

Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
Kierunek studiów: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji

Inż. Luca Torresani

Praca magisterska

**Tytuł: „Analiza i ocena efektów środowiskowych przy
stosowaniu systemu fundamentowania EasyFootings® w
budownictwie mieszkaniowym”**

Praca dyplomowa
magisterska
napisana pod kierunkiem
Dr Inż. Tomasz Wałek

Zabrze, Wrzesień 2019 r.

SPIS TREŚCI

Wstęp.....	4
Cel i zakres pracy magisterskiej.....	5
I Część teoretyczna	6
1. Fundamentowanie tradycyjne	6
1.1 Rodzaje fundamentów	6
1.2 Ławy fundamentowe	7
1.3 Stopy fundamentowe.....	9
1.4 Płyty fundamentowe.....	10
2. Opis technologii EASYFOOTINGS®	12
2.1 System EasyFootings® oraz jego elementy	15
2.2 Zestawienie typoszeregów stóp mikropalowych EasyFootings.....	19
2.3 Instalacja systemu EasyFootings.....	21
2.4 Demontaż i modyfikacja	26
3. Wprowadzenie do analizy LCA	29
3.1 Faza określenia celu i zakresu.....	31
3.2 Faza analizy zbioru wejść i wyjść (LCI).....	32
3.3 Faza oceny wpływu (LCIA).....	32
3.4 Faza interpretacji	34
II. Część badawcza.....	35
4. Porównanie fundamentów tradycyjnych z EF na przykładzie budynku mieszkalnego o powierzchni 123,46m ² w Żorach.....	35
4.1 Budynek mieszkalny jednorodzinny w Żorach.....	35
4.1.1. Projektowe zagospodarowanie terenu.....	36
4.1.2 Informacje o ochronie konserwatorskiej oraz ochronie na podstawie ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego	37
4.1.3 Dane określające wpływ eksploatacji górniczej na działkę lub teren zamierzenia.....	37
budowlanego, znajdującego się w granicach terenu górniczego.....	37
4.1.4 Informacje i dane o charakterze i cechach istniejących i przewidywanych zagrożeń dla środowiska oraz higieny i zdrowia użytkowników projektowanych obiektów budowlanych i ich otoczenia w zakresie zgodnym z przepisami odrębnymi.	37
4.1.5 Obszar oddziaływania obiektu budowlanego.....	38
4.1.6 Opinia geotechniczna	38
4.1.7 Zakres robót	38
4.1.8 Podsumowanie	39
4.2 Opis dostępnych technologii	41
4.2.1 System fundamentowania EASYFOOTINGS	41
4.2.2 Ławy fundamentowe.....	43

4.2.3 Stopy fundamentowe.....	45
4.2.4 Płyty fundamentowe.....	46
4.3 Porównanie dostępnych technologii	48
4.4 Podsumowanie różnic pomiędzy technologiami.....	51
5. Analiza LCA.....	52
5.1 Faza określenia celu i zakresu.....	53
5.2 Faza analizy zbioru wejść i wyjść.....	55
5.3 Faza oceny cyklu życia LCIA	60
5.4 Faza interpretacji cyklu życia.....	63
Podsumowanie	64
Wnioski	65

Wstęp

Budownictwo mieszkaniowe w Polsce jest fragmentem rynku budowlanego, który wciąż się rozwija. Według Głównego Urzędu Statystycznego w 2019 roku oddano do użytkowania 207 479 mieszkań o łącznej powierzchni 18 376,6 tyś. m², zanotowano wzrost aż o 12,1% liczby mieszkań z rokiem poprzednim. Od 2014 roku stale rośnie liczba budowanych mieszkań, średnio o ok. 3% rocznie. Większa ilość nowych budynków mieszkalnych, bo aż 63,3% nowo oddanych mieszkań zostało wybudowanych przez deweloperów, natomiast 33,4% przez inwestorów indywidualnych. W porównaniu z poprzednim rokiem zwiększyła się liczba mieszkań przeznaczonych na sprzedaż bądź wynajem o 2,7%, natomiast spadła ilość mieszkań wybudowanych przez inwestorów indywidualnych o 2,4%.

