań zwartych formowanych wyrobów ogniotrwałych -- Część 1: Oznaczanie gęstości pozornej, porowatości otwartej i całkowitej.

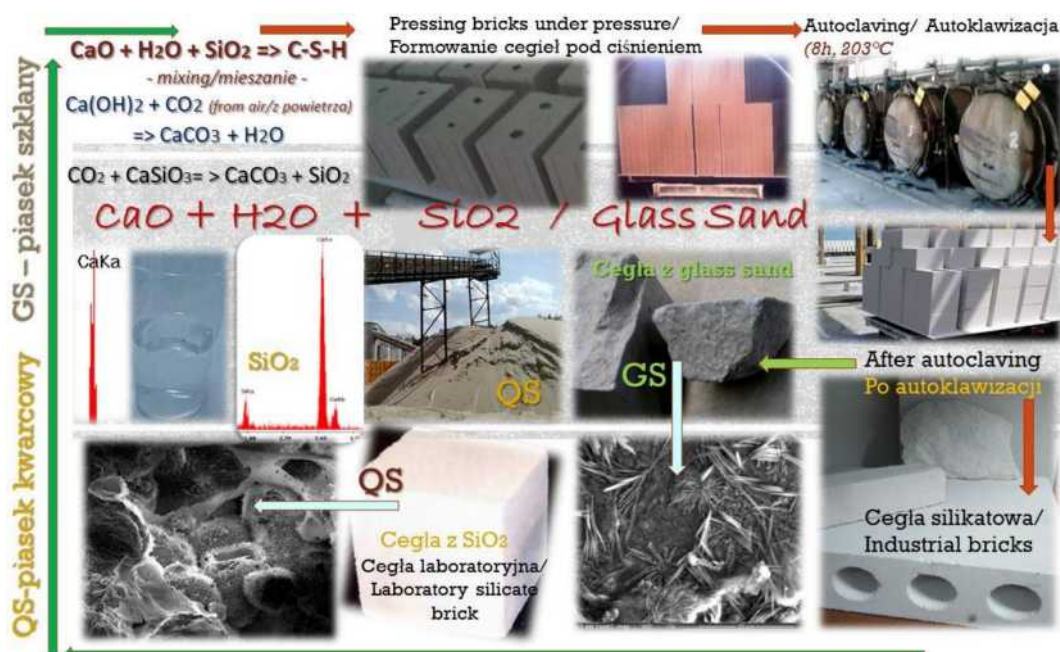
#### 4.5. Zastosowanie stłuczki szklanej w postaci piasku szklanego GS w materiałach silikatowych autoklawizowanych.

Proponowana modyfikacja dotyczy zastąpienia piasku kwarcowego o strukturze krystalicznej, amorficznym piaskiem szklanym z recyklingu szkła butelkowego kolorowego. Cegły silikatowe z uwagi na substraty z których powstają tj: piasek, wapno i woda, zaliczane są do naturalnych i ekologicznych materiałów budowlanych.

W ramach proponowanego rozwiązania modyfikowana była masa surowcowa stanowiąca podstawę cegieł autoklawizowanych i która składa się w: 90%-ach z piasku kwarcowego, 7%-ach wapna CaO i 3%-ach wody. Modyfikatorem był piasek szklany z recyklingu szkła butelkowego „GS”. Piasek szklany dodawano w ilości 10-90% GS w stosunku do masy wyrobu, przy czym 90% GS oznaczało całkowitą eliminację piasku kwarcowego QS.



Proces autoklawizacji w warunkach przemysłowych przebiega w temperaturze 200°C (Rys. 24). Grafika przedstawia proces produkcji cegieł silikatowych wraz z możliwością ich odzysku w postaci kruszywa silikatowego tzw. obieg zamknięty (recykling materiałów budowlanych). W przedstawionej modyfikacji korzystnym aspektem jest wprowadzenie do masy silikatowej szkła z recyklingu oraz zachowanie możliwości uzyskania kruszywa z recyklingu po okresie eksploatacji cegieł silikatowych z dodatkiem piasku szklanego GS.



Rys. 24. Proces produkcji cegły silikatowej wraz z propozycją zmiany komponentów tj. zastąpienie piasku kwarcowego piaskiem szklanym oraz z możliwością skrócenia czasu autoklawizacji.

Przedstawione rozwiązanie dotyczy tylko zmiany proporcji jednego z substratów tj. zamiany piasku kwarcowego na piasek szklany z recyklingu (częściowo lub w całości), więc przedstawione rozwiązanie nie wymaga zmiany linii produkcyjnej. Do celów badawczych w warunkach laboratoryjnych wyprodukowano próbki materiałów tradycyjnych wykonanych na bazie piasku kwarcowego QS oraz cegły modyfikowane piaskiem szklanym GS. Rysunek 25 przedstawia proponowane rozwiązane technologiczne związane z recyklingiem szkła i modyfikacją cegieł silikatowych za pomocą piasku szklanego z recyklingu szkła butelkowego o uziarnieniu  $<80-160>$   $\mu\text{m}$ . Tabela 1 przedstawia plan eksperymentu w wariacie uproszczonym (kolejno wg L.p.: 1 - 90% QS – piasek kwarcowy, wapno, woda), 2 – 50QS&50GS i 3 – 90% GS (piasek szklany, wapno, woda) wykonano badania mikrostruktury cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym z recyklingu).

**Tab. 1.** Uproszczony plan eksperymentu w ramach proponowanej modyfikacji.

Uproszczony plan eksperymentu					
Lp	QS [%]	GS [%]	Przypadek - ilość modyfikatora GS w masie silikatowej	Badania fizyko-mechaniczne	Badania struktury i mikrostruktury
1	90	0	QS 90% + GS0 %	Wytrzymałość na ściskanie	XRF i GEMS-PSI
2	50	50	QS 50% + GS50 %	Gęstość objętościowa	SEM i tomografia komputerowa, jako wizualizacja
3	0	90	QS 0% + GS90 %	Nasiąkliwość	XRD – analiza struktury



Rys. 25. Schemat i metodyka badań cegieł wapienno-piaskowych wg zastosowanej modyfikacji.

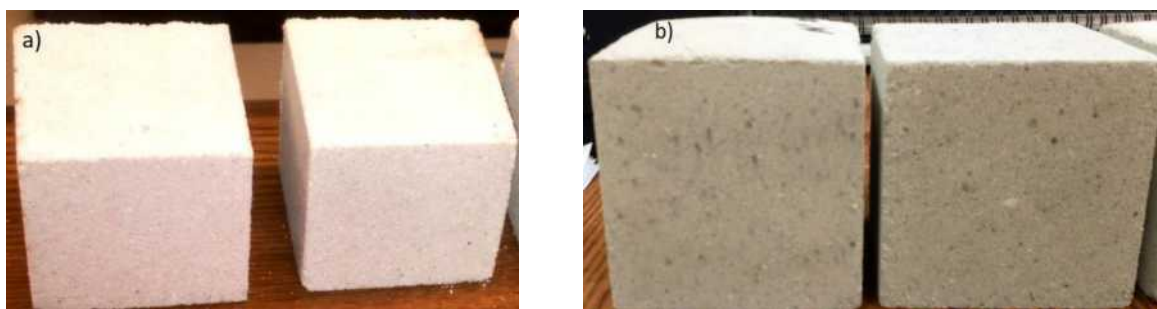
Zdjęcia z Rys. 26 przedstawiają proces produkcji cegieł silikatowych w warunkach laboratoryjnych. Fotografia Rys. 26 a) przedstawia formę stalową wypełnioną masą wapienno-piaskową przed procesem autoklawizacji. Rysunek 26 b) to cegły silikatowe



tradycyjne wykonane w 90%-ach na bazie piasku kwarcowego z dodatkiem 7% CaO i 3% H<sub>2</sub>O po procesie autoklawizacji. Obraz Rys. 26 c) to cegły silikatowe wykonane w 90%-ach na bazie piasku szklanego z recyklingu z dodatkiem 7% CaO i 3% H<sub>2</sub>O po procesie autoklawizacji. Każdorazowo dwie formy po sześć kostek o wymiarach 5 x 5 x 5 cm każda (Rys. 26a) wypełnione masą silikatową, były wprowadzane do autoklawu laboratoryjnego i w tych samych warunkach hydrotermalnych produkowane były cegły silikatowe tradycyjne (referencyjne, Rys. 26b, 27a) oraz modyfikowane piaskiem szklanym z recyklingu (Rys. 26c, 27b). Pierwszą fazą było rozgrzewanie autoklawu laboratoryjnego, następnie 5-ciogodzinny proces autoklawizacji właściwej obejmującej utrzymywanie temperatury około 200°C, a fazą końcową było wychładzanie autoklawu (co zazwyczaj trwało do 12 godzin).



Rys. 26. Produkcja cegieł silikatowych w warunkach laboratoryjnych: a) formy z masą silikatową; b) cegły silikatowe tradycyjne wyprodukowane na bazie piasku kwarcowego; c) cegła silikatowa wyprodukowana w 90% na bazie piasku szklanego z dodatkiem CaO (7%) i H<sub>2</sub>O (3%).



Rys. 27. Cegły silikatowe 5 x 5 x 5 cm wykonane w 5-ciogodzinnym czasie autoklawizacji; a) tradycyjne; b) modyfikowane w 90%-ach piaskiem szklanym.

Podczas mieszania masy wapienno-piaskowej temperatura reakcji spoiwa tj. CaO z wodą i z udziałem piasku kwarcowego wynosiła średnio 76 - 80°C, natomiast temperatura hydratacji masy silikatowej wykonanej w 90%-ach na bazie piasku szklanego z dodatkiem

wapna i wody wynosiła około 39 - 46°C (w zależności od udziału piasku szklanego w masie surowcowej, Rys. 28).

Rys. 28. Temperatura masy surowcowej wykonanej w 90%-ach z piasku szklanego z recyklingu szkła butelkowego.



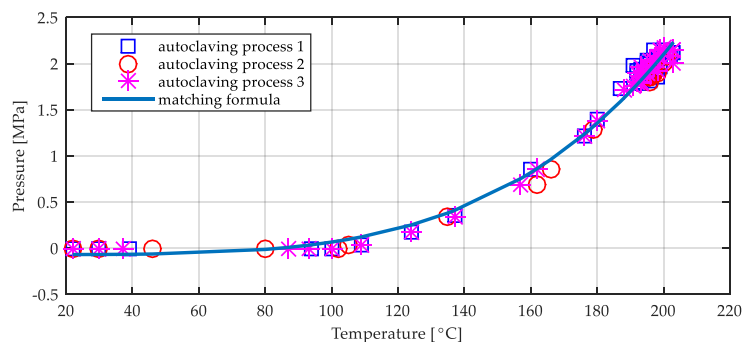
Skład masy surowcowej:

- ⇒ 90% GS o uziarnieniu <80–160> μm
- ⇒ 7% CaO
- ⇒ 3% H<sub>2</sub>O

Masa wapienno-piaskowa na bazie piasku szklanego podczas mieszania i wchłaniania wody miała konsystencję plastyczną zbliżoną do gliny. Wykres Rys. 29. przedstawia proces autoklawizacji w warunkach laboratoryjnych i zależność temperatury [°C] od ciśnienia [MPa], aż do momentu osiągnięcia temperatury 200°C (3 przykładowe, niezależne procesy zaznaczono kolorami czerwonym i niebieskim).

Rys. 29. Zależność temperatury (Temperature [°C]) od ciśnienia (Pressure [MPa]) w autoklawie laboratoryjnym podczas produkcji cegieł silikatowych.

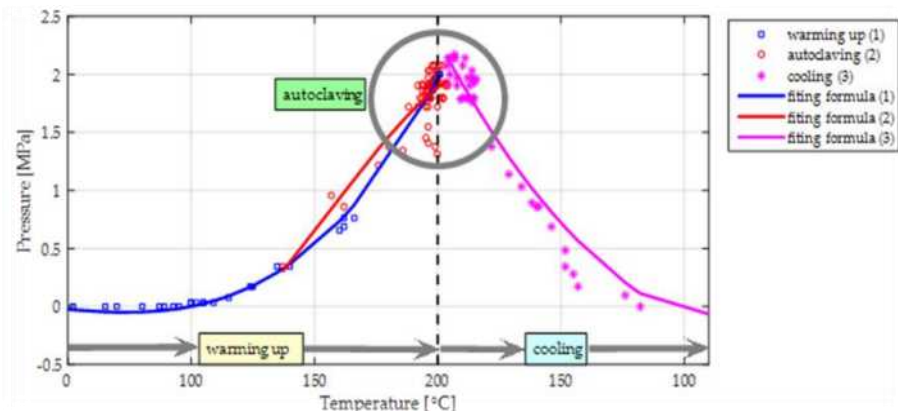
- – proces autoklawizacji 1;
- – proces autoklawizacji 2;
- ☆ – proces autoklawizacji 3.



Wykres przedstawiony na Rys. 29. przedstawia proces autoklawizacji cegieł silikatowych (tradycyjnych tj. referencyjnych i modyfikowanych piaskiem szklanym) w warunkach laboratoryjnych.

Rys. 29. Proces autoklawizacji cegieł silikatowych w warunkach laboratoryjnych (ogrzewanie autoklawu => autoklawizacja => chłodzenie autoklawu).

1. Warming up – ogrzewanie autoklawu;
2. Autoclaving – proces autoklawizacji;
3. Cooling – chłodzenie.



Proces autoklawizacji właściwej trwający 5h poprzedzony był stopniowym rozgrzewaniem autoklawu. Po ogrzaniu autoklawu do temp. 200°C następował proces autoklawizacji

właściwej trwającej 5h, a po tym czasie następował etap wychładzania autoklawu i obniżanie ciśnienia w autoklawie.

Cegły silikatowe to materiały których strukturę stanowią uwodnione krzemiany wapnia. W strukturze betonów faza C-S-H formuje się już w temperaturze pokojowej i stanowi 60-80% struktury betonu (w zależności od składu i przeznaczenia), natomiast podczas ogrzewania faza C-S-H krystalizuje. W procesie autoklawizacji tradycyjnych cegieł silikatowych najbardziej prawdopodobne jest, że faza C-S-H stanowi udział deficytowy na korzyść fazy C-S-H-I określanej jako tobermoryt (z uwagi na niską zawartość spoiwa tj. wapna w tradycyjnej masie wapienno-piaskowej).



Rys. 30 a) Fragment – przekłamy tradycyjnej cegły silikatowej wyprodukowanej w warunkach laboratoryjnych.



b) Fragment – przekłamy cegły silikatowej wyprodukowanej w 50%-ach na bazie GS i w 50%-ach z QS.



c) Fragment cegły silikatowej wyprodukowanej na bazie piasku szklanego tj. 90% GS + 7% CaO + 3% H<sub>2</sub>O w warunkach laboratoryjnych.

Zdjęcia na fotografiach Rys. 30 a, b, c przedstawiają przekłamy cegieł wykonanych w warunkach laboratoryjnych w skróconym czasie autoklawizacji. Wykonano około:

- ⇒ 80 cegieł tradycyjnych (referencyjnych);
- ⇒ 80 cegieł modyfikowanych piaskiem szklanym w ilości 50% piasku kwarcowego i 50% piasku szklanego;
- ⇒ 80 cegieł wyprodukowanych całkowicie na bazie piasku szklanego (90% GS + 7% CaO + 3% H<sub>2</sub>O).
- ⇒ Oraz w sumie około 60 cegieł z dodatkiem piasku szklanego w ilości 10-80%.

Rysunki: Rys. 26b, Rys. 27a, 30a (przekłamy) przedstawiają cegły tradycyjne wykonane na bazie piasku kwarcowego. Fotografie Rys. 26c, 27b i 30c (przekłamy) przedstawiają cegły wykonane całkowicie na bazie piasku szklanego z recyklingu. Z analizy makroskopowej zauważyć można, że cegły z GS odznaczają się bardziej jednolitą powierzchnią i strukturą porowatą w stosunku do cegieł wykonanych na bazie QS. Krawędzie cegieł modyfikowanych GS są równe, a cegły bardziej odporne na zarysowania i uszkodzenia mechaniczne np. uderzenia, co jeszcze przed badaniem wytrzymałości na ściskanie oznacza większą odporność na uszkodzenia np. podczas transportu. Cegły z dodatkiem GS różnią się nieco barwą w stosunku do tradycyjnych cegieł, co jest związane z zabarwieniem słuczki szklanej.

⇒ Przedstawione zagadnienia i aspekty naukowe znalazły odzworowanie w następujących artykułach z przedłożonego Cyklu publikacji:

**A1. Anna Stepien** Recycling in Building Materials. *Analysis of the Possibilities and Results of Using Recycled Glass Sand in Autoclaved Materials*. ENERGIES 2023, 16(8), 3529, ISSN: 1996-1073, pp. 1-29. <https://doi.org/10.3390/en16083529>.

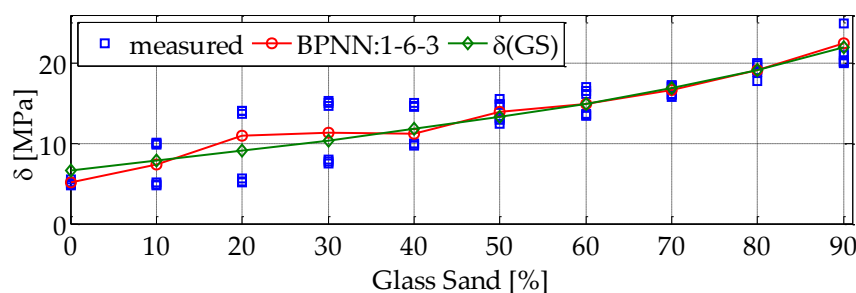
**A2. Anna Stepien, Magdalena Leśniak, Maciej Sitarz** A Sustainable Autoclaved Material Made of Glass Sand. BUILDINGS 2019, 9(11), 232, ISSN: 2075-5309, pp. 1-19. <https://doi.org/10.3390/buildings9110232>

**A4. Anna Stepien, Beata Potrzyszcz-Sut, Dale P. Prentice, Tandre Oey, Magdalena Balonis** The Role of Glass Compounds in Autoclaved Bricks. BUILDINGS 2020, 10, 41. doi:10.3390/buildings10030041

#### 4.5.1. Określenie właściwości fizyko-mechanicznych cegieł silikatowych modyfikowanych piaskiem szklanym z recyklingu.

Analizę wpływu udziału komponentów szklanych o strukturze amorficznej na właściwości fizyko-mechaniczne cegieł silikatowych autoklawizowanych wykonanych na bazie piasku szklanego wykonano w oparciu o badanie wytrzymałości na ściskanie, które traktowano jako cechę wyjściową do dalszych analiz. Kolejnymi analizowanymi parametrami były: gęstość objętościowa, wilgotność, nasiąkliwość i porowatość.

Rys. 30. Wytrzymałość na ściskanie cegieł silikatowych – zależność między wytrzymałością na ściskanie [MPa] od udziału [%] piasku szklanego z recyklingu.  $\delta$  – wytrzymałość na ściskanie [MPa], metoda sieci neuronowych.



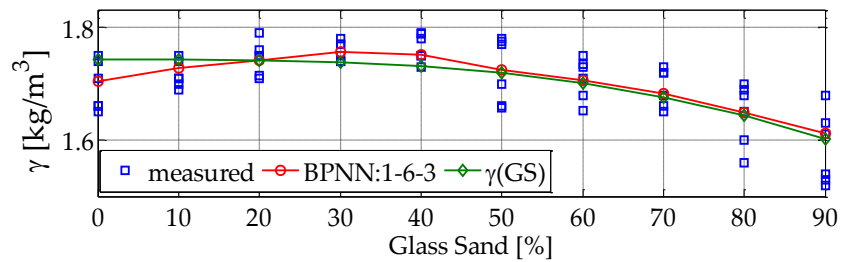
Wytrzymałość na ściskanie  $\delta$  (Rys. 30) dla materiału powstałego na bazie piasku kwarcowego QS wynosiła średnio 5,5-6,5 MPa, a dla materiału, w którym całkowicie zastąpiono piasek kwarcowy piaskiem szklanym GS otrzymano wartość wytrzymałości na ściskanie na poziomie około 20 MPa. Wytrzymałość na ściskanie cegieł produkowanych na skalę przemysłową wynosi 15-20 MPa<sup>21</sup>. Jak można zauważyć (Rys. 30) wraz ze wzrostem udziału GS wzrastała wytrzymałość na ściskanie cegieł silikatowych modyfikowanych piaskiem szklanym. Jest to ciekawa obserwacja, ponieważ temperatura hydratacji wapna z rosnącym udziałem GS (amorficznego piasku szklanego) uległa obniżeniu, stąd można wywnioskować, że hydratacja wapna podczas produkcji cegieł autoklawizowanych zapewniała odpowiednie wiązania chemiczne, a w rezultacie wytrzymałość cegieł wzrosła. Należy również zauważyć, że wodorotlenek wapnia wykazuje rozpuszczalność wsteczną w stosunku do temperatury,

<sup>21</sup> [https://www.hplush.pl/documents/20662/93511/Katalog+Techniczny\\_2022\\_www.pdf/0c52183c-96ca-4c4f-b586-6c5bdc804248](https://www.hplush.pl/documents/20662/93511/Katalog+Techniczny_2022_www.pdf/0c52183c-96ca-4c4f-b586-6c5bdc804248)

więc możliwe jest, że w niższej temperaturze więcej jonów wapnia zostało uwolnionych po rozpuszczeniu i było dostępnych dla reakcji tworząc hydraty.

Rys. 31. Gęstość cegły silikatowej ( $\gamma$ ) względem zawartości [%] piasku szklanego GS.

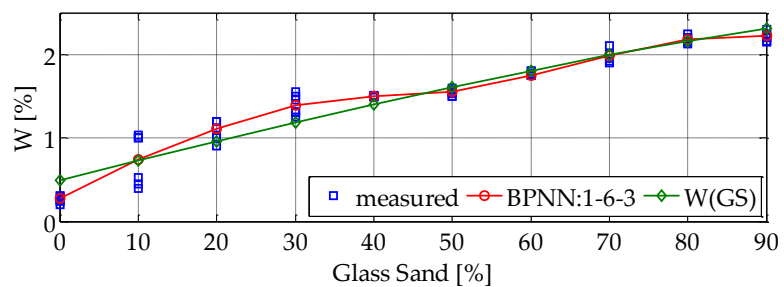
$\gamma$ -gęstość objętościowa cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym.



Kolejną analizowaną właściwością była gęstość cegieł silikatowych. Porównywane wartości gęstości ( $\gamma$ ) tradycyjnej cegły wapienno-piaskowej i modyfikowanej piaskiem szklanym nie wykazały istotnych różnic (Rys. 31). Zarejestrowana zmiana wyniosła średnio tylko  $0,5\text{kg/dm}^3$  różnicy. Gęstość objętościowa cegieł z dodatkiem piasku kwarcowego 90% mas. (QS) wynosiła około  $1,7\text{ kg/dm}^3$ , a cegieł z piaskiem szklanym (GS) utrzymała się na poziomie około  $1,6-1,7\text{ kg/dm}^3$ .

Rys. 32. Wilgotność (W), jako funkcja zawartości [%] piasku szklanego GS.

W – wilgotność [%] cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym z recyklingu.



Wilgotność (W) wzrastała wraz ze wzrostem udziału piasku szklanego (GS) w masie silikatowej (Rys. 32). Wzrost wilgotności nowego materiału wiąże się z właściwościami stłuczki szklanej, sposobem i długością jej składowania (im dłużej stłuczka jest składowana, tym więcej ma wilgoci w warstwach powierzchniowych [67]).

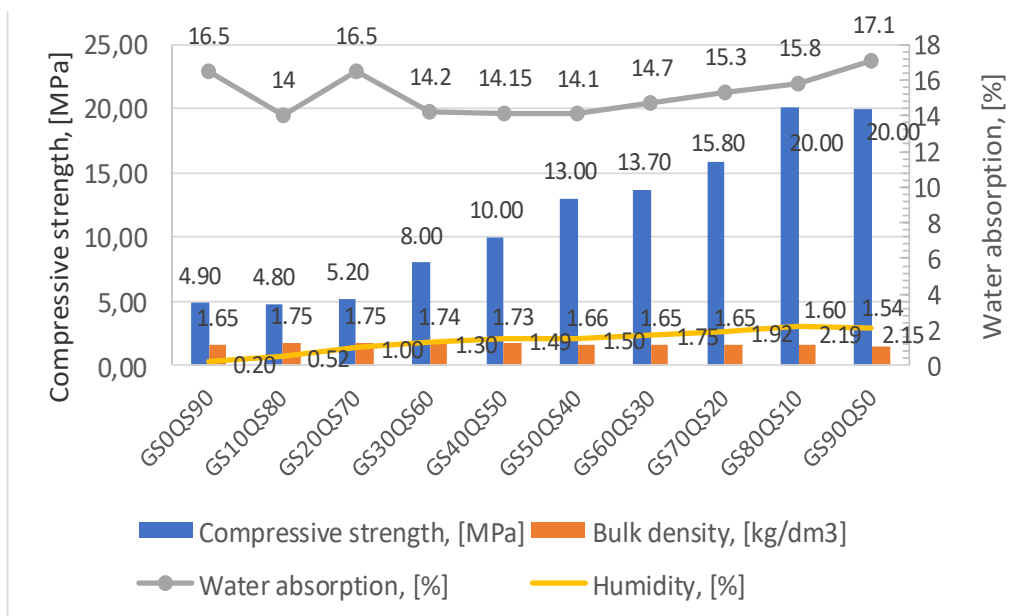
Wykres porównawczy przedstawiony na Rys. 33 przedstawia kompleksową analizę podstawowych właściwości fizyko-mechanicznych materiałów modyfikowanych piaskiem szklanym z recyklingu. Widocznej zmianie uległa wytrzymałość na ściskanie wyrobu silikatowego modyfikowanego w 90%-ach piaskiem szklanym GS.

Gęstość jest zbliżona do gęstości cegły silikatowej referencyjnej wykonanej w warunkach laboratoryjnych i mieści się w granicy  $1,6 - 1,7\text{ kg/dm}^3$  (gęstość cegieł wyprodukowana w warunkach przemysłowych wynosi średnio  $1,73\text{ kg/dm}^3$ ). Nasiąkliwość cegieł wyprodukowanych na bazie GS waha się w przedziale od 14 do 17%, ale utrzymuje się w zakresie maksymalnej nasiąkliwości normowej dla tradycyjnych cegieł silikatowych, która wynosi 18%.

Oznaczenia:

**GS0QS90** – tzn. GS 0% + QS 90% piasku w kacie silikatowej na którą składa się 90% piasku, 7% CaO i 3% H<sub>2</sub>O.

**GS90QS0** – tzn. 90%GS + 0%QS



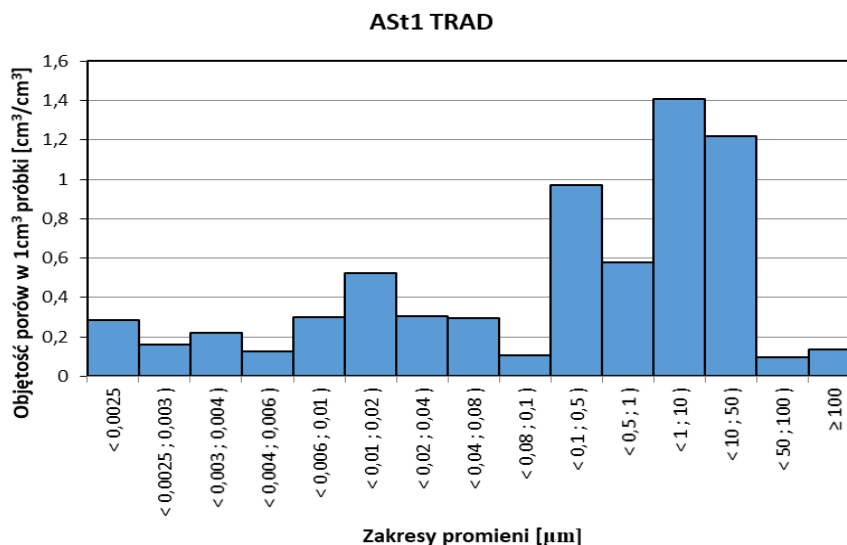
Rys. 33. Wykres zależności wytrzymałości na ściskanie (Compressive strength - kolor niebieski), gęstości (kolor pomarańczowy), nasiąkliwości (linia szara) i wilgotności (linia żółta) materiałów silikatowych autoklawizowanych modyfikowanych piaskiem szklanym w ilości 0–90% GS.

Kolejnym etapem badań była analiza porowatości materiału silikatowego modyfikowanego piaskiem szklanym. Badania zostały wykonane dla trzech próbek cegieł silikatowych tj.:

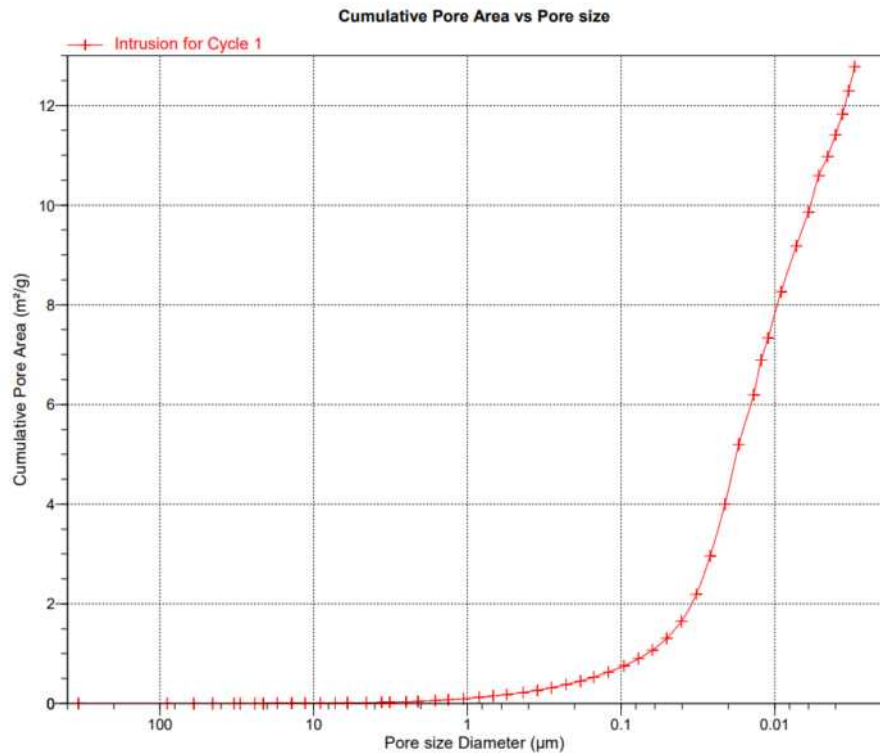
- ⇒ cegła tradycyjna Ast1 TRAD (referencyjna, Rys. 34, 35);
- ⇒ cegła modyfikowana w 50%-ach piaskiem kwarcowym i w 50%-ach (z 90% piasku stanowiącego masę silikatową) piaskiem szklanym, Ast2 50%GS (Rys. 36, 37) ;
- ⇒ cegła silikatowa wykonana w 90%-ach na bazie GS, Ast 3L (Rys. 38, 39).

Do analizy porowatości zastosowano dwie metody: porozymetrię rtęciową i tomografię komputerową. Tomografia komputerowa jest nieniszcząca metodą, w związku z czym pomiary można powtórzyć wielokrotnie nie uszkadzając mikrostruktury badanego materiału.

Rys. 34. Objętość i rozkład wielkości porów w cegle silikatowej tradycyjnej.

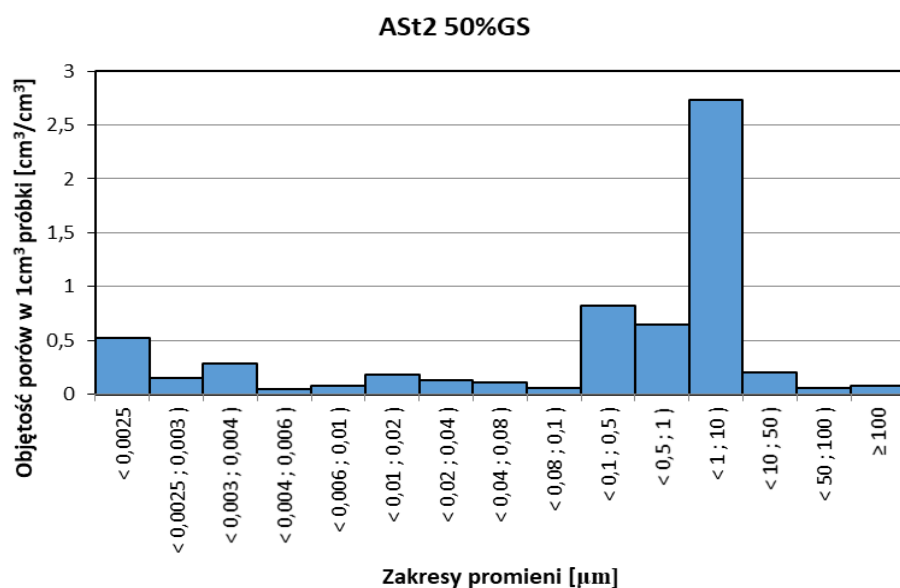


Rys. 35. Rozkład wielkości porów w cegle silikatowej tradycyjnej.

