



DOBÓR INTELEKTUALNY 1 ZADANIE O1-A2

Zrównoważone metody i procedury budowlane stosowane wraz z nowymi technologiami



Wsparcie Komisji Europejskiej dla produkcji tej publikacji nie stanowi poparcia dla treści, które odzwierciedlają jedynie poglądy autorów, a Komisja nie może zostać pociągnięta do odpowiedzialności za jakiegokolwiek wykorzystanie informacji w niej zawartych.



Ta praca jest dostępna na licencji [Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



Universitatea
Transilvania
din Braşov



ROMANIA
GREEN
BUILDING
COUNCIL



Centro Tecnológico
del mármol, piedra y materiales





WPROWADZANIE

Ten raport jest zawarty w zadaniu „ O1-A2. *Metody i procedury zrównoważonego budownictwa stosowane wraz z nowymi technologiami* ” odpowiadającym wynikom intelektualnym 1 „ *Ustanowienie wspólnych efektów uczenia się w zakresie rekultywacji obszarów przemysłowych za pomocą nowych technologii, oceny cyklu życia (LCA) i odpowiednich przepisów* ” projektu RecoverIND.

Wszystkie metody, umiejętności i kompetencje związane z nowymi technologiami (wykorzystanie dronów, termografia, czujniki, skanery 3D, robotyzacja procesów, zastosowanie systemów cyberfizycznych) zostały przeanalizowane, aby opracować raport, który można zastosować w celu ulepszenia systemu szkoleniowego i metodyki pedagogicznej w tym sektorze. Uwzględniono również środowiskowe metody i procedury wykorzystania nowych technologii w sektorze budowlano-remontowym.

Zadanie to było fundamentalne dla ustanowienia podstawy teoretycznej, która wspiera program nauczania opracowany w IO1.

Raport i wszystkie informacje o projekcie są dostępne pod następującym adresem URL:

- Strona projektu RecoverIND: <https://recoverind.eu/en/project/>

Nowe ekologiczne i innowacyjne technologie i metodyki stosowne w celu odzyskiwania terenów przemysłowych z punktu widzenia LCA i efektywności energetycznej

Aby przyszłe pokolenia mogły cieszyć się pięknem i bogactwem Ziemi, naukowcy opracowali i wdrażają od 1972 roku koncepcję zrównoważonego rozwoju. Koncepcja koncentruje się na kwestiach środowiskowych i zasobach naturalnych, zwłaszcza tych związanych z energią. Sektor budownictwa ma ogromny wpływ na oszczędność energii, dlatego też Rumunia, podobnie jak wszystkie państwa członkowskie UE, przyjęła przepisy ustawowe, wykonawcze i administracyjne niezbędne do wykonania dyrektywy 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej [1].

Koncepcja zrównoważonego rozwoju w środowisku zabudowanym

Koncepcja zrównoważonego rozwoju narodziła się w 1972 roku w Sztokholmie na konferencji Organizacji Narodów Zjednoczonych, na której 113 obecnych krajów wyraziło zaniepokojenie wpływem działalności człowieka na środowisko. Poruszane na tym spotkaniu problemy dotyczyły zanieczyszczeń, niszczenia zasobów, degradacji środowiska, wymierania gatunków oraz konieczności podnoszenia poziomu życia ludzi i jakości środowiska dla obecnych i przyszłych pokoleń.

Aby w budownictwie realizowana była koncepcja zrównoważonego rozwoju, muszą nastąpić zasadnicze zmiany zarówno na poziomie koncepcyjnym, jak i technologicznym. Pozwala ona budować w sposób zrównoważony, oparty na koncepcyjnych modelach wydajności, z niewielkim wpływem na środowisko, przy użyciu materiałów pochodzących z recyklingu i/lub materiałów o niskim ucieleśnionym zużyciu zasobów pierwotnych i energii. Zużycie energii przez cały okres eksploatacji budynku, zwane energią eksploatacyjną, jest jednym z najważniejszych kluczy w sektorze budowlanym. W przypadku budynków charakterystyka cieplna lub efektywność energetyczna mają znaczący wpływ ekonomiczny, społeczny i środowiskowy [2].

Środowiskowe metody i procedury wykorzystania nowych technologii w sektorze budownictwa i renowacji mogą być istotnym podejściem, które jest szybkie, efektywne i przyjazne dla środowiska. Technologie te opierają się na wykorzystaniu dronów, termografii, czujników, skanerów 3D, robotyzacji procesów współpracujących i zastosowaniu systemów cyberfizycznych.

Aby mieć całościowy obraz koncepcji zrównoważonego rozwoju, poza nowoczesnymi technologiami, musimy skupić się na budynku i jego otoczeniu. Obszar ten musi spełniać następujące parametry: efektywny wybór lokalizacji, projekt pod

kątem trwałości konstrukcji, dobór materiałów, wdrożenie gospodarki odpadami, efektywność energetyczna i wodna, jakość powietrza w pomieszczeniach oraz demontaż i ponowne wykorzystanie komponentów pochodzących z recyklingu. Wszystkie te parametry mają ogromny wpływ na ocenę cyklu życia budynku.

Biorąc pod uwagę ogromną ilość energii i materiałów zużywanych w budownictwie, oddziaływanie na środowisko staje się niezbędnym warunkiem procesu projektowego. Co więcej, oddziaływanie to powinno być brane pod uwagę na wszystkich etapach budowy, począwszy od wznoszenia, przez okres eksploatacji i koniec okresu użytkowania. Ponieważ przemysł budowlany jest odpowiedzialny za ponad połowę szkodliwych emisji na planecie, oszacowanie wpływu, jaki wywiera na środowisko, wkrótce stanie się koniecznością i zostanie włączone do procesu projektowania.

Efektywność energetyczna – nowy cel dla zasobów budowlanych

Przyszłe rozwiązania będą takie, które zapewnią bezpieczeństwo i funkcjonalność budynku, przy minimalnych kosztach i minimalnym wpływie na środowisko. Rumunia wciąż musi udoskonalić ten segment, obowiązujące przepisy dotyczące określania wpływu nowoprojektowanych budynków na środowisko nie są wystarczająco odpowiednie.

Obecny stan efektywności energetycznej w Rumunii zmienił się w porównaniu z latami 2012-2014, kiedy nie istniał żaden spójny mechanizm oceny i weryfikacji. Ponadto kontekst legislacyjny dostosowano do nowego kontekstu i potrzeb. Niektóre z głównych celów koncentrują się na redukcji gazów cieplarnianych i zwiększeniu udziału energii odnawialnej. Ponadto z dokumentu „Energy Roadmap 2050”, przedstawionego przez Komisję Europejską w grudniu 2011 r. wynika, że dla osiągnięcia celu redukcji o 80% emisji gazów cieplarnianych do 2050 r., niezależnie od wykorzystywanych źródeł energii, konieczne jest zwiększenie wymaganego poziomu efektywności energetycznej [2]. Jest to możliwe tylko dzięki unowocześnieniu nie tylko metod i materiałów konstrukcyjnych, ale także procedur opartych na nowych technologiach. Z pomocą tych nowych technologii możemy poprawić efektywność energetyczną i ocenę cyklu życia.

Krajowa polityka efektywności energetycznej określa szczegółowe cele i środki poprawy oszczędności energii odnoszące się do wszystkich sektorów gospodarki narodowej, w szczególności odnosząc się do (ustawy nr 121/2014 o efektywności energetycznej) [3]:

- a) Wprowadzenie w przemyśle energooszczędnych technologii, nowoczesnych systemów pomiarowo-kontrolnych i systemów zarządzania energią, służących

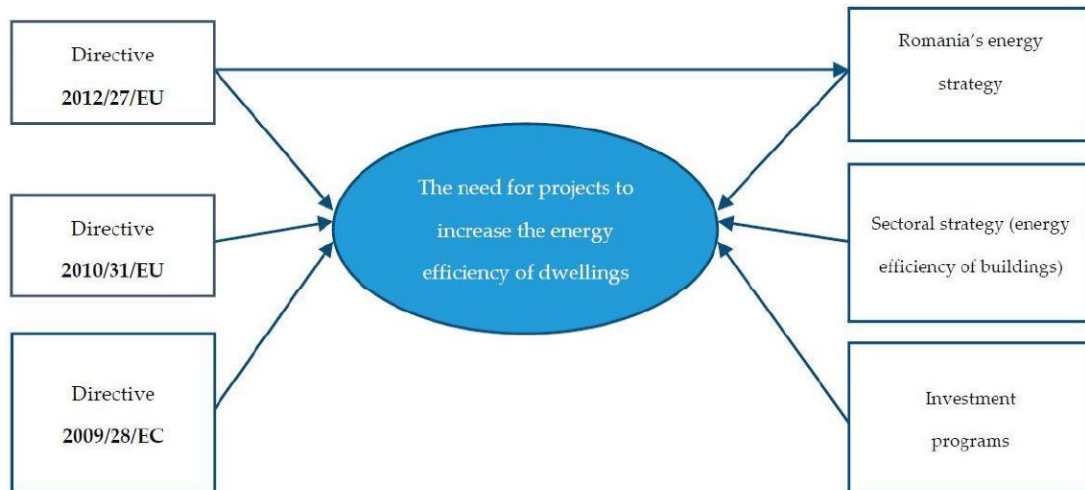
- do monitoringu, bieżącej oceny efektywności energetycznej i prognozowania zużycia energii.
- b) Promocja sprzętu i urządzeń energooszczędnych dla użytkowników końcowych oraz promocja wykorzystania energii odnawialnej.
 - c) Zmniejszenie wpływu na środowisko produkcji, transportu, dystrybucji i zużycia wszystkich form energii.
 - d) Stosowanie nowoczesnych zasad gospodarowania energią.
 - e) Zapewnienie w ustawie zachęt finansowych i fiskalnych do korzystania z energii odnawialnej.
 - f) Rozwój rynku usług energetycznych.