Według Europejskiej Agencji Środowiska aż 32% generowanych odpadów powstaje wskutek procesów budowlanych. W swoim raporcie SOER wyszczególniają, iż konieczne jest wykorzystanie innowacyjnych technologii oraz materiałów, aby ograniczyć ilość produkowanych odpadów i emisji zanieczyszczeń.

Innowacyjność w obecnych czasach jest pożądana i rozwija się na wszelkie sektory gospodarki, wnosząc na rynek nową jakość z uwzględnieniem ważnego tematu ochrony środowiska. W przypadku budownictwa innowacyjność pozwala na realizację coraz trudniejszych i doniosłych konstrukcji przy redukcji negatywnego wpływu na środowisko. Podstawą każdego budynku jest solidny fundament, który zapewni bezpieczeństwo i stabilność, natomiast w przypadku innowacyjnej metody fundamentowania EasyFootings® dodatkowo pozwala obniżyć koszty i czas każdej inwestycji, szanując środowisko i umożliwiając budowę w terenach zielonych oraz w terenach trudno dostępnych dla ciężkiego sprzętu, bez ingerencji w naturalne środowisko. Biorąc pod uwagę stale rosnący rynek budownictwa mieszkaniowego w Polsce, jak i ilość generowanych odpadów w procesie budowy i oddziaływania na środowisko, wskazane było zajęcie się tym tematem, w celu przedstawienia alternatywnej metody, pozwalającej obniżyć negatywny wpływ na środowisko.

Niniejsza praca skupiać się będzie na analizie i ocenie środowiskowej EasyFootings oraz porównaniu z tradycyjnymi metodami fundamentowania, dodatkowo przeprowadzona zastosowana zostanie analiza Life Cycle Assessment w celu oceny potencjalnych zagrożeń środowiska.

Cel i zakres pracy magisterskiej

Celem pracy magisterskiej jest przedstawienie analizy wpływu i oceny oddziaływania na środowisko innowacyjnej metody fundamentowania EasyFootings® w budownictwie mieszkaniowym oraz porównanie z tradycyjnymi metodami fundamentowania.

Cele szczegółowe:

- analiza i porównanie EasyFootings® z tradycyjnymi metodami fundamentowania,
- przeprowadzenie oceny cyklu życia LCA EasyFootings®.

I Część teoretyczna

1. Fundamentowanie tradycyjne

Fundamentowanie jest podstawą każdej konstrukcji budowlanej i zapewnia stabilność i bezpieczeństwo każdej budowli. Wymagane jest więc, aby fundamenty spełniały wszelkie normy, kryteria oraz wykonane były precyzyjnie. Odnosi się to do wszelkiego rodzaju fundamentów oraz pod różne zabudowy [5].

1.1 Rodzaje fundamentów

Fundamenty wyróżnia się ze względu na sposób przekazywania obciążenia na grunt, dlatego ogólny podział rozróżnia fundamenty pośrednie i bezpośrednie [6]. Bezpośrednie to te fundamenty, których obciążenie przekazywane jest na warstwę nośną gruntu, natomiast w przypadku fundamentów pośrednich obciążenie przekazywane jest na warstwę nośną gruntu zalegającą na dużych głębokościach za pomocą elementów konstrukcyjnych takich jak pale. Drugi podział opiera się na głębokości posadowienia, w tym przypadku wyróżnia się fundamenty płytke oraz fundamenty głębokie. Fundamenty płytke stosuje się w przypadku usadowienia ich na nośnej warstwie gruntu, która zalega od poziomu terenu do głębokości, której wykonany będzie wykop. Natomiast fundamenty głębokie stosuje się w przypadku, gdy warstwa nośna gruntu zalega dużo niżej.