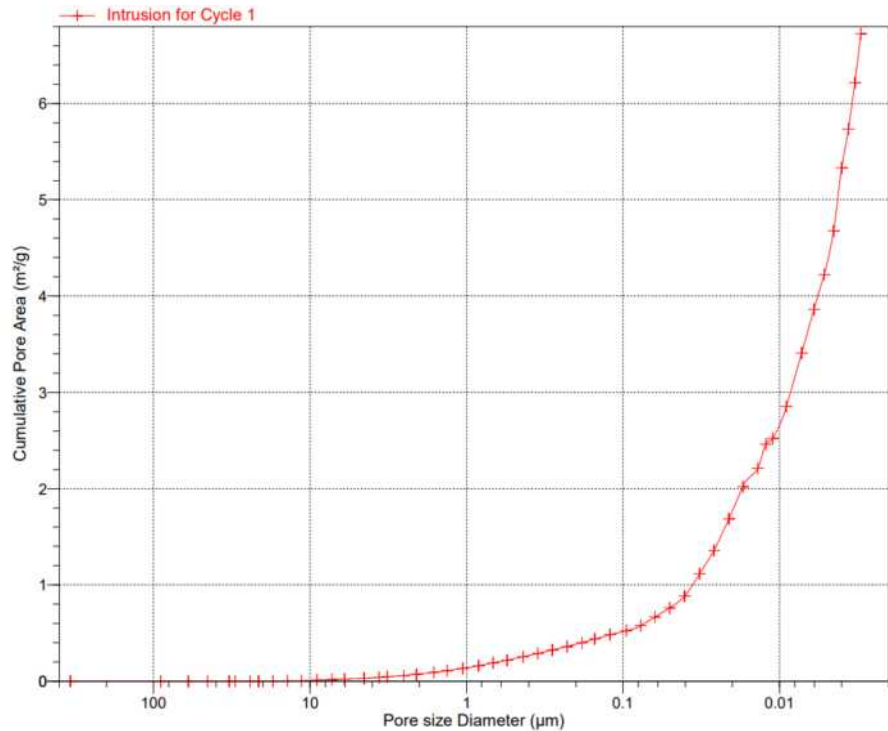


Z wykresu przedstawionego na Rys. 34 wynika, że największy udział w materiale silikatowym tradycyjnym (referencyjnym) mają pory o średnicy  $<0,1 - 50> \mu\text{m}$ , a rozkład porów jest równomierny (Rys. 35). Analiza porowatości cegły silikatowej modyfikowanej w 50%-ach piaskiem szklanym wykazała największy udział porów o średnicy  $<0,1 - 10> \mu\text{m}$  (Rys. 36). W cegle silikatowej, w której całkowicie wyeliminowano udział piasku kwarcowego na rzecz piasku szklanego zaobserwowano największy udział porów o średnicy:  $<0,1 - 0,5> \mu\text{m}$  oraz  $<1 - 50> \mu\text{m}$  (Rys. 38).

Rys. 36. Objętość i rozkład wielkości porów w cegle silikatowej z udziałem 50% QS i 50% GS.

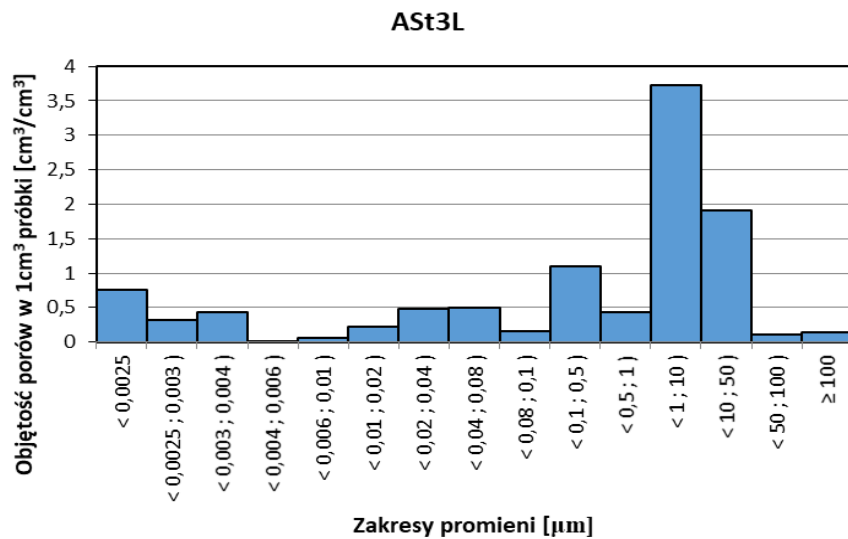


Rys. 37. Rozkład wielkości porów w cegle silikatowej z udziałem 50% QS i 50% GS.



Rozkłady krzywych Ast1 TRAD (Rys. 35) i Ast2 50% GS (Rys. 37) są zbliżone, choć zmianie stopniowo zaczyna ulegać objętość porów względem ich rozmiaru. Może to świadczyć o zmianie charakteru wolnych przestrzeni w badanym materiale (pory otwarte i zamknięte) i wynikać ze wzajemnej kompatybilności i optymalnego połączenia piasku szklanego GS z piaskiem kwarcowym QS w czasie hydratacji spoiwa (piasek szklany jest substratem o charakterze amorficznym) i podczas procesu autoklawizacji, na co wskazuje zwiększenie wartości wytrzymałości na ściskanie cegły silikatowej z dodatkiem GS.

Rys. 38. Objętość i rozkład wielkości porów cegły silikatowej z udziałem 90% GS.

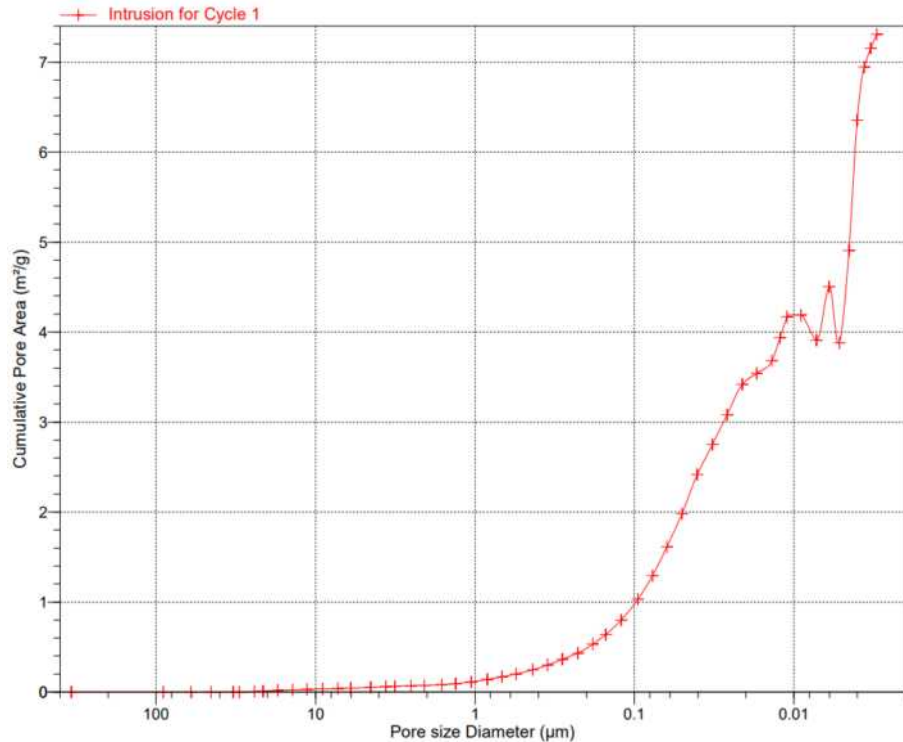


Eliminacja z masy surowcowej piasku kwarcowego na rzecz piasku szklanego (90% GS) doprowadziła do zmian zarówno w rozkładzie porów (Rys. 38, 39) i porowatości materiału.

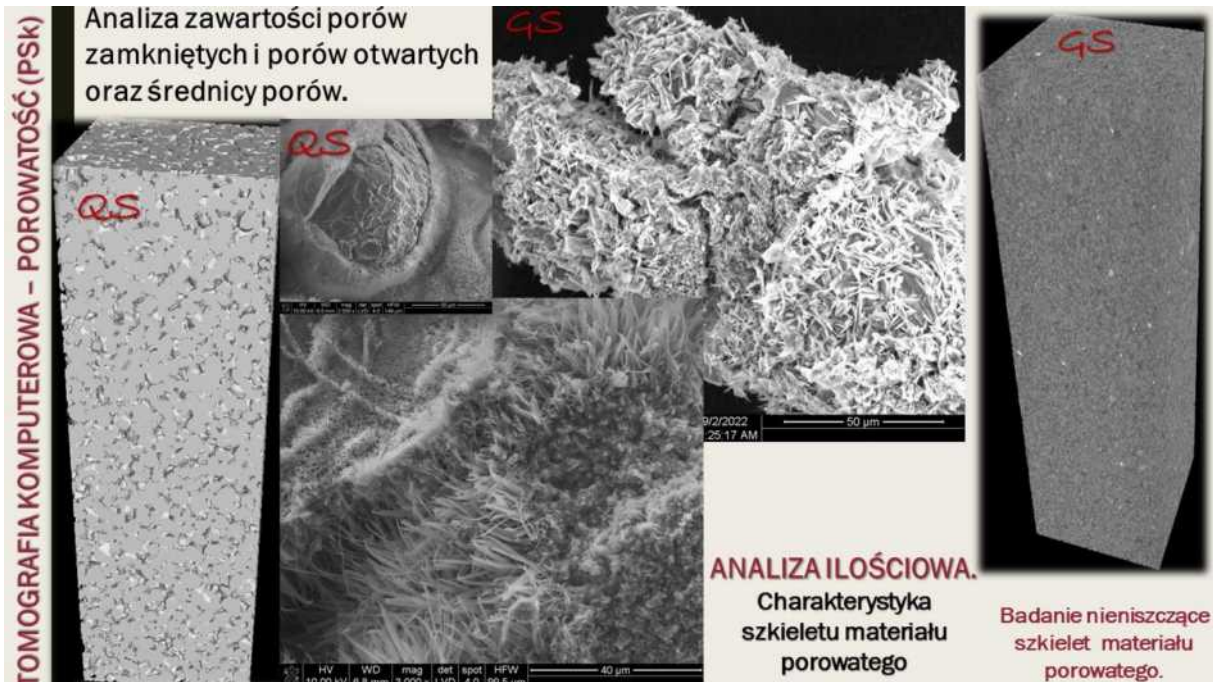


Obserwuje się większy udział porów o średnicy  $<1 - 50>$   $\mu\text{m}$ , natomiast ilość porów o średnicach w granicach  $<0,0025 - 0,004>$   $\mu\text{m}$ , a następnie  $(0,02 - 1)$   $\mu\text{m}$  jest równomierna.

Rys. 39. Rozkład wielkości porów cegły silikatowej z udziałem 90% GS.

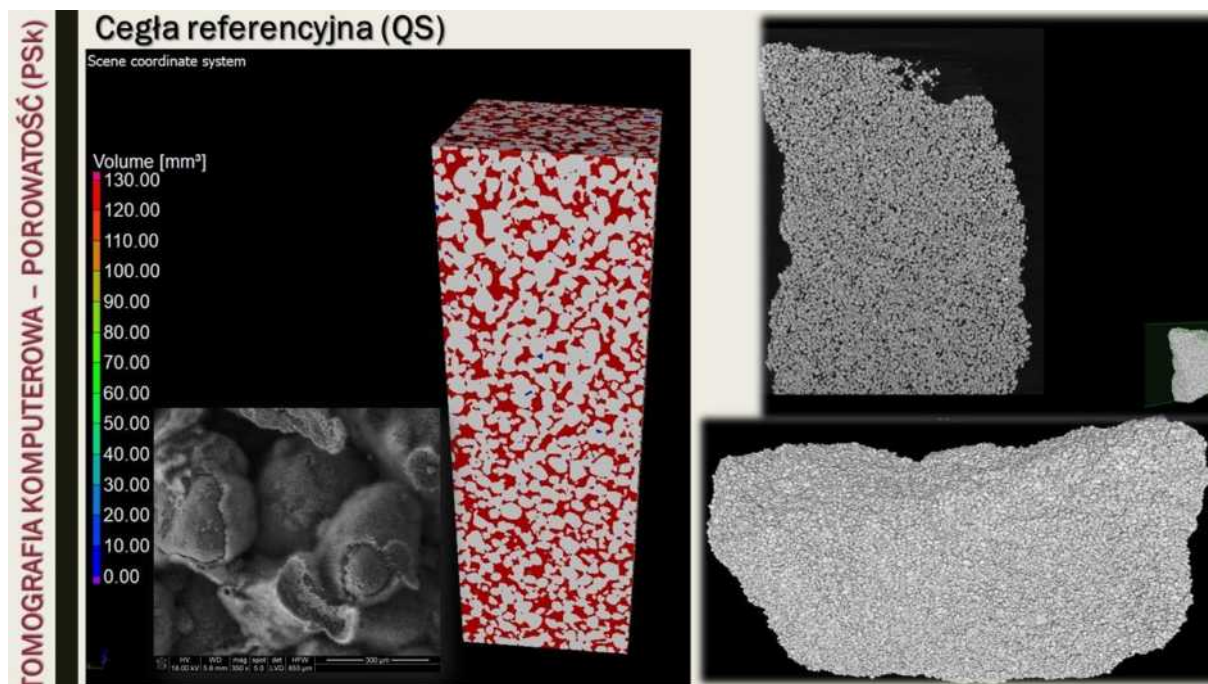


W celu dokładnego zbadania mikrostruktury i porowatości materiałów silikatowych, zarówno cegły tradycyjnej (referencyjnej), jak i modyfikowanej piaskiem szklanym wykonano badanie porowatości z zastosowaniem tomografu komputerowego (Rys. 40-44).

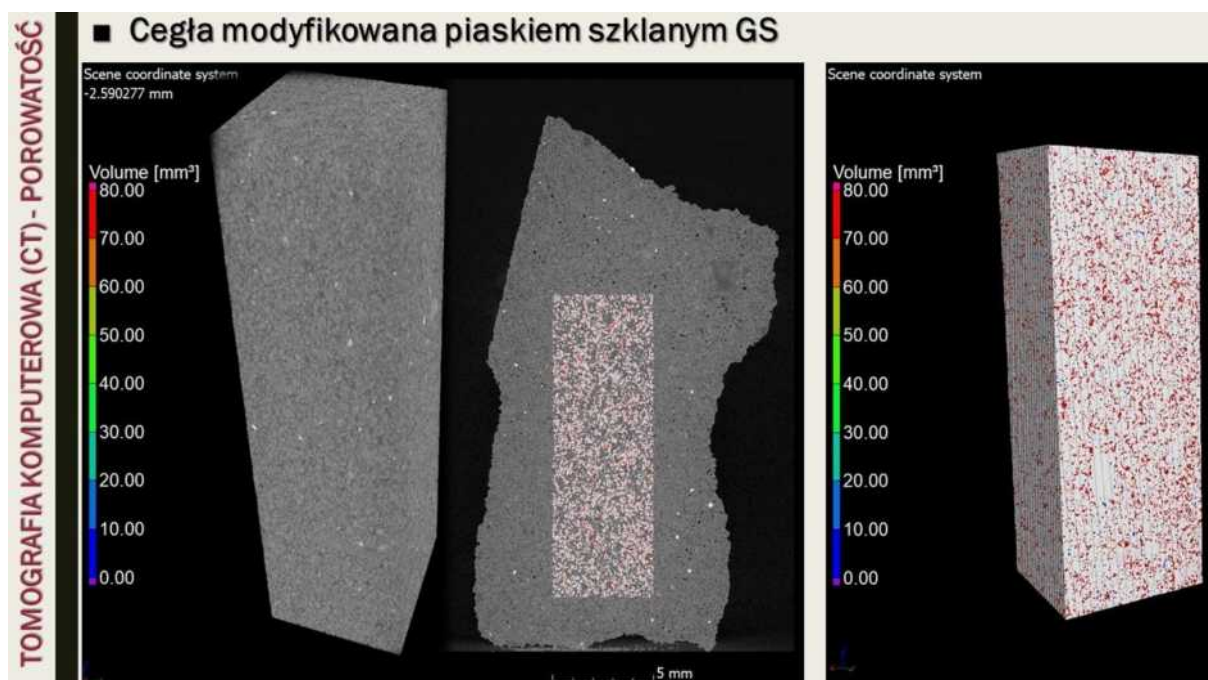


Rys. 40. Trójwymiarowy model przestrzenny porowatości cegieł silikatowych powstałych w warunkach laboratoryjnych w czasie 5 godzin procesu autoklawizacji – skrócony schemat porównawczy.

Grafiki Rys. 40 i Rys. 43 przedstawiają sumaryczną wizualizację wyników z analizy mikrostruktury (SEM, tomografia komputerowa) cegieł wykonanych z zastosowaniem piasku kwarcowego QS (lewa strona) oraz piasku szklanego GS (prawa strona). Badania wykonano na fragmentach próbek cegieł silikatowych wykonanych w warunkach laboratoryjnych. W prawym górnym rogu grafiki Rys. 41 przedstawiono przekrój analizowanego fragmentu cegły silikatowej tradycyjnej.

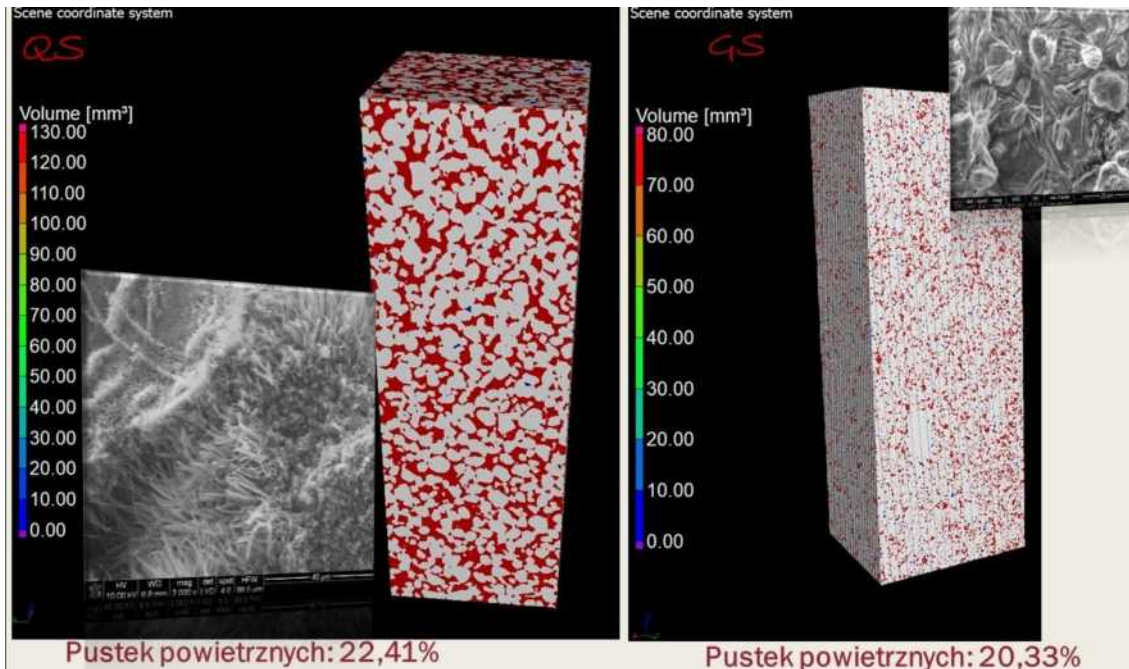


Rys. 41. Tomografia komputerowa przedstawiająca rozkład porów w cegle silikatowej powstałej na bazie piasku kwarcowego, wapna i wody w 5-ciogodzinnym czasie autoklawizacji.

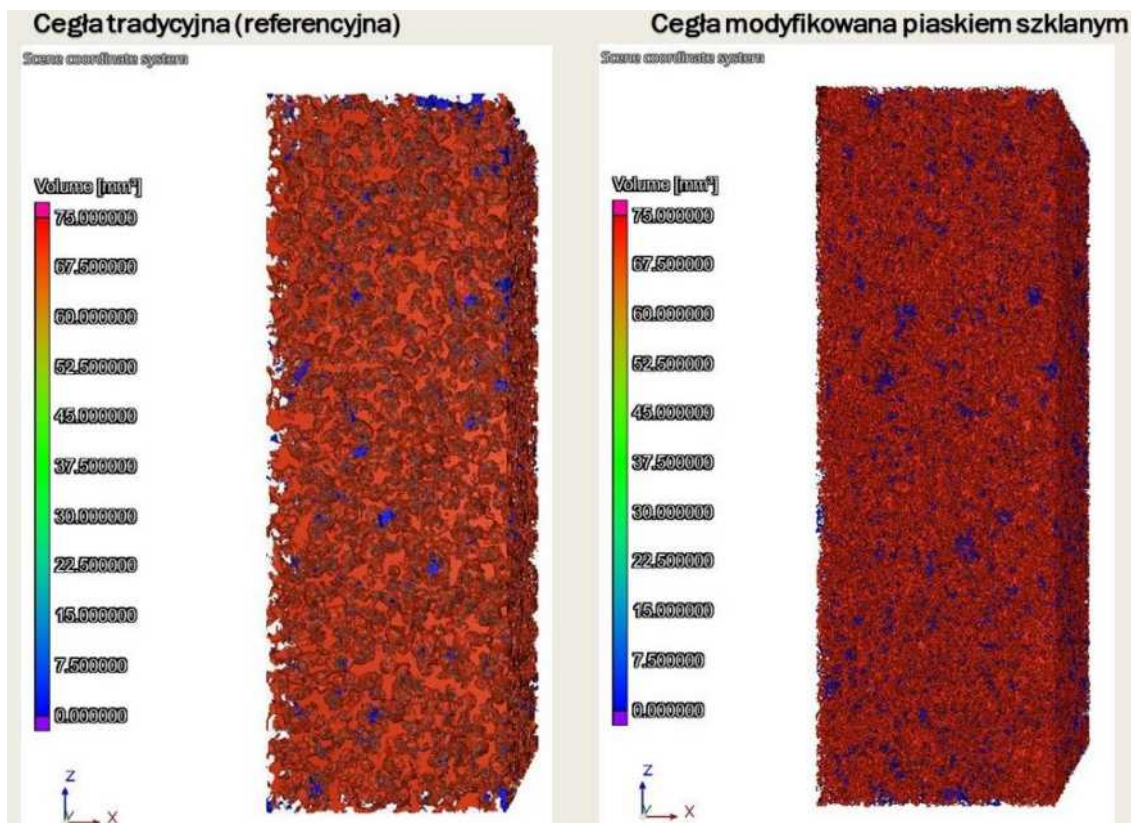


Rys. 42. Tomografia komputerowa przedstawiająca rozkład porów w cegle silikatowej powstałej na bazie piasku szklanego z recyklingu, wapna i wody w 5-ciogodzinnym czasie autoklawizacji.

W podobny sposób analizowana była cegła silikatowa, która powstała w 90%-ach z piasku szklanego (Rys. 42). Czerwony kolor widoczny na modelu trójwymiarowym przedstawia pory otwarte połączone. Kolor niebieski to pory zamknięte, białe pola to materiał silikatowy, z którego powstała cegła – w tym przypadku piasek kwarcowy (90%), wapno i woda.



Rys. 43. Tomografia komputerowa i zestawienie szkieletu porowatego cegieł silikatowych tradycyjnych (referencyjnych) i modyfikowanych piaskiem szklanym.



Rys. 44. Tomografia komputerowa – trójwymiarowy przekrój przez próbki: QS- cegła silikatowa tradycyjna; GS- cegła silikatowa modyfikowana piaskiem szklanym (90% GS, produkcja laboratoryjna).

Analiza uzyskanych wyników wykazała zbliżoną objętość pustych przestrzeni w materiałach silikatowych wykonanych na bazie piasku kwarcowego (22,41% wolnych przestrzeni, Rys. 44a) oraz na bazie piasku szklanego (20,33% pustek w analizowanym materiale, Rys. 44b). Jak wykazały przedstawione modele zmieniła się budowa szkieletu i ilość porów zamkniętych (kolor niebieski) i porów otwartych (kolor czerwony) w cegle silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym. Cegła wykonana na bazie piasku szklanego odznacza się większym udziałem porów zamkniętych oraz lepszym i bardziej równomiernym ułożeniem składników masy silikatowej względem siebie.

⇒ Powyższe informacje, fotografie i część badawcza została uwzględniona w następujących artykułach z prezentowanego Cyklu publikacji:

**A5. Anna Stepien** *Analysis of Porous Structure in Autoclaved Materials Modified by Glass Sand*. **CRYSTALS 2021**, 11(4), 408, ISSN: 2073-4352, pp. 1-17: <https://doi.org/10.3390/cryst11040408>

**A7. Anna Stepien** (autor korespondencyjny), **Małgorzata Durlej**, **Karol Skowera** *Application of the computed tomography method for the evaluation of porosity of autoclaved materials*. **MATERIALS 2022**, 15(23), 8472, ISSN: 1996-1944, pp. 1-19: <https://doi.org/10.3390/ma15238472>

#### **4.5.2. Badania struktury i mikrostruktury cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym z recyklingu**

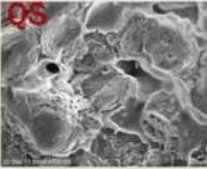
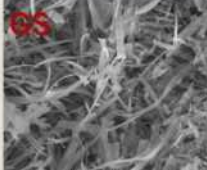
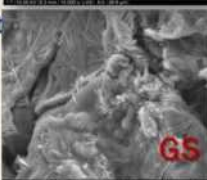
Badania mikrostruktury i struktury cegieł silikatowych zarówno tradycyjnych (materiał wyjściowy, referencyjny), jak i modyfikowanych piaskiem szklanym z recyklingu szkła butelkowego kolorowego wykonywane były w trzech ośrodkach akademickich:

- University of Sherbrooke w Kanadzie (siedmiomiesięczny staż zagraniczny);
- University of California Los Angeles (dwa razy: podczas realizacji grantu Miniatura 2 oraz w ramach projektu RID - staże zagraniczne dla pracowników naukowych);
- Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki.

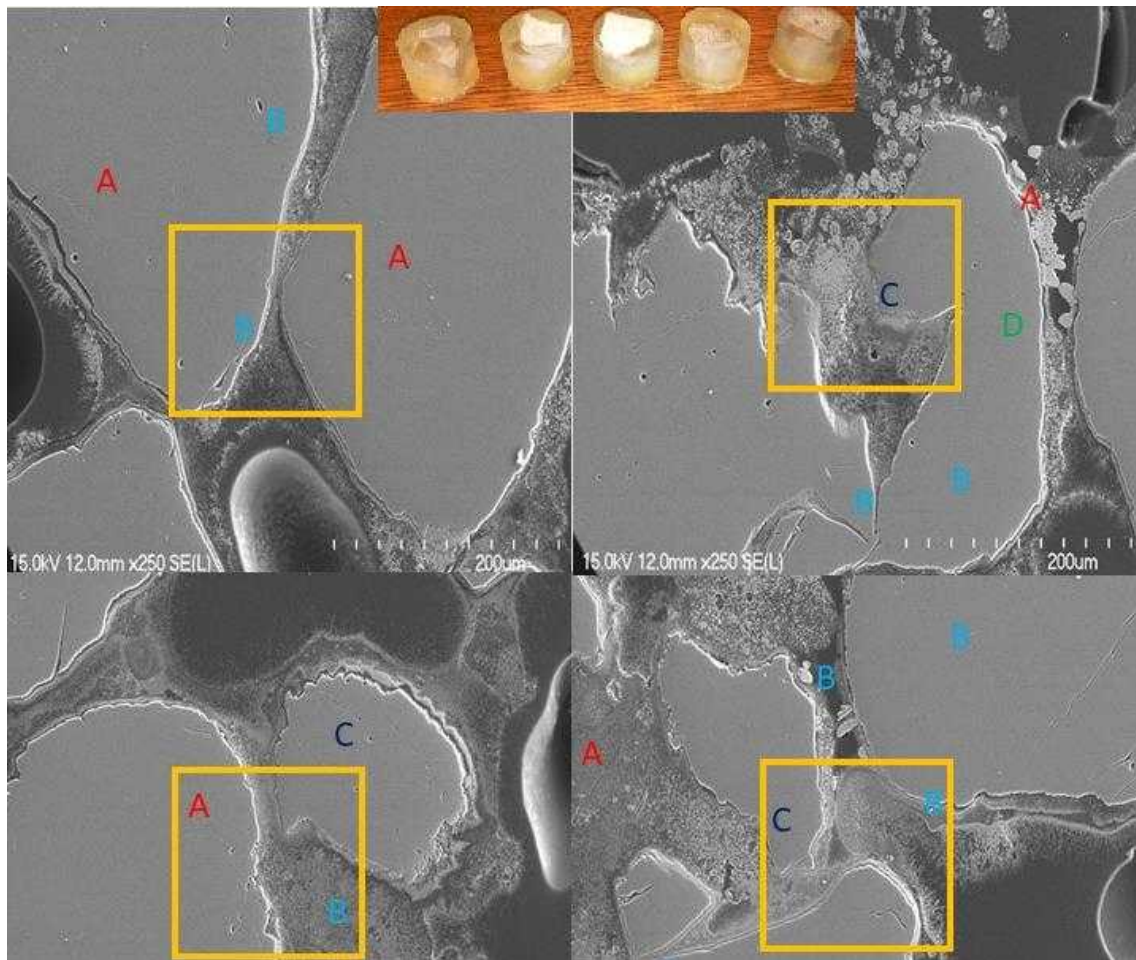
W tradycyjnych ceglach wapienno-piaskowych fazą dominującą jest faza tobermorytowa, która powstaje w wyniku krystalizacji fazy C-S-H. Krystalizacja przebiega w kierunku tobermorytu z uwagi na niską zawartość spoiwa wapiennego (mniej niż 10%, z reguły to 3-7% w zależności od jakości piasku kwarcowego). Jak wykazały wyniki analizy budowy fazowej poparte badaniami XRD oraz mikrostruktury SEM w wyrobach modyfikowanych piaskiem szklanym z recyklingu krystalizacja fazy C-S-H przebiega w kierunku natrolitu i/lub gyrolitu z uwagi na zawartość sodu w piasku szklanym GS (Rys. 45).

Podczas stażu naukowego podoktorskiego na University of Sherbrooke w Kanadzie wykonane zostały zgłady cegieł silikatowych wykonanych na bazie piasku kwarcowego (materiał określany jako 'reference' tj. cegła referencyjna Rys. 46, 47) oraz zgłady dla cegieł autoklawizowanych wykonanych w całości na bazie piasku szklanego z recyklingu GS

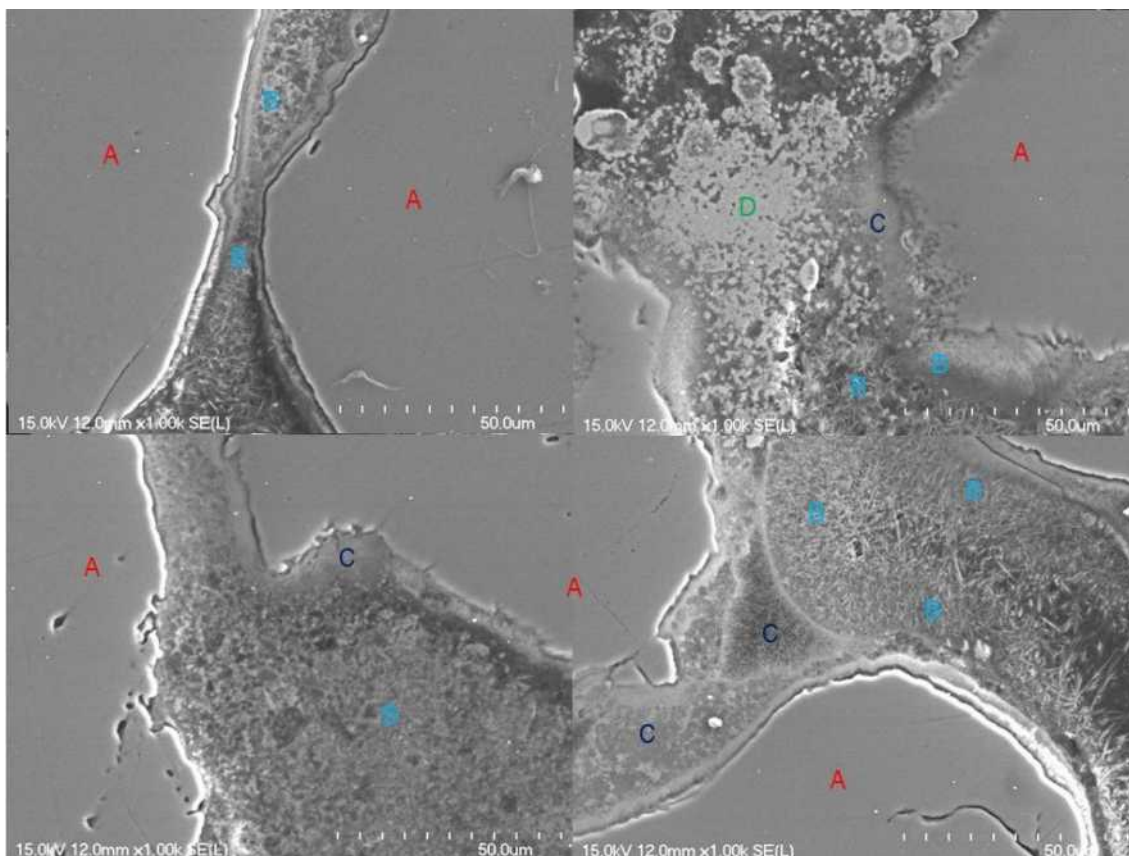
(Rys. 48, 49). Na Rys. 49 przedstawiono przykładowe obrazy mikrostruktury próbek referencyjnej i próbki modyfikowanej GS.