Efektywność energetyczna stała się jednym z najważniejszych tematów badawczych w obecnej epoce pod względem jej wielorakich ujęć: ekologicznego, technologicznego, ekonomicznego czy społecznego [4]. Jest uważany za kluczowy zasób rozwoju gospodarczego i społecznego [5] oraz za jeden z najskuteczniejszych sposobów łagodzenia zmian klimatycznych [6].

W Unii Europejskiej budynki są najważniejszym elementem polityki efektywności energetycznej. Odpowiadają one za prawie 40% końcowego zużycia energii na poziomie UE. Krajowe zapotrzebowanie na energię wyniosło 21 644 toe, z czego 7375 toe stanowiła energia zużyta w gospodarstwach domowych, 6472 toe energia zużyta w przemyśle, 1762 toe energia zużyta w usługach, 5577 toe energia zużyta w transporcie i 458 toe energia zużyta w rolnictwie [4]. W Rumunii zużycie energii w budynkach mieszkalnych i niemieskalnych stanowi prawie 45% całkowitego zużycia energii. Ponieważ wnosi znaczący wkład w zużycie energii, sektor mieszkaniowy podlega kilku politykom mającym na celu ograniczenie zużycia energii w tym sektorze. Na szczeblu krajowym konieczne jest wdrożenie wymagań Dyrektywy 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków [7] oraz Dyrektywy 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej [8]. Dyrektywa 2009/28/WE (RED) wymaga stosowania minimalnych poziomów energii ze źródeł odnawialnych w nowych budynkach oraz istniejących budynkach poddawanych ważniejszym renowacjom [9].

Na poziomie europejskim, oprócz trzech celów na rok 2020 (20% redukcja emisji gazów cieplarnianych w UE, 20% wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych), kilka celów długoterminowych na rok 2050 z oczywistym wpływem na sektor mieszkaniowy. Cele te skupiają się na przejściu do gospodarki niskoemisyjnej (co będzie wiązało się ze znaczną redukcją emisji dwutlenku węgla z mieszkań) oraz perspektywie energetycznej, która zakłada zwiększenie efektywności energetycznej nowych i istniejących budynków.

Na poziomie sektorowym w 2014 r. przyjęto strategię mobilizacji inwestycji w renowację istniejących budynków mieszkalnych i komercyjnych na poziomie krajowym. Zgodnie ze strategią przyjętą na poziomie sektorowym, rocznym celem termomodernizacji jest co najmniej 1% istniejących krajowych zasobów budowlanych [4].



Rysunek 1 . Główne determinanty projektów efektywności energetycznej zasobów mieszkaniowych.

Obecnie troska o globalne wyczerpanie energetyczne czyni ze zwiększania efektywności energetycznej budynków niezbędny standard ekonomiczny; więc poza czynnikami estetycznymi leżącymi u podstaw konstrukcji budynku, musi on być zaprojektowany również z punktu widzenia efektywności energetycznej [10].

Głównym celem budynków niskoenergetycznych jest minimalizacja ilości energii kupowanej z zewnątrz – zapewnienie komfortu cieplnego w pomieszczeniach – niezależnie od pory roku i warunków klimatycznych panujących na zewnątrz [11]. W budynkach niskoenergetycznych zazwyczaj stosuje się wysoki poziom izolacji oraz energooszczędne okna w celu zmniejszenia zapotrzebowania na ogrzewanie i chłodzenie oraz uzyskania wysokiej efektywności energetycznej.

Na zwiększenie efektywności energetycznej budynków składa się zespół metod i technik, które uwzględniają zarówno budynki, jak i ośrodek wymiany energii z otoczeniem.

Poprawę charakterystyki energetycznej budynku można osiągnąć różnymi metodami, takimi jak:

- na poziomie budynku poprzez stworzenie warunków komfortu wewnętrznego, odpowiednio dobrą izolację ścian oraz zastosowanie okien o wysokim stopniu ochrony termicznej.
- zwiększenie wydajności systemów grzewczych.
- zwiększenie wydajności układów klimatyzacji oraz instalacji elektrycznych.

Możliwości zwiększenia efektywności energetycznej budynku

Najlepszym rozwiązaniem o największej efektywności pozyskiwania ciepła i oszczędności nośnika ciepła jest ocieplenie całego budynku, zarówno dachu, jak i piwnicy, przez które uciekają duże ilości ciepła. Największe straty budynku występują w zakresie energii cieplnej. Z tego powodu wymagane jest zastosowanie kilku dodatkowych środków uwzględniających następujące aspekty:

- przegroda termiczna budynku musi zapewniać komfortowy klimat wewnętrzny przy niskim zużyciu energii, niezależnie od pory roku (zarówno w porze ciepłej, jak i zimnej) [12-16];
- Okna muszą mieć jak najniższy współczynnik strat ciepła i jak największy zysk nasłonecznienia, aby zaoszczędzić więcej energii.
- Właściwe ocieplenie dachu szczególnie w budynkach kilkukondygnacyjnych.

Do szczegółowego badania zachowania energetycznego budynków konieczna jest znajomość właściwości konstrukcyjnych i materiałów ścian, sufitów, podłóg, okien i dachu.

Oprócz wyżej wymienionych aspektów, które koncentrują się na przegrodzie termicznej, oknach i właściwej izolacji, możemy również inwestować w waloryzację istniejących zasobów budowlanych, wykonując następujące kroki:

- Funkcjonalna przebudowa budynków przemysłowych na powierzchnie biurowe, centra rozrywkowe lub apartamenty
- Doskonalenie zarządzania placem budowy poprzez zastosowanie nowoczesnych metod i technologii nadzoru i kontroli na budowie: skanery 3D, drony
- Wykorzystanie termografii, czujników i systemów cyberfizycznych do poprawy efektywności energetycznej
- Zwiększenie wydajności systemów HVAC
- Wykorzystanie materiałów ze zrównoważonych źródeł, lokalnych zasobów.

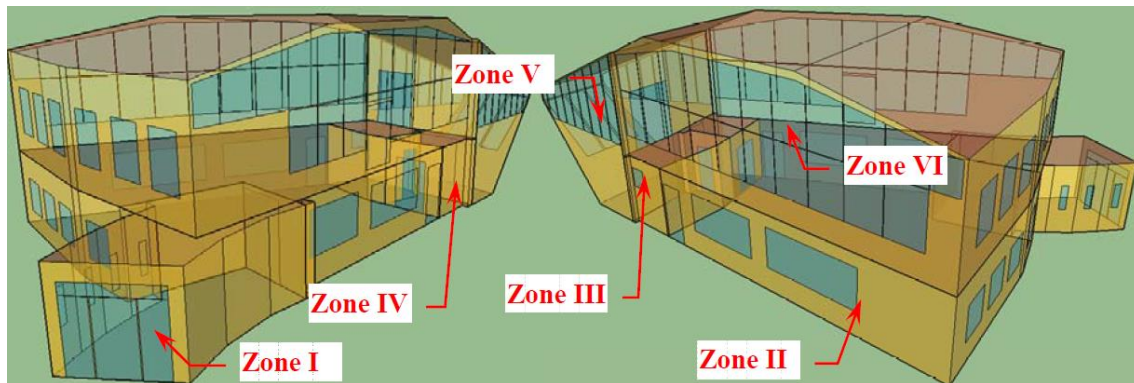
Symulację charakterystyki energetycznej budynku proponowanego do badania przeprowadzono za pomocą oprogramowania do analizy stanów przejściowych TRNSYS (TRansient System Simulation) [17]. To oprogramowanie jest dynamicznym programem symulacyjnym, który korzysta z modułowej struktury, która umożliwia jego uzupełnienie o modele matematyczne.

Symulacja energetyczna została przeprowadzona przy użyciu danych pogodowych zarejestrowanych przez lokalną stację meteorologiczną (obszar miejski Braszowa) poprzez zaimplementowanie ich w podprogramach TRNSYS; uznano, że aby uzyskać tak dokładne obliczenia energii, ważne jest posiadanie dokładnych danych pogodowych (dane dotyczące promieniowania słonecznego, temperatury otoczenia, wilgotności względnej, prędkości i kierunku wiatru) [10].