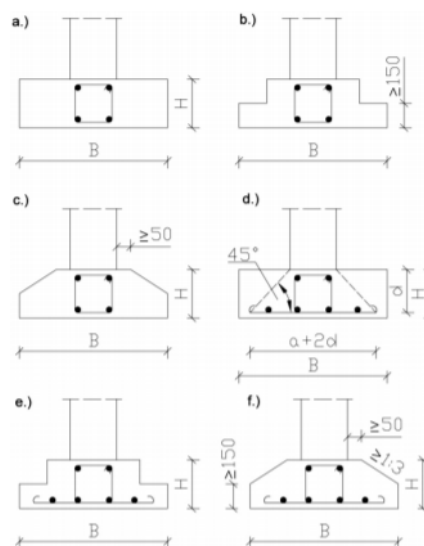
W budownictwie mieszkaniowym najczęściej stosowanymi rodzajami fundamentowania są ławy, stopy fundamentowe oraz płyty [3]. Ławy oraz stopy fundamentowe są powszechnie stosowane w tradycyjnym budownictwie murowanym, natomiast płyty najczęściej stosuje się w konstrukcjach szkieletowych.

Oczywiście dobór odpowiedniego rodzaju fundamentu oraz głębokość posadowienia zależy od wielu czynników, takich jak:

- rodzaj i wielkość budynku,
- poziom posadowienia sąsiednich budynków,
- głębokość strefy przemarzania gruntu,
- warunków wodnych,
- rodzaju i stanu gruntu w miejscu posadowienia.

1.2 Ławy fundamentowe

Ławy fundamentowe są najpowszechniejszym rodzajem fundamentowania, szczególnie w przypadku budowy domów jednorodzinnych [2]. Wykonane są najczęściej jako betonowe i żelbetowe, rzadziej natomiast jako murowane bądź kamienne. Wykorzystuje się je w terenach o różnym kącie nachylenia (Rysunek 1).



Rysunek 1 Ławy fundamentowe a) prostokątne b) schodkowe c) trapezowe d) prostokątne e) schodkowe f) trapezowe

Źródło: Major I., Technologia budowy domów szkieletowych - ekologiczna forma jednorodzinnej budownictwa mieszkaniowego, [w:] Jakościowe i ekologiczne aspekty w technologiach budowlanych, pod red. M. Ulewicz, J. Selejda, Sekcja Wydawnictw WZPCz, Częstochowa 2013

Pierwszym krokiem usadowienia ławy fundamentowej jest wyrównanie terenu ciężkim sprzętem. Następnie wykonuje się warstwę wyrównującą - podkładową tzw. chudego betonu. Wyróżnia się 2 metody realizowania ławy fundamentowej:

- z deskowaniem,
- bez deskowania.

Pierwsza z wyżej wymienionych metod pozwala na dokładne przygotowanie fundamentów i łatwiejsze wyrównywanie wierzchniej warstwy betonu. Przy wykonywaniu ławy bezpośrednio na gruncie, przed ułożeniem warstwy betonu wykłada się folię hydroizolacyjną, aby zabezpieczyć przyszły fundament od wilgoci gruntu (Rysunek 2).



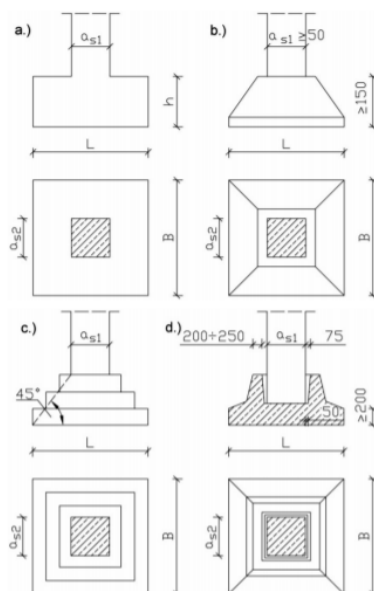
Rysunek 2 Wykopy przygotowane pod łąwy fundamentowe