<b>Skład fazowy</b>	<b>Przemiany fazowe: C-S-H, tobermoryt w tradycyjnych wyrobach silikatowych:</b>		<b>Cegły autoklawizowane modyfikowane GS:</b>
	⇒ C-S-H –uodniony krzemian wapniowy o strukturze nieuporządkowanej, faza amorficzna, która w około 70-ciu %-ach odpowiada za wytrzymałość betonu (korzystnie przy powyżej 12,4pH).		■ <b>GYROLIT:</b> $\text{NaCa}_{16}(\text{Si}_{23}\text{Al})\text{O}_{60}(\text{OH})_8 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
	⇒ C-S-H - faza metastabilna termodynamicznie.		⇒ Faza rzadka, hydrat zasadowego krzemianu sodowo-wapniowego: NCSH;
⇒ <b>Toberomryt (wg. Andre Nonat: C-S-H I (tobermoryt &amp; C-S-H II (jennite) – uodnione krzemiany wapniowe o strukturze krystalicznej.</b>		⇒ Gyrolit można zsyntetyzować w laboratorium lub na skalę przemysłową w reakcji hydrotermalnej w zakresie temperatur 150 – 250 °C poprzez reakcję CaO i amorficznego SiO <sub>2</sub> lub kwarcu w nasyconej parze wodnej w obecności soli CaSO <sub>4</sub>	
		■ <b>NATROLIT:</b> $\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ ;	
		⇒ uodniony glinokrzemian sodu;	
		⇒ Krystalizacja w autoklawie, przy niskim ciśnieniu pary wodnej, w temperaturach z zakresu 25-175°C.	

Rys. 45. Skład fazowy cegieł silikatowych: tradycyjnej i modyfikowanej piaskiem szklanym.



Rys. 46. Zgłady wykonane dla tradycyjnych cegieł silikatowych.



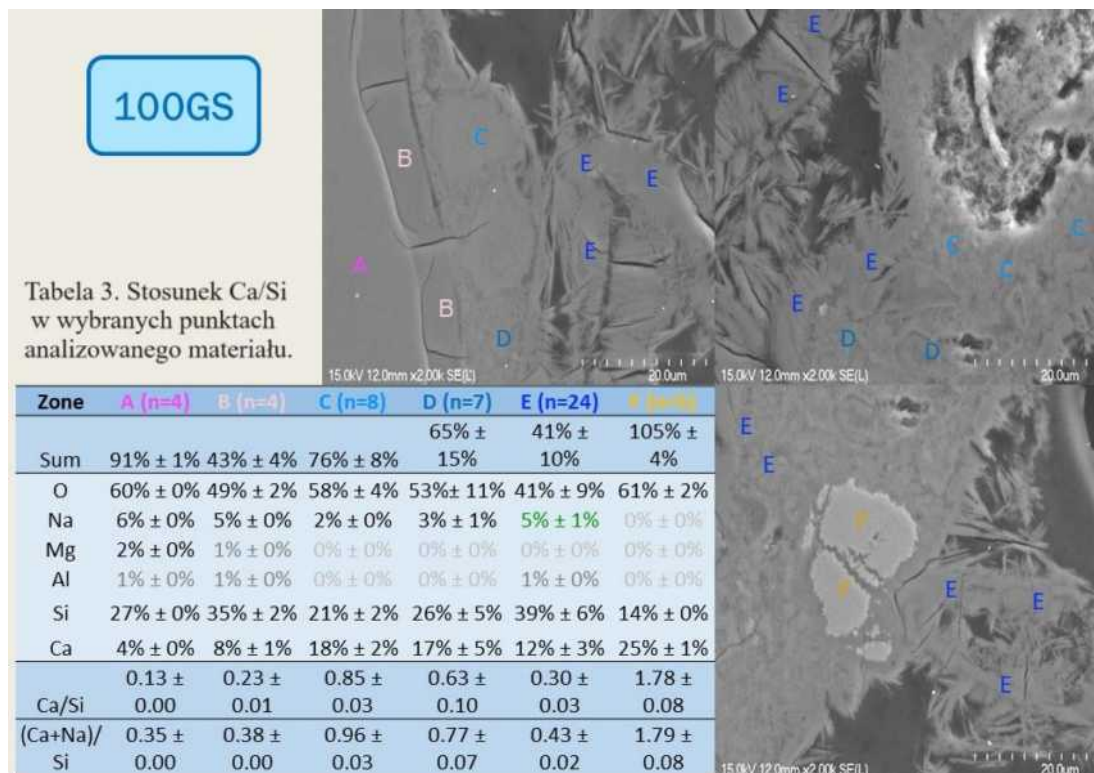
Rys. 47. Obraz mikrostruktury tradycyjnych cegieł silikatowych powstałych w 5-ciogodzinnym czasie autoklawizacji. Widoczne ziarna piasku, pory i uwodnione krzemiany wapnia.

Tabela. 2. Stosunek Ca/Si w badanych punktach (wg Rys. 47)

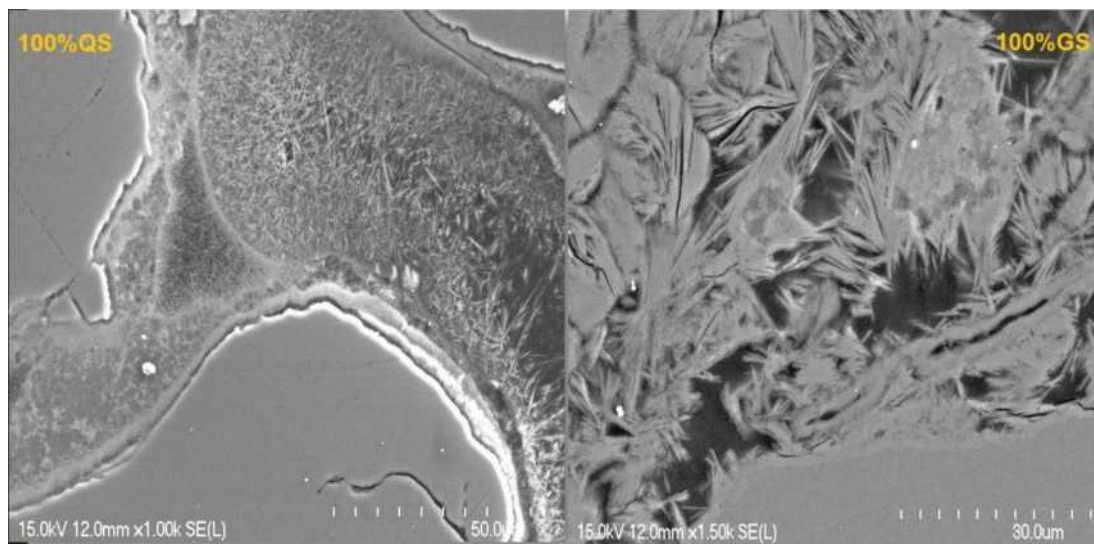
Zone	A (n=20)	B (n=19)	C (n=8)	D (n=5)
Sum	101% ± 3%	63% ± 13%	67% ± 7%	88% ± 16%
O	66% ± 1%	58% ± 5%	60% ± 2%	62% ± 5%
Si	34% ± 1%	20% ± 2%	19% ± 1%	15% ± 2%
Ca	0% ± 0%	21% ± 3%	21% ± 1%	22% ± 3%
Ca/Si	0.00 ± 0.00	1.03 ± 0.04	1.14 ± 0.04	1.39 ± 0.09

Analizę stosunku Ca/Si (CaO do SiO<sub>2</sub>) wykonano dla punktów A, B, C, D (Rys. 47) w ilości „n” ustalonej podczas badania, co było podyktowane i uzależnione od charakteru obszaru badawczego (n < 5 ÷ 20>) przy czym na wskazanym rysunku i w tabeli 2 uwzględniono kilka punktów wybranych, natomiast wynik analizy został zliczony dla całości. Faza C-S-H tj. uwodnione krzemiany wapnia o małym stopniu uporządkowania struktury i zmiennym składzie chemicznym, odznacza się stosunkiem molowym CaO/SiO<sub>2</sub> przeciętnie mieszczącym się w granicach od 0,8 do 2,0 przy czym uporządkowanie struktury następuje m.in. w procesie podgrzewania tj. wzrostu temperatury. C-S-H o stosunku molowym CaO/SiO<sub>2</sub> > 1, charakteryzująca się krótkimi łańcuchami krzemotlenowymi może przekształcić się w tobermoryt, co jest zgodne z analizowaną próbką i obecnością

tobermorytu w składzie fazowym analizowanego materiału<sup>22</sup>. Dla materiału silikatowego powstałego na bazie piasku kwarcowego stosunek molowy C/S wynosił średnio 1,03 – 1,39.



Rys. 48. Obraz mikrostruktury cegieł silikatowych powstałych w wyniku modyfikacji masy silikatowej piaskiem szklanym (90% GS) w 5-ciogodzinnym czasie autoklawizacji.



Rys. 49. Obraz mikrostruktury cegieł silikatowych tradycyjnych (100% QS tzn. cegła powstała na bazie piasku kwarcowego) i modyfikowanych piaskiem szklanym (100% GS tzn. cegła powstała na bazie piasku szklanego z recyklingu).

Elementami tworzącymi strukturę silikatów są ziarna piasku oraz produkty hydratacji spoiwa (tj. wapna). Istotnym składnikiem struktury materiałów budowlanych są pory o różnych

<sup>22</sup> A.Różycka, M. Zytek, Ł. Kotwica, Ł. Gołek *Wpływ powierzchni właściwej kwarcu na syntezę 1,1nm tobermorytu*. Dni Betonu 2018; [https://www.dnibetonu.com/wp-content/pdfs/2018/rozycka\\_zytek\\_kotwica\\_golek.pdf](https://www.dnibetonu.com/wp-content/pdfs/2018/rozycka_zytek_kotwica_golek.pdf).

kształtach i rozmiarach, powstałe m.in. podczas mieszania masy surowcowej i hartowania materiału. Elementami struktury są również warstwy przejściowe powstające między ziarnami piasku i spoiwa. Na fotografiach Rys. 48 i Rys. 49 przedstawiono obrazy mikrostruktury porów w badanych próbkach cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym. Zaobserwowane na zglądach pory powietrzne były mniejsze w stosunku do próbki referencyjnej, miały odmienny kształt i odmienną budowę fazową, co można dostrzec na styku ziaren i w obrębie porów. Zdjęcia (Rys. 51-60) stanowią obrazy mikrostruktury cegieł silikatowych tradycyjnych i modyfikowanych piaskiem szklanym. Zdjęcia SEM wykonane zostały w wysokiej i niskiej próżni. Badania mikrostruktury analizowanych cegieł (tradycyjnych i modyfikowanych GS) zostały wykonane na University of Sherbrooke w Kanadzie podczas 7-miesięcznego stażu naukowego, na University of California Los Angeles podczas stażu zagranicznego w ramach grantu Miniatura 2 oraz w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na Wydziale Ceramiki.

Badania z zastosowaniem skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) wykonano 3 razy:

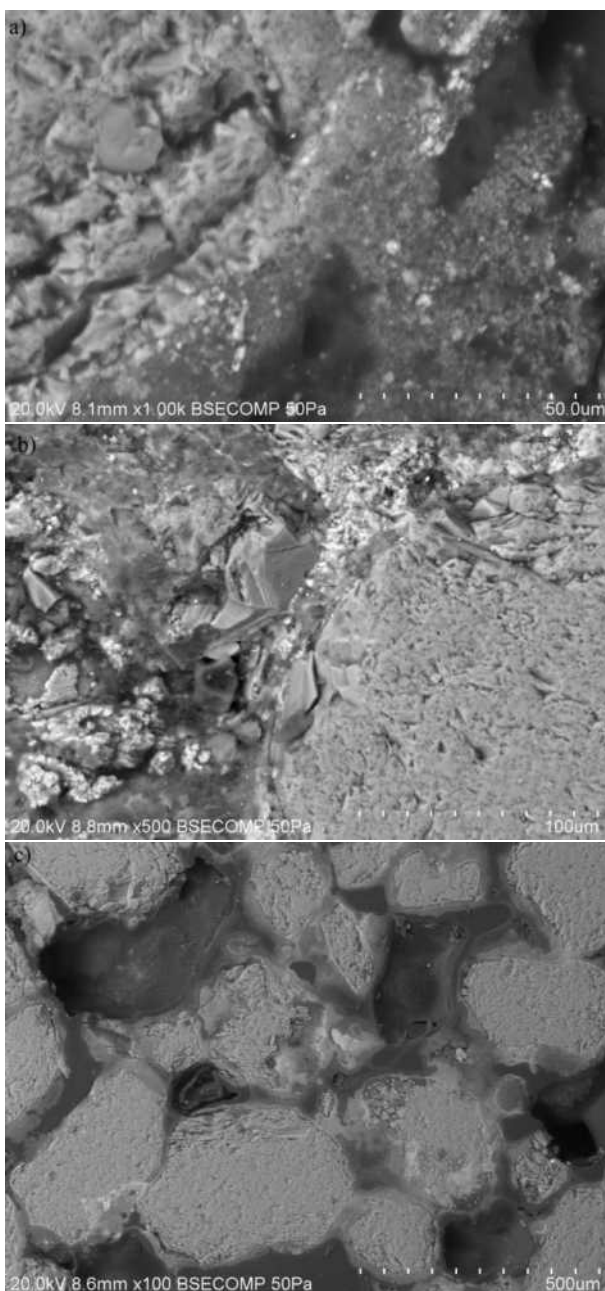
- ⇒ Zbadane zostały świeże próbki cegieł silikatowych tj. po 14 dniach od momentu ich wykonania;
- ⇒ Po 26 miesiącach od daty wykonania cegieł;
- ⇒ Po 6 latach od daty produkcji cegieł silikatowych tradycyjnych i modyfikowanych piaskiem szklanym.

Każdorazowo stosowano mikroskop wyposażony w analizator rentgenowski składu pierwiastkowego w mikroobszarach – EDS.

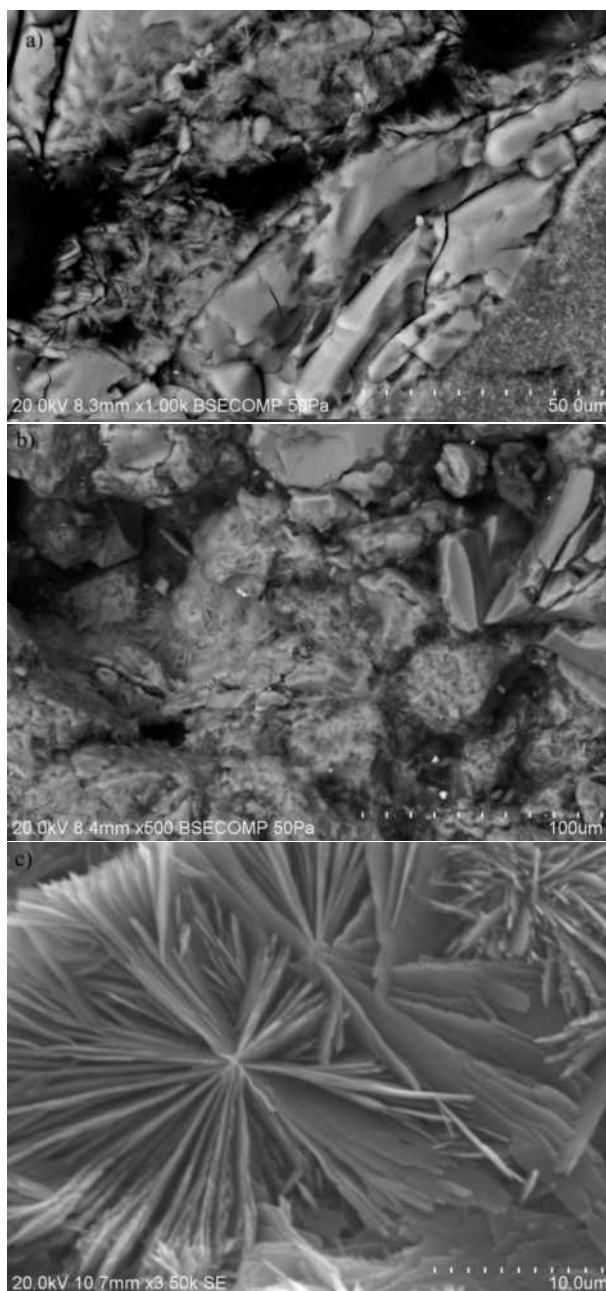
Na Rys. 50 a, b, c przedstawione zostały obrazy mikrostruktury cegły tradycyjnej w skali 50, 100 i 500  $\mu\text{m}$ . Obrazy przedstawiają powierzchnię styku ziaren kwarcowych i spoiwa oraz uwodnione krzemiany wapniowe powstałe w wyniku procesu autoklawizacji. Obrazy przedstawione na Rys. 51 a, b, c przedstawiają mikrostrukturę cegieł silikatowych, które powstały na bazie piasku szklanego z recyklingu. Zastosowano skale 50, 100 i 10  $\mu\text{m}$  (10  $\mu\text{m}$  z uwagi na odmiennie fazy, które wykryły w wyniku wysokiej temperatury i obecności sodu w składzie zastosowanej stłuczki szklanej). Fazami, które powstają w wyniku modyfikacji składu piaskiem szklanym są natrolit i/lub gyrolit. Gyrolit - hydrat zasadowego krzemianu sodowo-wapniowego: NCSH, który powstaje w temperaturze 150°C i wyżej. Natrolit, to z kolei uwodniony glinokrzemian sodu, który krystalizuje w autoklawie, przy niskim ciśnieniu pary wodnej, w temperaturach z zakresu 25-175°C. Poniżej (Rys. 52-59), przedstawiono mikrostrukturę cegieł wykonanych w 90%-ach na bazie piasku



kwarcowego. Następnie przedstawione zostały obrazy budowy wewnętrznej cegieł wykonanych w stosunku 50/50 tzn. w 50%-ach na bazie piasku szklanego GS i w 50%-ach na bazie piasku kwarcowego QS z 7%-wym dodatkiem wapna i 3%-wym dodatkiem wody (Rys. 62-67 i Rys. 69-72) oraz ostatecznie próbki cegieł wykonane przez całkowitą eliminację piasku kwarcowego QS na rzecz piasku szklanego GS (Rys. 60, 71-77). Zdjęcia Rys. 52 i Rys. 53 przedstawiają obrazy mikrostruktury cegieł silikatowych tradycyjnych (referencyjnych) w skalach: 50, 100, 300, 500  $\mu\text{m}$  i w sposób scalony w celu zobrazowania budowy fazowej cegieł silikatowych tradycyjnych.

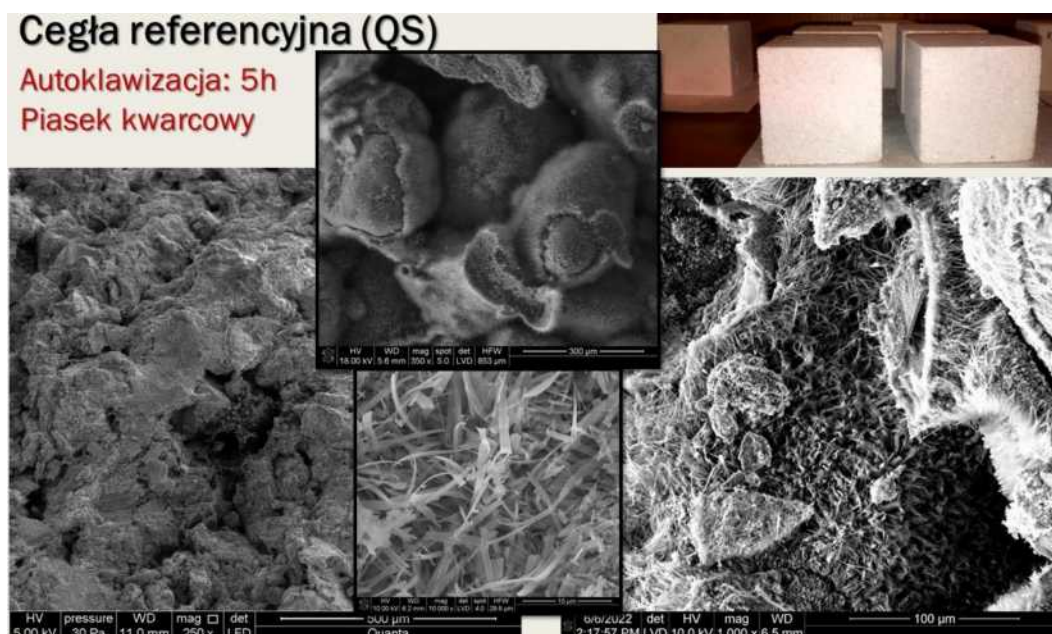


Rys. 50. Obrazy z Elektronowego Mikroskopu Skaningowego SEM cegieł silikatowych powstałych na bazie piasku kwarcowego 90% QS (zglądy). Skala od górnego rysunku: a) 50  $\mu\text{m}$ ; b) 100  $\mu\text{m}$  i c) 500  $\mu\text{m}$ .

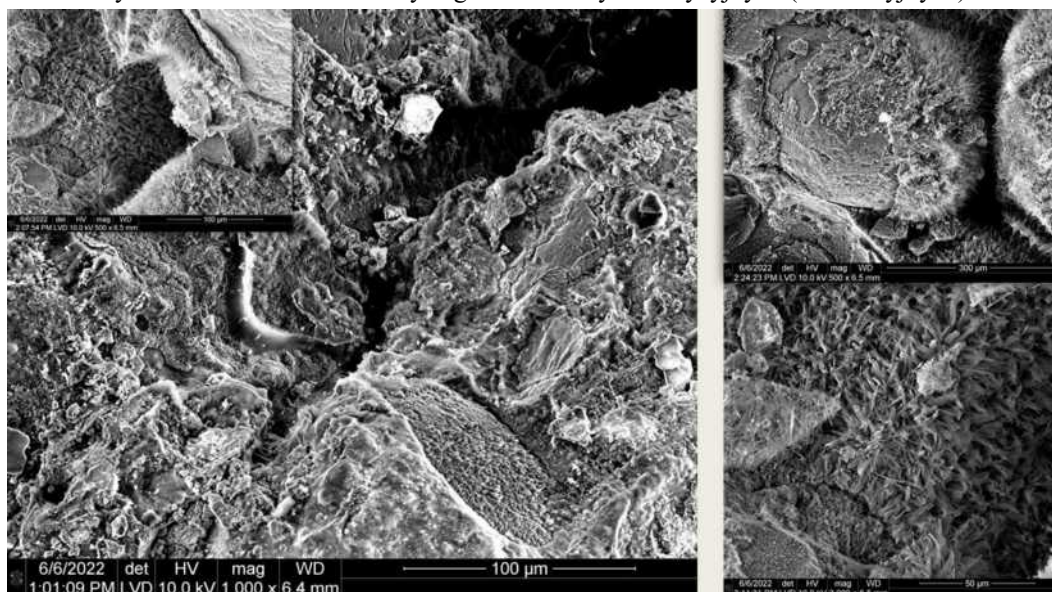


Rys. 51. Obrazy ze Skaningowego Mikroskopu Elektronowego SEM cegieł silikatowych powstałych na bazie piasku szklanego 90% GS. Skala od górnego rysunku: a) 50  $\mu\text{m}$ ; b) 100  $\mu\text{m}$  i c) 10  $\mu\text{m}$ .

Na fotografiach Rys. 52 i Rys 53. ziarna piasku otoczone uwodnionymi krzemianami wapniowymi są wyraźnie widoczne – szczególnie Tobermoryt<sup>23</sup> ( $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{22}\text{H}_{10}$ ), który przybiera postać wstęg, bądź delikatynie zarysowanych blaszek. W masach surowcowych, z których produkowany jest beton, czy cegły silikatowe materiał stabilizowany krzemionką prowadzi do powstawania tobermorytu i zapewnia wysoką wytrzymałość na ściskanie oraz niską przepuszczalność. Wysoka temperatura i ciśnienie (powyżej 250°C i 250 atm) oraz odwodnienie tobermorytu sprzyja powstawaniu kolejnej fazy zwanej ksonotlitem, gyrolitem i/lub natrolitem.

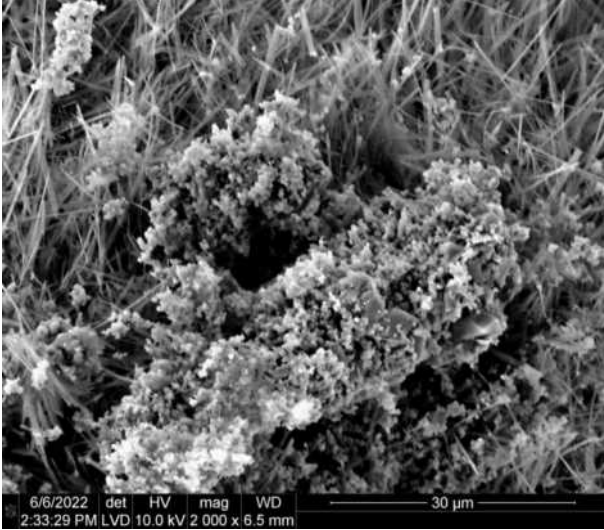


Rys. 52. Obraz mikrostruktury cegieł silikatowych tradycyjnych (referencyjnych).

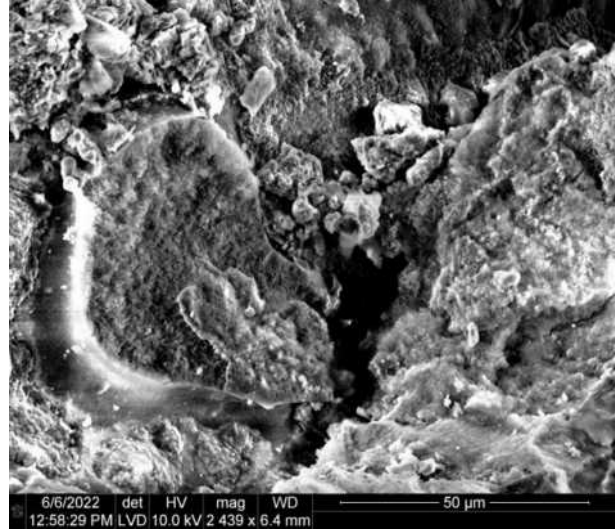


<sup>23</sup> Tobermoryt został po raz pierwszy opisany w 1880 r. w Szkocji w pobliżu miejscowości Tobermory [H.F.W. Taylor (1959) *The transformation of tobermorite into xonotlite*. Mineralogical Magazine and Journal of the Mineralogical Society, 32(245), 110-116. doi:10.1180/minmag.1959.32.245.03. Published online by Cambridge University Press: 14 March 2018].

Rys. 53. Obraz mikrostruktury cegieł silikatowych tradycyjnych (referencyjnych).



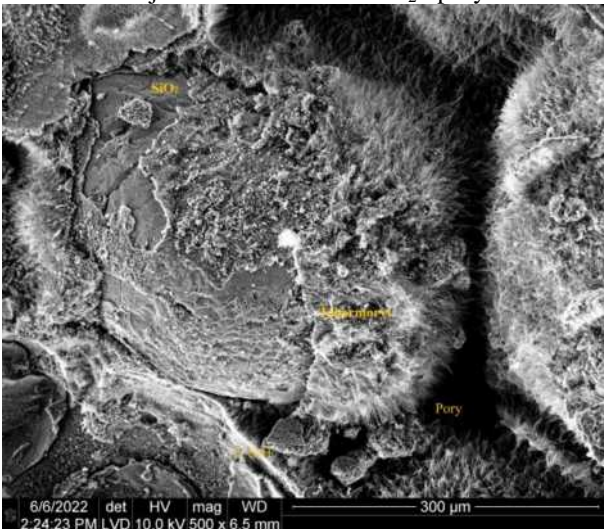
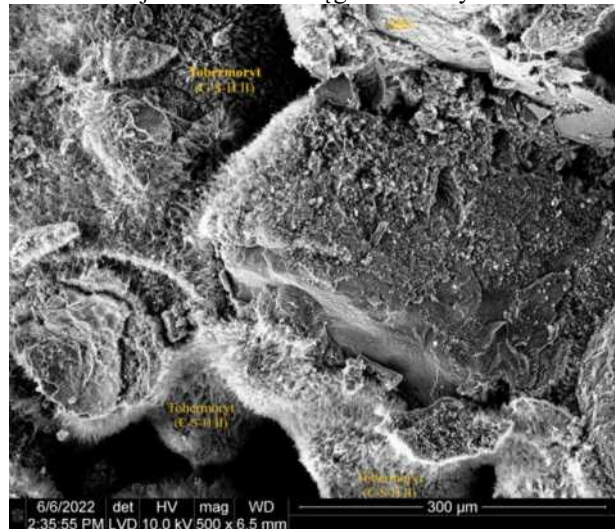
Rys. 54. Obraz mikrostruktury w tradycyjnej cegle silikatowej wykonanej na bazie piasku kwarcowego QS – widoczne wstęgi tobermorytu. Skala: 30μm.



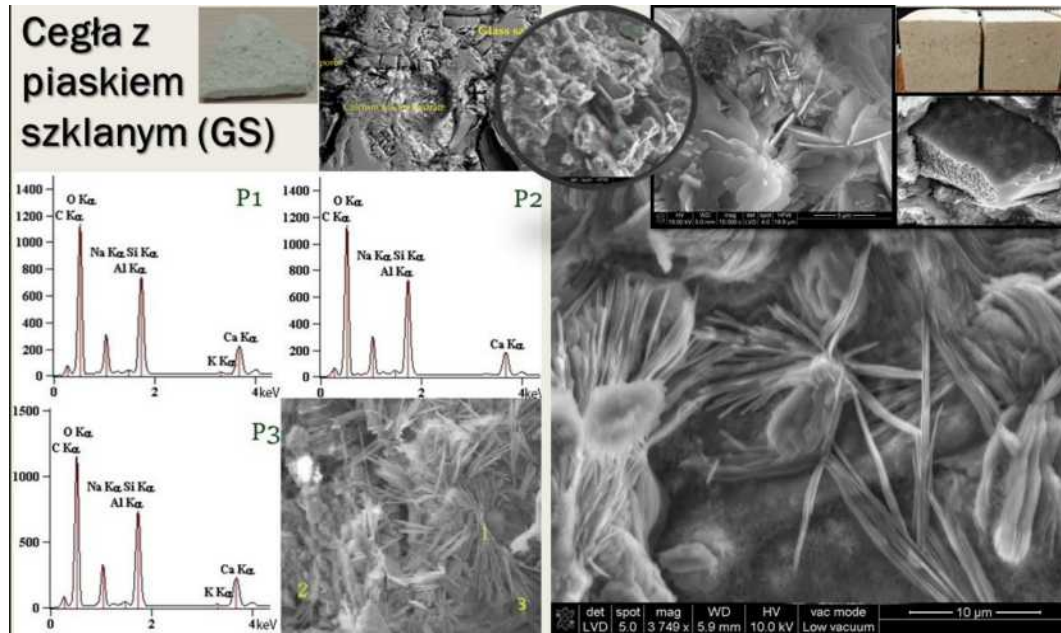
Rys. 55. Obraz mikrostruktury w tradycyjnej cegle silikatowej wykonanej na bazie piasku kwarcowego QS. Skala: 50μm.