Implementacja modelu budynku składała się z następujących kroków:

- Definiowanie stref termicznych i ich charakterystyka.
- Szczegółowa specyfikacja elementów przegród budowlanych, właściwości optycznych okien, program pracy urządzeń.
 - Definiowanie orientacji dla budynku i powierzchni przeszklonych.
 - Specyfikacja infiltracji ze względu na szczelności i rodzaj klimatyzacji.
 - Specyfikacja reżimów ogrzewania i chłodzenia (temperatury w dzień i w nocy, dostarczona moc grzewcza).
 - określenie wewnętrznych wzmocnień rozłożonych na trzy składowe (osoby, sztuczne oświetlenie, urządzenia elektryczne).
- Szczegółowy opis rodzaju cieniowania.

To studium przypadku skupiające się na obliczaniu energii za pomocą metod obliczeniowych zostało zrealizowane dla budynku biurowego *Uniwersytetu Transylwańskiego w Braszowie*; Budynek ma dwie kondygnacje o powierzchni zabudowy 260m². Północne i południowe ściany zewnętrzne drugiej kondygnacji zbudowane są głównie z okien, co znacząco zmienia charakterystykę energetyczną budynków [10].



Rysunek 2 . Obliczenia energetyczne dla budynku w Braszowie (Rumunia) z wykorzystaniem metod obliczeniowych.

Rola symulacji komputerowej w projektowaniu opartym na charakterystyce energetycznej budynków jest bardzo ważna, aby uzyskać pewne wyniki, na podstawie których zostanie ustalone ostateczne rozwiązanie. Korzystając z bibliotek materiałów budowlanych, okien, danych pogodowych i norm do określania parametrów użytkowych budynków, poprzez symulacje komputerowe można ocenić parametry zapewniające efektywność energetyczną budynku (obliczenia obciążeń budynku i zużycia energii; ocena warunków komfortu cieplnego, zachowanie termiczne itp.).

Efektywność energetyczna jest centralnym punktem wszystkich strategii na rzecz inteligentnego i zrównoważonego wzrostu oraz przejścia na gospodarkę efektywnie korzystającą z zasobów. Efektywność energetyczna jest jednym z najbardziej opłacalnych sposobów zwiększania bezpieczeństwa dostaw energii oraz ograniczania emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń. Pod wieloma względami efektywność energetyczną można postrzegać jako największy zasób energetyczny na świecie [18].

Dlatego inwestycje w efektywność energetyczną pomogą osiągnąć 3 cele:

- Zrównoważony wzrost gospodarczy.
- Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego.
- Redukcja emisji gazów cieplarnianych.

Ważnym elementem monitorowania efektów strategii polityki energetycznej są bazy danych, niezbędne do analiz i ocen strategicznych, w szczególności do sporządzania i interpretacji raportów dotyczących zużycia energii i postępów w zakresie efektywności energetycznej.

Na arenie międzynarodowej istnieją duże bazy danych zarządzane przez międzynarodowe organizacje o długiej tradycji w tworzeniu statystyk dotyczących energii:

- Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA), prowadząca szczegółowe statystyki dotyczące bilansów energetycznych, stawek i opłat za różne formy energii, emisji CO₂ oraz opracowująca prognozy energetyczne.
- Projekt ODYSSEE MURE, finansowany przez Komisję Europejską w ramach programu „Inteligentna Energia dla Europy”, zawiera wskaźniki efektywności energetycznej na poziomie makroekonomicznym, sektorowym i podsektorowym dla 29 krajów (UE27, Norwegia i Chorwacja). Ten projekt skupia się na dwa główne bazy danych :
 - Baza danych ODYSSEE ze wskaźnikami efektywności energetycznej, wskaźnikami CO₂ oraz wszystkimi danymi potrzebnymi do obliczenia tych wskaźników.
 - Baza danych MURE do oceny wpływu środków efektywności energetycznej.
- Wskaźniki ekonomiczne, wykorzystywane jako dane wejściowe do obliczania wskaźników efektywności energetycznej i niezbędne do opracowania prognoz i strategii energetycznych. Pozwalają na ocenę gospodarki jako całości oraz w podziale na sektory gospodarki i podsektory.
- Wskaźniki energetyczne to wskaźniki zużycia energii i jej struktury oraz leżące u podstaw racjonalnych strategii efektywności energetycznej [18].

Standard domu pasywnego

Koncepcja ta zyskuje coraz większą świadomość w segmencie użytkowników końcowych, ale także w przypadku specjalistów takich jak: architekci, inżynierowie, konstruktorzy itp. Pierwszy certyfikowany dom pasywny powstał w 2008 roku w Danii pod nadzorem architekta Olafa Langerkampa . Przed tym Projektem powstawały również inne eksperymentalne projekty w Szwajcarii czy Niemczech, skupiające się głównie na mieszkalnictwie zbiorowym lub skierowane do sektora edukacyjnego (przedszkola , szkoły).

Dom pasywny (niem. Passivhaus) to dobrowolny standard efektywności energetycznej w budynku, który zmniejsza ślad ekologiczny budynku. Efektem są budynki o bardzo niskim zużyciu energii, które wymagają niewielkiej ilości energii do ogrzewania lub chłodzenia pomieszczeń.

W Rumunii koncepcja domu pasywnego jest stosunkowo nowa i większość ludzi podchodzi do niej sceptycznie, głównie ze względu na wyższy koszt początkowy inwestycji. Niemniej jednak w ostatnich latach w różnych częściach kraju zrealizowano z powodzeniem kilka projektów domów pasywnych [19].



Rysunek 3 . Dom pasywny Che położony w hrabstwie Suczawa.

Położony w północnej Rumunii, w mieście Suceava, otoczony dojrzałym lasem, Passive House Che cieszy się otaczającym środowiskiem, przenikającym do wnętrza przez duże okna. Choć większość domów pasywnych nie ma ogromnych przeszklonych ścian, ten ma i cieszy się wysokim poziomem naturalnego światła. W rzeczywistości centralny rdzeń jest całkowicie przeszklony i służy jako atrium dla domu, aby przyciągać światło do wewnętrznych części. Tutaj również dom ma parter z trawy i salon z siatką, do którego można wejść z drugiego piętra. Mieszkańcy mogą bawić się lub odpoczywać na tarasie i czuć się jak na zewnątrz, mimo że są w pomieszczeniach.

Poza mnóstwem światła i strefą zabawy, dom zaprojektowany przez Tecto Architecture przechodzi proces oceny domu pasywnego i szacuje się, że zużywa tylko 14 kWh/m²/rok. W domu zastosowano naturalne materiały izolacyjne, wysokowydajne okna, system zarządzania energią oraz gruntową pompę ciepła. Zielony dach zastępuje przestrzeń życiową utraconą przez dom, a naturalne listwy cedrowe na zewnątrz

pomagają wtopić się w otaczające środowisko. Docelowo na dachu zostanie zainstalowany system fotowoltaiczny, który zapewni energię dla domu [20].

O nowych technologiach w budownictwie wszystkie metody, umiejętności i kompetencje związane z tymi nowymi technologiami (wykorzystanie dronów, termografia, czujniki, skanery 3D, robotyzacja procesów współpracujących i zastosowanie systemów cyberfizycznych) zostaną przeanalizowane i zaprezentowane w kontekście rumuńskiego środowiska zbudowanego i budownictwa metody.

Drony

Rumunia jest częścią Unii Europejskiej i dlatego musi przestrzegać przepisów dotyczących dronów wprowadzonych przez Agencję Bezpieczeństwa Lotniczego Unii Europejskiej (EASA). Oprócz tych przepisów w Rumunii obowiązują również przepisy dotyczące poszczególnych krajów.

Do zeszłego roku prawodawstwo nie było jasne w odniesieniu do wykorzystania dronów i może to być jeden z powodów, dla których drony nadal nie są wykorzystywane w sektorze budowlanym. Mimo, że drony były obecne w Rumunii w ciągu ostatnich 10 lat, ich głównym celem było monitorowanie lub źródło widoku z lotu ptaka dla różnych firm rozwijających infrastrukturę, taką jak autostrady czy drogi krajowe.

Istnieje duży potencjał i zainteresowanie ze strony sektora budowlanego, zwłaszcza w przypadku realizacji projektów na dużą skalę, gdzie dron może sprawić, że proces będzie bardziej wydajny i opłacalny [21]. Monitoring dużych placów budowy to jeden z najtrudniejszych aspektów zarządzania projektami budowlanymi. Każdy etap projektu budowlanego ma swoje własne kluczowe obszary monitorowania. Kierownicy projektów muszą monitorować pracę pracowników terenowych, którzy wykonują wykopy, aby wylać fundament. Kierownicy projektów muszą monitorować pracowników terenowych pracujących na rusztowaniach na etapie budowy.

W porównaniu z innymi sektorami branża wolno wdraża nowe technologie cyfrowe, mimo że długoterminowe korzyści są znaczące. W tym celu najlepszym rozwiązaniem są komercyjne drony lub bezzałogowe statki powietrzne (UAV).



Rysunek 4 . Drony wykorzystywane w budownictwie.

Budowniczy używają dronów do zbierania danych o projektach w czasie rzeczywistym i zrozumienia, co dzieje się na budowie. Informacje z powietrza mogą usprawnić śledzenie postępów i wykrywać problemy na wczesnym etapie, zanim staną się one kosztowne lub opóźnią harmonogram projektu. Korzystanie ze specjalnie opracowanego oprogramowania (DroneDeploy) ułatwia planowanie, komunikację i utrzymywanie projektów na właściwej drodze dzięki tym informacjom. Drony mogą pomóc w pomiarach lotniczych, mapowaniu topografii, a wyniki zobrażeń z drona są bardzo zróżnicowane:

- Ortofotomapy i ortomozaiki.
- Chmury punktów.
- Cyfrowy teren modele (DTM) i powierzchnia cyfrowa modele (DSM).
- modele 3D .
- Surowe obrazy .