Źródło: Major I., Technologia budowy domów szkieletowych - ekologiczna forma jednorodzinne go budownictwa mieszkaniowego, [w:] Jakościowe i ekologiczne aspekty w technologiach budowlanych, pod red. M. Ulewicz, J. Selejda, Sekcja Wydawnictw WZPCz, Częstochowa 2013

Istotnym elementem budowy jest zbrojenie łąwy fundamentowej. Zbrojenie wykonywane jest z prętów stalowych, gładkich lub żebrowanych. Podstawowym zadaniem zbrojenia jest zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie całego elementu konstrukcyjnego. Przy łąwie fundamentowej stosowane są najczęściej pręty o średnicy 12 lub 16 cm. Ważne jest również, aby zastosować zbrojenie poprzeczne - strzemiona, które zapewnią zbrojeniu dodatkową sztywność i wzmocnią element.

1.3 Stopy fundamentowe

Stopy fundamentowe stosowane są w przypadku, gdy konstrukcja budynku wsparta jest na słupach bądź filarach [2]. Najczęściej wykonywane są jako monolityczne betonowe lub żelbetowe, choć w rzadkich sytuacjach zdarzają się również stopy wykonywane z cegły lub kamienia. Obciążenie, jakie działa na stopy fundamentowe, przekazywane z konstrukcji poprzez słupy, może być skierowane osiowo lub mimośrodowo. W zależności od obciążenia, zmienia się kształt stopy - przy obciążeniu osiowym podstawa stopy na ogół ma kształt kwadratu, natomiast przy stopach obciążonych mimośrodowo stosuje się stopy prostokątne. W zależności od wielkości projektowanej stopy może mieć ona kształt prostopadłościenny, ostrosłupowy, schodkowy czy kielichowy (Rysunek 3). Dla stóp o niewielkich gabarytach stosuje się kształt prostopadłościenny. Pozostałe kształty stóp wykorzystywane są w przypadku większych gabarytów po to, aby ograniczyć zużycie materiału.



Rysunek 3 Podstawowe kształty stóp żelbetowych a) prostopadłościenna b) ostrosłupowa c) schodkowa d) kielichowa

Źródło: Major I., Technologia budowy domów szkieletowych - ekologiczna forma jednorodzinного budownictwa mieszkaniowego, [w:] Jakościowe i ekologiczne aspekty w technologiach budowlanych, pod red. M. Ulewicz, J. Selejda, Sekcja Wydawnictw WZPCz, Częstochowa 2013.

1.4 Płyty fundamentowe

Płyty fundamentowe stosuje się w budownictwie jednorodzinym, wykorzystywane są w przypadku, gdy występują grunty niejednorodne, o małej nośności lub gdy na terenie inwestycji występują wody gruntowe znajdujące się płytko pod powierzchnią terenu (do 50 cm) [4]. W przypadku takich terenów tradycyjny fundament w postaci ław czy stóp fundamentowych byłby zbyt duży, a związku z tym nieekonomiczny, dlatego stosowane są tam fundamentey płytowe.