Rys. 56. Obraz mikrostruktury w tradycyjnej cegle silikatowej – widoczne ziarno SiO<sub>2</sub> i pory. Skala:

Rys. 57. Obraz mikrostruktury w tradycyjnej cegle silikatowej – widoczne wstęgi tobermorytu i C-S-H.

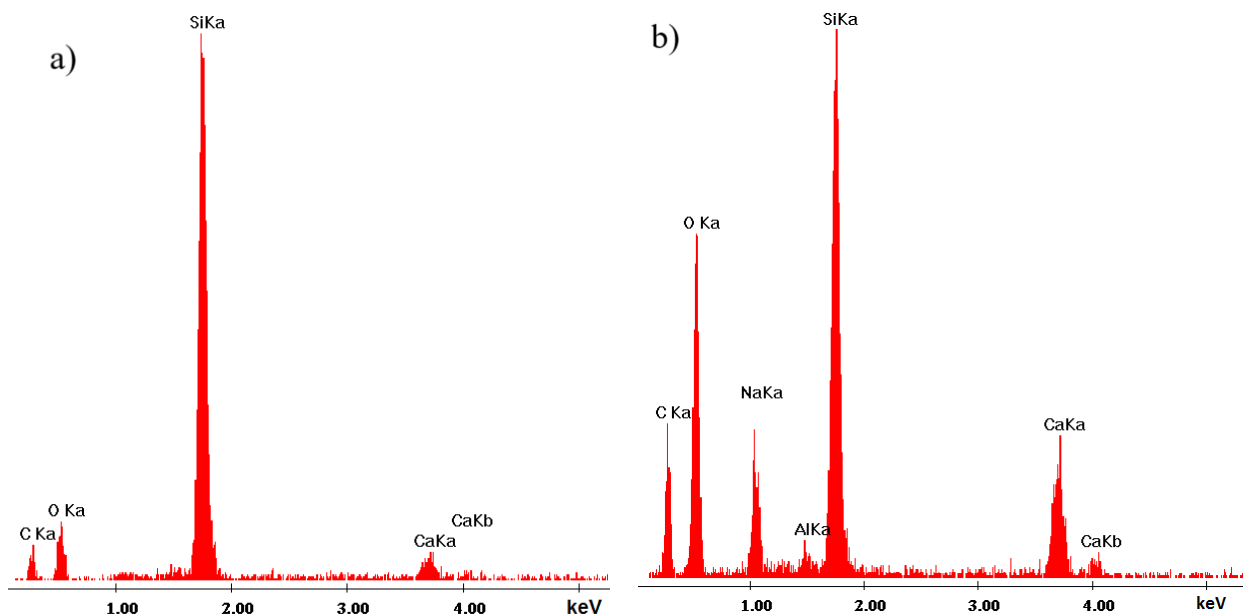
Rys. 58. Obraz mikrostruktury w tradycyjnej cegle silikatowej-widoczne ziarno SiO<sub>2</sub> otoczone fazą C-S-H i fazą tobermorytową oraz pory. Skala: 30μm.

Rys. 59. Obraz mikrostruktury w tradycyjnej cegle silikatowej wykonanej w warunkach laboratoryjnych na bazie piasku kwarcowego QS; Skala: 30μm.



Rys. 60. Obraz mikrostruktury cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym z recyklingu szkła butelkowego wraz z analizą EDS.

Grafika na Rys. 60 przedstawia obraz mikrostruktury cegły silikatowej, która powstała na bazie piasku szklanego GS, wyprodukowanej w 5-godzinny czasie autoklawizacji. Badania przedstawione na powyższej grafice wykonano na University of California Los Angeles. Obecność sodu w piasku szklanym przyczyniła się do zmiany mikrostruktury nowych cegieł. Pojawiły się inne struktury i fazy zbliżone do natrolitu - udział związków sodu ( $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3)\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), bądź gyrolitu ( $\text{Ca}_2\text{Si}_3\text{O}_{7.5}(\text{OH})\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Na Rys. 61 przedstawiono widma EDS dla cegły referencyjnej (Rys. 61a) oraz dla cegły modyfikowanej piaskiem szklanym (Rys. 61b).



Rys. 61. Widma EDS dla cegieł silikatowych: a) tradycyjna cegła; b) cegła modyfikowana piaskiem szklanym GS.

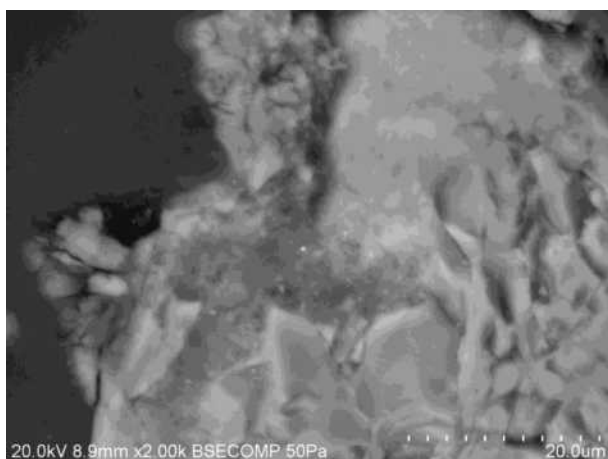
Fotografie na Rys. 62-67 przedstawiają obrazy mikrostruktury cegieł silikatowych z udziałem QS i GS wyprodukowanych w 2016 roku o składzie przedstawionym w tabeli Tabela 4.

Obrazy Rys. 62 i Rys. 63 ukazują ziarno piasku otoczone względem spoiwa i powstałymi uwodnionymi krzemianami wapniowymi oraz pory w materiale z udziałem 50% GS.

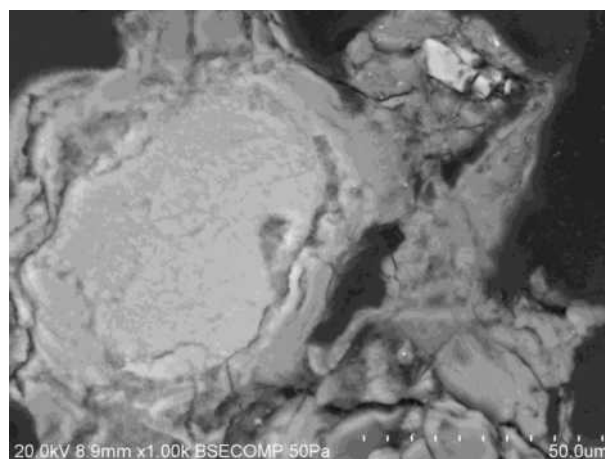
Tabela 4. Skład masy surowcowej silikatowej podczas modyfikacji 50%-ami piasku szklanego.

Skład masy surowcowej silikatowej: 100%			
90% piasku ogółem z czego:		Wapno CaO [%]	Woda H <sub>2</sub> O [%]
QS [%]	GS [%]		
50	50	7	3

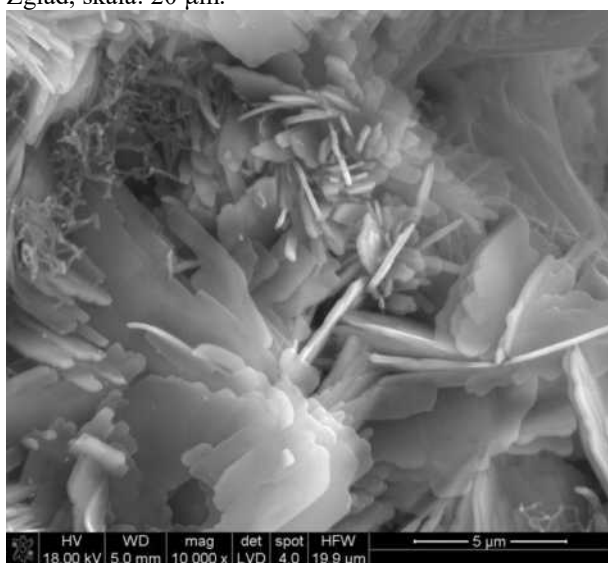
Obrazy wykonano na mikroskopach: IROL 5400 z analizatorem EDS (AGH) oraz Hitachi S-3400 z BSE (UdeS, Kanada). Fotografie Rys. 69-72 tych samych próbek zostały wykonane w 2019 roku z zastosowaniem mikroskopu FEI Nova NanoSEM<sup>TM</sup> 230 (UCLA, LA, USA).



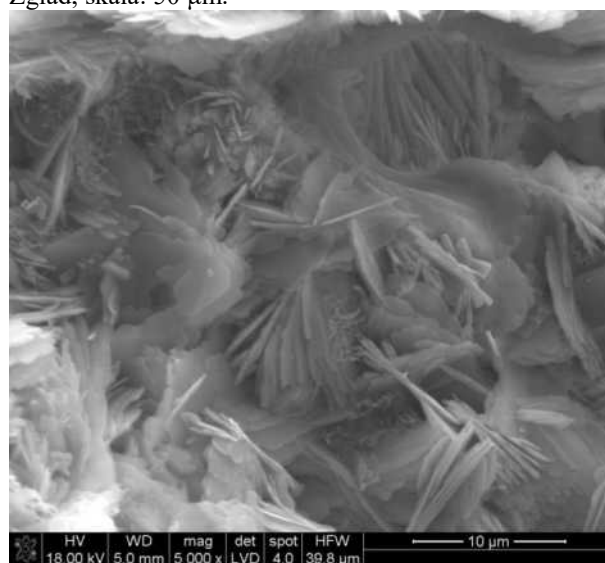
Rys. 62. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Test wykonano po 45 dniach od daty produkcji cegieł. Zgląd, skala: 20  $\mu$ m.



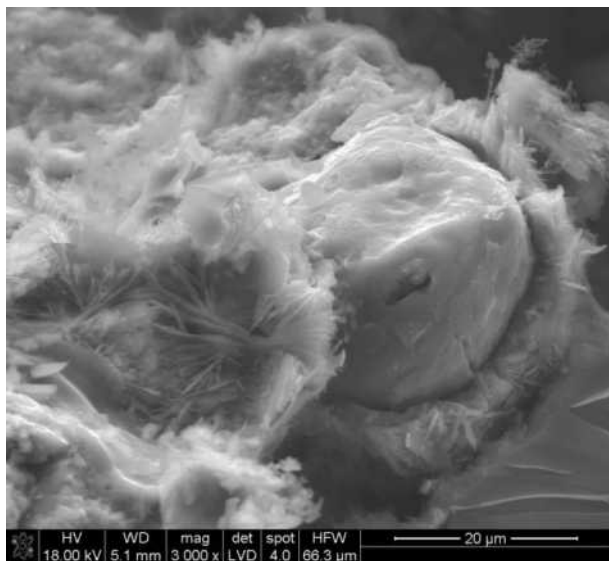
Rys. 63. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Test wykonano po 45 dniach od daty produkcji cegieł. Zgląd, skala: 50  $\mu$ m.



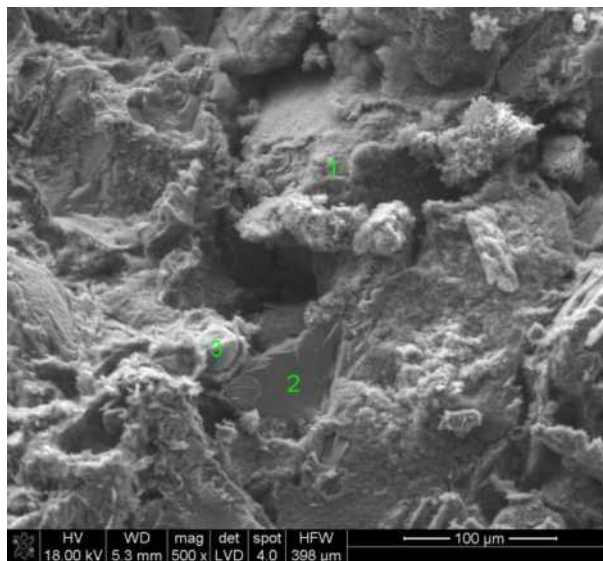
Rys. 64. Analiza SEM cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Powiększenie: 10 000x.



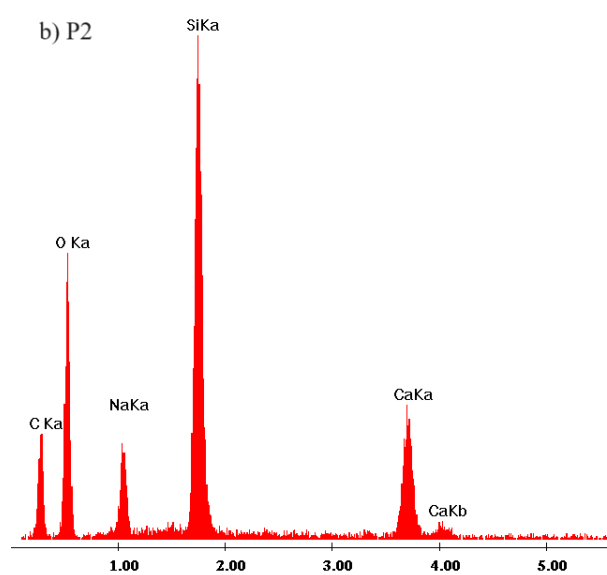
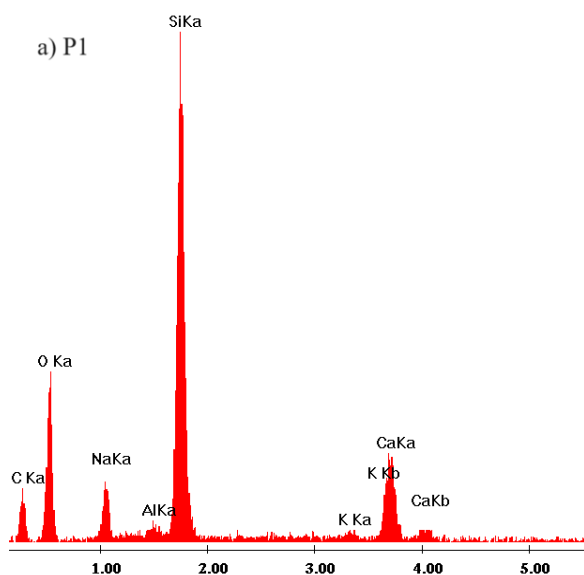
Rys. 65. Analiza SEM cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Powiększenie: 5000 x.



Rys. 66. Analiza SEM cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Powiększenie: 300 x.

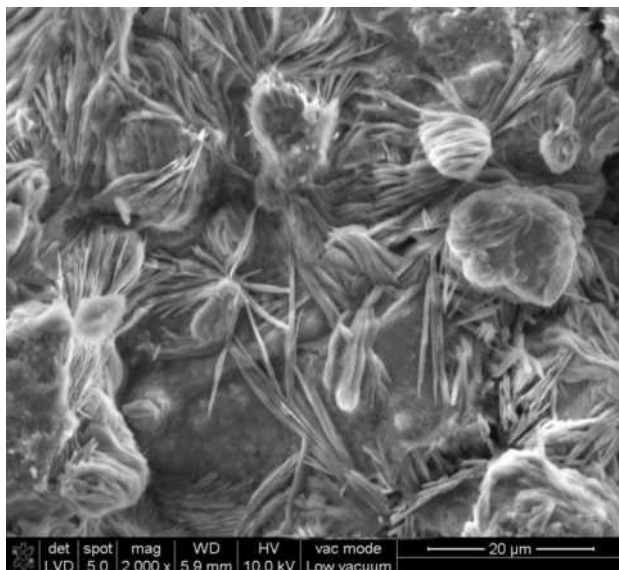


Rys. 67. Analiza SEM cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Powiększenie: 500 x.



Rys. 68. Widmo SEM-EDS [keV] cegły silikatowej wykonanej w 50% z QS i w 50% z GS po 45 dniach od daty produkcji; a) w punkcie 1; b) w punkcie 2.

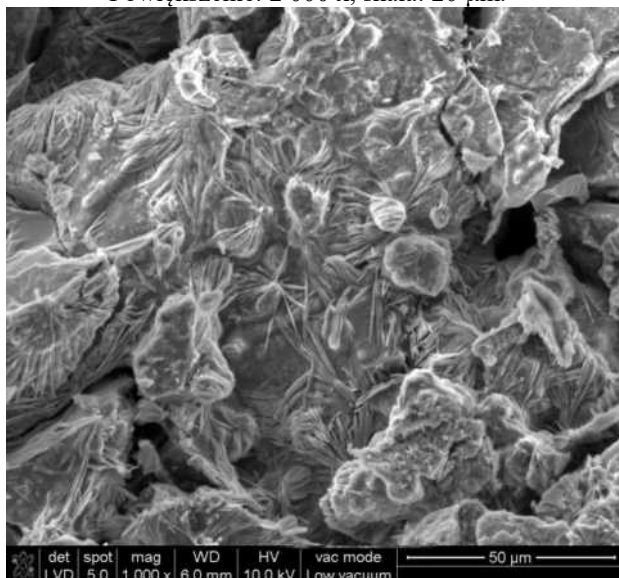
Wykresy przedstawione na Rys. 68 to widma EDS analizowanego fragmentu cegły silikatowej modyfikowanej w 50%-ach piaskiem kwarcowym QS i w 50%-ach (z 90% masy piasku w masie surowcowej) piaskiem szklanym GS z recyklingu i przedstawiają skład pierwiastkowy badanego materiału. Rys. 68 a – to widmo EDS w punkcie 1, natomiast 68 b – to widmo EDS w punkcie 2.



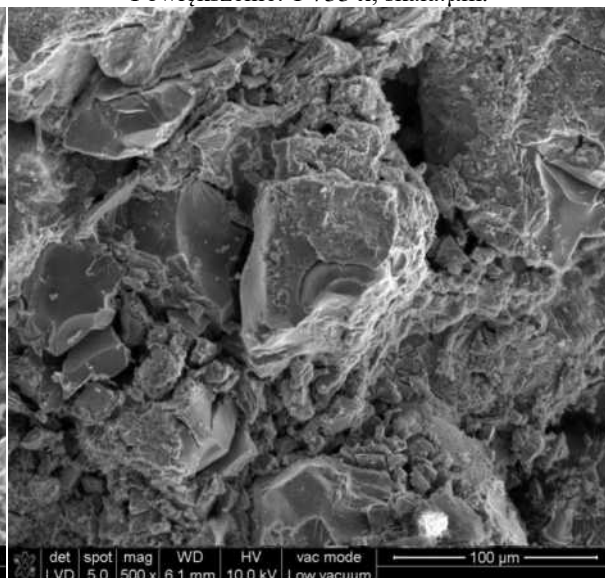
Rys. 69. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Test wykonano po 3 latach od daty produkcji cegieł. Powiększenie: 2 000 x, skala: 20 µm.



Rys. 70. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Test wykonano po 3 latach od daty produkcji cegieł. Powiększenie: 1 733 x, skala: µm.



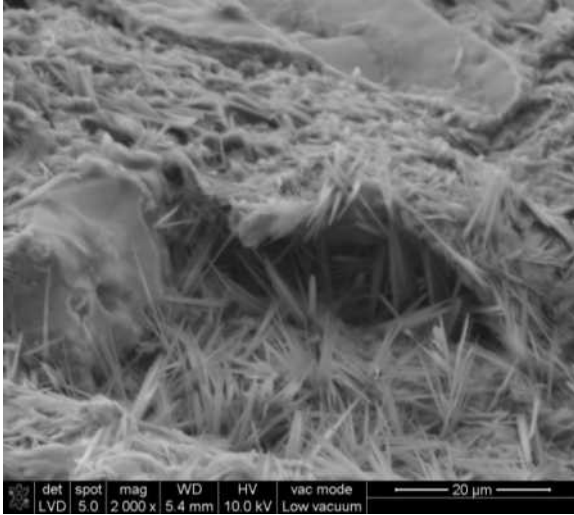
Rys. 71. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Test wykonano po 3 latach od daty produkcji cegieł. Powiększenie: 1 000 x, skala: 50 µm.



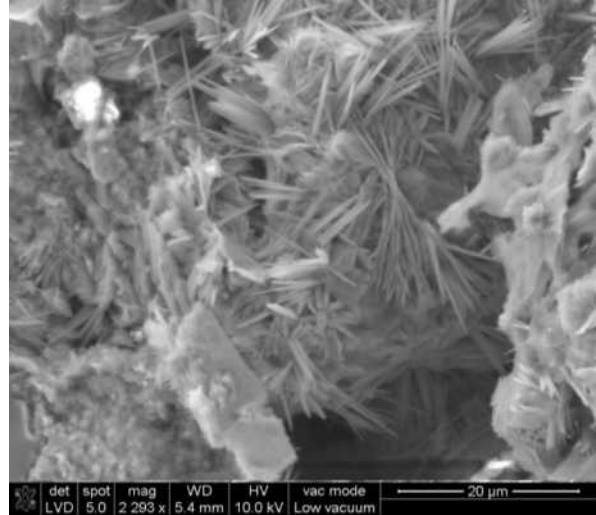
Rys. 72. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 50% z udziałem QS i w 50-ach z GS. Test wykonano po 3 latach od daty produkcji cegieł. Powiększenie: 500 x, skala: 100 µm.

Fotografie Rys. 73-76 przedstawiają obraz mikrostruktury cegły silikatowej, która została wykonana na bazie piasku szklanego GS: 90% GS + 7% CaO + 3% H<sub>2</sub>O. Na obrazach widoczne są fazy zbliżone do gyrolitu. W temperaturze 110-150°C tobermoryt przekształca się w fazy wysokotemperaturowe (m.in. xonotlit i/lub gyrolit - obecny w cegle z dodatkiem piasku szklanego GS). Obecność gyrolitu w budowie fazowej materiałów budowlanych jak wspomniano wyżej poprawia jakość spoiwa<sup>24</sup>.

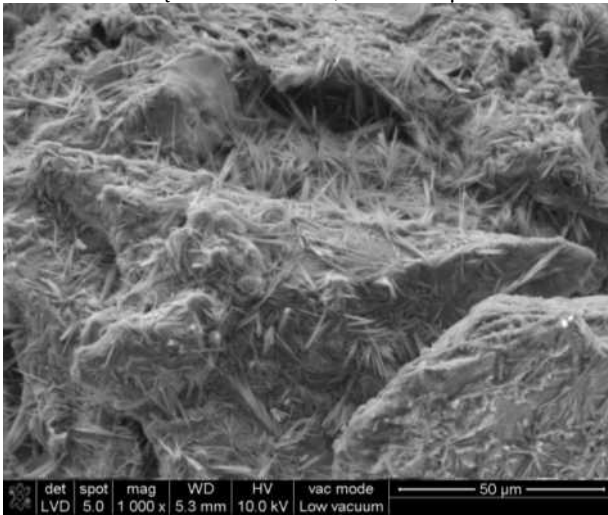
<sup>24</sup> Gyrolit – faza wysokotemperaturowa [A. Lorek Procesy zachodzące w cementach wiertniczych pod wpływem sekwestracji CO<sub>2</sub> – przegląd literatury. NAFTA-GAZ, ROK LXXI, Nr 5 / 2015.



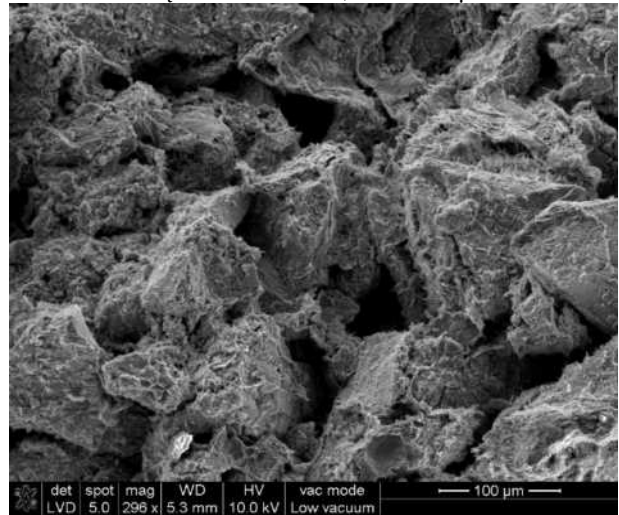
Rys. 73. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 90% z GS.  
Powiększenie: 2000x, skala: 20  $\mu\text{m}$ .



Rys. 74. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 90% z GS.  
Powiększenie: 2293 x, skala: 20  $\mu\text{m}$ .

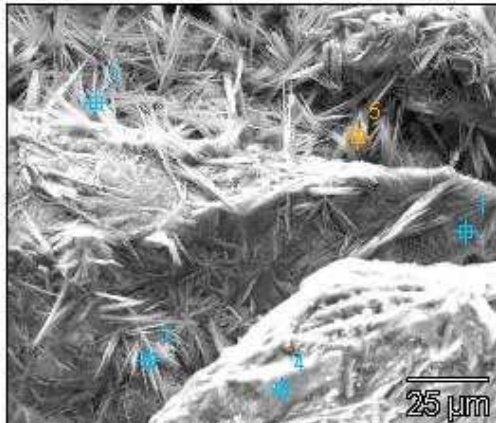


Rys. 75. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 90% z GS.  
Powiększenie: 1000x, skala: 50  $\mu\text{m}$ .



Rys. 76. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 90% z GS.  
Powiększenie: 296 x, skala: 100  $\mu\text{m}$ .

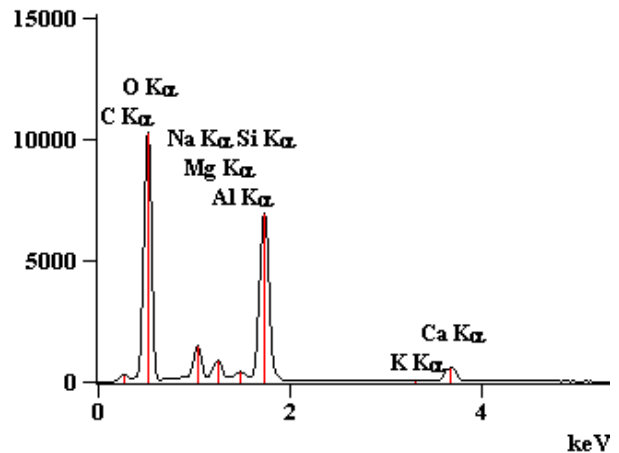
Magn: 2000x 90GS(2) Acc. Voltage: 10.0 kV  
Image Resolution: 512 by 442  
Image Pixel Size: 0.30  $\mu\text{m}$  43366 65535



Rys. 77. Analiza mikrostruktury (SEM) cegieł wykonanych w 90% z GS. Powiększenie: 25  $\mu\text{m}$ .

Full scale counts: 10261

90GS(2)\_pt1



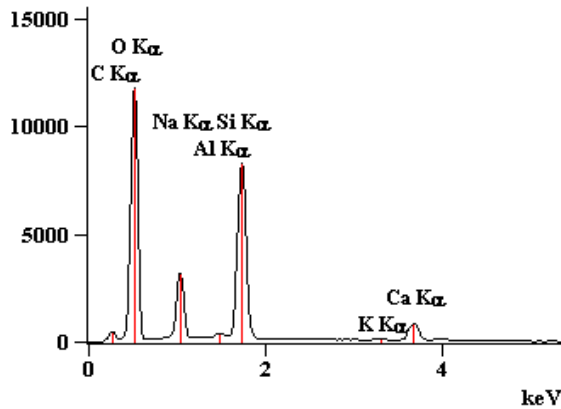
Rys. 77 a) Widmo SEM-EDS [keV] cegły silikatowej wykonanej 90% z GS w punkcie P1.



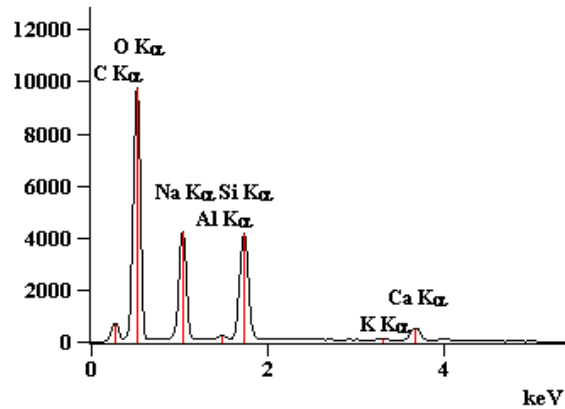
Full scale counts: 11757

90GS(2)\_pt2 Full scale counts: 9736

90GS(2)\_pt3



Rys. 77 b) Widomo SEM-EDS [keV] cegły silikatowej wykonanej 90% z GS w punkcie P2.



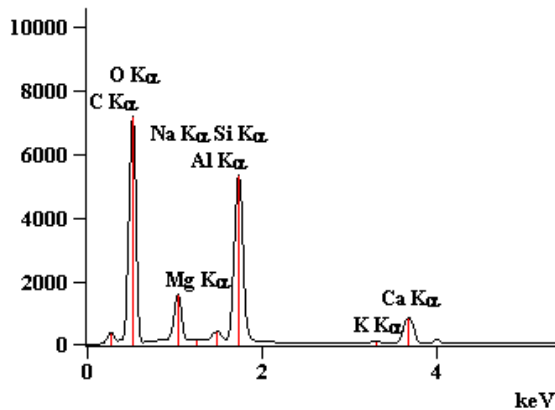
Rys. 77 c) Widomo SEM-EDS [keV] cegły silikatowej wykonanej 90% z GS w punkcie P3.

Full scale counts: 7173

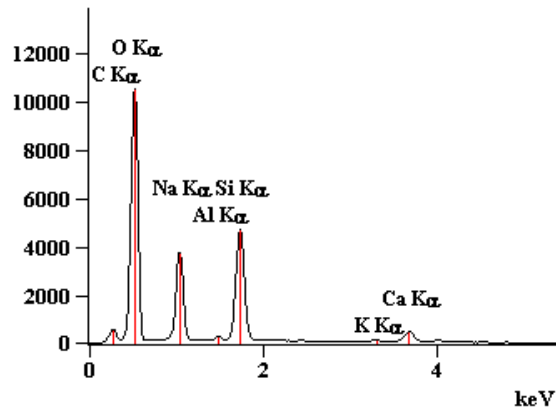
90GS(2)\_pt4

Full scale counts: 10530

90GS(2)\_pt5



Rys. 77 d) Widomo SEM-EDS [keV] cegły silikatowej wykonanej 90% z GS w punkcie P4.



Rys. 77 e) Widomo SEM-EDS [keV] cegły silikatowej wykonanej 90% z GS w punkcie P5.

Tabela 5. Wyniki analizy EDS dla cegły wykonanej na bazie piasku szklanego (90% GS, udział objętościowy).

	C-K	O-K	Na-K	Mg-K	Al-K	Si-K	K-K	Ca-K
90GS(2)_pt1	1547	76166	10448	5786	1895	67173	712	7650
90GS(2)_pt2	2703	87880	24477		1411	79796	993	10422
90GS(2)_pt3	4759	73284	34184		849	40133	684	6528
90GS(2)_pt4	2199	53040	11628	13	2256	51578	959	10255
90GS(2)_pt5	3686	79056	29717		938	44821	561	5868

Tabela 6. Wyniki analizy EDS dla cegły wykonanej na bazie piasku szklanego (90% GS, udział masowy).

	C-K	O-K	Na-K	Mg-K	Al-K	Si-K	K-K	Ca-K
90GS(2)_pt1	3.44	50.72	5.43	2.00	0.73	28.06	0.66	8.95
90GS(2)_pt2	4.67	47.83	10.04		0.44	26.61	0.73	9.69
90GS(2)_pt3	8.94	47.66	17.50		0.34	17.29	0.63	7.64
90GS(2)_pt4	5.25	46.58	7.10	0.00	1.01	25.10	1.03	13.94
90GS(2)_pt5	7.23	50.14	15.44		0.38	19.36	0.52	6.93

Tabela 7. Wyniki analizy EDS dla cegły wykonanej na bazie piasku szklanego (90% GS, udział atomowy).

	C-K	O-K	Na-K	Mg-K	Al-K	Si-K	K-K	Ca-K
90GS(2)_pt1	5.68	62.88	4.69	1.63	0.54	19.82	0.33	4.43
90GS(2)_pt2	7.71	59.33	8.66		0.32	18.80	0.37	4.80
90GS(2)_pt3	14.00	56.00	14.31		0.24	11.57	0.30	3.58
90GS(2)_pt4	8.80	58.67	6.22	0.00	0.76	18.01	0.53	7.01
90GS(2)_pt5	11.36	59.16	12.68		0.27	13.01	0.25	3.26

Obraz na Rys. 77 przedstawia mikrostrukturę próbki cegły silikatowej wykonanej na bazie piasku szklanego (90% GS). Analiza została wykonana po 3 latach od daty produkcji cegły (w 2019r). Wykresy widoczne na rysunkach Rys. 77 a, b, c, d, e przedstawiają widma EDS dla cegły silikatowej wykonanej na bazie piasku szklanego (90% GS). W tabelach Tabela 5 – 7 przedstawiony został skład pierwiastkowy dla analizowanego obrazu (Rys. 77) cegły modyfikowanej GS w wariancie: objętościowym, masowym i atomowym).