Te obrazy wyjściowe mają różne zalety i funkcje, z których wszystkie opisano w poniższej tabeli.

1	Ortofotomapy i ortomozaiki	Przetwarzanie końcowe koryguje zniekształcenia obrazu i łączy je razem, tworząc mapę ortomozaiczną . Każdy piksel można wykorzystać do uzyskania precyzyjnych pomiarów, takich jak odległości i powierzchnie. Można je używać do nakładania planów i projektowanych projektów w celu śledzenia postępów w budowie.
2	Chmury punktów	Obrazy z drona mogą tworzyć gęstą chmurę punktów. Każdy punkt ma kolor i informacje geoprzestrzenne (X, Y, Z). Jest to bardzo dokładny model odległości, powierzchni i objętości.
3	Cyfrowy model terenu (DTM) i powierzchnia cyfrowa - model (DSM)	Każdy piksel w modelach DSM i DTM zawiera informacje 2D (X i Y) oraz wysokość (Z) w najwyższym punkcie. Modele te można wykorzystać na przykład do określenia, który obszar terenu jest narażony na zalanie wodą lub do wynajęcia wykonawcy, który spłaszczy ziemię.
4	modele 3D	Siatka teksturowana 3D odtwarza krawędzie, twarze i teksturę obszaru, który został sfotografowany przez drona. Ten model najlepiej nadaje się do inspekcji wizualnej lub gdy niezbędny jest wkład opinii publicznej lub zaangażowanie zewnętrznych interesariuszy.
5	Surowe obrazy	Surowe obrazy nie są przetwarzane i oferują wyższy poziom szczegółowości, co może okazać się bardzo pomocne przy inspekcji i analizie zasobów.

Tabela 1 . Obrazy wyjściowe z dronów.

Drony mają również bardzo szybki wpływ na branżę budowlaną, zwłaszcza w sektorze operacyjnym. Firmy są świadome korzyści płynących z wykorzystania dronów, mimo że w Rumunii wciąż jesteśmy na początkowym etapie. Firmy te są otwarte na dostosowanie i zmianę sposobu pracy, a drony mogą ułatwić im pracę: pomagają im

lepiej koordynować zespoły, częściej śledzić postępy i szybciej realizować projekty przy mniejszej ilości odpadów.

Drony są wykorzystywane na całym świecie (i zaczynają prezentować potencjał również w Rumunii) w następujący sposób:

- Wstępne planowanie .
- Utrzymywanie Klienta w pętli.
- Bezpieczeństwo.
- Monitorowanie postępów w celu poprawy wydajności i uniknięcia marnotrawstwa.
- Monitorowanie wydajności i odpowiedzialności na miejscu .

1	Wstępne planowanie	Firmy budowlane mogą wykorzystywać dane z drona, aby uzyskać dane wizualne całego terenu przed rozpoczęciem budowy. Te dane wstępnego planowania mogą pokazywać obszary zlewni, zmiany wysokości i inne czynniki, które mogą pomóc w podjęciu decyzji o najlepszych lokalizacjach do budowy, kopania składowiska lub przechowywania materiałów. Jeśli mapa sporządzona z danymi pokazuje, że obszar znajduje się na terenach zalewowych, prawdopodobnie nie jest to najlepsza lokalizacja do budowy. Wstępne planowanie może również wykorzystywać dane z dronów, aby pomóc architektom i projektantom zobaczyć, jak nowy budynek będzie wyglądał obok istniejącego budynku. Pozwala im to zrozumieć wpływ nowego projektu na otoczenie, zarówno z praktycznego, jak i estetycznego punktu widzenia.
2	Utrzymywanie Klienta w pętli	Klienci mogą otrzymywać szczegółowe raporty w czasie rzeczywistym na temat postępów prac na miejscu za pomocą zdjęć, filmów, modeli 3D i map ortomozaicznych wykonanych na podstawie danych z drona. Klienci musieliby odwiedzić witrynę, aby uzyskać dane wizualne. Mogli też wynająć helikopter do wykonywania niezwykle drogich zdjęć lotniczych lub filmów. Mogą otrzymywać regularne raporty,

		które są łatwe do wysłania ze względu na niski koszt zbierania danych wizualnych z drona na placu budowy.
3	Bezpieczeństwo	Drony są niedrogie do zbierania danych wizualnych, a firmy budowlane mogą częściej wykorzystywać drony do wykonywania pomiarów lotniczych. Te dane mogą pomóc im śledzić zmiany, które mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo. Dane wizualne z regularnych przeglądów dronów pomagają w planowaniu operacyjnym na żądanie (codziennie, co tydzień). Drony mogą również bezpiecznie badać niebezpieczne miejsca, zmniejszając liczbę wypadków w miejscu pracy i zwiększając bezpieczeństwo w miejscu pracy.
4	Monitorowanie postępów w celu poprawy wydajności i uniknięcia marnotrawstwa	Umożliwia tworzenie map przy użyciu danych z drona i wysłać je do swojego kierownika projektu. Umożliwia następnie planować i monitorować postępy oraz pomagać w unikaniu opóźnień, które mogłyby doprowadzić do przekroczenia budżetu projektu. Obrazowanie z drona może pokazywać lokalizacje dźwigów, sekwencje montażu i zabezpieczenia obwodowe. Te sekwencje można również często przeglądać, aby zidentyfikować obszary, w których projekty są opóźnione lub przeciążone.
5	Monitorowanie wydajności i odpowiedzialności na miejscu	Kierownicy projektów mogą korzystać z map placu budowy utworzonych na podstawie danych lotniczych, aby pomóc im monitorować produktywność załogi. Mapy te mogą służyć do identyfikacji sprzętu i maszyn, których brakuje lub pozostawiono w nieodpowiednim miejscu. Mogą również pomóc menedżerom zidentyfikować obszary, które mogą potrzebować zbadać, aby ustalić, dlaczego praca nie postępuje tak szybko, jak oczekiwano.

Tabela 2 . Zalety dronów w budownictwie.

Drony mogą znacznie więcej niż tylko poprawić komunikację i dotrzymywać harmonogramu projektów. Drony mogą być również wykorzystywane do zwiększania bezpieczeństwa, przyspieszania pomiarów i wykonywania dokładnych pomiarów. Aby dowiedzieć się, jak drony są wykorzystywane na placach budowy, przeprowadziliśmy ankietę wśród klientów z branży budowlanej.

Wzrosło zapotrzebowanie na dokładniejsze dane, ponieważ firmy budowlane wykorzystują drony do zbierania danych z powietrza. Obecnie firmy używają naziemnych punktów kontrolnych (GCP) — znaczników naziemnych mierzonych za pomocą GPS do obliczania bezwzględnego położenia globalnego — bardziej niż kiedykolwiek dzięki DroneDeploy . GCP przetworzyły 5 razy więcej map w 2017 roku i obecnie rosną o 20% miesięcznie.

Próby i coraz częstsze wykorzystanie dronów stają się coraz bardziej powszechne i jak pokazują badania, drony mogą w przyszłości mieć znaczący wpływ na wiele obszarów praktyki. Dane cyfrowe są coraz częściej wykorzystywane. Oczekuje się, że technologia ta zrewolucjonizuje nie tylko sposób działania branży, ale także procesy biznesowe i sprawozdawcze. Ponadto rozwój zintegrowanych systemów oferuje ekscytujące możliwości na placu budowy. Regulowanie użytkowania i proces rejestracji wciąż się rozwijają.

Drony zmieniają branżę budowlaną w sposób, który zmieni sposób wznoszenia budynków i jest to potencjał, którego Rumunia jest coraz bardziej świadoma.

Termografia

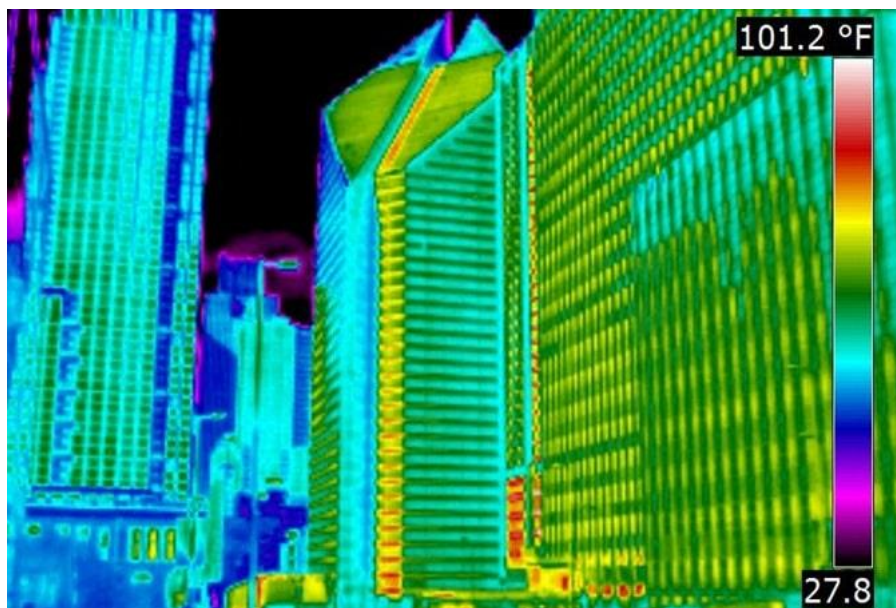
Termografia w podczerwieni (IRT), wideo termiczne i / lub obrazowanie termiczne to proces, w którym kamera termowizyjna rejestruje i tworzy obraz obiektu za pomocą promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekt w procesie, którego przykładami są nauki o obrazowaniu w podczerwieni. Kamery termowizyjne zwykle wykrywają promieniowanie w zakresie długiej podczerwieni widma elektromagnetycznego (około 9 000–14 000 nanometrów lub 9–14 μm) i tworzą obrazy tego promieniowania, zwane termogramami.