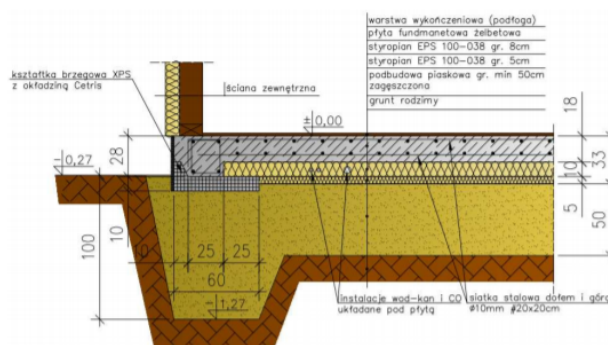
Płyty fundamentowe powszechnie stosowane są w budownictwie szkieletowym oraz w przypadku domów z bali drewnianych. Dane konstrukcje, w przeciwieństwie do tradycyjnej technologii murowanej, charakteryzują się znacznie mniejszym ciężarem własnym, przez co naprężenia działające na grunt są znacznie mniejsze. W takim przypadku ekonomiczniej jest wykonać fundament w postaci płyty. Płyty fundamentowe pozwalają zmniejszyć prawie do minimum ilość prowadzonych prac ziemnych, ograniczających się jedynie do zdjęcia humusu i wyłożenia podłoża zagęszczonym piaskiem, żwirem lub pospółką. Warstwa ta pozwala ograniczyć kapilarne podciąganie wody z gruntu. Wykonanie fundamentów w postaci płyty fundamentowej pozwala znacznie obniżyć czas ich powstawania; płyta fundamentowa może powstać nawet 6-7 dni, co przyczynia się do obniżenia kosztów wykonania. Ze względu na zastosowanie w płycie grubej warstwy styropianu uzyskuje się przegrodę spełniającą wszystkie wymagania dotyczące izolacyjności, a dodatkowo praktycznie do minimum ogranicza się prawdopodobieństwo wystąpienia mostków termicznych (płyta fundamentowa obłożona jest styropianem ze wszystkich stron). Warto również zaznaczyć, że taka płyta stanowi jeden element, na którym nie trzeba wykonywać dodatkowych warstw wyrównujących, przez co po wykonaniu jest gotowym podłożem przygotowanym do ułożenia na nim warstw wykończeniowych (panele, parkiety, płytki bądź wykładziny). Płyta fundamentowa to również idealnym rozwiązaniem w przypadku, gdy w domu ma być zastosowana instalacja grzewcza w postaci ogrzewania podłogowego (Rysunek 4).



Rysunek 4 Ułożenie zbrojenie płyty fundamentowej wraz z instalacją ogrzewania podłogowego
Źródło: Major I., Technologia budowy domów szkieletowych - ekologiczna forma jednorodzinne
budownictwa mieszkaniowego, [w:] Jakościowe i ekologiczne aspekty w technologiach
budowlanych, pod red. M. Ulewicz, J. Selejda, Sekcja Wydawnictw WZPCz, Częstochowa 2013

Płyty fundamentowe mają również szerokie zastosowanie na terenach szkód górniczych, gdzie są powszechnie stosowane (Rysunek 5). Płyty fundamentowe

charakteryzują się równomiernym naciskiem budynku na podłoże gruntowe, przez co osiadanie całego budynku przebiega jednakowo, co właśnie na terenach szkód górniczych ma niemałe znaczenie.



Rysunek 5 Przykład płyty fundamentowej zaprojektowanej na terenie ze skodami górniczymi
 Źródło: Major I., Technologia budowy domów szkieletowych - ekologiczna forma jednorodzinnego budownictwa mieszkaniowego, [w:] Jakościowe i ekologiczne aspekty w technologiach budowlanych, pod red. M. Ulewicz, J. Selejda, Sekcja Wydawnictw WZPCz, Częstochowa 2013

2. Opis technologii EASYFOOTINGS®

EasyFootings® jest to innowacyjny system fundamentowania, przeznaczony do tworzenia nowoczesnych ekologicznych budynków. Poprzez brak wykorzystania betonu oraz użycia ciężkiego sprzętu wpływa w mniejszym stopniu negatywnie na środowisko w punkcie instalacji od tradycyjnych metod fundamentowania, ponadto można go odinstalować oraz wykorzystać ponownie w innym projekcie, nie pozostawiając śladu w środowisku. Dążąc do minimalizowania wydatków energetycznych dla nowo powstałych obiektów system został zaprojektowany w taki sposób, aby poprzez możliwość podniesienia budynku nad poziom terenu wykazywał się niezwykle niską energochłonnością budynku, krótkim czasem wykonania oraz odpornością na wpływ środowiska zewnętrznego[1].