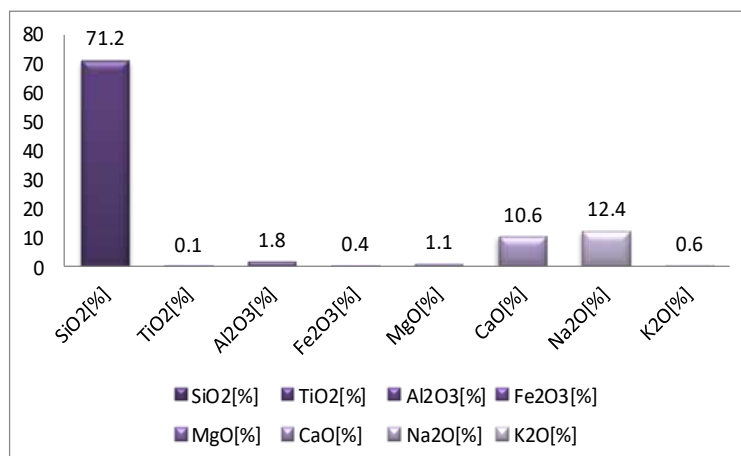
W ramach procesu badawczego wykonano badanie XRF – weryfikacja składu chemicznego. Tabela 8 przedstawia analizę składu chemicznego cegły tradycyjnej modyfikowanej amorficznym piaskiem szklanym.

**Tabela. 8.** Analiza składu chemicznego (XRF) wapna oraz cegły tradycyjnej i modyfikowanej piaskiem szklanym z recyklingu.

XRF - CaO			XRF – cegła tradycyjna “reference”			XRF- cegła modyfikowana GS (90%GS)		
Waga			Waga			Waga		
CaO:	7.7113 g		SiO <sub>2</sub> :	7.7073 g		GS:	7.7046 g	
LOI (%):	0.018		LOI (%):	0.018		LOI (%):	1.304	
Compound	Value	Unit	Compound	Value	Unit	Compound	Value	Unit
SiO <sub>2</sub>	1.691	%	SiO <sub>2</sub>	100.306	%	SiO <sub>2</sub>	71.2	%
TiO <sub>2</sub>	0.026	%	TiO <sub>2</sub>	0.022	%	TiO <sub>2</sub>	0.1	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.342	%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.091	%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.8	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.182	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.061	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4	%
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.024	%	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.003	%	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.0	%
MgO	0.921	%	MgO	0.018	%	MgO	1.1	%
CaO	96.034	%	CaO	0.084	%	CaO	10.6	%
			K <sub>2</sub> O	0.049	%	Na <sub>2</sub> O	12.4	%
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.006	%	K <sub>2</sub> O	0.6	%

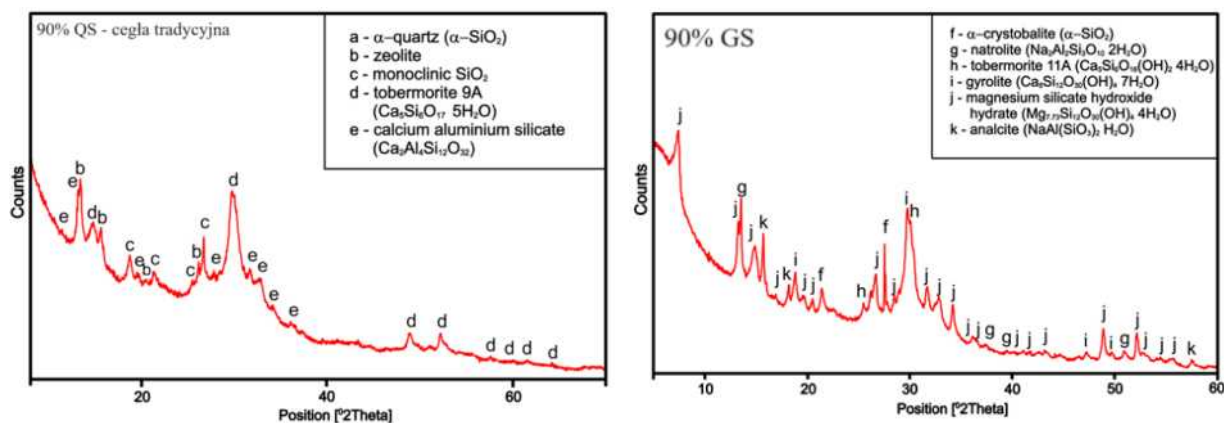
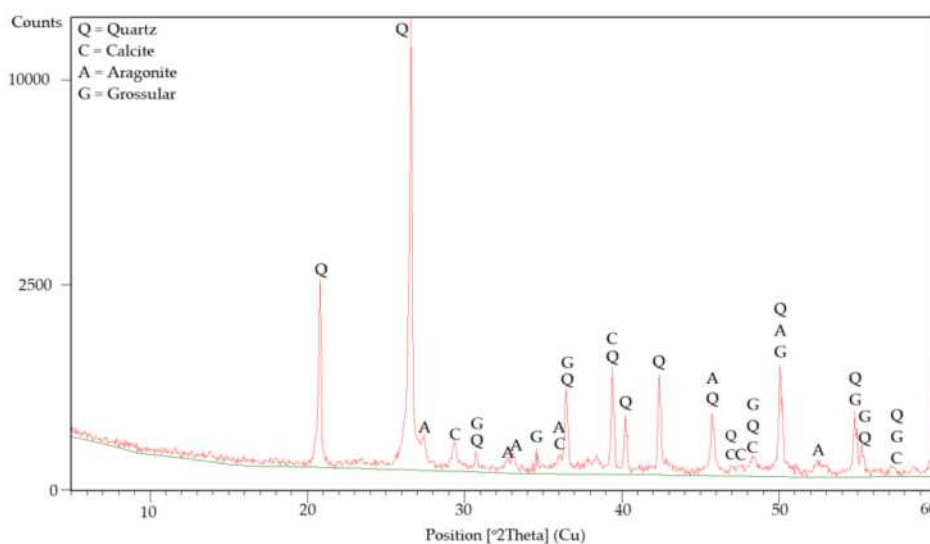
Wykres przedstawiony na rysunku 78 to analiza składu chemicznego cegły silikatowej wykonanej w całości na bazie amorficznego piasku szklanego.

Rys. 78. Wyniki analizy cegły silikatowej wykonanej na bazie piasku szklanego (90% GS), wapna (7% CaO) i wody (3% H<sub>2</sub>O).



Główny aspektem prowadzonych badań była analiza procesu krystalizacji i weryfikacja składu fazowego cegły silikatowej wyprodukowanej na bazie amorficznego piasku szklanego GS, ponieważ struktura i mikrostruktura materiałów budowlanych wpływa na jego właściwości fizyko-mechaniczne. Strukturę i skład fazowy próbek określono za pomocą XRD (analiza jakościowa), a następnie badań z zastosowaniem pakietu modelowania Geochemicznego GEMS-PSI (analiza ilościowa). Badania przeprowadzono dla cegły tradycyjnej wyprodukowanej w 8-godzinny czasie autoklawizacji w warunkach przemysłowych (Rys. 79), dla cegły tradycyjnej (referencyjnej) wykonanej w 5-godzinny czasie autoklawizacji (Rys. 80a) oraz dla cegły wyprodukowanej na bazie piasku szklanego (90% GS) w 5-godzinny czasie autoklawizacji (Rys. 80b).

Rys. 79. XRD tradycyjnej cegły silikatowej powstałej w warunkach przemysłowych w 8-godzinny czasie autoklawizacji.

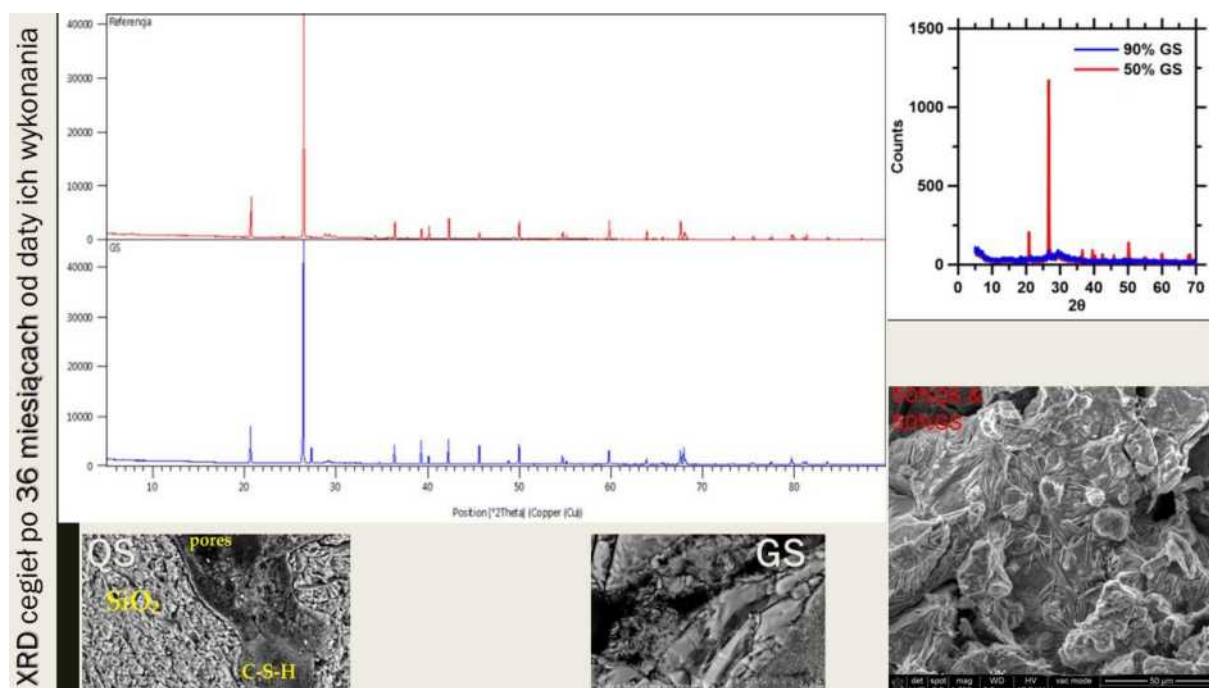


Rys. 80. XRD cegły silikatowej powstałej w warunkach laboratoryjnych w 5-godzinny czasie autoklawizacji; a) XRD dla cegły tradycyjnej (referencyjnej); b) XRD dla cegły powstałej na bazie GS.

Analiza XRD tradycyjnej cegły silikatowej (Rys. 79 (cegła wykonana w warunkach przemysłowych) i Rys. 80a – cegła wykonana w warunkach laboratoryjnych)) wykonana dla wykazała obecność głównie: kwarcu, kalcytu, aragonitu, tobermorytu, krzemianów glinowapniowych. Z kolei analiza XRD wykonana dla cegły wykonanej na bazie piasku szklanego

wykazała obecność: natrolitu, gyrolitu, tobermorytu 11A, hydratów krzemianu magnezu czy rzadko występującego analcytu (Rys. 80b).

W 2019 roku ponownie przeprowadzono badania XRD (Rys. 81) w celu weryfikacji struktury materiałów: referencyjnego (czerwony wykres „Referencja” i cegły powstałej na bazie piasku szklanego (niebieski wykres „GS”). Analiza wskazuje, że nastąpił proces krystalizacji faz amorficznych w materiale powstałym na bazie piasku szklanego. Próbkę materiałów z QS i GS przechowywane była przez 36 miesięcy (2016-2019) w tych samych warunkach atmosferycznych tj. temperatura ok 25°C.




Rys. 81. XRD po 36 miesiącach od daty produkcji (AGH & UCLA).

Ilościową i jakościową analizę budowy fazowej cegły silikatowej z dodatkiem piasku szklanego GS udało się uzyskać dzięki zastosowaniu w procesie badawczym programu stosowanego do projektowania składu zaczynu cementowego i produkcji betonów (modelowanie geochemiczne) GEMS-PSI (Gibbs Energy Minimization Software for Geochemical Modeling – Paul Scherrer Institut). Analiza GEMS opiera się na wynikach uzyskanych z analizy składu chemicznego XRF. Grafiki przedstawione na Rys. 82 i Rys. 83 stanowią skrótowy opis możliwości zastosowania modelowania geochemicznego GEMS-PSI wraz z aktualną bazą danych Cemdata18 w procesie produkcji i analizy budowy fazowej cegieł silikatowych modyfikowanych piaskiem szklanym. Pakiet oprogramowania GEMS poza tym, że służy do analizy składu fazowego w ujęciu jakościowym i ilościowym, to stanowi również korzystny aspekt do projektowania materiałów budowlanych podczas ich modyfikacji i aktualnie jest stosowany do projektowania betonów. Znając skład chemiczny,

technologię produkcji i podstawowe właściwości materiałów budowlanych (m.in.: skład chemiczny, wytrzymałość materiału wyjściowego) – w tym przypadku cegieł silikatowych, możliwe jest projektowanie pożądanego materiału wraz z możliwością przybliżonego przewidywania jego budowy fazowej, a na jej podstawie również właściwości fizyko-mechanicznych. Ponadto program umożliwia przeprowadzanie symulacji dotyczących m.in.: procesu i kierunku krystalizacji faz amorficznych w zależności od temperatury, ciśnienia i stężania CO<sub>2</sub>, ilości wody potrzebnej do przeprowadzania reakcji hydratacji spoiwa, analizę pH materiału w zależności od składu chemicznego oraz warunków eksploatacyjnych. Takie rozwiązanie pozwala na częściową eliminację nieefektywnych modyfikacji, a tym samym oszczędność materiału, energii i czasu na realizację eksperymentów laboratoryjnych.

ANALIZA FAZOWA ILOŚCIOWA, GEMS-PSI



**GEMS-SPI**

Wir schaffen Wissen – heute für morgen

**GEMS: Gibbs Energy Minimization Software for geochemical modeling**

D.A. Kulik<sup>1</sup>, S.V. Dmytrieva<sup>2</sup>, G.D. Miron<sup>3</sup>, A.M.M. Leal<sup>1</sup>, T. Wagner<sup>3</sup>, G. Kosakowski<sup>1</sup>, T. Thoenen<sup>1</sup>, U. Berner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Switzerland (dmitri.kulik@psi.ch)  
<sup>2</sup> Chiklum CSC, Kyiv, Ukraine <sup>3</sup> IGP ETHZ, Switzerland <sup>4</sup> Department of Geosciences and Geography, University of Helsinki, Finland

**Table 2. Analysis of the composition of lime and glass compounds**

XRF - CaO			XRF - Reference			XRF-GS		
Final weight CaO:	7.7113 g		Final weight SiO <sub>2</sub> :	7.7073 g		Final weight GS:	7.7046 g	
LOI (%)	0.018		LOI (%)	0.018		LOI (%)	1.304	
Compound	Value	Unit	Compound	Value	Unit	Compound	Value	Unit
SiO <sub>2</sub>	1.691	%	SiO <sub>2</sub>	100.306	%	SiO <sub>2</sub>	71.2	%
TiO <sub>2</sub>	0.026	%	TiO <sub>2</sub>	0.022	%	TiO <sub>2</sub>	0.1	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.342	%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.091	%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.8	%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.182	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.061	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4	%
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.024	%	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.003	%	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0	%
MgO	0.921	%	MgO	0.018	%	MgO	1.1	%
CaO	96.034	%	CaO	0.084	%	CaO	10.6	%
			K <sub>2</sub> O	0.049	%	Na <sub>2</sub> O	12.4	%
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.006	%	K <sub>2</sub> O	0.6	%

⇒ Cemdata18 – opracowana na potrzeby budownictwa/inżynierii materiałowej;

⇒ Cemdata18 zawiera dane termodynamiczne dla typowych hydratów cementu, takich jak fazy C-S-H, AFm i Aft, hydrogranat, hydrotalcyt, zeolity i M-S-H, które są ważne w zakresie temperatur od 0 do co najmniej 100 °C.

**METASTABILNOŚĆ**

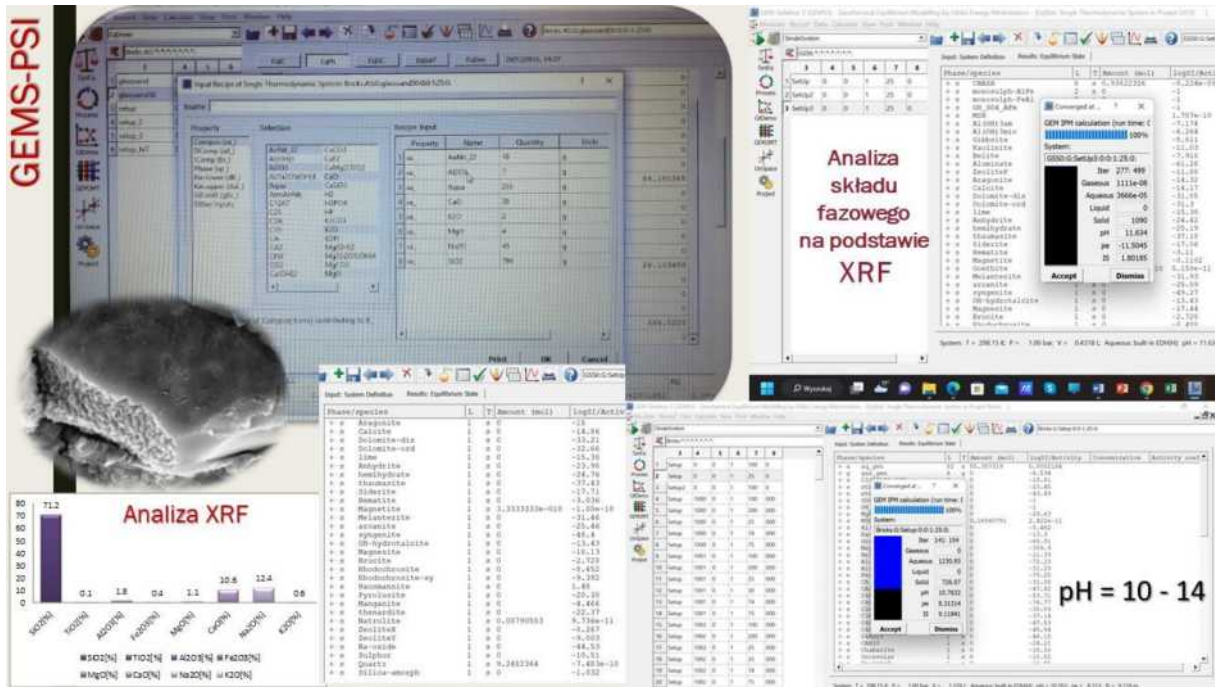
⇒ w ustalonych warunkach (np. podwyższonego ciśnienia lub temperatury) ma możliwość przekształcania się z fazy amorficznej w fazę krystaliczną.

⇒ Przemiany fazowe mają związek z tzw. twardzeniem spoiwa (wykształceniem się struktury krystalicznej).

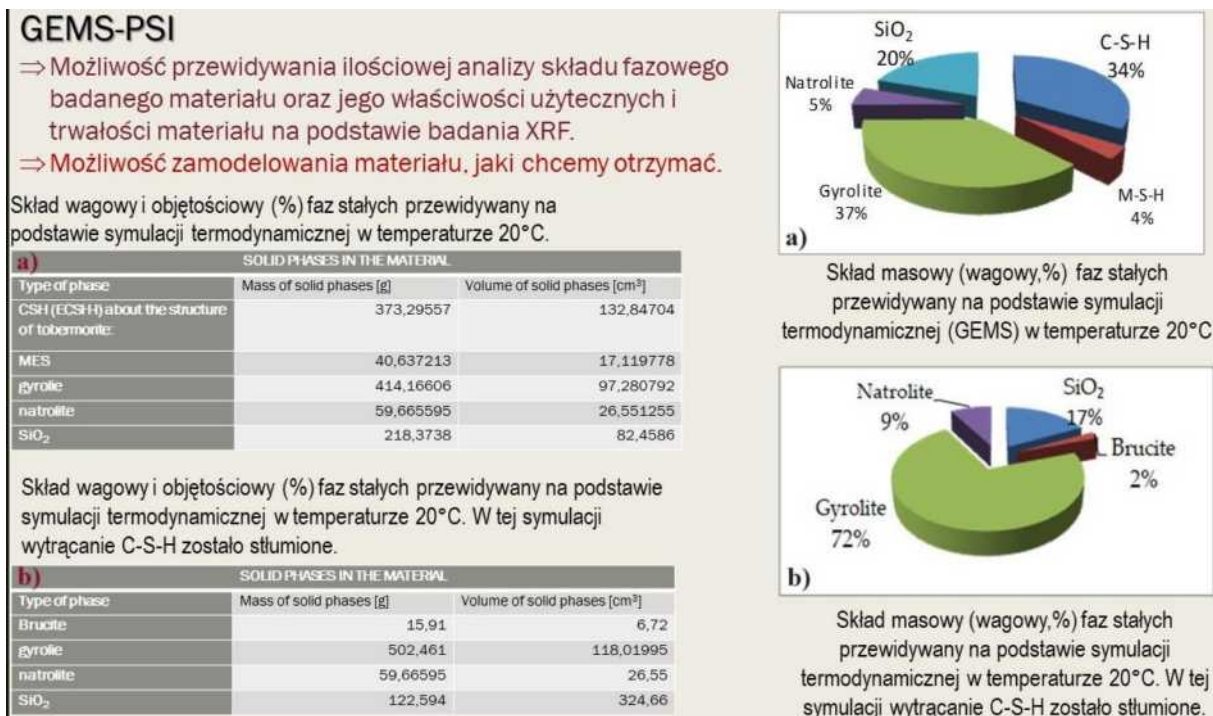
Rys. 82. Oprogramowanie GEMS dystrybuowane rozwoju przez Laboratorium Gospodarki Odpadami (LES<sup>25</sup>) i Instytutu Paula Scherrera (PSI).

Pakiet oprogramowania GEMS-PSI bazuje na wspomnianej zbiorczej analizie elementarnej (skład chemiczny) i wykorzystuje minimalizację energii Gibbsa do obliczania zespołów faz równoważnych obliczając interakcje chemiczne obejmujące ciała stałe, roztwory i gazy.

<sup>25</sup> LES - Laboratorium Gospodarki Odpadami (ang. Laboratory for Waste Management). LES to szwajcarskie centrum kompetencyjne prowadzące projekty badawcze w zakresie geochemii i wieloskalowego transportu radionuklidów i mas w skałach ilastych i cemente oraz ich zastosowania w głębokich systemach geologicznych i szwajcarskich składowiskach odpadów radioaktywnych.



Rys. 83. Przykład zastosowania oprogramowania GEMS w procesie analizy składu fazowego materiału silikatowego powstałego na bazie piasku szklanego z recyklingu, wraz z symulacją i analizą wartości pH dla cegieł z 90%-ym udziałem GS (pH=11 ciała stałego tj. cegły z 90% GS (czarny wykres), pH=10,7 materiału z zawartością faz: ciekłej i gazowej).

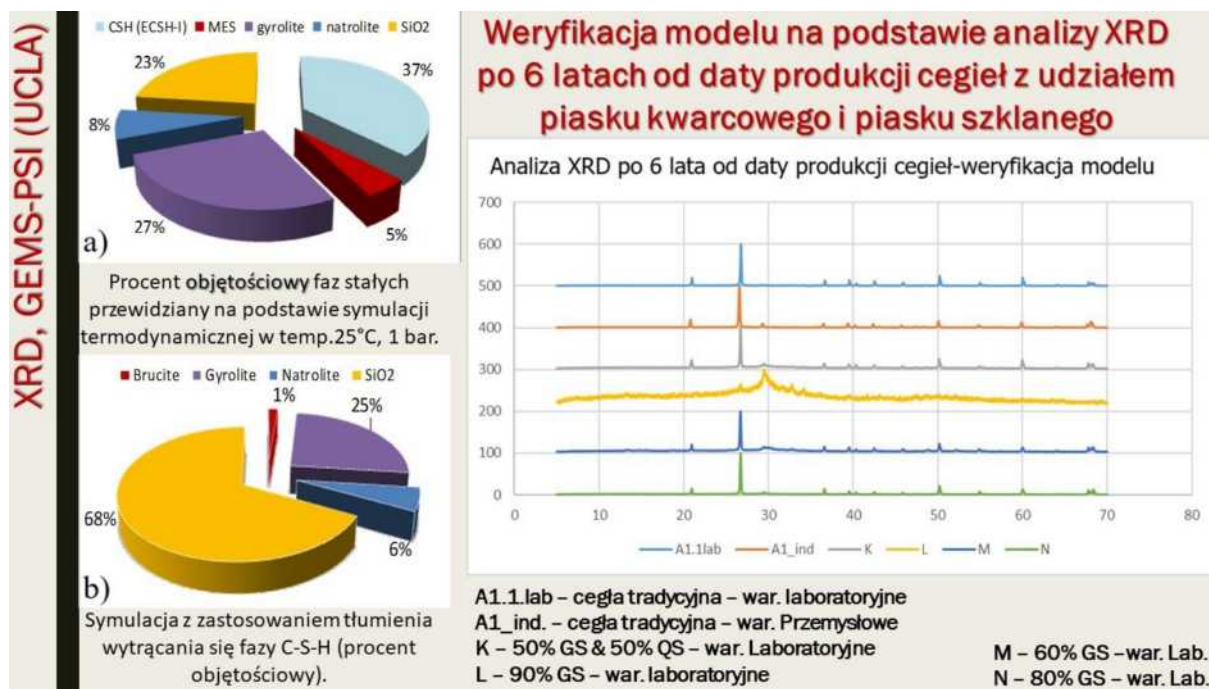


Rys. 84. Budowa fazowa - analiza ilościowa. Procent objętościowy faz stałych przewidziany na podstawie symulacji termodynamicznej w temp. 25°C, 1 bar. Procentowy udział masy hydratów powstałych w cegle silikatowej modyfikowanej 90%-mi GS; a) z możliwością wytrącania fazy C-S-H; b) bez możliwości wytrącania fazy C-S-H.

Na grafice Rys. 84a – przedstawiony został wynik analizy wykonany w oparciu o program GEMS-PSI i tym samym skład fazowy w ujęciu ilościowym (procentowy udział masowy) cegły silikatowej powstałej na bazie piasku szklanego (90% GS) podczas 5-ciogodzinnego

czasu autoklawizacji (analiza wykonana z możliwością wytrącania fazy C-S-H). Diagram przedstawiony na rysunku Rys. 84b przedstawia budowę fazową cegły silikatowej powstałej na bazie piasku szklanego (90% GS) podczas 5-ciogodzinnej autoklawizacji (procentowy udział masowy), jednak w tym przypadku symulacja została przeprowadzona bez możliwości wytrącania fazy C-S-H). Grafika Rys. 85 obok informacji nt. budowy fazowej cegły silikatowej wykonanej na bazie piasku szklanego z recyklingu przedstawia również analizę struktury (XRD), która została wykonana na tych samych próbkach laboratoryjnych, które wyprodukowano w 2016 roku, i poddano analizie w różnych odstępach czasu tj. w roku produkcji, w roku 2019 oraz w 2022 roku w celu weryfikacji powstałego w wyniku modyfikacji modelu.

Oznaczenia to m.in.: A.1.1.lab - produkcja laboratoryjna (5h autoklawizacji), A1\_ind – produkcja cegieł na skalę przemysłową zawarto na przedstawionej grafice.



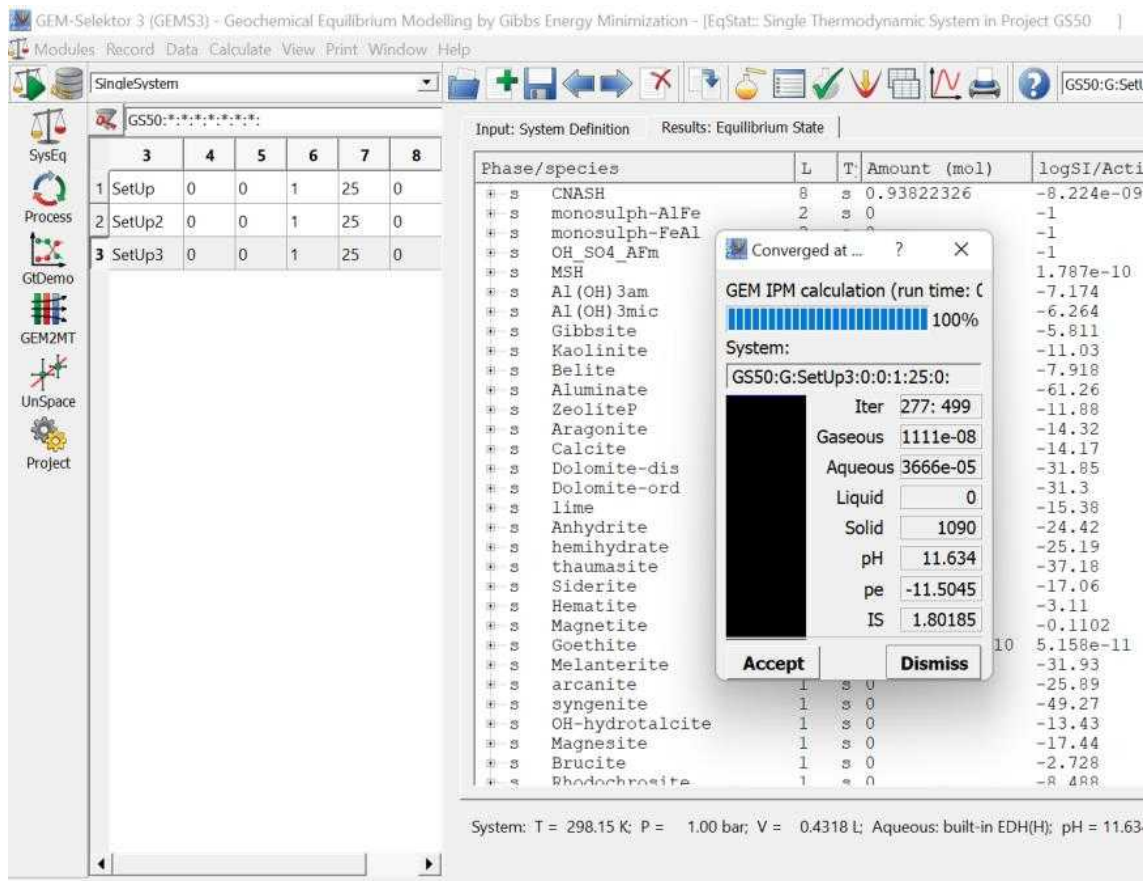
Rys. 85. Procent objętościowy faz stałych przewidziany na podstawie symulacji termodynamicznej w temp. 25°C, 1 bar. / Fig. Symulacja z zastosowaniem tłumienia wytrącania się fazy C-S-H (procent objętościowy).

Tabela 9 przedstawia dane termodynamiczne dla hydratów występujących w ceglach silikatowych tradycyjnych (pozycje: 1-6) oraz modyfikowane piaskiem szklanym (pozycje 7-10) w kolejności i częstotliwości ich występowania. Dane termodynamiczne zaczerpnięto ze strony: <https://thermoddem.brgm.fr>.

**Tabela. 9.** Dane termodynamiczne dla faz występujących w ceglach silikatowych tradycyjnych (1-6) i modyfikowanych piaskiem szklanym (7-10).