Ma wiele zastosowań w różnych dziedzinach, ale w budownictwie jest używana głównie do:

- Inspekcje dachów o niskim nachyleniu i płaskich.

- Diagnostyka budynków, w tym inspekcje przegród budowlanych, inspekcje zawilgoceń i strat energii w budynkach.
- Termiczny mapowanie .

Termografia w podczerwieni ma zastosowanie w ocenie właściwości materiałów i konstrukcji budowlanych w inżynierii lądowej i wodnej oraz budownictwie. W tej generacji takie samo znaczenie mają zarówno badania konstrukcji budowlanych, jak i oceny budynków. Doprowadziło to do opracowania bardzo wyrafinowanych i dokładnych metod oceny obecnego stanu konstrukcyjnego budynku, aby zachować go na przyszłość. Termografia w podczerwieni jest wielką innowacją, która pomaga w badaniu stanu budynku i pomaga w naprawie uszkodzeń.



Rysunek 5 . Termografia – niszcząca metoda oceny budynków.

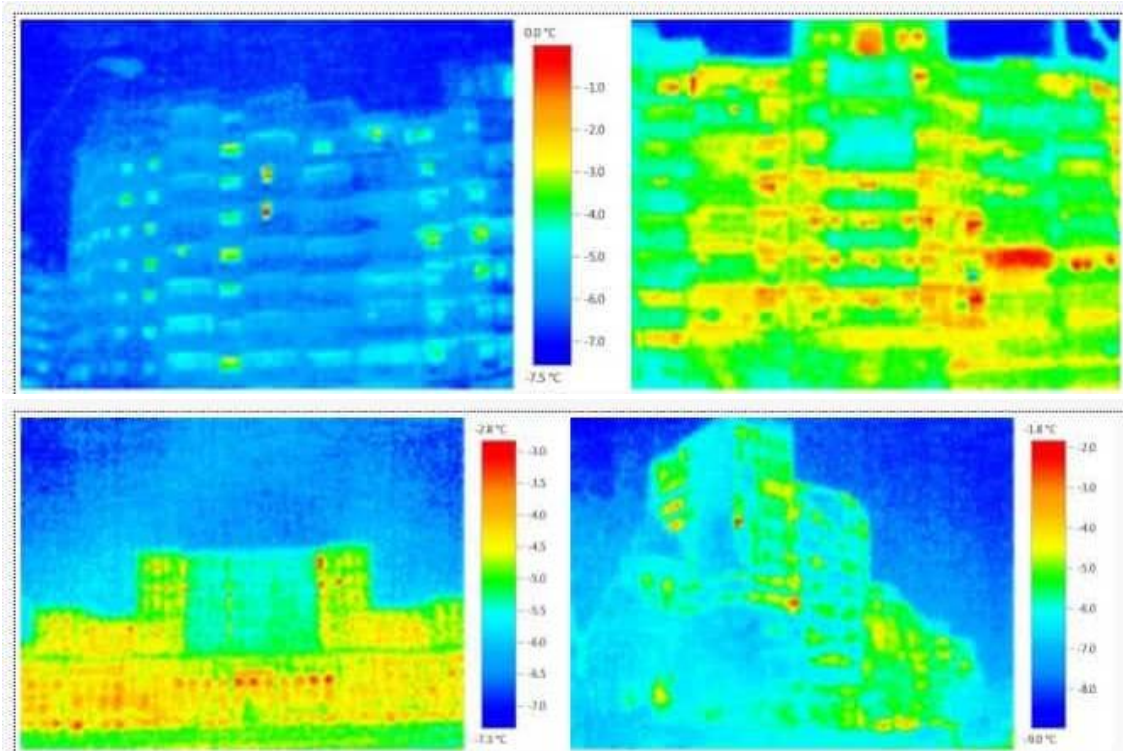
W Rumunii, w związku ze zmianami legislacyjnymi i dyrektywami UE, które mają na celu efektywność energetyczną środowiska zabudowanego, począwszy od 2010 r. termografia jest wykorzystywana głównie jako narzędzie do oceny poziomu efektywności cieplnej nowych budynków.

Termografia w konstrukcjach lub termowizja budynków w podczerwieni jest przydatna do określenia następujących braków występujących w budynkach:

- określenie obszarów o dużej utracie ciepła, na skutek niewłaściwej izolacji obudowy (identyfikacja mostków termicznych).
- wizualizacja dużych infiltracji powietrza zewnętrznego (stara stolarka).

- inspekcja zatkanych rur.
- problemy elektryczne różnych urządzeń [23].

I tak termowizja dla różnych budynków biurowych w Bukareszcie, jak pokazano na zrewitalizowanym i nieprzystosowanym bloku oraz dla Domu Ludowego znajdującym się w stolicy Rumunii, Bukareszcie.



Rysunek 6. Termografia – przykłady z Bukaresztu.

Skaner laserowy 3D

W inżynierii i budownictwie kluczem do sukcesu jest dokładność. Architekci, inżynierowie i zespoły budowlane potrzebują na początek dokładnych planów i szczegółowych przeglądów, aby upewnić się, że wszystko działa tak, jak powinno. Skanowanie laserowe 3D w budownictwie zapewnia taki poziom szczegółowości i kontroli.

Skanowanie laserowe 3D polega na użyciu lasera do wystrzelenia wiązki światła w określony obszar i pomiaru wiązki odbijającej się od obiektów. Skanery wykonują te

działania tysiące razy na minutę z niewielkimi zmianami kąta lasera. Rezultatem jest mapa laserowych pomiarów punktowych zwana chmurą punktów.

Programy takie jak Autodesk pozwalają inżynierom udostępniać skany 3D za pomocą systemów w chmurze. W ten sposób całe zespoły mogą pracować nad tym samym dokumentem w tym samym czasie. Od oznaczania ważnych elementów na skanie po zostawianie notatek dla zespołu — możliwości edytowania dokumentu wydają się nie mieć końca. Dzięki wysokiej jakości skanom i łatwo zarządzanej współpracy firmy budowlane mają wszystko, czego potrzebują, aby poprawić wyniki projektu.