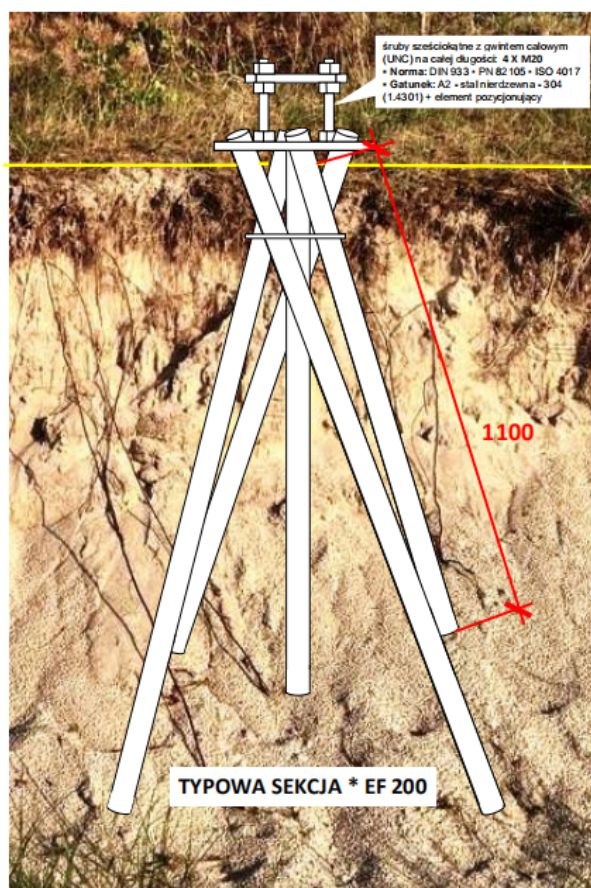
System EasyFootings® to rozwiązanie w którym moduł zasadniczy ze stali czarnej ocynkowanej ogniowo o wysokiej wytrzymałości łączy się z mikropalami rurowymi tworząc przestrzenną strukturę fundamentową pod ziemią, odporną na działanie wielokierunkowe sił oddziałujących na nią, gwarantując stabilne fundamentowanie (Rys. 6). Rozwiązanie EasyFootings® zostało zaprojektowane celem wyeliminowania tradycyjnych metod fundamentowania zwiększając jego wydajność ekonomiczną, obciążeniową, wypornościową oraz dużemu momentowi ścinającemu. Poprzez system fundamentowania EF struktura gleby przejmuje efektywnie oddziałujące na niego naprężenia. Ten system fundamentowania dostosowany jest do każdego rodzaju obciążeń i warunków glebowych, pozwala dostosować długość mikropali do konkretnych warunków projektowych oraz rodzaju gleby. EasyFootings® instalowany jest za pomocą rurowych pali wbijanych w ziemię. Wykonujemy to przy pomocy ręcznego młota udarowego-elektrycznego o sile uderzenia min. 40 J z nasadką pasującą do mikropali.



Rysunek 6 Przykład wykorzystania systemu EF oraz przedstawienie modułu pozycjonującego w użyciu

Źródło: www.easyfootings.com

Zasady pracy w gruncie systemu EasyFootings® oparte są na technologii palowania z wykorzystaniem kombinacji tarcia i układu przestrzennego mikropali (Rys.7). Ponieważ jest to przestrzenny układ mikropali nieprzesuwalny, system może być stosowany w dowolnych gruntach od przenikalnych piasków, mułów, glinach, żwirach, a nawet skałach, a także we wszystkich kategoriach wietrzności. Czas instalacji wynosi max. do 15 minut na jeden moduł. Możliwość pełnej regulacji w pionie i poziomie po zainstalowaniu modułu fundamentowego, EasyFootings® daje natychmiastową nośność we wszystkich kierunkach, aby wszelkie prace mogły być kontynuowane jeszcze tego samego dnia. Jednym z głównych składników systemu są mikropale, wykonane z rur stalowych ocynkowanych ogniowo o średnicy zewnętrznej 42mm i grubości ścianek 2~3mm, wykonane ze stali wysokoudarowej, tak by idealnie pasowały do przewodnic rurowych modułów zasadniczych EasyFootings®. Każdy mikropala jest wbijany w ziemię i tworzy całość z modułem EasyFootings® przejmując w całości obciążenia nałożone na moduły. Nośność mikropali jest powiększona, poprzez zastosowanie wbicia pobocznic i podstawy.