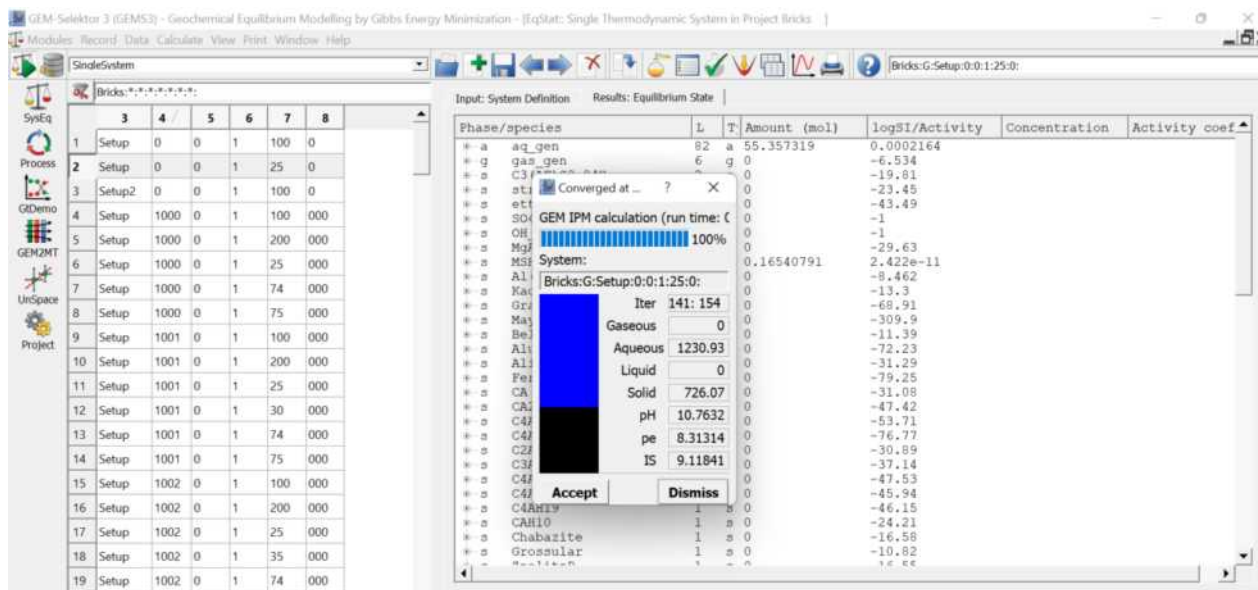
Lp.	Mineral name	Formula	$\Delta_f G^\circ$ [kJ/mol]	$\Delta_f H^\circ$ [kJ/mol]	$S^\circ$ [J/K/mol]	$C_p^\circ$ [J/K·mol]	$V^\circ$ [cm <sup>3</sup> /mol]	$M$ [g·mol <sup>-1</sup> ]
1.	C-S-H	Ca <sub>0,8</sub> SiO <sub>2,8</sub> :1,54H <sub>2</sub> O	-1769025	-1945130	107.850	138.38	59.290	132.690
2.	Tobermorite 11A	Ca <sub>5</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>16</sub> (OH) <sub>2</sub>	-9889345	-10680920	692.553	764.91	286.190	739.977
3.	Grossular	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	-6279652	-6640000	260.100	327.85	125.300	450.446
4.	Kalcyt	CaCO <sub>3</sub>	-1129109	-1207605	91.780	83.47	36.934	100.087
5.	$\alpha$ -SiO <sub>2</sub>		-856281	-910700	41.439	44.59	22.690	60.084
6.	$\beta$ -SiO <sub>2</sub>		-854955	-908670	43.799	44.75	-	60.084
7.	Natrolit	Na <sub>2</sub> (Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> )O <sub>10</sub> :2H <sub>2</sub> O	-5316643	-5718600	359.730	359.23	169.200	380.224
8.	Gyrolit	Ca <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>7,5</sub> (OH):2H <sub>2</sub> O	-4550155	-4917990	309.634	325.94	137.340	337.446
9.	Brucyt	Mg(OH) <sub>2</sub>	-831991	-924142	59.427	77.27	24.630	58.320
10.	M-S-H	Mg <sub>1*07</sub> SiO <sub>2*075</sub> (OH) <sub>1*99</sub>	-1739259	-1895912	75.350	72.38	33.700	121.135

Poniżej przedstawiono fotografie obrazujące proces analizy składu fazowego i wykonywane symulacje z wykorzystaniem programu GEMS-PSI dla cegieł silikatowych w ramach przeprowadzonego doświadczenia badawczego (Rys. 86 i Rys. 87). Na rysunku Rys. 86 widoczne są możliwe do powstania fazy, które obejmuje baza danych Cemdata przy pH=11 dla wykonanej symulacji.



Rys. 86. Symulacja dotycząca procesu badawczego. Badania wykonane z zastosowaniem programu GEMS-PSI do analizy składu fazowego cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym (90% GS).





Rys. 87. Analiza składu fazowego wykonana z zastosowaniem programu GEMS-PSI dla materiału silikatowego powstałego w 90%-ach z piasku szklanego podczas 5-godzinnej czasu autoklawizacji, pH=10,7 dla nowopowstałej cegły silikaowej z GS.

#### 4.5.3. Podsumowanie zaproponowanego rozwiązania. Analiza użyteczności zastosowanej modyfikacji.

Parametrem wyjściowym proponowanej modyfikacji tj. zastosowanie amorficznego piasku szklanego z recyklingu szkła butelkowego w materiałach silikatowych powstających w procesie autoklawizacji była wytrzymałość na ściskanie - korzystnie wartość wyższa, niż 10 MPa. Do analizy wytrzymałości na ściskanie oraz określenia użyteczności zaproponowanego rozwiązania i ustalenia optymalnej wartości dla proponowanej modyfikacji zastosowano program Statistica 10.0.

Rysunek Rys. 88 przedstawia wykres wytrzymałości na ściskanie [MPa] cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym GS w ilości GS <0 ÷ 90> [%] i udziale wody w ilości <2,5 ÷ 5> [%]. Rysunek Rys. 89 to wykres użyteczności funkcji<sup>26</sup> oparty na analizie wytrzymałości na ściskanie, jako wartości wyjściowej.

**Istotny dla użytkownika wykres użyteczności całkowitej, określanej jako średnia geometryczna użyteczności cząstkowych, potwierdza, że:**

**=> optymalna zawartość piasku szklanego wynosi 60% GS przy jednoczesnym udziale 4% wody, co daje wartość wytrzymałości na ściskanie (oczekiwaną) około 15 MPa (dokładnie wg analizy 15,729 MPa) przy użyteczności na poziomie ufności<sup>27</sup> 0,71.**

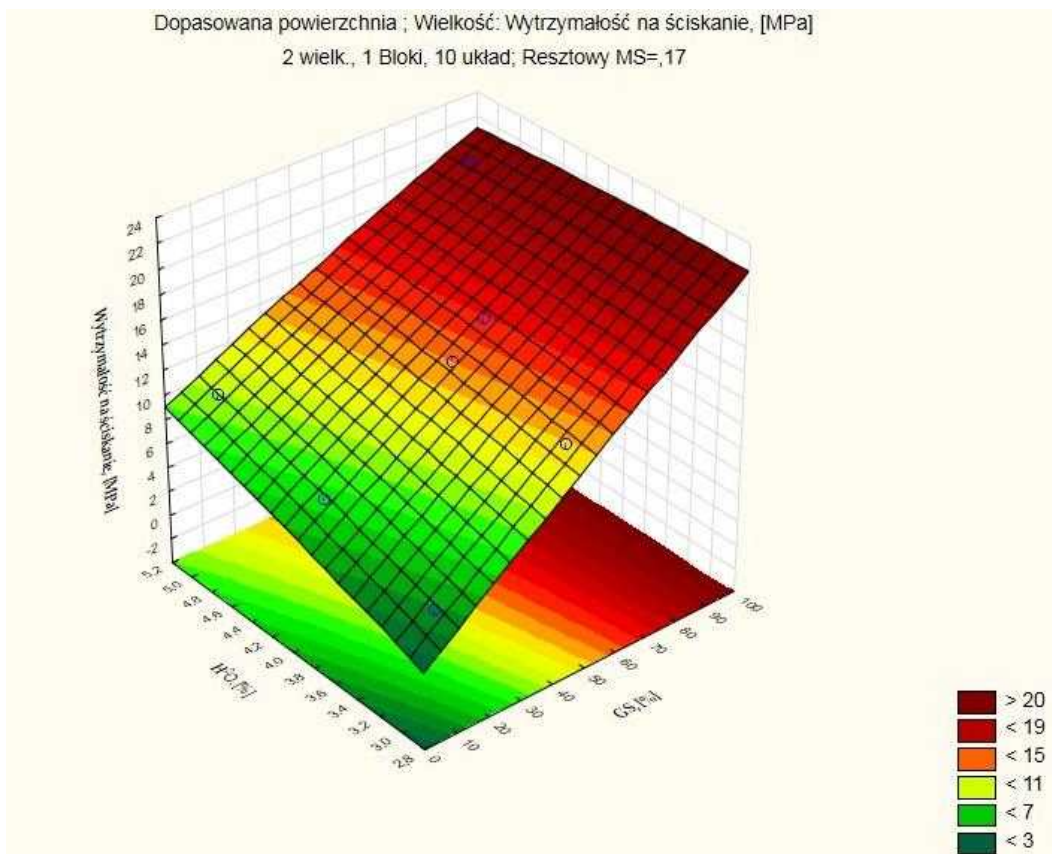
<sup>26</sup> Funkcja użyteczności (Statystyka) to funkcja określająca względną użyteczność różnych wartości wielkości wyjściowej. W celu wyznaczenia profilu użyteczności najpierw określa się funkcje użyteczności dla każdej wielkości wyjściowej (zmienną zależną) przypisując wartościom przewidywanym oceny od 0 (wartość nieużyteczna) do 1 (wartość bardzo użyteczna). Całkowita użyteczność jest obliczana, jako średnia geometryczna poszczególnych użyteczności dla przewidywanych wartości wielkości wyjściowej.

[https://www.statsoft.pl/textbook/glosfra\\_stat.html?https%3A%2F%2Fwww.statsoft.pl%2Ftextbook%2Fglosfra.html](https://www.statsoft.pl/textbook/glosfra_stat.html?https%3A%2F%2Fwww.statsoft.pl%2Ftextbook%2Fglosfra.html)

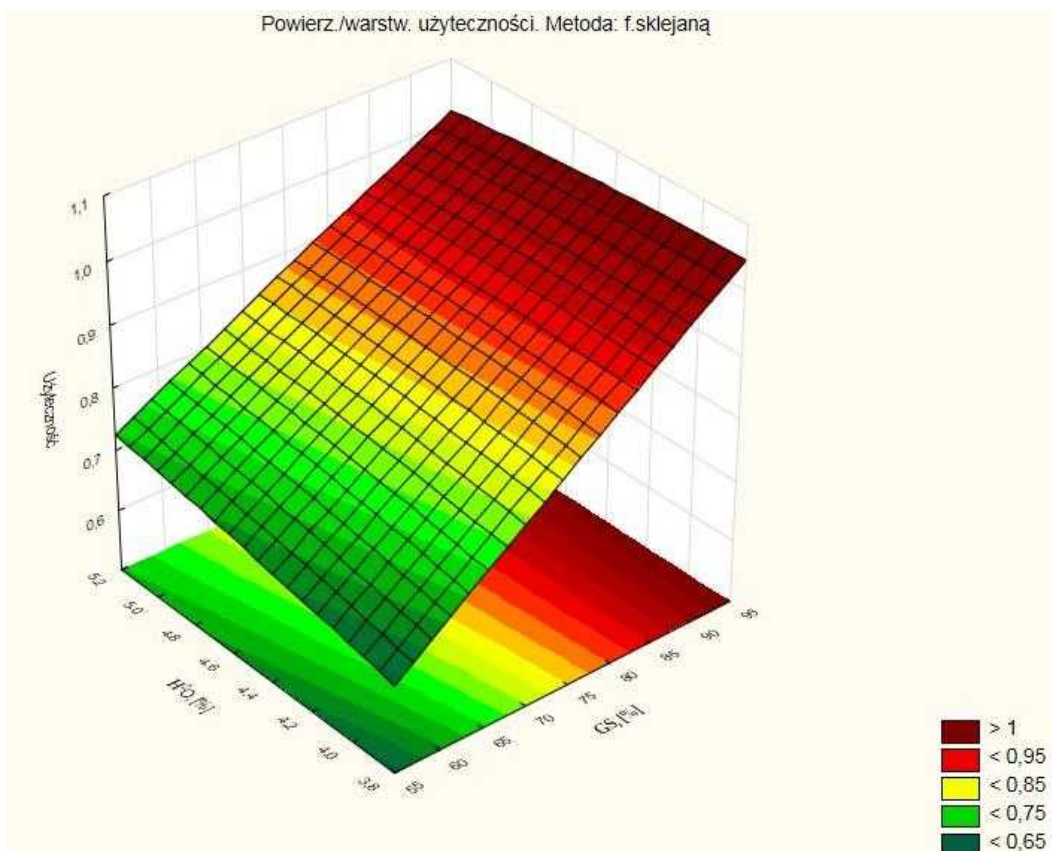
<sup>27</sup> Przedział ufności dla średniej. Przedziały ufności dla średniej określają zakres wartości wokół średniej, w którym, przy danym poziomie pewności, spodziewać się można "prawdziwej" średniej.

[https://www.statsoft.pl/textbook/glosfra\\_stat.html?https%3A%2F%2Fwww.statsoft.pl%2Ftextbook%2Fglosfra.html](https://www.statsoft.pl/textbook/glosfra_stat.html?https%3A%2F%2Fwww.statsoft.pl%2Ftextbook%2Fglosfra.html)

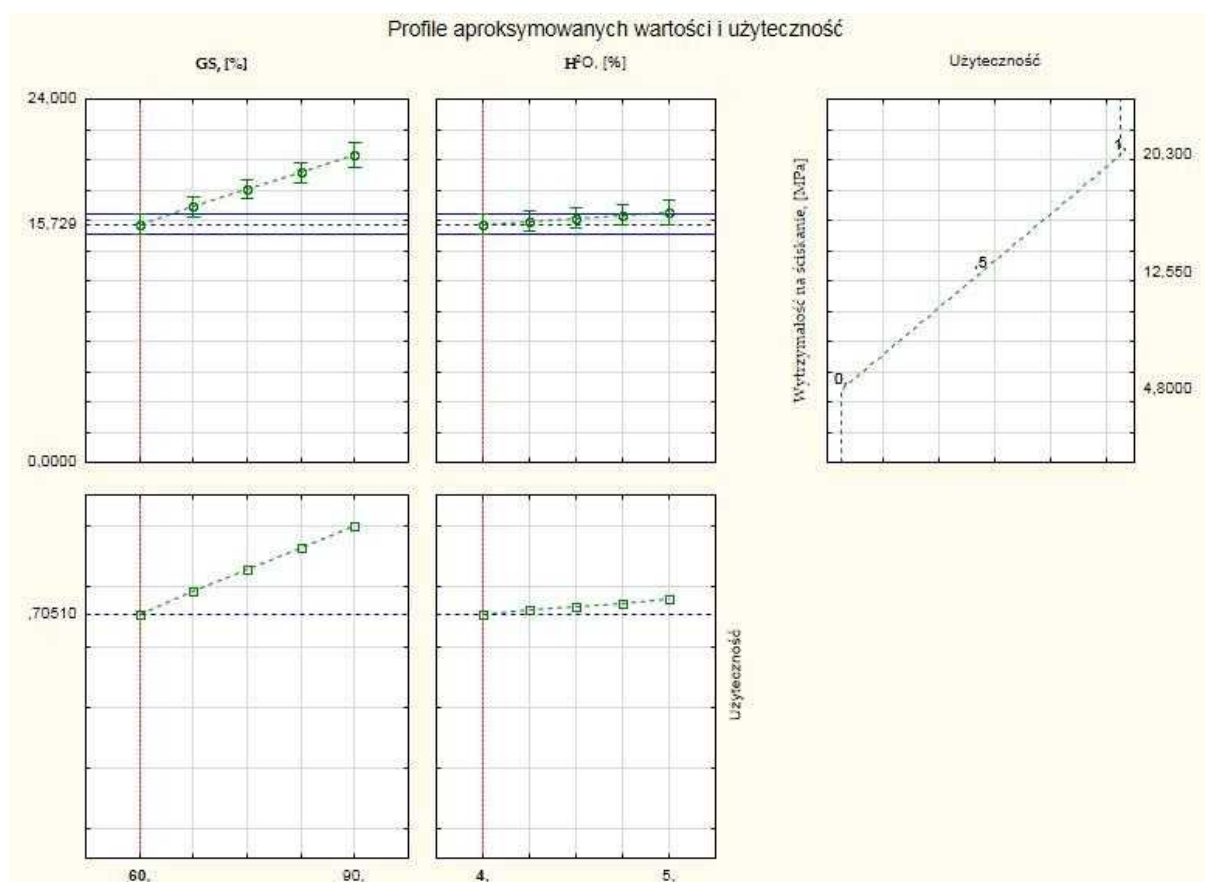
Analiza wpływu zastosowania komponentów szklanych w postaci szkła z recyklingu na skład fazowy oraz wybrane własności użytkowe cegieł autoklawizowanych.



Rys. 88. Wykres wytrzymałości na ściskanie [MPa] cegły silikatowej powstałej w wyniku modyfikacji masy surowcowej silikatowej piaskiem szklanym.



Rys. 89. Wykres funkcji użyteczności i rzut na płaszczyznę z punktami całkowitej przydatności (wytrzymałości na ściskanie) wykonany dla cegły silikatowej powstałej w wyniku modyfikacji masy surowcowej silikatowej piaskiem szklanym GS [%].



Rys. 90. Całkowity profil użyteczności wykonany dla cegły silikatowej modyfikowanej piaskiem szklanym z recyklingu (GS w ilości  $<0 \div 90>$  [%]).

Ponadto wykonane analizy przedstawione na wykresach Rys. 88, Rys. 89 i Rys. 90 są kompatybilne z przeprowadzonymi badaniami porowatości materiału, struktury i mikrostruktury cegieł silikatowych modyfikowanych piaskiem szklanym z recyklingu szkła butelkowego.

⇒ Analizy i badania przedstawione w ramach realizacji założonego procesu badawczego zostały uwzględnione w następujących artykułach w ramach prezentowanego Cyklu badawczego:

**A1. Anna Stepień** *Recycling in Building Materials. Analysis of the Possibilities and Results of Using Recycled Glass Sand in Autoclaved Materials.* **ENERGIES** 2023, 16(8), 3529, ISSN: 1996-1073, pp. 1-29. <https://doi.org/10.3390/en16083529>

**A5. Anna Stepień** *Analysis of Porous Structure in Autoclaved Materials Modified by Glass Sand.* **CRYSTALS** 2021, 11(4), 408, ISSN: 2073-4352, pp. 1-17. <https://doi.org/10.3390/cryst11040408>

**A7. Anna Stepień** (autor korespondencyjny), **Małgorzata Durlej, Karol Skowera** *Application of the computed tomography method for the evaluation of porosity of autoclaved materials.* **MATERIALS** 2022, 15(23), 8472, ISSN: 1996-1944, pp. 1-19. <https://doi.org/10.3390/ma15238472>

**A10. Paulina Kostrzewa-Demczuk, Anna Stepien, Ryszard Dachowski, Agnieszka Krugielka** *The use of basalt powder in autoclaved brick as a method of production waste management.* **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 2021, (128900), ISSN: 0959-6526 (print); 1879-1786 (web), pp.1-11.**

**A11. Ryszard Dachowski, Anna Stepien (autor korespondencyjny)** *Effect of Organic Compounds on the Special Properties and the Microstructure of Autoclaved Brick.* **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH, IJERPH 20(4), 3490, ISSN 1660-4601, Pp.: 1-22, 2023.**

#### 4.5.4. Nowość naukowa

Wyniki zaproponowanego rozwiązania dotyczącego modyfikacji tradycyjnej masy silikatowej, z której powstają cegły autoklawizowane za pomocą piasku szklanego z recyklingu szkła butelkowego (GS) zostały podzielone na: aspekty technologiczne, ekologiczne i energetyczne w ramach tematyki związanej ze zrównoważoną gospodarką kruszywami naturalnymi, komponentami z recyklingu i energią (zanieczyszczenie powietrza). Do aspektów technologicznych, ekologicznych i energetycznych wskazanej modyfikacji należą:

- => ta sama linia produkcyjna (co nie stwarza dodatkowych kosztów związanych ze zmianą linii produkcyjnej);
- => utylizacja (recykling) komponentów szklanych w postaci piasku szklanego (sodowego) ze zmielonych butelek „kolorowych”;
- => skrócenie czasu autoklawizacji z 8h do 5h przy otrzymaniu lepszych właściwości produktu końcowego tj. cegły silikatowej wykonanej na bazie piasku szklanego z recyklingu szkła kolorowego (wytrzymałość na poziomie ok. 20 MPa, przy skróconym czasie autoklawizacji).

Analiza udział komponentów szklanych w postaci piasku szklanego z recyklingu na proces hydratacji spoiwa, autoklawizacji i krystalizację faz amorficznych w ceglach silikatowych modyfikowanych piaskiem szklanym z recyklingu wykazała:

=> Poprawę właściwości użytkowych cegieł autoklawizowanych modyfikowanych piaskiem szklanym z recyklingu szkła butelkowego kolorowego:

- **wytrzymałości na ściskanie do 20,30 MPa** w warunkach laboratoryjnych;
- **gęstości objętościowej do poziomu 1,6 kg/dm<sup>3</sup>** w porównaniu z tradycyjnym odpowiednikiem utrzymującym się na poziomie 1,7 kg/dm<sup>3</sup>;
- **porowatości do poziomu 20,33%** pustek w materiale modyfikowanym piaskiem szklanym, podczas gdy dla materiału referencyjnego zawartość pustek wynosiła 22,41% (tj. 22,41%-QS; **20,33%-GS**). Zwiększyła się ilość porów zamkniętych w cegle modyfikowanej GS;
- **nasiąkliwości 15-17%** nowego materiału w stosunku do cegły tradycyjnej referencyjnej dla której nasiąkliwość wynosi około 18%;

Ponadto cegły autoklawizowane modyfikowane piaskiem szklanym odznaczały się bardziej jednolitą mikrostrukturą (analiza makroskopowa) i były bardziej odporne na uszkodzenia mechaniczne (co może mieć istotne znaczenie podczas transportu cegieł).

Z uwagi na powyższe i na podstawie wykonanych badań i analiz uzyskano pozytywną ocenę przeprowadzonej modyfikacji, gdzie punktem wyjściowym było otrzymanie cegły z recyklingu o wartości wytrzymałości na ściskanie nie mniejszej niż założone 10 MPa. Grafika na Rys. 91 przedstawia główne aspekty zaproponowanej modyfikacji tj. możliwość zastosowania piasku szklanego GS z recyklingu szkła butelkowego do produkcji cegieł silikatowych powstających w procesie autoklawizacji.



Rys. 91. Sumaryczne zestawienie głównych aspektów zaproponowanej modyfikacji tj. możliwość zastosowania piasku szklanego GS z recyklingu szkła butelkowego do produkcji cegieł silikatowych powstających w procesie autoklawizacji.

Optymalizacja składu masy surowcowej wykazała, że najkorzystniejszym wariantem modyfikacji będzie zastosowanie 60% piasku szklanego GS (z 90% piasku ogółem stanowiącego masę surowcową silikatową i uzupełnienie mieszanki 30%-ami piasku kwarcowego), przy udziale 4% H<sub>2</sub>O i 7% CaO.

#### 4.6. Impact Factor dla cyklu monotematycznego - CYKL MONOTEMATYCZNY

Monotematyczny cykl publikacji przedstawia zagadnienia związane z budownictwem zrównoważonym, ekologią i recyklingiem szkła i obejmuje:

- ⇒ Charakterystykę procesu obróbki hydrotermalnej i analizę cegieł wapienno-piaskowych powstających w skróconym czasie autoklawizacji (z 8 godzin do 5 godzin).
- ⇒ Charakterystykę cegieł silikatowych powstających w skróconym czasie autoklawizacji – co stanowi redukcję kosztów produkcji, ograniczenie zanieczyszczenie powietrza CO<sub>2</sub> oraz recykling szkła butelkowego kolorowego.
- ⇒ Modyfikację cegieł silikatowych piaskiem szklanym w ilości do 90%, a optymalny udział GS w masie surowcowej wynosi 60% przy 4%-owym udziale wody.
- ⇒ Analizę własności użytkowych tj. fizyko-mechanicznych cegieł autoklawizowanych modyfikowanych w całości piaskiem szklanym (zastąpienie piasku kwarcowego piaskiem szklanym z recyklingu). Uzyskanie wytrzymałości na poziomie 20 MPa przy skróconym do 5h czasie autoklawizacji.
- ⇒ Ilościową analizę składu fazowego na podstawie badania XRF z wykorzystaniem kodu modelowania geochemicznego GEMS-PSI (pierwszy raz dla cegieł autoklawizowanych). Uzyskano informacje na temat ilości faz stanowiących budowę cegły silikatowej modyfikowanej recyklatem w postaci piasku szklanego. Badanie pozwala na przewidywanie właściwości strukturalnych i efektywności proponowanych modyfikacji bez konieczności wykonywania kosztownych i skomplikowanych badań laboratoryjnych, co pozwala na ograniczenie czasu, nakładów finansowych i naturalnych (substraty do produkcji i energia w procesie autoklawizacji).
- ⇒ **CYKL PUBLIKACJI:**
  - A1. Anna Stepien** *Recycling in Building Materials. Analysis of the Possibilities and Results of Using Recycled Glass Sand in Autoclaved Materials.* **ENERGIES 2023, 16(8), 3529, ISSN: 1996-1073, pp. 1-29. Pkt.: 140.** <https://doi.org/10.3390/en16083529>  
IF<sub>2023</sub> = 3.252.
  - A2. Anna Stepien** (autor korespondencyjny), **Magdalena Leśniak, Maciej Sitarz** *A Sustainable Autoclaved Material Made of Glass Sand.* **BUILDINGS 2019, 9(11), 232. Pkt.: 70.** <https://doi.org/10.3390/buildings9110232>  
IF<sub>2019</sub> = 2.648, IF<sub>2023</sub> = 3.324 .
  - A3. Anna Stepien** (autor korespondencyjny), **Paulina Kostrzewa, Ryszard Dachowski** *Influence of barium and lithium compounds on silica autoclaved materials properties and on the microstructure.* **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, Vol.236, 1 Nov.2019, 117507. Pkt.: 140.**  
IF<sub>2019</sub> = 8.149, IF<sub>2023</sub> = 11.072.
  - A4. Anna Stepien** (autor korespondencyjny), **Beata Potrzeszcz-Sut, Dale P. Prentice, Tandre Oey, Magdalena Balonis** *The Role of Glass Compounds in Autoclaved Bricks.* **BUILDINGS 2020, 10, 41. Pkt.: 70.** [doi:10.3390/buildings10030041](https://doi.org/10.3390/buildings10030041)  
IF<sub>2020</sub> = 2.648, IF<sub>2023</sub> = 3.324.

**A5. Anna Stepien** *Analysis of Porous Structure in Autoclaved Materials Modified by Glass Sand*. **CRYSTALS 2021, 11(4), 408. Pkt.: 70.** <https://doi.org/10.3390/cryst11040408>

IF<sub>2021</sub>=2.67, IF<sub>2023</sub>=3.2.

**A6. Anna Stepien** (autor korespondencyjny), **Jerzy Z. Piotrowski** *Thermal insulation of autoclaved materials*. **JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES (OPIScience) J. Phys.: Conf. Ser. 2069 012037, Vol. 2069, 2021. Pkt. 40.**

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2069/1/012037/meta>

IF<sub>2021</sub>=0.48, IF<sub>2023</sub>= brak informacji.

**A7. Anna Stepien** (autor korespondencyjny), **Malgorzata Durlej, Karol Skowera** *Application of the computed tomography method for the evaluation of porosity of autoclaved materials*. **MATERIALS 2022, 15(23), 8472, pp. 1-19. Pkt.: 140.**

<https://doi.org/10.3390/ma15238472>

IF<sub>2022-2023</sub> = 3.748

**A8. Anna Stepien** (autor korespondencyjny), **Ryszard Dachowski, Jerzy Z. Piotrowski** *Insulated Autoclaved Cellular Concretes and Improvement of Their Mechanical and Hydrothermal Properties*. **Chapter in the Monograph: THERMAL INSULATION AND RADIATION CONTROL TECHNOLOGIES FOR BUILDINGS By: J. Kosny and D. W. Yarbrough, SPRINGER NATURE 2022, ISBN: 978-3-030-98693-3, pp: 393–419.**

Monografia Springer: 80pkt. Rozdział: 20pkt.

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-98693-3>

IF<sub>SpringerNATURE 2022</sub> = 64.8

**A9. Anna Stepien** (autor korespondencyjny), **Jerzy Z. Piotrowski, Magdalena Balonis, Sławomir Munik, Maria Krechowicz, Milena Kwiatkowska** *Sustainable Construction—Technological Aspects of Ecological Wooden Buildings*. **ENERGIS 2022, 15(23), 8823; ISSN: 1996-1073. Pkt.: 140.** <https://doi.org/10.3390/en15238823>

IF<sub>2023</sub>=3.252.

**A10. Paulina Kostrzewa-Demczuk, Anna Stepien, Ryszard Dachowski, Agnieszka Krugielka** *The use of basalt powder in autoclaved brick as a method of production waste management*. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 2021, (128900). Pkt. 140.**

IF<sub>2021</sub> = 10.956, IF<sub>2023</sub> = 11.072.

**A11. Ryszard Dachowski, Anna Stepien** (autor korespondencyjny) *Effect of Organic Compounds on the Special Properties and the Microstructure of Autoclaved Brick*. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH, IJERPH, ISSN 1660-4601, Vol.: 20(4), 3490, Pp.: 1-22, 2023.**

Pkt.: 140 w momencie publikacji. <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/4/3490>

IF<sub>2019</sub>=4.614, IF<sub>2023</sub>=11.072

#### 4.7. Pozostałe publikacje (poza CYKLEM):

Załączniki B – pozostałe publikacje poza cyklem:

Publikacje w czasopismach wymienionym w wykazie MNiSzW (Część A; 9):

## B1

- 1) **Anna Stepień, Paulina Kostrzewa** *The Impact of Basalt Components on the Structure of Bricks Formed as a Result of Hydrothermal Treatment.* **BUILDINGS** 2019, 9(9), 192 (MDPI). Pkt.: 70. IF<sub>2020</sub>=2.648, IF<sub>2023</sub>=3.324.

## B2

- 2) **Paulina Kostrzewa-Demczuk, Anna Stępień, Ryszard Dachowski, Rogério Barbosa da Silva** *Influence of Waste Basalt Powder Addition on the Microstructure and Mechanical Properties of Autoclave Brick.* **MATERIALS** 2023, 16(2), 870 (MDPI). Pkt. 140. IF<sub>2022-2023</sub>=3.748.

## B3

- 3) **Milena Kwiatkowska (doktorantka), Anna Stepień (promotor pomocniczy)** *Influence of glass components on the properties and structure of sand-lime materials.* **Construction of optimized energy potential/Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym.** Vol. 11, 2022, 129-136. ISSN 2299-8535 e-ISSN 2544-963X DOI: 10.17512/bozpe.2022.11.15. Obecnie Pkt. 70.

## B4

- 4) **Stepień A.** *The modification of the sand-lime products.* **Materiały Budowlane/ BUILDING MATERIALS**, 12/2015, ISSN 0137-2971. *Obecnie: pkt. 100.*

## B5

- 5) **Kostrzewa P., Stępień A., Dziadek K., Szmidt A.** *Technological aspect of brick production using the method of autoclaving:* **STRUCTURE AND ENVIRONMENT**, Vol. 11, No.3/2018. Obecnie Pkt. 70.

## B6

- 6) **Stepień A., Komisarczyk K.,** *Distribution of meso- and macropores in the sand-lime products determined by mercury porosimetry.* **CORROSION PROTECTION/OCHRONA PRZED KOROZJĄ** 1s /A/2016 ISSN: 0473-7733. Obecnie Pkt. 70.

## B7

- 7) **Maria Krechowicz, Adam Krechowicz, Lech Licholai, Artur Pawelec, Jerzy Zbigniew Piotrowski, Anna Stepień** *Reduction of the Risk of Inaccurate Prediction of Electricity Generation from PV Farms Using Machine Learning.* **ENERGIS** 2022, 15/11, pp: 1-21. Pkt. 140.

## B8

- 8) **Stępień Anna, Kostrzewa P., Jakubowski P.** *Microclimate and health properties of building partitions made of autoclaved materials/Mikroklimat i właściwości zdrowotne przegród budowlanych wykonanych z materiałów autoklawizowanych.* **Bulletin of the Military University of Technology/ Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej**, Vol. 67, nr 3, 2018; DOI [10.5604/01.3001.0012.6654](https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.6654). Obecnie Pkt. 40.

## B9

- 9) **Pavlenko Anatoliy, Jerzy Z. Piotrowski, Anna Stepień, Anita Ciosek, Karolina Sadko** *Wpływ bariery termicznej na efektywność energetyczną zestawu szybowego.* **Materiały Budowlane** 9/2023 (nr 613) ISSN 0137-2971, e-ISSN 2449-951X.

## 4.8. KONFERENCJE ZAGRANICZNE I PUBLIKACJE

## Załączniki C – publikacje konferencyjne (13):

## C1

- 1) **Stepień A.** *The impact of barium sulfate on the microstructural and mechanical properties of autoclaved silicate products.* **Lithuania, Vilnius, 9th International**



**Conf. “Environmental Engineering” (22-23 May 2014).**  
DOI: 10.3846/enviro.2014.055.

C2

- 2) **Dachowski R., Stepien A.** *Impact of modification of sand-lime mass with organic compounds on the microstructure and mechanical features of silicate bricks.* Lithuania, Vilnius, 9th Int. Conf. “Environmental Engineering 2014. eISSN 2029-7092. DOI: 10.3846/enviro.2014.011.

C3

- 3) **Ryszard Dachowski, Leszek Kotulski, Anna Stepien** *Impact of organic compounds on the synthesis of phases and properties of sand-lime products.* IAP Heida 2016, Interfaces Against Pollution, Environmental Challenges & Opportunities, Universitat de Lleida, Spine, 4-7 September 2016 (P123, str. 234).