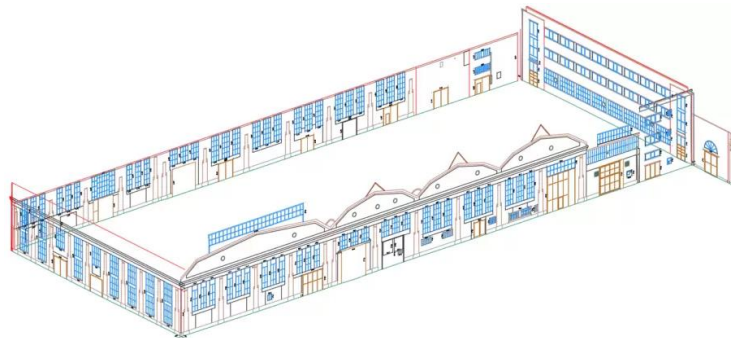
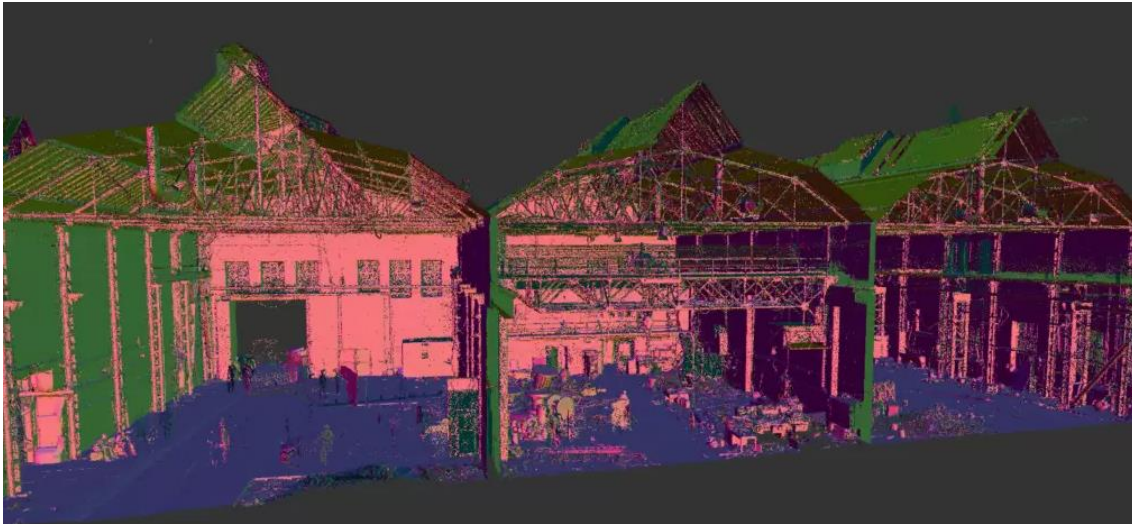
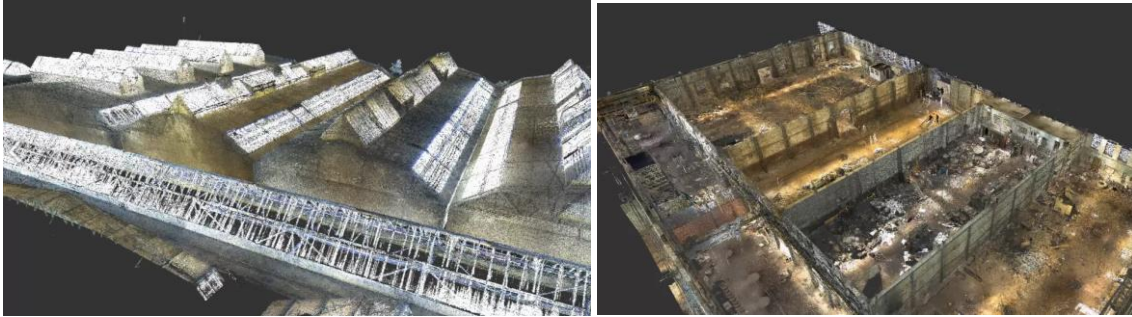
Większość małych i średnich skanerów 3D można zamontować na dronach. Daje to użytkownikom możliwość lotu dronem do lokalizacji badania i zakończenia skanowania. Jeśli musimy zeskanować most lub teren z dużą ilością trudnych terenów, wysłanie drona jest znacznie bezpieczniejsze niż wysłanie zasobów ludzkich. Istnieją również drony, które mają wbudowany skaner 3D. Skanowanie 3D można bezpośrednio powiązać z modelowaniem, podczas którego proces skanowania generuje w wyniku serii pomiarów punktowych, które tworzą chmurę punktów. Na podstawie tej chmury punktów architekci i inżynierowie mogą wygenerować dokładny plan 2D i 3D konstrukcji/projektu.

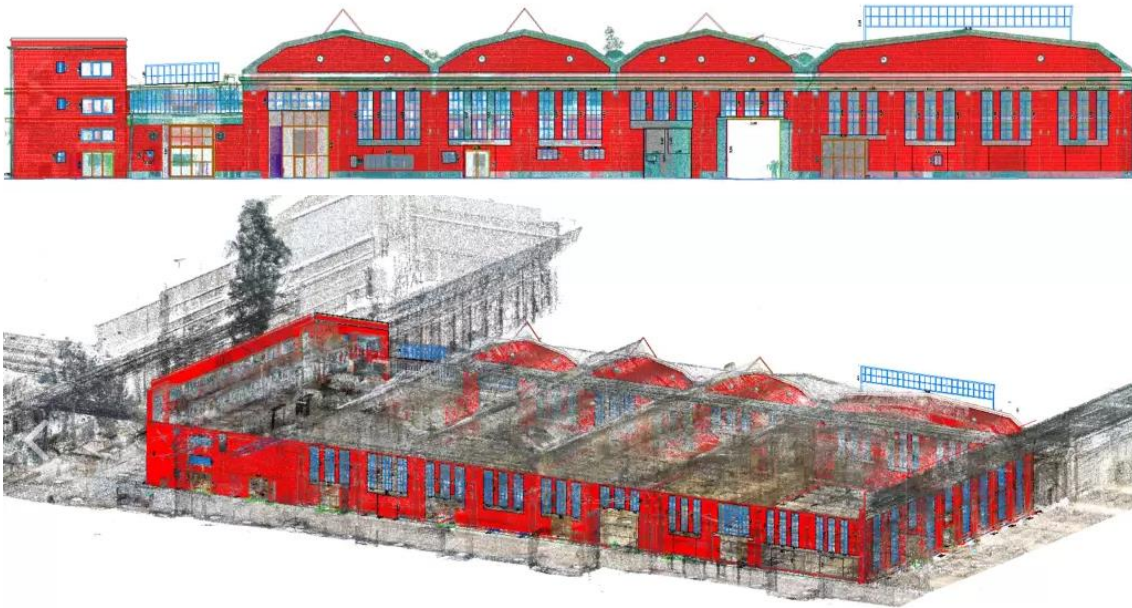
W ciągu ostatnich 10 lat skanowanie 3D w sektorze budowlanym szybko się rozwinęło w Rumunii. W tej chwili istnieje kilka firm, które oferują tę usługę, skanowanie 3D jest bezpośrednio powiązane również z topografią, BIM (Building Information Model), badaniem terenowym starego/nowego budynku [23].

Poniższe studium przypadku przedstawia budynek przemysłowy GRIRO zlokalizowany w Bukareszcie. Zakres skanowania 3D obejmował uzyskanie wszystkich elewacji, przekrojów poziomych i pionowych hali przemysłowej. Wiązało się to z koniecznością stworzenia przejrzystego przepływu pracy obejmującego następujące kroki:

- Przejęcie lokalizacji zlokalizowanej w Bukareszcie.
- Ustalenie położenia stacji skanujących oraz zastosowanej rozdzielczości zgodnie ze stopniem szczegółowości wymaganym przez temat projektu .
- Wiązanie wcześniej ustawionych stanowisk wykonano na podstawie zeskanowanych rzutów wspólnych (rzuty wspólne reprezentują : podłoga, strop, ścianki działowe). łącznie 255 skanów laserowych 3D stacje były zrealizowane .

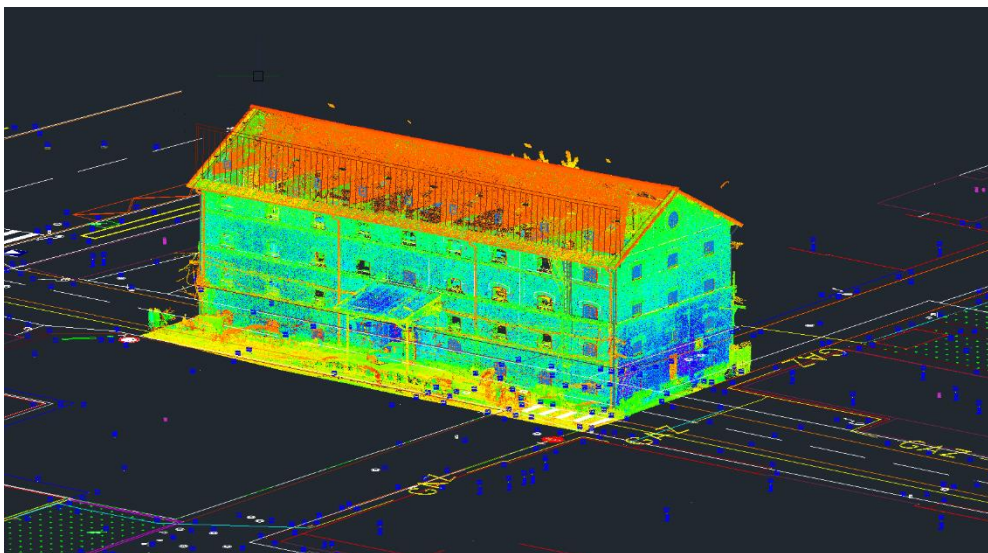
- Chmura punktów została wykonana za pomocą Trimble RealWorks z ogólnym odchyleniem 1,88 mm (całkowity błąd między chmurami).
- Ekstrakcja elewacji, przekrojów pionowych i poziomych chmury punktów za pomocą programu AutoCAD.