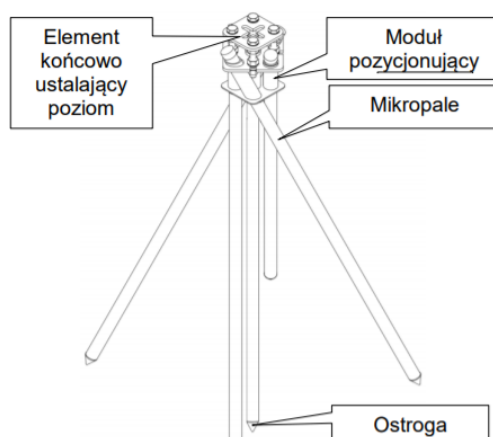


Rysunek 7 Wizualizacja systemu EF umiejscowionego w glebie
Źródło: www.easyfootings.com

EasyFootings® jest jednym z niewielu systemów, który może przejmować wysokie momenty zginające, co oznacza, że może być używany do wielu celów poza typową konstrukcją. W zależności od nośności gleby określonej lokalizacji stosuje się różne typy systemu EF projektowanych wg. potrzeb. EasyFootings® naśladuje naturalny system korzeniowy roślin i drzew poprzez układ stalowych mikropali w gruncie, tworząc fundamenty na stosunkowo płytkich głębokościach i wysokich możliwych przenoszonych obciążeniach i sił wycisku przy braku naruszenia struktury gleby. Dodatkowo jest to technologia, która eliminuje beton, konieczność użycia ciężkiego sprzętu, a jednocześnie eliminuje koszty oraz pozwala zaoszczędzić czas.

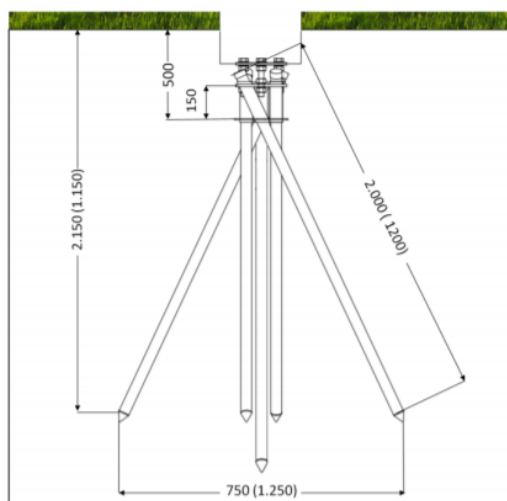
2.1 System EasyFootings® oraz jego elementy

EasyFootings® to system fundamentowania wielokrotnego użytku składający się z czterech mikropali rurowych nachylonych pod kątem i zazębiających się oraz jednego mikropala pionowo pozycjonującego cały system EasyFootings® w terenie posadowienia [1]. Stalowy moduł pozycjonujący i umiejscowione w nim mikropale tworzą całościową strukturę, która jest obciążana posadawianych na nim obiektów pełniąc rolę fundamentu (Rys. 8).



Rysunek 8 System fundamentowania EasyFootings®
Źródło: <https://easyfooting.com/>

Stalowy moduł pozycjonujący mikropale może być całkowicie lub częściowo zakopany w ziemi. Mikropale kotwione są w gruncie przenikając przez moduł pozycjonujący tworząc stożek piramidalny w planie (ukośnie pod kątem 25° od pionu) i zainstalowany w gruncie a przybliżona głębokość ich posadowienia 120 cm lub 200 cm wg. długości stosowanych mikropali (Rys. 9).