C4

- 4) **Stepien A.** *The Impact of Glass Additives on the Functional and Microstructural Properties of Sand-Lime,* Inter.J.of Civil and Environmental Engineering, Vol:11, No:3, 2017. ISNI:0000000091950263. Conference: 19th International Conference on Civil Engineering and Adapting Civil Engineering Practice, 5-6 March 2017, Rome, Italy.

C5

- 5) **Anna Stepien (autor korespondencyjny), Beata Potrzeuszcz-Sut, Paulina Kostrzewa** *Influence and Application of Glass Cullet in Autoclaved Materials.* WMCAUS 2017, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 471 (2019) 032065. World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium WMCAUS, 12-16 June 2017. Doi:10.1088/1757-899X/471/3/032065. IF<sub>2023</sub>=0.4.

C6

- 6) **Anna Stepien, Paulina-Kostrzewa** *Influence of glass components on the quality and strength of silicate materials.* World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium WMCAUS, 12-16 June 2017.

C7

- 7) **Kostrzewa P., Stepien A.** *Autoclaved sand – lime product with polypropylene mesh.* IOP Conf. Series: Mat.Science and Eng.245 (2017) 022069. World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium WMCAUS, 12-16 June 2017. Doi:10.1088/1757-899X/245/2/022069. IF<sub>2023</sub>=0.4.

C8

- 8) **Komisarczyk K., Stepien A.,** *Optimization the composition of sand-lime products modified of diabase aggregate,* IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol. 251 (2017) 012019. The 3rd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies (IMST 2017) 27-29 September 2017, Riga, Latvia. Doi:10.1088/1757-899X/251/1/012019.

C9

- 9) **Anna Stepien (autor korespondencyjny), Paulina Kostrzewa** *The impact of glass components on the quality and strength of silicate autoclaved materials.* WMCAUS

**2018, IOP MATERIAL SCIENCE AND ENGINEERING 471 (2019);** pp. 1-8;  
doi:10.1088/1757-899X/471/3/032064. *IF*<sub>2023</sub>=0.4.

**C10**

10) **Kostrzewa P., Stepień A.** *Sand-lime composites with basalt fibers*, **MATEC Web of Conferences**, vol. 174 (2018), pp. 1-9.  
*Doi.org/10.1051/mateconf/201817402009.*

**C11**

11) **Anna Stepień, Katarzyna Komisarczyk, Ryszard Dachowski** *Influence of Heavy Aggregates on the Qualities of Silicate Materials*. **IOP Conference Series: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 471 (2019) 032058, WMCAUS 2018, 18-22 June 2018, Prague, Czech Republic.**

**C12**

12) **Komisarczyk K., Stepień A., Dachowski, R.** *Changing the method of compaction of autoclaved building materials modified by diabase and barite aggregate*. **MATEC Web of Conf., Vol. 174 (2018).**

**C13**

13) **A. Pavlenko, J.Z. Piotrowski, Ł. Orman, A. Stępień, A. Ciosek, K. Sadko** *Metodyka oceny wpływu zmiennych czynników klimatycznych na oporność termiczną zestawów szybowych*. **VIII Konferencja SOLINA 2023.**  
<https://kbo.prz.edu.pl/viii-konferencja-solina-2023>

**4.9. Udział w konferencjach i sympozjach:****Załączniki D: KONFERENCJE POLSKIE I MIĘDZYNARODOWE:****D1**

1. **Stępień A.** *Influence of lithium silicate on microstructural and mechanical properties of autoclaved silicate products*. **TECHNICAL TRANSACTIONS, Civil Engineering (ISSUE 1-B, p.65), Engineering of Construction Projects, Cracow 2014 (26-28 June 2014).**

**D2**

2. **Stępień A., Balonis M., Sitarz M.** *The use of glass cullet in the production of autoclaved materials*. **International Conference of Selected Issues In Building Structures Design BSD2022 – Kielce, Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej, 14-15 lipca 2022.**

**D3**

3. **A. Stępień, M. Kwiatkowska, S. Munik, K. Biskup** *Sustainable construction - new trends in frame structures* **International Conference of Selected Issues In Building Structures Design BSD2022 – Kielce, Katedra Mechaniki, Konstrukcji Metalowych i Metod Komputerowych Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej, 14-15 lipca 2022.**

**D4**

4. **Pavlenko A., Piotrowski J.Z., Orman Ł., Stępień A., Ciosek A., Sadko K.** *Metodyka oceny wpływu zmiennych czynników klimatycznych na oporność termiczną zestawów szybowych*. **VIII Konferencja Solina 2023.**

**D5****SYMPOZJUM:**

- 03.08.2010-04.08.2010: Dachowski R. Stepień A. *Symposium międzynarodowe „OSBB Priorytetowy program reformy substancji mieszkaniowej Ukrainy”* Połtawa 2010, Ukraina. Referat zamawiany: „Ochrona cieplna budynków”.

**4.10. Patenty i zgłoszenia patentowe:****Załączniki E: Patenty i zgłoszenia patentowe****E1**

1. Jerzy Z. Piotrowski, Stanisław Szewczyk, Anna Stepień, *Installation of flue gas discharge from boilers to chimney, especially in boiler plants equipped with dedusting devices.* GB2302150.4, RPP 81/23, 2023.

**E2**

2. Artur Szmidt, Anna Rębosz-Kurdek, Waclaw Gierulski, Anna Stępień, Tomasz Bajor, Sylwia Frydrych, Beata Furgał, Szymon Kowalski, Jakub Kwiatkowski, Bartłomiej Wojciechowski *Głowica do podawania materiału w drukarkach przyrostowych.* Zgłoszenie wynalazku: P.423351, Warszawa 2017.

**E3**

3. Dachowski R., Jasinska I., Stępień A. *Zastosowanie granulatu szkła spienionego oraz polikrzemianu litu jako dodatków w wyrobach z masy silikatowej/Application of foamed glass granulate and the lithium polysilicate as additives in the mass of silicate products (sand-lime bricks).* P.40796, 2014.

**4.11. Index Hirsha**

$iH_{Scopus} = 7$  (stan na dzień 26/07/2023r).

$iH_{WoS} = 7$  (stan na dzień 26/07/2023r).

$iH_{ResearchGate} = 8$  (stan na dzień 26/07/2023r).

$iH_{GoogleScholar} = 9$  (stan na dzień 26/07/2023r).

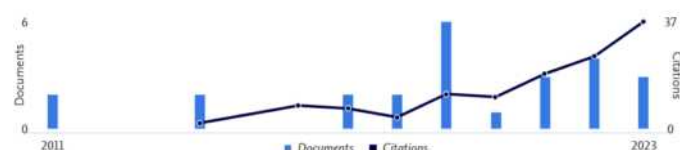
⇒ Scopus:

**Stepień, A.**

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Kielce, Poland 39162040800 <https://orcid.org/0000-0001-7937-8804>

125 Citations by 76 documents 25 Documents 7 h-index View h-graph

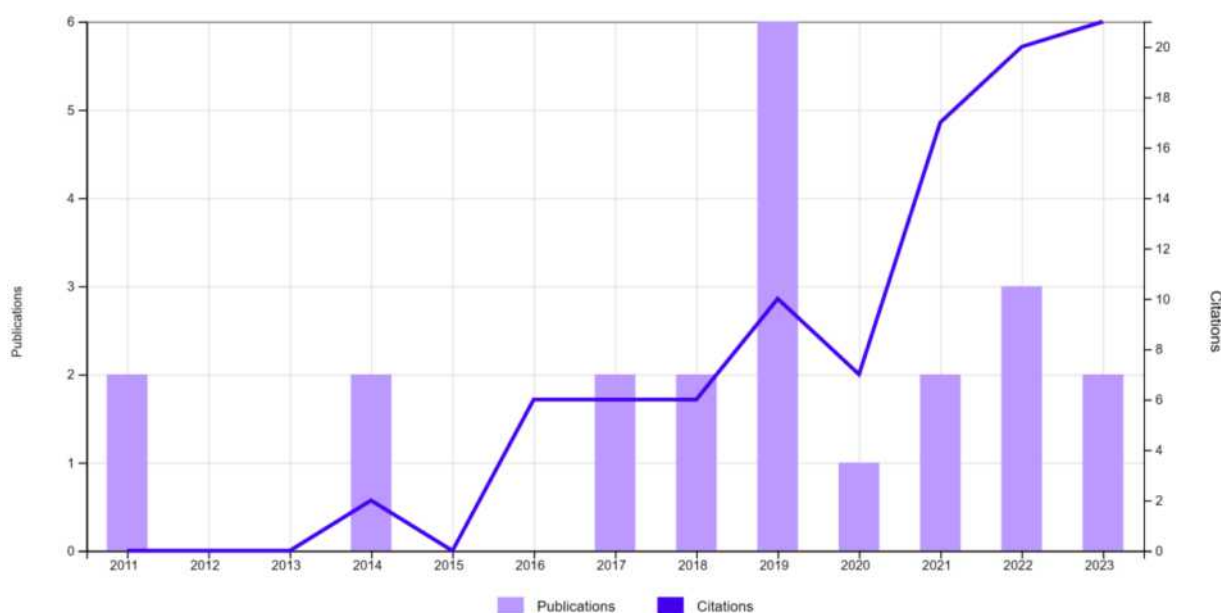
Set alert Save to list Edit profile More

**Document & citation trends****Scopus Preview**

Scopus Preview users can only view a limited set of features. Check your institution's access to view all documents and features.

Check access

⇒ Web of Science:



⇒ ResearchGate:

**Anna Stepień** EditPhD, Doctor of Technical Science · Doctor of Technical Science at Politechnika Świętokrzyska  
Poland | Website

Current activity

Research Interest Score 130.5

Citations 155

h-index 8

Citations over time

Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań.

Okres rozliczeniowy po obronie doktoratu (2013-2023)	Wg Scopus	Wg Web of Science	Wg GoogleScholar
Ogólna liczba cytowań	125	95	143
Liczba cytowań bez autocytowań	98	59	-

**4.12. RECENZENT W CZASOPISMACH MIĘDZYNARODOWYCH (65 razy).**

1. Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering, Manuscript Number: ISTC-D-23-00287 (czerwiec 2023):

Title: *Regression and ANN Model for the Prediction of Compressive Strength of Sustainable Geopolymer Concrete based on Experimental Investigation by Varying NaOH Concentration and Curing Temperature.* ISTC-D-23-00287.

2. Recenzja artykułu na konferencję: Międzynarodowa Konferencja „Selected Issues in Building Structures Design” BSD 2022 w Kielcach:

Title: Building Energy Simulations: Educational Aspects.

3. Processing and Application of Ceramics (marzec 2020):

Manuscript ID PAC-OJ-1044:

Title: Evaluation of SnO<sub>2</sub>-based grain-shaped nanoparticles photocatalytic property under UV light radiation.

4. Recenzje w MDPI w latach 2019-2023 (57 razy):



5. WASET Scientific and Technical Committee & Editorial Review Board on Civil and Environmental Engineering: 5 razy.

- Title: *Alternative Housing Solutions in Southern California.*
- Title: *Variation of Base Width of a Typical Concrete Gravity Dam under Different Seismic Conditions Using Static Seismic Loading.*
- Title: *Strategic Environmental Assessment and Climate Change: From European Experiences to Brazilian Needs.*
- Title: *Review on the Role of Sustainability Techniques in Development of Green Building.*
- Title: *Influence of Recycled Concrete Aggregate Content on the Rebar/Concrete Bond Properties through Pull-Out Tests and Acoustic Emission Measurements.*

#### 4.13. Recenzent Prac Dyplomowych magisterskich i inżynirskich w latach 2014-2023

(stan na dzień 26 lipiec 2022r.): **144** razy.

#### 5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

19.09.2022-	Visiting Assistant Project Scientist at University of California Los Angeles (UCLA), USA ( <i>Pozwolenie na pracę w USA, wiza J-1</i> )
19.12.2022	Collaboration with Prof. Gaurav Sant, Prof. Magdalena Balonis and Dr Dale P.Prentice Place: UCLA SAMUELI SCHOOL OF ENGINEERING Civil and Environmental Engineering Department 420 Westwood Plaza, 5731-J Boelter Hall, Los Angeles, CA 90095-1600 RID - Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019 - 2022 numer projektu 025/RID/2018/19 kwota dofinansowania 12 000 000 zł).

03.01.2019- 08.03.2019	<p><b>Grant:</b> Laureatka drugiej edycji konkursu MINIATURA 2 na działanie naukowe służące realizacji badań podstawowych.</p> <p><b>Tytuł projektu:</b> „Analiza chemiczna i mikroskopowa uwodnionych krzemianów wapnia w układzie <math>CaO-SiO_2-H_2O</math> w materiałach autoklawizowanych o niskiej zawartości wapna (mniej niż 10%) i wysokiej zawartości komponentów szklanych o strukturze amorficznej”:</p> <p><b>Miejsce:</b> <b>University of California Los Angeles (UCLA)</b>  <b>UCLA SAMUELI SCHOOL OF ENGINEERING</b>  <b>420 Westwood Plaza, 5731-J Boelter Hall, Los Angeles, CA 90095-1600</b>  <i>(Pozwolenie na pracę w USA, wiza J-1)</i></p>
01.09.2015 - 31.03.2016	<p>Staż zagraniczny doktorski na University of Sherbrooke, Quebec, Kanada</p> <p>Tematyka: Scientific research concerning the modification of sand-lime bricks by Glass Powder and Glass Sand and microstructure of the products, mainly the formation of calcium silicate hydrate (C-S-H, Tobermorite, Gyrolite, Xonotlite, Truscotite).</p> <p><b>Miejsce:</b> <b>University of Sherbrooke, Quebec, Canada, Department of Civil Engineering, Sherbrooke (Québec) J1K 2R1, 2500, boul. de l'Université</b>  <i>(Pozwolenie na pracę w Kanadzie)</i></p>
Październik 2013	<p><b>University of Burgundy in Dijon.</b></p> <p>Staż zagraniczny doktorski w ramach Projektu „Politechnika Świętokrzyska – uczelnia na miarę XXI wieku” we Francji w Dijon.</p> <p>Tematyka: charakterystyka mikrostruktury betonów i materiałów autoklawizowanych, analiza właściwości fazy C-S-H.</p>
<b>PROJEKTY I SZKOLENIA :</b>	
01.10.2014 30.11.2014	<p>- <b>Moderator w projekcie „Doskonalenie jakości zarządzania Politechniką Świętokrzyską - WiRKIN”</b> realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki - Zadanie 7 – Doskonalenie programów kształcenia we współpracy z absolwentami i pracodawcami.</p>
08.04.2014 30.09.2014	<p>– „<b>INWENCJA II – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki</b>”. Współpraca z Zakładem Produkcji Silikatów w Ludyni.</p>
01.03.2012 01.03.2013	<p>– „<b>INWENCJA I – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki</b>”. Współpraca z Zakładem Produkcji Silikatów w Ludyni.</p>
Luty 2013	<p>Udział w szkoleniu „<b>Zarządzanie własnością intelektualną w praktyce. Strategie komercjalizacji</b>”. Szkolenie współfinansowane ze środków UE.</p>



## 6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. **Koło Naukowe ARAGONIT:** Założycielka Koła Naukowego Aragonit z inicjatywy dr Czesława Szrednickiego i Prof. Wiesława Kurdowskiego współpracującego w pierwszych latach działalności ze Stowarzyszeniem Inżynierów i Techników Przemysłu Materiałów Budowlanych – sekcja Kraków.

**Opiekun studentów podczas konferencji studenckich i doktoranckich:**

**1) KONSTRUKTOR 2015**

4 ARTYKUŁY

**2) BUDMIKA 2015** – 6 ARTYKUŁÓW

**3) BUDMIKA 2016** – 5 ARTYKUŁÓW

**4) BUDMIKA 2018** – 6 ARTYKUŁÓW

**Tytuły artykułów studenckich:**

• **Budmika 2018:**

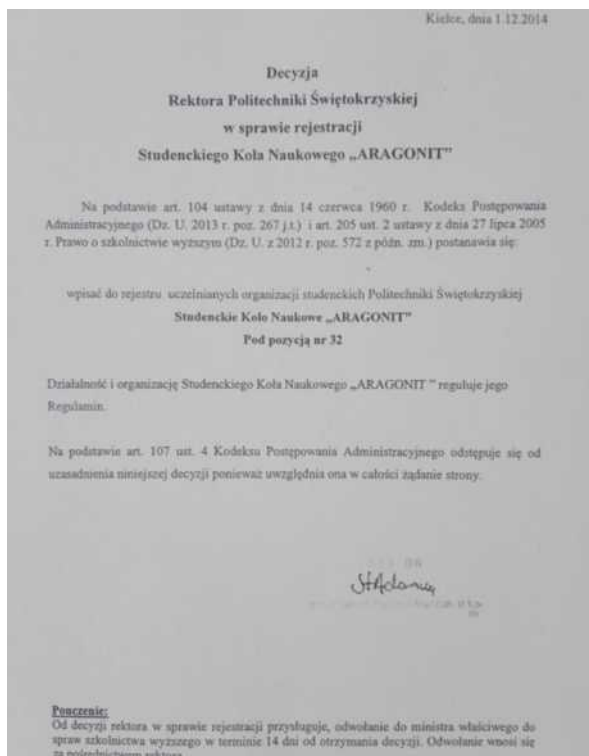
- 1) Inż. Arch. Klaudia Zygmunt „Kluczowe aspekty projektowania architektonicznego schronów podziemnych”.
- 2) Inż. Arch. Lidia Jańczy „Technologie i ich efektywność w niecodziennych warunkach. Tunel Gogthard - kreatywność inżynierska”.
- 3) Inż. Arch. Karolina Huk „Historia i nowa myśl technologiczna – najstarsze metro świata, Londyn”.
- 4) Inż. Arch. Kinga Gola „Siła koloru i aspekty architektoniczne w budownictwie”.
- 5) Inż. Arch. Agnieszka Potrzebowska „Materiały wybuchowe i ich zastosowanie w budownictwie”.
- 6) Mgr inż. Paulina Kostrzewa “Sand-lime bricks modified with basalt fibers”.

• **Budmika 2016 => Budmika'16 - Książka abstraktów.**

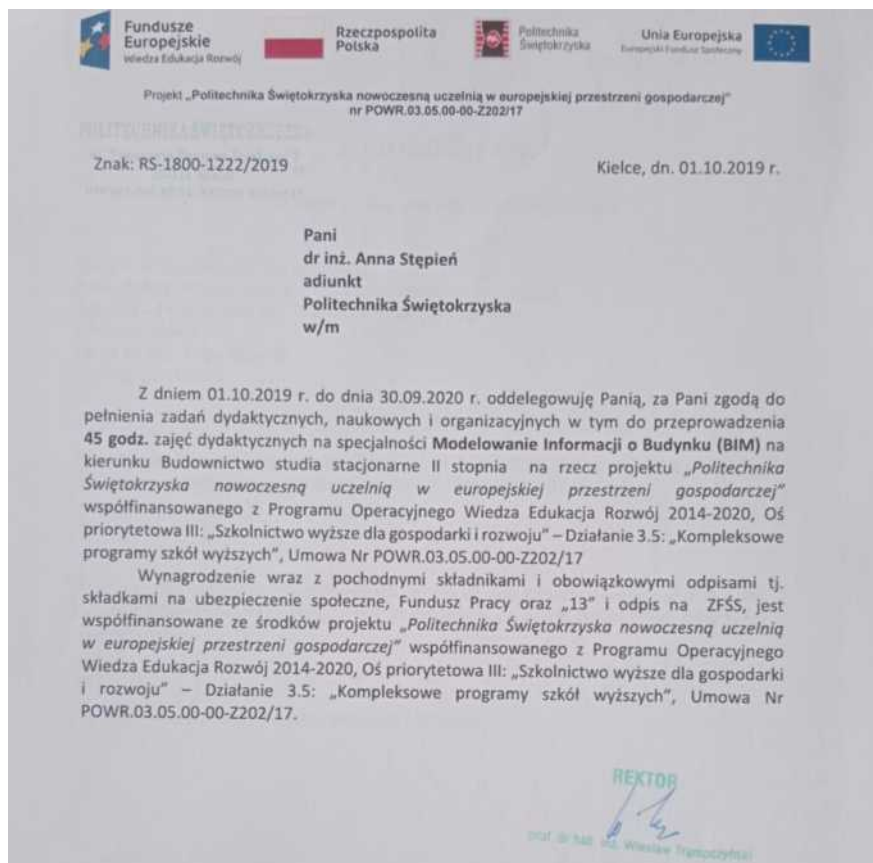
• **Budmika 2015 => Książka abstraktów pod redakcją M.Karpińskiej i I. Antończuka. AR Comprint 2015, Poznań, Polska. ISBN: 978-83-89333-62-9, 978-83-89333-63-6.**

• **Konstruktor 2015:**

- 1) inż. Wioletta Gajos „Odporność ogniowa materiałów silikatowych i sposoby jej zwiększania”.
- 2) inż. Kostrzewa Paulina, inż. Petrus Grzegorz „Budownictwo mieszkaniowe w świetle innowacji”.
- 3) inż. Kot Michał, inż. Kowalik Paweł „Technologiczne aspekty wykonywania obiektów zagłębionych w gruncie”.
- 4) inż. Komisarczyk Katarzyna, inż. Kot Aleksandra „Technologie i innowacje w budownictwie pasywnym i energooszczędnym”.



## 6.2. Współdziałanie w tworzeniu nowego kierunku Modelowanie Informacji o Budynku - BIM (Building Information Modelling) na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej oraz przedmiotu Awaria Budowlana na kierunku BIM.





**6.3. Moderator w projekcie „Doskonalenie jakości zarządzania Politechnika Świętokrzyską - WiRKIN”** realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki - Zadanie 7 – Doskonalenie programów kształcenia we współpracy z pracodawcami i absolwentami.

**6.4. Zajęcia dydaktyczne i inne formy zaangażowania dydaktycznego i organizacyjnego**

⇒ **ZAJĘCIA** (pensum 240h):

- Technologia robót budowlanych,
- Technologia robót budowlanych 2,
- Wybrane zagadnienia technologii robót budowlanych,
- Wybrane zagadnienia z technologii robót budowlanych,
- Budownictwo podziemne,
- Materiały budowlane,
- Analiza awarii budowlanych,
- Awarie budowlane,
- Budowle podziemne,
- Podstawy budownictwa podziemnego,
- Seminarium dyplomowe inżynierskie,
- Seminarium dyplomowe magisterskie.

**PROMOTOR PRAC DYPLOMOWYCH** w latach 2014-20123: **197** prac ogółem.

⇒ **MAGISTERSKICH:** 76 prac dyplomowych

⇒ **INŻYNIERSKICH:** 121 prac dyplomowych

**CZŁONEK KOMISJI DYPLOMOWEJ:** 181 razy

⇒ **Opinia Studentów prac magisterskich z ostatniego semestru roku akademickiego 2022/2023** (str. 85).

⇒ **List gratulacyjny od Prezydenta Miasta Kielce Bogdana Wenty dla promotora nagrodzonej pracy magisterskiej pt. „Analiza wpływu komponentów szklanych na strukturę i wybrane właściwości materiałów budowlanych” studentki mgr inż. Mileny Kwiatkowskiej** w konkursie Miasto, Politechnikę Świętokrzyską i Uniwersytet Jana Kochanowskiego – Konkurs Młodzi Naukowcy 2021 => Politechnika Świętokrzyska, promotor: dr inż. Anna Stępień.

⇒ **Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim mgr inż. Mileny Kwiatkowskiej** (PSk, drugi rok Szkoły Doktorskiej).

Temat rozprawy doktorskiej doktorantki: „Wpływ dodatków o strukturze amorficznej na mikrostrukturę oraz właściwości użytkowe materiałów autoklawizowanych”.

☆ Opinia Studentów prac magisterskich z ostatniego semestru roku akadem. 2022/2023.

Kielce, 18.07.2023r.

Dyplomanci

II stopnia budownictwa

#### Rekomendacja

Współpraca z Panią dr inż. Anna Stępień jako promotorem przebiegała bardzo dobrze. Jednocześnie pragniemy podkreślić, iż był to najlepszy możliwym wybór jakiego mogliśmy dokonać, jesteśmy zaszczytzeni, że mogliśmy współpracować z Panią Doktor. Swoje wskazówki merytoryczne przekazywała w sposób jasny, konkretny i bardzo zrozumiały. Podejście do współpracy z każdym dyplomantem było indywidualne, przez co każdy czuł się pewnie w tym co robi. Pani Doktor rozmawia ze studentami oraz poświęca im dużo czasu, przez co doskonale ich rozumie. Przekazuje ogrom swojej wiedzy z pełnym zaangażowaniem, wiedząc jak zaszczerpić w nas pasję do budownictwa. Przez cały okres współpracy podczas pisania prac magisterskich kontakt z Panią dr inż. Anną Stępień przebiegał bardzo płynnie, dzięki czemu szybko rozwiązywaliśmy napotykanne problemy. Pani Doktor bez wątpienia wykonuje swoją pracę sumiennie ze stuprocentowym zaangażowaniem, tym samym będąc godnym polecenia promotorem.

Z poważaniem,

mgr inż. Patrycja Rojarska

mgr inż. Agnieszka Szpilecka

mgr inż. Mateusz Rejzowski

mgr inż. Malgorzata Dachuła

mgr inż. Aleksandra Nikołajczyk

⇒ List gratulacyjny od Prezydenta Miasta Kielce Bogdana Wenty:



⇒ Opiekun praktyk



- ⇒ Przygotowanie i przedstawienie prezentacji nt. *Recyklingu materiałów budowlanych* dla uczniów szkół ponadgimnazjalnych w ramach akcji Polibus – nauka na kołach.



⇒ **INNE SPRAWY I PRACE ORGANIZACYJNE:**

1. Przygotowanie prezentacji dla studentów i zorganizowanie spotkań ze studentami w ramach LEGII AKADEMICKIEJ 2022 (Listopad 2021) i sprawowanie merytorycznej opieki nad studentami biorącymi udział w szkoleniu (Maj –Sierpień 2022).

Współprzepracowanie spotkań ze studentami kieleckich szkół wyższych wraz z Płk Piotrem Hałysem – Dowódcą 10 Świętokrzyskiej Brygady Obrony Terytorialnej.

**Legia Akademicka**  
Spotkanie informacyjne Nr 1  
Miejsce: Politechnika Świętokrzyska w Kielcach  
21 październik 2021  
Godz. 15.30  
Sala: 409 ENERGIS

<https://wsw.wroclaw.wp.mil.pl/pl/pages/legia-akademicka-2018-08-22-t/>

2. Zainicjowanie Przysięgi Żołnierzy z 10 Świętokrzyskiej Brygady Obrony Terytorialnej oraz studentów kończących szkolenie wojskowe podstawowe w ramach LEGII AKADEMICKIEJ (23.07.2022).
3. Zorganizowanie spotkania z FIRMĄ ATLAS, przeprowadzenie godzinnej prezentacji dla Firmy nt. „Gibbs Energy Minimization Software for Geochemical Modeling” (14.01.2022).
4. Zorganizowanie spotkania z Firmą DOMY EXPERT na Uczelni oraz wyjazd studentów do fabryki produkującej szkieletowe domy drewniane. Firma DOMY EXPERT podarowała Katedrze KOBiMB i KN Aragonit prototyp ściany szkieletowej, który obecnie znajduje się na parterze w BUD.A na wprost portierni.
5. Zainicjowanie i pomoc w organizacji dokumentów w ramach umowy i współpracy merytorycznej pomiędzy PSk i Wydziałem WBiA (Dziekan Wydziału Prof. Grzegorz Świt oraz dr inż. Anna Stępień) oraz Firmą DOMY EXPERT.
6. Dwukrotne zorganizowanie serii wykładów Prof. Magdaleny Balonis-Sant z University of California LOS ANGELES (UCLA, LA, USA), Lipiec 2019 i Lipiec 2022.



**UNIVERSITY OF CALIFORNIA LOS ANGELES**  
**PROFESOR MAGDALENA BALONIS**  
 Seminarium naukowe  
**„New strategies to engineer construction materials which exhibit extended service life”.**  
 Seminarium odbędzie się **01.07.2019** (poniedziałek)  
 w sali **1.06 B** o godz. **12.00.**

**Zapraszają:**  
**PTMTS Zarząd Oddziału**  
 wraz z **dr hab. inż. Izabelą Krzysztofik**  
 Prorektor ds. Badań Naukowych i Współpracy z Przemysłem  
**Prof. dr hab. inż. Zbigniew Koruba**  
 Kierownik Katedry Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej  
**Prof. dr hab. inż. Jerzy Z. Piotrowski**  
 oraz dr inż. Anna Stępień (NCN/Miniatura2)

**Organizator:**  
**PTMTS**  
**Oddział Kielecki**

UCLA



**University of California Los Angeles**  
**UCLA**  
**Prof. Magdalena Balonis**

**Wykłady 29.06 - 01.07.2022, godz.12, sala 1.08A)**  
**„New strategies to engineer construction materials which exhibit extended service life”.**

**Harmonogram wykładów :**  
1) 29.06, godz. 12, s.1.08A (3h).  
Materiały złożone – technologia, zastosowanie, eksploatacja  
2) 29.06, godz. 14, s.1.08A (2h)  
Wybrane Zagadnienia z Technologii Robót Budowlanych  
3) 30.06, godz. 12, s.1.08A (2,5h)  
Modelowanie geochemiczne z zastosowaniem programu GEMS  
4) 01.07, godz. 12, s.1.08A (2,5h)  
Modelowanie geochemiczne z zastosowaniem programu GEMS

**Wykłady pod patronatem:**  
Rektor Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach  
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Koruba  
Prorektor ds. Badań i Współpracy z Podmiotami Zewnętrznymi  
Prof. dr hab. inż. Marek Iwański  
Dziekan WBiA  
Prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt

*Projekt w ramach Programu MNiSW  
RID (Regionalna Inicjatywa Doskonałości)  
Umowa nr 025/RID/2018/14*

*Kielce, June 2022*



7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

#### 7.1. Funkcje kierownicze:

**2019: Miniatura 2 –**

Działanie naukowe

w ramach Grantu


MINIATURA 2 -

Realizacja stażu

naukowego

w **University of California**

**Los Angeles, LA, CA, USA**

 NARODOWE CENTRUM NAUKI

DOW.420.6.139.2018

Kraków, dnia 31-08-2018

**DECYZJA**  
**DYREKTORA NARODOWEGO CENTRUM NAUKI**  
**Nr DEC- 2018/02/X/ST8/00544**

Na podstawie art. 33 ust. 1 ustawy z dnia 30 kwietnia 2010 r. o Narodowym Centrum Nauki (t.j. Dz.U. z 2016 r. poz.947) po rozpatrzeniu wniosku nr rejestracyjny 2018/02/X/ST8/00544, który złożyła: Politechnika Świętokrzyska w ramach konkursu MINIATURA 2 na działania naukowe.

przyznaje

podmiotowi:  
Politechnika Świętokrzyska  
REGON: 000001695

środki finansowe w wysokości: 32 082 zł (słownie: trzydzieści dwa tysiące osiemdziesiąt dwa zł),  
na realizację działania naukowego  
nr rejestracyjny 2018/02/X/ST8/00544  
pt. Analiza chemiczna i mikroskopowa uwodnionych krzemianów wapnia w układzie CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O w materiałach autoklawizowanych o niskiej zawartości wapnia (mniej niż 10%) i wysokiej zawartości komponentów szklanych o strukturze amorficznej,  
który realizować będzie Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury  
Osobą realizującą działanie będzie dr inż. Anna Agata Stępień.

*Report do 14.08.2013*

NARODOWE CENTRUM NAUKI  
UL. KRÓLEWSKA 57, 30-081 KRAKÓW, TEL. +48 123410001, FAX 123410009, E-MAIL: biuro@ncn.gov.pl  
REGON: 121361537, NIP: 6762429638

Reference number: 2018/02/X/ST8/00544							
ID:	409666	Nr rej. / Ref. No:	2018/02/X/ST8/00544	Wpłynął/ affected:	2018-05-25	Zarejestrowany/ registered:	2018-05-26 03:01:23
Tytuł projektu/ Title:	<b>PL:</b> Analiza chemiczna i mikroskopowa uwodnionych krzemianów wapnia w układzie CaO-SiO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O w materiałach autoklawizowanych o niskiej zawartości wapna (mniej niż 10%) i wysokiej zawartości komponentów szklanych o strukturze amorficznej. <b>ENG:</b> Chemical and microscopic analysis of calcium silicates hydrated in the CaO-SiO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O system in autoclaved materials with low lime content (less than 10%) and high content of glass components with amorphous structure.				Konkurs:	2 (2018-12-31)	
Kierownik projektu/ Project manager:	dr inż. Anna Agata Stepień <b>Anna Agata Stepien, PhD</b>			Panel dyscyplin/ The disciplines panel:	ST8	Podtyp/ Subtype:	MINIATURA <b>MINIATURE</b>
Wnioskodawca/ Applicant:	Politechnika Świętokrzyska; Wydział Budownictwa i Architektury <b>Kielce University of Technology, Civil Engineering and Architecture Department</b>						
Opiekun/ Supervisor:	Kacper Mikołajczyk	Status:		Zakwalifikowany do finansowania <b>QUALIFIED FOR FUNDING</b>	Ostatnia modyfikacja przez redaktora:	2018-05-25 15:26:18	

7.2. **01.10.2021-01.09.2022: Stanowisko: P.O. Kierownika Katedry MBiOB (Katedra Materiałów Budowlanych i Organizacji Budownictwa)**, adiunkt badawczo-dydaktyczny (01.09.2022 nastąpiła likwidacja katedry i reorganizacja wydziału).