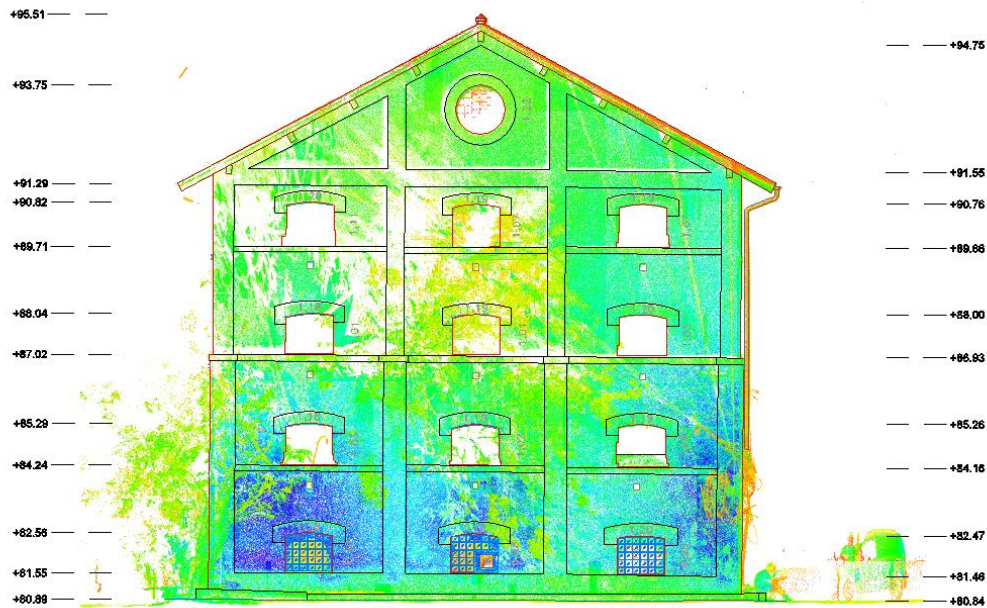




Rysunek 7 . Skanowanie 3D budynku przemysłowego z Bukaresztu.

Inny przykład można znaleźć również w zasobach budownictwa przemysłowego, zlokalizowanych w rejonie Plevnej w Bukareszcie. W tym przypadku do skanowania 3D dodano również skanowanie termiczne .





Rysunek 8 . Skanowanie 3D i termowizyjne budynku przemysłowego z Bukaresztu.

Przebieg pracy w ramach tego projektu został przeprowadzony w terenie, a następnie kontynuowany w biurze i składał się z następujących faz:

- przyjęcie lokalizacji zlokalizowanej w Bukareszcie.
- ustalenie położenia stacji skanujących oraz zastosowanej rozdzielczości zgodnie ze stopniem szczegółowości wymaganym przez temat projektu.
- wiązanie wcześniej ustawionych stanowisk wykonano na podstawie zeskanowanych planów wspólnych (rzuty wspólne reprezentują podłoga, strop, ścianki działowe). Łącznie 18 skanów laserowych 3D stacje były wykonane .
- rejestr chmury punktów wykonano w programie Trimble RealWorks z ogólnym odchyleniem 2,45 mm (całkowity błąd między chmurami).
- ekstrakcja elewacji z chmury punktów za pomocą programu AutoCAD.

Fotogrametria

Fotogrametria to nauka i technologia uzyskiwania wiarygodnych informacji o obiektach fizycznych i środowisku poprzez proces rejestrowania, pomiaru i interpretacji obrazów fotograficznych oraz wzorców obrazów promieniowania elektromagnetycznego i innych zjawisk.

Fotogrametria jest wykorzystywana w takich dziedzinach, jak mapowanie topograficzne, architektura, inżynieria, produkcja, kontrola jakości, dochodzenia policyjne, dziedzictwo kulturowe i geologia. Archeolodzy używają go do szybkiego tworzenia planów dużych lub złożonych miejsc, a meteorolodzy używają go do

określania prędkości wiatru tornad, gdy nie można uzyskać obiektywnych danych pogodowych.

Najczęściej stosowane są w dziedzinie archeologii, mapowania i modelowania 3D. Nieco podobnym zastosowaniem jest skanowanie obiektów w celu automatycznego tworzenia ich modeli 3D. Ponieważ fotogrametria opiera się na obrazach, istnieją fizyczne ograniczenia, gdy obrazy te dotyczą obiektu o ciemnych, błyszczących lub przezroczystych powierzchniach. W takich przypadkach utworzony model często nadal zawiera luki, więc często nadal konieczne jest dodatkowe czyszczenie za pomocą oprogramowania takiego jak MeshLab, netfabb lub MeshMixer. Na przykład Google Earth wykorzystuje fotogrametrię do tworzenia obrazów 3D.

Fotogrametria może być efektywnie wykorzystywana w pracy architektów, projektantów i inżynierów.

Planowanie terenu opiera się na dokładnych pomiarach w celu stworzenia dokładnego projektu. Łącząc mapy w renderingach 3D, fotogrametria może pomóc architektom zrozumieć obszar przed rozpoczęciem budowy. Wyraźny, dokładny rendering pomoże w podjęciu decyzji o ważnych elementach projektu przed fazą projektowania.

W procesie podejmowania **decyzji projektowych** niektóre typowe decyzje obejmują orientację budynku, rozmiar i ogólny układ. Decyzje te są znacznie prostsze, gdy są zaprojektowane z dokładnym renderowaniem wizualnym. Architekci mają przestrzeń do próbowania nowych rzeczy i eksperymentowania z różnymi pomysłami w bezpiecznej wirtualnej przestrzeni.

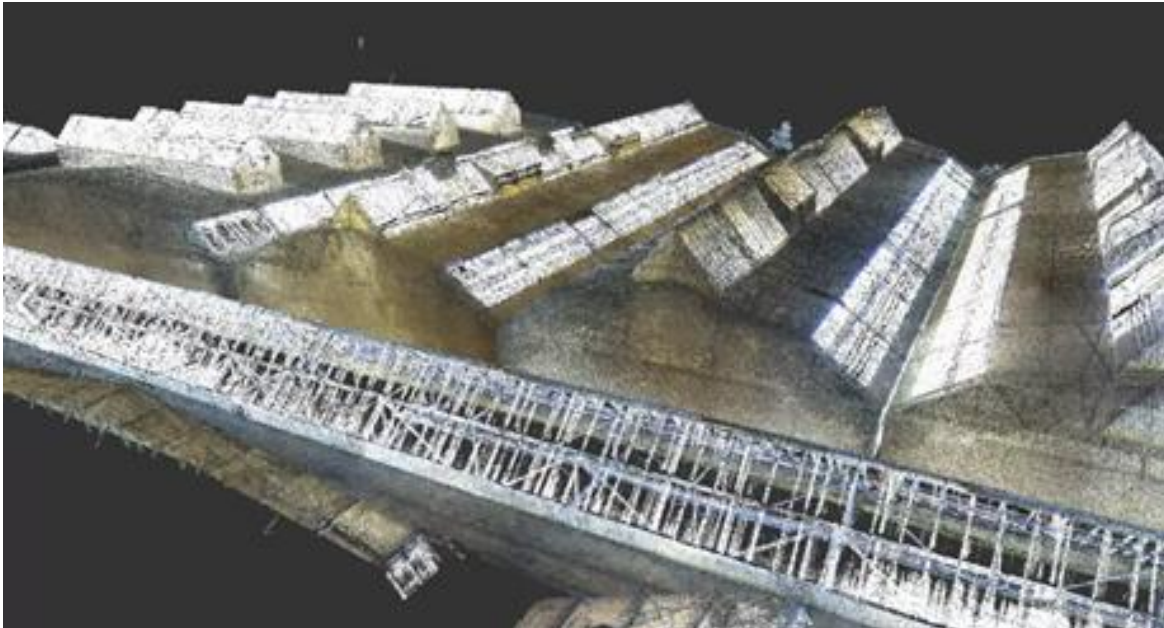
W **procesie budowlanym** wizualizacja projektu budowlanego jest przydatna nie tylko w trakcie procesu projektowego, ale także po zakończeniu budowy. Monitorowanie procesu budowy jest łatwiejsze, gdy istnieje wyraźne odniesienie, które można łatwo śledzić wizualnie. Postęp budowy można obserwować w czasie rzeczywistym za pomocą oprogramowania do fotogrametrii architektonicznej.

Jednocześnie wizualizacje są cennym atutem w narzędziach **marketingowych** i promocyjnych. Podczas sprzedaży dużych projektów lub pozyskiwania inwestorów wizualizacja jest wielkim atutem. Opowiadając historię projektu poprzez wizualizację, znacznie łatwiej jest sprzedać ideę miejsca! Oprogramowanie do fotogrametrii może nawet dodawać realistyczne środowiska otaczające budynek lub projekt, co może pomóc w stworzeniu jasnej wizji przestrzeni, która nie jest jeszcze ukończona.

Jeśli chodzi o budownictwo w Rumunii, proces ten był wykorzystywany w ciągu ostatnich 5 lat i ma potencjał do bardzo szybkiego rozwoju. Za pomocą fotogrametrii i fotogrametrii lotniczej można mierzyć, określać metrycznie i przedstawiać graficznie i

fotograficznie fragmenty powierzchni ziemi lub inne interesujące obiekty. Metodę fotogrametrii lotniczej z pomocą drona można traktować jako uzupełnienie lub zamiennik fotogrametrii naziemnej i aneksy takie jak topografia czy kataster.

Poniższy przykład pokazuje, jak fotogrametria z pomocą drona, skanowanie 3D, identyfikacja punktów chmur może dać bardzo precyzyjny i dobry wynik dotyczący środowiska zbudowanego.



Rysunek 9 . Fotogrametria i skanowanie 3D budynku przemysłowego z Bukaresztu.

Dron, mający możliwość wykonania automatycznego lotu według dobrze zdefiniowanego planu lotu na podstawie współrzędnych GPS, wykonuje serię zdjęć lotniczych. Następnie, poprzez przetwarzanie obrazów za pomocą specjalistycznego oprogramowania, map i planów topograficznych niektórych obszarów, powstaną cyfrowe modele 3D budynków, cyfrowe modele 3D powierzchni terenu itp.

