

Badania dotyczą metod budowy obiektów budowlanych, w tym schronów na Ukrainie, przy użyciu innowacyjnej technologii druku 3D z betonu, przy wykorzystaniu odpadów występujących w Polsce, w USA i na Ukrainie. Badania prowadzone będą wg zasad zrównoważonego rozwoju środowiska. Beton to największy pod względem masy i objętości materiał wytwarzany przez ludzkość. Przyczynia się do 8% globalnej emisji CO<sub>2</sub>. Odbudowa Ukrainy będzie wiązała się z wyzwaniami inżynierskimi i finansowymi, które można zmniejszyć poprzez utylizację odpadów pochodzących ze zniszczonych i uszkodzonych obiektów oraz odpadów z innych źródeł. Oprócz tradycyjnych metod, szybka budowa schronów wymaga nowych technologii wykonawczych, w których poprzez zastosowanie druku 3D z betonu, można uprościć i przyspieszyć procesy produkcyjne, zapewniając oszczędności materiałów, energii i czasu. Zastosowanie materiałów odpadowych w budownictwie wiąże się z wyzwaniami naukowymi i inżynierskimi. Użycie kruszywa do betonu pochodzącego z recyklingu (recycled concrete aggregates - RCA) zamiast tradycyjnych kruszyw naturalnych, może zmniejszyć wytrzymałość powstałego betonu na ściskanie: im wyższa zawartość RCA, tym niższa wytrzymałość na ściskanie. Niejednorodny charakter odpadów budowlanych może również zmniejszyć trwałość nowych konstrukcji. Czynniki te powodują niskie użycie RCA zarówno w zastosowaniach konstrukcyjnych, jak i niekonstrukcyjnych w USA i w Europie. Celem projektu jest wykorzystanie materiałów odpadowych przy zachowaniu wysokich parametrów trwałościowych i wytrzymałościowych projektowanego kompozytu. Podobne wyzwania dotyczą innych materiałów odpadowych, które można wykorzystać w betonie (popiół lotny, cegła, szkło i inne). Ponadto, drukowanie z betonu z zastosowaniem materiałów odpadowych wymaga nowej wiedzy na temat właściwości reologicznych i wytrzymałościowych innowacyjnej mieszanki i kompozytu. Przedmiotem projektu jest także zastosowanie przetworzonej żywności oraz odpadów rolniczych w drukowaniu 3d z betonu. Celem projektu jest opracowanie zależności między składem mieszanek i parametrami odpadów, w zakresie chemicznym oraz fizycznym. Zaprojektowane zostaną kompozyty o nowych właściwościach mechanicznych, termicznych, trwałościowych, a także o właściwościach samonaprawialnych dzięki zastosowaniu odpadów o różnej granulacji (nano, micro, macro). Szczególnie nowatorskim podejściem jest przeprowadzenie analizy cyklu życia (Life Cycle Analysis - LCA) dla kruszyw z odpadów, w zależności od ich wielkości i składu chemicznego. Badania będą prowadzone w sposób usystematyzowany, udowadniając poniżej przedstawione hipotezy.

**Hipoteza 1:** Projektowanie hierarchiczne kompozytów uwzględniające różny rozmiar cząstek odpadów i ich skład rozwiąże aktualne problemy wykonania ekologicznych betonów drukowanych 3D i produkowanych w sposób tradycyjny. Zastosowane zostaną materiały odpadowe o wysokim stopniu przetworzenia (np. mikro- i nanoceluloza) oraz umiarkowanym stopniu przetworzenia (włókna naturalne, odpad szklany, kruszywo z recyklingu betonowego).

**Opis badań 1:** Zaprojektowane zostaną mieszanki zawierające różne ilości RCA, odpadu szklanego (Ground Glass Pozzolan - GGP) i włókien, których ilość zostanie dobrana wg wymagań użytkowych wynikających z przeznaczenia kompozytów na obiekty schronów. Badane będą mieszanki o różnych proporcjach GGP, cementu, piasku kwarcowego, wody i celulozy. Prócz mieszanek do druku 3d, przygotowane będą mieszanki dla betonów produkowanych w sposób tradycyjny.

**Hipoteza 2:** Materiał z recyklingu betonu będzie przygotowany na drodze obróbki fizycznej i chemicznej, z zastosowaniem GGP dla poprawienia struktury porów RCA oraz dla wytworzenia fazy CSH w celu wzmocnienia strefy kontaktu kruszywo – zaczyn (Interfacial Transition Zone – ITZ), poprzez reakcję z istniejącym Ca (OH)<sub>2</sub>.

**Opis badań 2:** W celu produkcji betonu tradycyjnego i drukowanego 3D, RCA podlegać będzie trzy etapowemu przygotowaniu. W pierwszym etapie RCA zostanie pokruszony do uziarnienia odpowiadającego kruszywu drobnemu. Kontrola odbywać się będzie poprzez analizę sitową. Następnie tak przygotowane RCA poddane zostanie obróbce chemicznej w kwasie i następnie dodane będzie GGP.

**Hipoteza 3:** Zastosowanie materiałów odpadowych w mieszankach do drukowania 3D wymaga zaprojektowania odpowiednich właściwości reologicznych mieszanek poprzez zastosowanie domieszek chemicznych, w tym superplastyfikatorów.

**Opis badań 3:** W produkcji mieszanek zastosowane będą domieszki chemiczne na bazie polikarboksylanów (polycarboxylate based chemical admixtures - PCE) i środków modyfikujących lepkość (viscosity modifying agents - VMA). Z analizy literatury światowej przedmiotu wynika, że PCE są superplastyfikatorami stosowanymi jako dyspergatory polimerowe o największej skuteczności, natomiast zastosowanie VMA, polepszy parametry mechaniczne kompozytu, m.in. zwiększy jego moduł sprężystości.