### 7.3. **PRACE STATUTOWE:**

#### 1. **Kierownik Pracy:**




- ⇒ 2015-2016: Wpływ domieszek uszczelniających na zmiany mikrostrukturalne (strukturę fazową) wyrobów silikatowych. 02.0.05.00/2.01.01.01.0027 MNSP.BKTO.15.002.
- ⇒ 2012-2014: Anna Stepień, Ryszard Dachowski, Prof.PSk): Wpływ modyfikacji wyrobów silikatowych na ich właściwości użytkowe. 2.19/5.04.
- ⇒ 2017: *Wpływ komponentów szklanych na właściwości użytkowe wyrobów silikatowych.*

#### 2. **Członek zespołu, Kierownik: dr hab. inż. Ryszard Dachowski, Prof.PŚk:**

- ⇒ 2020-2023: Temat: Modyfikacja wyrobów budowlanych. *Subwencja od roku 2020.*
- ⇒ 2017-2019: Wpływ substancji biologicznych na mikrostrukturę wyrobów wapienno-piaskowych. 02.0.05.00/2.01.01.01.0002 MNSP.BKTO.17.002.
- ⇒ 2014-2016: Wpływ dodatków i domieszek na mikrostrukturę wyrobów wapienno-piaskowych.
- ⇒ 2011-2013: Badania wyrobów silikatowych w kierunku poprawy ich właściwości fizyko-mechanicznych, w tym izolacyjności akustycznej i parametrów radiologicznych. 2.19/7.08.

**7.4. WSPÓLPRACA W FIRMAMI:**

- |   |   |
|---|---|
| <p>⇒ <b>Grupa SILIKATY Sp. Z.o.o</b><br/>Zakład Produkcji Silikatów w Ludyni<br/>(woj. świętokrzyskie)<br/>Ludynia , 29-105 Krasocin, Polska<br/>Współpraca laboratoryjna i realizacja projektów badawczych.</p> <p>⇒ <b>LUKBUD</b><br/>ul. Dywizjonu 303<br/>01-470 Warszawa</p> | <p>⇒ <b>PERI Polska</b><br/>ul. Stołeczna 62<br/>05-860 Płochocin</p> <p>⇒ <b>DomyExpert</b><br/>ul. Kościuszki 109<br/>26-680 Wierzbica</p> <p>⇒ <b>ATLAS sp.z o.o.</b><br/>ul. Jana Kilińskiego 2<br/>91-421 Łódź</p> |
|---|---|

 <p><b>H+H Polska Sp. z o.o.</b> Zakład Ludynia Krasocin 29-105 Ludynia</p>	<p>Obcenie:</p>  <p>Wcześniej:</p> 
--	---

Współpraca Firmy Grupa SILIKATY, a obecnie H+H Polska Sp. z o.o., Zakład w Ludyni reprezentowaną przez Prezesa Leszka Kotulskiego z dr inż. Anną Stępień (Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, WBiA) rozpoczęła się w roku 2009. Pani Anna Stępień przy współpracy z Zakładem Produkcji Silikatów w Ludyni realizowała zagadnienia badawcze, które zostały ujęte w pracy doktorskiej, której obrona miała miejsce w dniu 03.07.2013r, na której byłem obecny wraz z głównym technologiem nadzorującym prace w Zakładzie Panią Wiesławą Robak. Wspomniane zagadnienia dotyczyły procesu technologicznego wytwarzania materiałów silikatowych, pracy autoklawów, możliwości modyfikacji cegieł silikatowych komponentami takimi jak: krzemian litu, kruszywo barytowe, bazaltowe - do czasu ukończenia doktoratu, a w latach od 2013 roku modyfikacje dotyczyły analizy komponentów szklanych m.in. włókna szklane, pył szklany i piasek szklany z recyklingu butelek i analiza właściwości fizyko-mechanicznych cegieł silikatowych powstających na bazie piasku szklanego.

W 2015 roku Pani dr inż. Anna Stępień wyjechała na staż naukowy do Kanady i w tym czasie również współpracowała z Zakładem Produkcji Silikatów w Ludyni i z Panią Wiesławą Robak w zakresie modyfikacji procesu technologicznego i pracy autoklawów (przemysłowych w Zakładzie w Ludyni i laboratoryjnych dostępnych na Uniwersytecie w Sherbrooke w Kanadzie, gdzie Pani dr Stępień odbywała staż).

Pani Anna Stępień przy współpracy z Zakładem w Ludyni i jego pracownikami zdobywała wiedzę technologiczną i materiałową, którą następnie wykorzystywała w kolejnych stażach i projektach m.in. w Stanach Zjednoczonych (Uniwersytet w Kalifornii (University of California Los Angeles)) omawiając i opisując właściwości cegieł silikatowych, zdobywając kolejną wiedzę szczególnie z zakresu mikrostruktury materiału silikatowego, które to zagadnienia Pani dr Stępień realizuje w swojej pracy habilitacyjnej.

Współpraca z Panią Anną Stępień przebiegała w sposób rzetelny, kreatywny i wartościowy dla obu stron.

<p>Firma H+H Sp. Z o.o. H+H Polska Sp. z o.o. Zakład Ludynia <b>DYREKTOR</b> <i>Leszek Kotulski</i> /Podpis Prezesa Firmy-Zakład Ludynia/</p>	<p>Firma H+H Sp. Z o.o. <i>W. Robak</i> /Podpis Głównej Technolog Firmy-Zakład Ludynia/</p>
---	---





PERI Polska Sp. z o.o. ul. Stołeczna 62 · 05-860 Płochocin

PERI Sp. z o.o.  
Deskowania Rusztowania  
Doradztwo techniczne  
ul. Stołeczna 62  
05-860 Płochocin  
Polska  
Telefon +48 22 7217-400  
info@peri.com.pl  
www.peri.com.pl

30.08.2023 r. | Płochocin

Niniejszym pragnę udzielić referencji Pani dr inż. Annie Stępień (Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, WBiA), której działania umacniają i rozwijają współpracę pomiędzy jednostką naukową a PERI Polska Sp. z o. o., wzbudzając kreatywność inżynierską wśród studentów i wzmacniają proces dydaktyczny kształtowania młodych inżynierów.

Pani dr inż. Anna Stępień w oparciu o materiały i technologie PERI Polska Sp z o. o. realizuje zagadnienia związane z budownictwem monolitycznym w ramach praktyki budowlanej, dydaktycznej oraz naukowej.

W ramach współpracy naukowej angażuje się w projekty i konferencje studenckie, (związane również z działalnością Koła Naukowego Aragonit). Można do nich zaliczyć między innymi Ogólnopolską Studencką Konferencję Budowlaną „BUDMIKA”, wspieraną przez PERI Polska Sp. z o. o.

Pani dr inż. Anna Stępień jako osoba zaangażowana w organizację spotkań ze studentami w ramach praktyki budowlanej stanowi, rozwija aspekt dydaktyczny współpracy z PERI Polska Sp. z o. o., prowadząc i współpracując odznacza się umacnianiem i rozwijaniem współpracy pomiędzy jednostką naukową, a firmą, wzbudzaniem kreatywności inżynierskiej wśród studentów i wzmocnieniem procesu dydaktycznego w procesie kształtowania młodych inżynierów, moderując dyskusje dotyczące budownictwa monolitycznego oraz druku 3D konstrukcji monolitycznych, nowoczesnych systemów deskowania.

DYREKTOR  
ODDZIAŁU WARSZAWA  
  
mgr inż. Emil Kowalewski

PERI Polska  
Spółka z o.o.  
ul. Stołeczna 62  
05-860 Płochocin

Sąd Rejonowy dla m. st. Warszawy  
XIV Wydział Gospodarczy KRS  
KRS 0000097093  
Kapitał zakładowy: 50 000 000 PLN  
Zarząd: Michał Wrzosek,  
Stanley Andrew Wojcieszczyk  
NIP: 118-00-45-417



**Lukbud Łukasz Surma**  
**Budownictwo monolityczne**  
**Budowa i wykończenia pod klucz**  
 ul. Dywizjonu 303 139 lok. 101  
 01-470 Warszawa, Bemowo  
 Woj. Mazowieckie  
 NIP: 9591574104


- ⇒ Wieloletnia współpraca naukowo-dydaktyczna rozpoczęta w 2016 roku;
- ⇒ List intencyjny do grantu LIDER.

Współpraca Firmy LUKBUD Łukasz Surma reprezentowaną przez Mgr inż. Łukasza Surmę z dr inż. Anna Stępień (Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, WBiA) w ramach praktyki budowlanej, dydaktycznej i naukowej.

⇒ Praktyka budowlana (prace monolityczne żelbetowe i betonowe w ramach realizacji budynków wielokondygnacyjnych mieszkalnych i mieszkalno-usługowych, prace fundamentowe i zabezpieczenia fundamentów budynków, odwodnienia, realizacja budynków jednorodzinnych, prace remontowe, adaptacyjne (adaptacje poddaszy), modernizacyjne (w tym termomodernizacje), przebudowy domów mieszkalnych);

⇒ Współpraca dydaktyczna (studenckie praktyki budowlane - realizowanie praktyk przez studentów z WBA, PŚk w firmie LUKBUD, materiały dydaktyczne do zajęć w formie zdjęć z realizowanych przez firmę inwestycji budowlanych dotyczące m.in.: wykonywania konstrukcji monolitycznych betonowych i żelbetowych z wykorzystaniem systemów deskowania m.in. PERI, DOKA prac żelbetowych, realizacji budynków jednorodzinnych, remontów i przebudowy budynków mieszkalnych i przemysłowych (m.in. remonty posadzek), montaż dźwigów budowlanych (żurawi budowlanych).

⇒ Współpraca naukowo-praktyczna: gospodarowanie materiałami budowlanymi i odpadami budowlanymi, analiza trwałości konstrukcji budowlanych monolitycznych w kontekście zastosowanych substratów i technologii produkcji materiałów budowlanych (beton), analiza wpływu inwestycji budowlanej na środowisko.

<b>LUKBUD Łukasz Surma</b>   <i>.....</i> <i>/podpis/</i>	<b>LUKBUD Łukasz Surma</b> ul. Dywizjonu 303 139/101 01-470 Warszawa NIP 9591574104 REGON 361180940 13.09.2023 <i>.....</i> <i>/data i pieczęć firmowa/</i>
--	---

**LUKBUD Łukasz Surma, ul. Dywizjonu 303 139/101, 01-470 Warszawa**  
 NIP: 959 157 41 04, REGON: 361180940, tel. 728 436 603, e-mail: [lukbud.waw@wp.pl](mailto:lukbud.waw@wp.pl)  
[www.lukbud.rzetelnafirma.pl](http://www.lukbud.rzetelnafirma.pl)

Sławomir Munik – Dyrektor marki  
DomyExpert  
Opakowania Eksportowe Sp. z o.o. sp.k.  
Kotarwice 33,  
26-624 Kowala

ZAKŁAD PRODUKCYJNY  
DOM POKAZOWY  
BIURO Domy Expert  
Kościuszki 109  
26-680 Wierzbica



Współpraca Firmy Domy Expert z dr inż. Anną Stępień (Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, WBiA) rozpoczęła się w marcu 2022 roku i wynikiem współpracy są przedsięwzięcia realizowane w ramach praktyki budowlanej, dydaktycznej i naukowej.

⇒ Współpraca naukowa - realizacja wspólnych publikacji naukowych dotyczących budownictwa szkieletowego w ramach tematyki związanej z rozwojem i budownictwem zrównoważonym.

⇒ Współpraca dydaktyczna – realizacja wykładów i spotkań ze studentami na Wydziale Budownictwa i Architektury, uczestnictwo w Targach Pracy organizowanych na terenie Politechniki Świętokrzyskiej, przekazanie Kołu Naukowemu Aragonit prototypu ścianki szkieletowej do celów dydaktycznych, jako wizualizacja konstrukcji ściany szkieletowej drewnianej, wizyty studentów i sympatyków Koła Aragonit w Zakładzie Produkcyjnym w Wierzbicy, udziału w procesie kształtowania młodych inżynierów poprzez prezentację procesu projektowego, produkcyjnego oraz wykonawczego budynków szkieletowych i prezentacji możliwości budownictwa drewnianego oraz przykładowych elementów konstrukcyjnych w zakresie konstrukcji drewnianych;

Nawiązana z dr inż. Anna Stępień oraz Kołem Aragonit działającym na Wydziale Budownictwa i Architektury PSK współpraca odznacza się umacnianiem i rozwijaniem współpracy pomiędzy jednostką naukową, a firmą, wzbudzaniem kreatywności inżynierskiej wśród studentów i wzmocnieniem procesu dydaktycznego w procesie kształtowania młodych inżynierów.

Dyrektor  
Sławomir Munik  
Opakowania Eksportowe

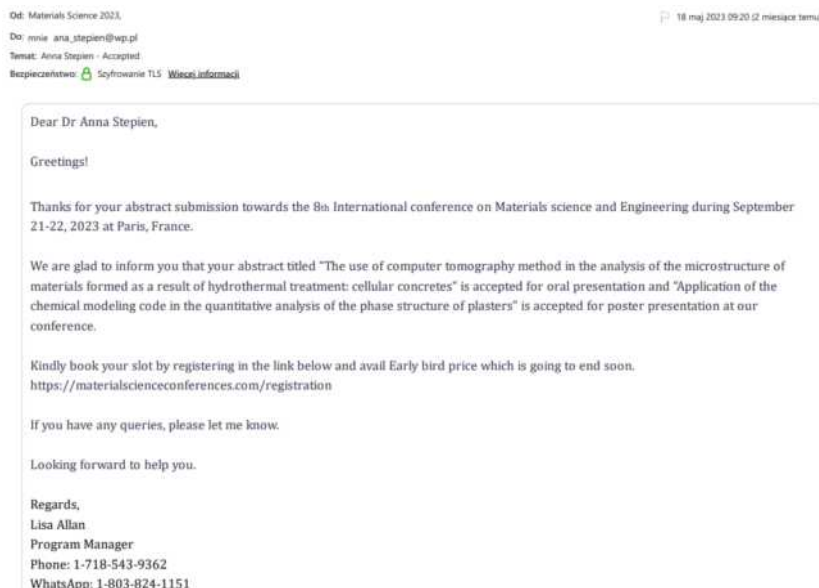
Opakowania Eksportowe Spółka  
z ograniczoną odpowiedzialnością sp.k.  
Kotarwice 33, 26-624 Kowala  
NIP 948-259-80-57 REGON 146348715  
KRS 0000711335  
podpis

/data i pieczęć firmowa/

⇒ Współpraca z Firmą ATLAS (list intencyjny w sprawie starań o grant LIDER XI, badania taumazytu, udział w konferencji w Paryżu (wrzesień 2023)).

## 8<sup>th</sup> International Conference on Materials Science & Engineering (Scopus Indexed) Sep 21-22, 2023, Paris, France

Anna Stepien (PŚk, autor korespondencyjny), Dale P. Prentice (UCLA), Magdalena Balonis (UCLA), Mariusz Hynowski (ATLAS), Jerzy Z. Piotrowski (PŚk) *Application of the chemical modeling code in the quantitative analysis of the phase structure of plasters.*



⇒ Sieci Wodne i Kanalizacyjne - Mariusz Bujak, Stanowiska 24, 29-120 Stanowiska - Zorganizowanie wykonania badań dla firmy Sieci Wodne i Kanalizacyjne wraz z analizą wyników badań składu chemicznego dla 8-miu próbek bentonitu.

## 7.5. GUEST EDITOR W CZASOPISMACH: Crystals i Energies oraz członek Organizacji WASET

### ENERGIES:

\*Special Issue "Economic Analysis and Environmental Optimization for Building Energy".

#### Share This Special Issue



#### Special Issue Editors



Dr. Anna Agata Stepien [E-Mail](#) [Website](#)

Guest Editor

Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, 25-314 Kielce, Poland

**Interests:** technology and innovation in the construction industry; the protection of man and the environment against adverse effects of some environmental factors; sustainable development; microstructure in building materials; chemical construction; building acoustics; underground construction; energetic audit

Special Issues, Collections and Topics in MDPI Journals



Prof. Dr. Grzegorz Mazurek [E-Mail](#) [Website](#)

Guest Editor

Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, 25-314 Kielce, Poland

**Interests:** pavement engineering; FEM modeling; bitumen and bituminous composites rheology; data mining; design of experiment theory

Special Issues, Collections and Topics in MDPI Journals



Prof. Dr. Jerzy Z. Piotrowski [E-Mail](#) [Website](#)

Guest Editor

Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology, Al. 1000-lecia PP7, 25-314 Kielce, Poland

**Interests:** renewable energy sources; energy-saving construction; natural construction; general construction; air conditioning and ventilation; the construction of energy-saving buildings

Special Issues, Collections and Topics in MDPI Journals

[Back to Top](#)

**CRYSTALS:**

\*Special Issue "Design and Processes of Structural Changes of Building Materials"

\*Special Issue "Advances in Microstructure and Durability of Cement-Based Materials"

**Special Issue Editors**

Dr. Md Rashadul Islam E-Mail Website

Guest Editor

Civil Engineering Technology, Colorado State University Pueblo, Pueblo, CO 81001, USA

Interests: cement; asphalt; aggregate; soil; fiber-reinforcing; pavement; sustainability

Special Issues, Collections and Topics in MDPI Journals



Dr. Alessio Cascardi E-Mail Website

Guest Editor

Institute for Construction Technologies, CNR, 00185 Rome, Italy

Interests: FRP; FRCM; strengthening; heritage; seismic; composites; analytical modeling

Special Issues, Collections and Topics in MDPI Journals



Dr. Anna Stepień E-Mail Website

Guest Editor

Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, al.1000-lecia PP 7, 25-314 Kielce, Poland

Interests: technology and organization of construction; building materials; autoclaved materials; concrete chemistry; carbonation; GEMS-PSI; thermodynamic modeling; sustainable development; sustainable construction; climate warming; CSH; tobermorite; microstructure of building materials; trenchless technologies (pipe roofing, microtunnelling); underground construction; wooden construction; shuttering; echnology;

**Special Issue Editors**

Prof. Dr. Maciej Sitarz E-Mail Website

Guest Editor

Faculty of Materials Science and Ceramics, AGH University of Science and Technology, Krakow MP, Poland

Interests: material engineering; structure and microstructure of building materials; IR and NMR spectroscopy; corrosion; chemistry of building materials

Special Issues, Collections and Topics in MDPI Journals



Assist. Adj. Prof. Magdalena Balonis E-Mail Website

Guest Editor

Department of Materials Science and Engineering, University of California Los Angeles, Los Angeles, CA, USA

Interests: cement chemistry and mineralogy; thermodynamic modeling; chloride in cement; characterization techniques for cement-based materials; conservation of cultural heritage

Special Issues, Collections and Topics in MDPI Journals



Dr. Anna Stepień E-Mail Website

Guest Editor

Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology, al.1000-lecia PP 7, 25-314 Kielce, Poland

Interests: technology and organization of construction; building materials; autoclaved materials; concrete chemistry; carbonation; GEMS-PSI; thermodynamic modeling; sustainable development; sustainable construction; climate warming; CSH; tobermorite; microstructure of building materials; trenchless technologies (pipe roofing, microtunnelling); underground construction; wooden construction; shuttering; echnology; environmental protection; energy audit



⇒ Recenzent w organizacji WASET (World Academy of Science, Engineering and Technology):

**ATTESTATION LETTER**

Assist. Prof. Dr. Anna Stepień  
University of Technology  
Poland

May 25, 2017

Welcome to the Scientific and Technical Committee & Editorial Review Board on Civil and Environmental Engineering.

On behalf of all of us as World Academy of Science, Engineering and Technology, we thank you for signing up for World Academy of Science, Engineering and Technology membership. We believe that you will find the programs and activities of World Academy of Science, Engineering and Technology innovative and a reflection of the shared interests and needs of its members. Your membership will allow us to provide you opportunities and tools to collaborate with your peers and to expose the worldwide research community to your work. We are an organization committed to representing your interests and look forward to working with you to advance engineering and scientific knowledge throughout the world.

We hope that you will contact us to suggest programs, events, or information services that you would like to see as a World Academy of Science, Engineering and Technology member. Please bookmark our website [www.waset.org](http://www.waset.org), where you will find complete information on upcoming conferences and publications.

Again, on behalf of the Board of Directors, we welcome you to World Academy of Science, Engineering and Technology.

Sincerely Yours,

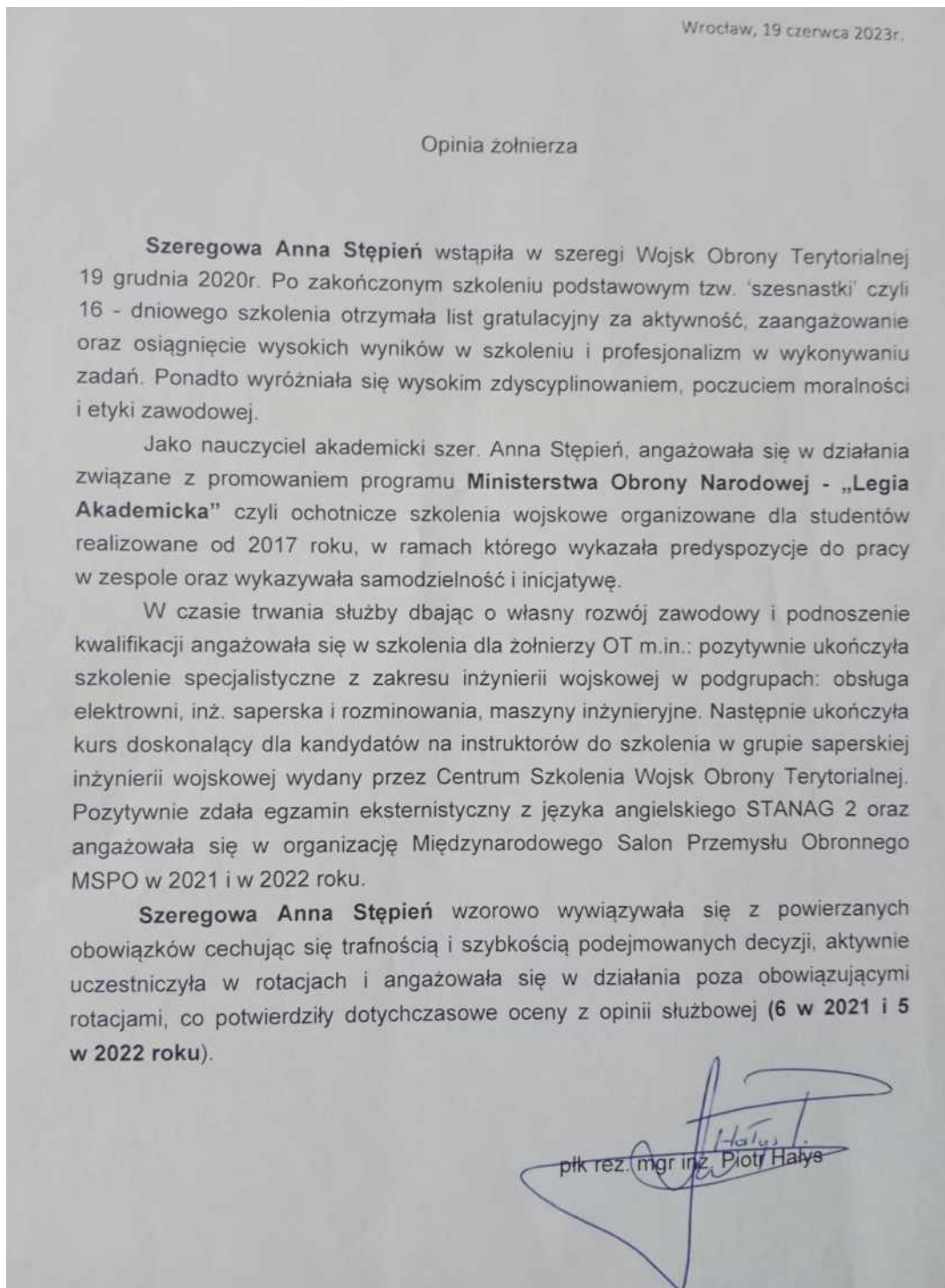


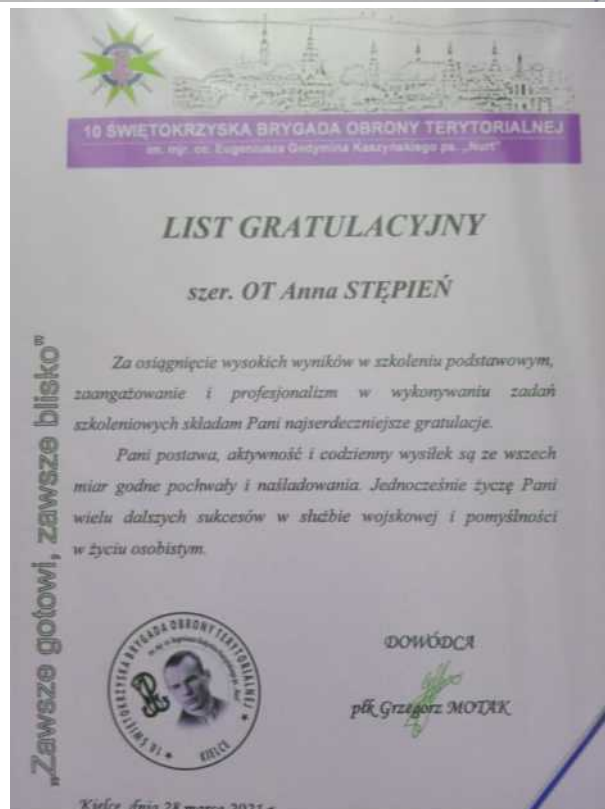
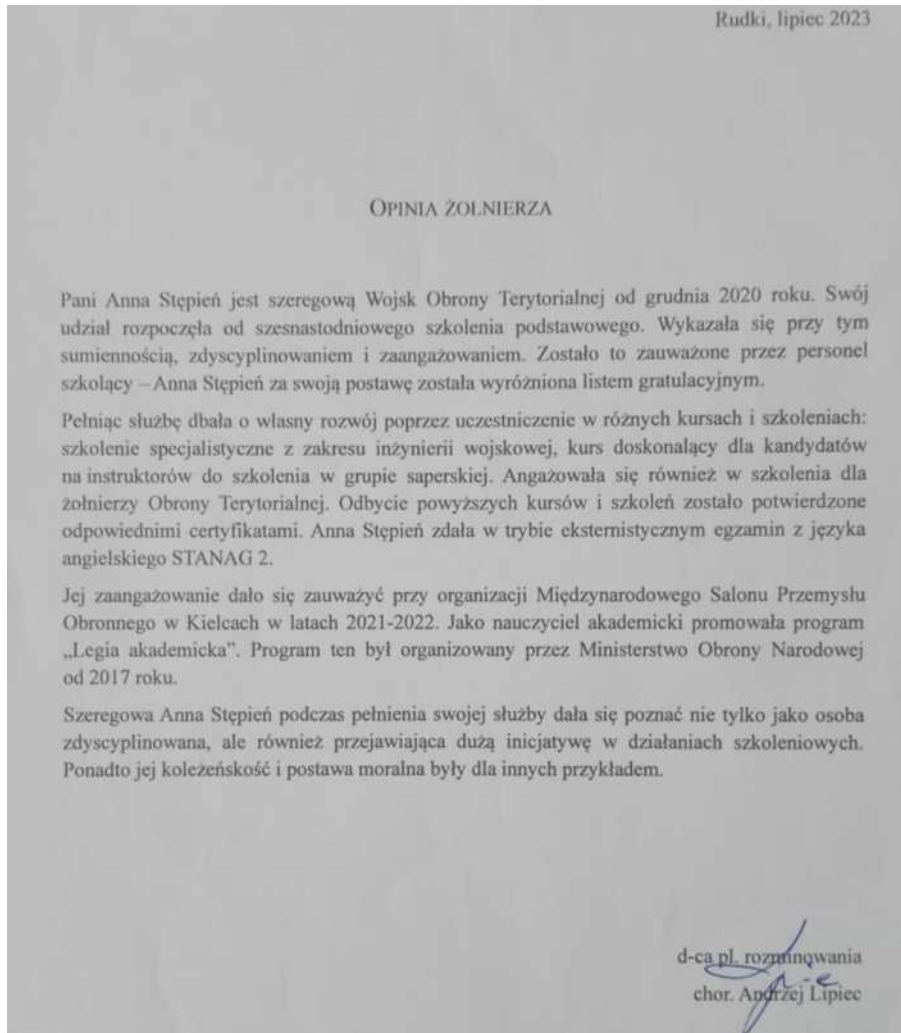
International Scientific Committee  
PO Box 982, Riverside,  
Connecticut, CT 06878, USA

**WORLD ACADEMY OF SCIENCE,  
ENGINEERING AND TECHNOLOGY**

## 7.6. ŻOŁNIERZ TSW – TERYTORIALNA SŁUŻBA WOJSKOWA

- ⇒ Opinia służbowa od Płk. Rez. Mgr inż. Piotra Hałusa – Dowódcy 10 Świetokrzyskiej Brygady Obrony Terytorialnej (do 30.11.2022r.).
- ⇒ Opinia służbowa od chorążego Andrzeja Lipca – Dowódcy Plutonu Rozminowania, Kompania Saperów, 10 Świetokrzyska Brygada Obrony Terytorialnej.
- ⇒ List gratulacyjny od Płk Grzegorza Motaka





  
MINISTERSTWO OBRONY NARODOWEJ  
DOWÓDZTWO WOJSK OBRONY TERYTORIALNEJ

**ŚWIADECTWO Nr 96/22/CSłil**

Na podstawie Protokołu Nr 2/A2/22/CSłil

stwierdza się, że

Pani/Pani ..... *szer. Anna STEPIEŃ*  
(Imię, nazwisko, stopień i nazwisko)

urodzony(a) ..... *26.02.1984 r.*  
(data urodzenia)

złożył(a) w dniu ..... *31 stycznia - 1 lutego 2022 r.*

egzamin z języka ..... *angielskiego*

zgodnie z Porozumieniem STANAG 6001  
i osiągnął(a) w podanych niżej sprawnościach następujące  
poziomy znajomości języka:

S (słuchanie)	M (mówienie)	C (czytanie)	P (pisanie)
0	2	2	2

  
DOWÓDCA  
WOJSK OBRONY TERYTORIALNEJ  
gen. broni Wiesław KUKUŁA

CENTRUM SZKOLENIA WOJSK OBRONY TERYTORIALNEJ

  
**ZAŚWIADCZENIE**  
UKOŃCZENIA KURSU DOSKONAŁACEGO

Pani( ) ..... *szer. Anna STEPIEŃ c. Jana*  
(Imię, nazwisko, stopień, nazwisko, data spł.)

urodzony(a) dnia ..... *26.02.1984 r.* w ..... *Pińczów*

uczestniczył(a) w okresie od ..... *19.02* do ..... *10.07.2022 r.*

w kursie podstawowym dla kandydatów na instruktorów do szkolenia w grupie saperkiej i inżynierii wojskowej

KOD ..... *5362004*

w korpusie osobowym ..... *inżynierii wojskowej*

ukończył(a) kurs z wynikiem ogólnym ..... *pozytywnym*

Nr 763/2022

  
KOMENDANT  
plk Edward CHYLA

Tonań, dnia 10.07.2022 r.

- ⇒ Kurs samoobrony Muay Thai w Akademii Muay Thai w Kielcach (ul. Jana Nowaka-Jeziorańskiego, 25-432 Kielce) oraz współorganizowanie samoobrony z zakresu podstaw sztuki walki Muay Thai i samoobrony dla Kompanii Dowożenia 10 Świętokrzyskiej Brygady Obrony Terytorialnej z trenerem Muay Thai Bartłomiejem Miniszewskim (wśród żołnierzy TSW są również studenci PSk).
- ⇒ Ukończenie 5-miesięcznego kursu samoobrony dla kobiet Krav Maga.
- ⇒ Uczestnictwo w Międzynarodowym Salonie Przemysłu Obronnego MSPO w Kielcach w roku: 2021 i 2022, jako tłumacz z jęz. angielskiego.



*Anna Stepień*  
(podpis wnioskodawcy)