Punkty w chmurze

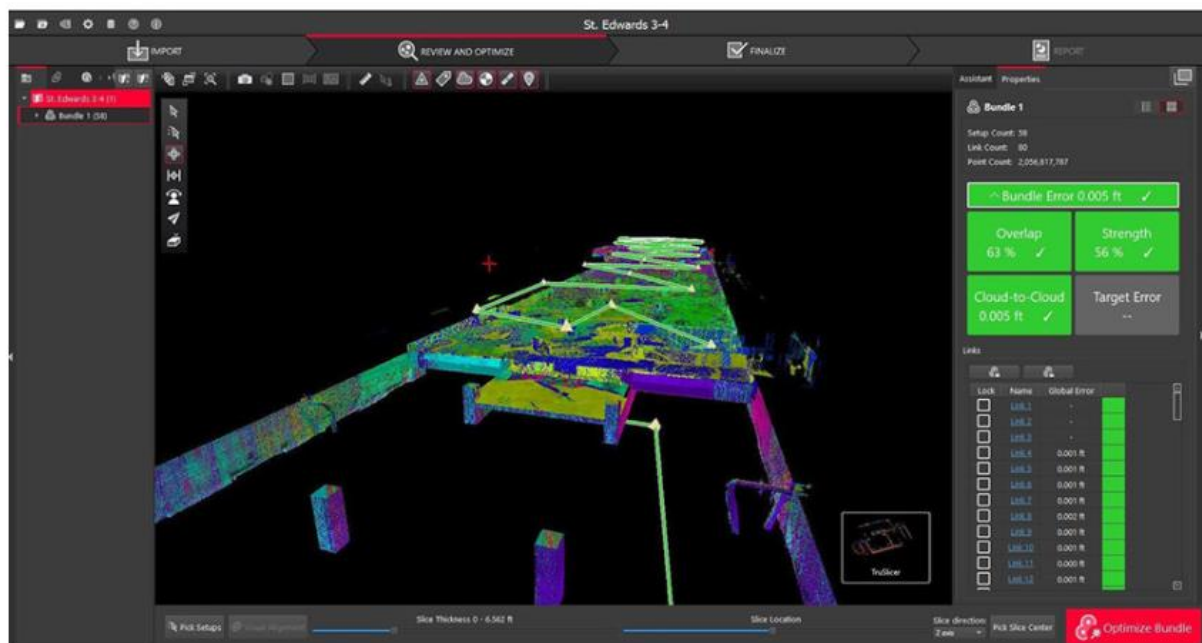
Chmura punktów to zbiór punktów danych w przestrzeni. Punkty mogą reprezentować kształt lub obiekt 3D. Każda pozycja punktu ma swój zestaw współrzędnych kartezjańskich (X, Y, Z). Chmury punktów są zwykle tworzone przez skanery 3D lub oprogramowanie do fotogrametrii, które mierzą wiele punktów na zewnętrznych powierzchniach otaczających je obiektów.

Jako wynik procesów skanowania 3D, chmury punktów są wykorzystywane do wielu celów, w tym do tworzenia modeli 3D CAD dla produkowanych części, do

metrologii i kontroli jakości oraz do wielu aplikacji do wizualizacji, animacji, renderowania i masowego dostosowywania [24].

Chmury punktów są ściśle powiązane z BIM. W Rumunii ten rodzaj działalności i podejście zyskały popularność w ostatniej dekadzie. Najnowszym osiągnięciem jest Chmura punktów, jeden system do tworzenia BIM z obecnego budynku. Dzięki postępowi laserowemu można sobie wyobrazić badanie przestrzeni w obecnym budynku w celu stworzenia zrobotyzowanej „chmury” zainteresowań geometrycznych. Większość tych informacji można następnie wykorzystać do przedstawienia geometrii budynku. Jest to następnie transportowane do grupy CAD obsługującej BIM, a materiały są postrzegane.

Koszt przeglądu chmury punktów w ciągu zaledwie sekundy jest zasadniczo taki sam, jak w przypadku zwykłego badania 2D. Jest zasadniczo poprawny i tworzy model 3D, z którego można wykonać „cięcia” 2D. W Rumunii istnieją wyspecjalizowane firmy, które oferują tego rodzaju wsparcie na miejscu.



Rysunek 10 . Chmury punktów dostarczają dokładnych danych dla wysokowydajnego podejścia do budowy budynków. Zdjęcie z oprogramowania Leica Cyclone REGISTER 360, dzięki uprzejmości Lydig Construction [25].

Modele generowane z danych chmury punktów mogą być wykorzystywane do następujących celów (również w Rumunii):

- Dokumentacja wizualna .



- Inspekcja i weryfikacja .
- Budowa przebudowy .
- BIM.
- Inżynieria i projektowanie .
- Modernizacja, przeprojektowanie i inżynieria odwrotna.
- Animacja i efekty .

Technologia chmury punktów bez problemu integruje się z BIM i innymi formami modeli komputerowych. Zapewnia możliwość replikacji fizycznego zasobu 3D do formatu cyfrowego i rozszerzania istniejących modeli cyfrowych.

Bibliografia

- [1] Zăpodeanu ID , Isopescu D (2014) Polityka wobec efektywności energetycznej budynków w Rumunii, Biuletyn instytut Politechnika w Jassach , Tom LX (LXIV), Fasc. 4, 2014 Sekcja BUDOWNICTWO . ARCHITEKTURA
- [2] Ciutina A., Ungureanu V., Grecea D., Dubina D. (2014) Wyjaśnienie budynki do parametry rozwojowe _ trwały (I). obrót silnika. Budowa, 108, 24-29
- [3] Ustawa nr 121/2014 o efektywności energetycznej w Rumunii. Opublikowano w Dzienniku Urzędowym, część I, nr. 574 z dnia 1 sierpnia 2014 r.
- [4] Simion CP, Nicolescu C., Cioc M. (2018) Selection of Energy Efficiency Projects for Dwelling Stock to Achieve Optimal Portfolio Project at the Regional Level by Apply LCC. Analiza oparta na trzech scenariuszach w regionie południowej Muntenia w Rumunii, Journal Energies, MDPI.
- [5] Marchi , B., Zanoni , S. (2017) Zarządzanie łańcuchem dostaw w celu poprawy efektywności energetycznej: przegląd i możliwości. Energie, 10, 1618.
- [6] Wang, CN, Thi Ho, HX, Ming-Hsien, MH (2017) An Integrated Approach for Estimating the Energy Efficiency of Seventeen Countries. Energie, 10, 1597.
- [7] Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (wersja przekształcona); Parlament Europejski: Bruxelles , Belgia, 2010.
- [8] Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmieniająca dyrektywy 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylająca dyrektywy 2004/8/WE i 2006/32/WE; Parlament Europejski: Bruxelles , Belgia, 2012.
- [9] Parlament Europejski i Rada Unii Europejskiej. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych oraz zmieniająca, a następnie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE i 2003/30/WE; Parlament Europejski: Bruxelles , Belgia, 2009.

- [10] Eftimie E. (2015) Kalkulacja kosztów poprawy efektywności energetycznej budynków Studium przypadku: Braşov , Rumunia, International Journal of Energy and Environment, tom 6, wydanie 1, 2015 s. 47-60
- [11] Międzynarodowa Agencja Energii. SHC Zadanie 40, Budynki słoneczne o zerowej energii netto: międzynarodowe projekty neutralności węglowej w budynkach, 2011.
- [12] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 2010.
- [13] Hui SCM (2001) Projektowanie budynków niskoenergetycznych w miastach o dużej gęstości zaludnienia. Energia odnawialna, 24, 627-640.
- [14] Clarke JA (2001) Energy Simulation in Building Design, wydanie drugie. Butterworth-Heinemann Oddział Reed Educational and Professional Publishing Ltd.
- [15] Zalejska- Jonsson A. (2012) Ocena niskoenergetycznych i konwencjonalnych budynków mieszkalnych z perspektywy mieszkańców. Budownictwo i środowisko, 58, 135-144.
- [16] Malkawi AM, Augenbroe G. Zaawansowana symulacja budynku. Spon Press, Taylor & Francis Group, 2004.
- [17] Klein SA i in. TRNSYS 16, przejściowy program do symulacji systemu. Laboratorium Energii Słonecznej Uniwersytetu Wisconsin, 2006.
- [18] Lungu I, Bara A., Popeangă J. (2013) Measuring and Improving Energy Efficiency Indicators for a Greener Romania
- [19] Dan C., Tanasa V., Stoian S., Brata D., Stoian T., Nagy Gy . S., C. Florut (2016) Projekt domu pasywnego — efektywne rozwiązanie dla budynków mieszkalnych w Rumunii, Energy for Sustainable Development, tom 32, czerwiec 2016, strony 99-109
- [20] <https://inhabitat.com/dom-pasywny-che-in-romania-has-a-super-fun-indoor-net-canopy/>
- [21] <https://uavcoach.com/drone-laws-in-romania/>
- [22] <https://www.certificat-energetic24h.eu/termografie-cladiri/>



[23] <https://eurosurvey.ro/scanare-laser-3d/>

[24] https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud

[25] <https://bim360resources.autodesk.com/>