Rysunek 9 Rozmieszczenie i nominalne wymiary
Źródło: <https://easyfooting.com/>

W konstrukcjach, których okres użytkowania przekracza 20 lat lub znajdują się w agresywnych środowiskach (kategoria korozji atmosferycznej 1 C4 lub wyższa) stosowana jest zatyczka z PCV na górnym końcu każdego mikropala kotwiącego i szczelnie zamyka wnętrza mikropala rurowego. Ta zatyczka chroni mikropale kotwione w gruncie przed skutkami wpływu atmosfery na korozję. Grubość ocynkowanej powłoki i jej żywotność zależy od rodzaju gruntu zakotwiczenia instalacji. Opcjonalnie EasyFootings® można odinstalować i ponownie go użyć.

EasyFootings® jest stosowany w fundamentach konstrukcji tymczasowej lub stałej obiektów budowlanych, których siła obciążenia EasyFootings® jest niższa niż następujące wartości:

- Kompresja: 100 kN.
- Trakcja: 25 kN.
- Moment zginający: 6 kN · m.
- Naprężenie poziome: 20 kN.

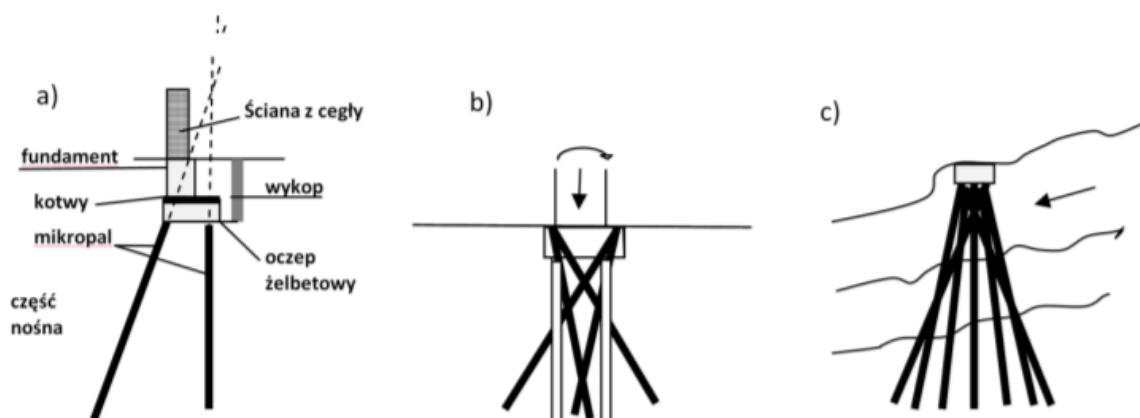
Łączenie w sprzężone układy/grupy EasyFootings® umożliwia zwiększenie maksymalnych dopuszczalnych obciążeń. Podane maksymalne wartości ulegają zmniejszeniu, gdy kilka naprężeń działa jednocześnie.

EasyFootings® jest stosowany w fundamentach konstrukcji sklasyfikowanych w kategoriach geotechnicznych 1 i 2 zgodnie z UNE-EN 1997-1. Kategoria 1 geotechniki obejmuje konstrukcje małe i stosunkowo proste, dla których jest możliwe zapewnienie, że podstawowe wymagania będą zapewnione na podstawie doświadczenia i dowodów inżynierii geotechnicznej, gdzie nie występuje ryzyko podłoża instalacji. Kategoria 2

geotechniczna obejmuje typy konstrukcji fundamentów, bez trudnych warunków terenowych lub problematycznego obciążenia.

Mikropalowe fundamentowanie należy do najnowocześniejszych technik fundamentowania, ponieważ odznacza się zwiększoną nośnością jednostkową poboczniczy w stosunku do pali wierconych metodami klasycznymi. Ze względu na niewielkie średnice mikropali, nośność ich uzyskiwana jest przede wszystkim na pobocznicach, natomiast podstawa pala przenosi zaledwie 1—15% nośności poboczniczy. Mogą przenosić obciążenia rzędu od 7 do 13 kN na każdy mb mikropala w zależności od rodzaju gruntu i długości mikropali. Ideą mikropali jest wprowadzenie w podłoże gruntowe stalowego mikropala rurowego wysokogatunkowej stali konstrukcyjnej o podwyższonej wytrzymałości zakończonej odpowiednią ostrogą (Rysunek 10).

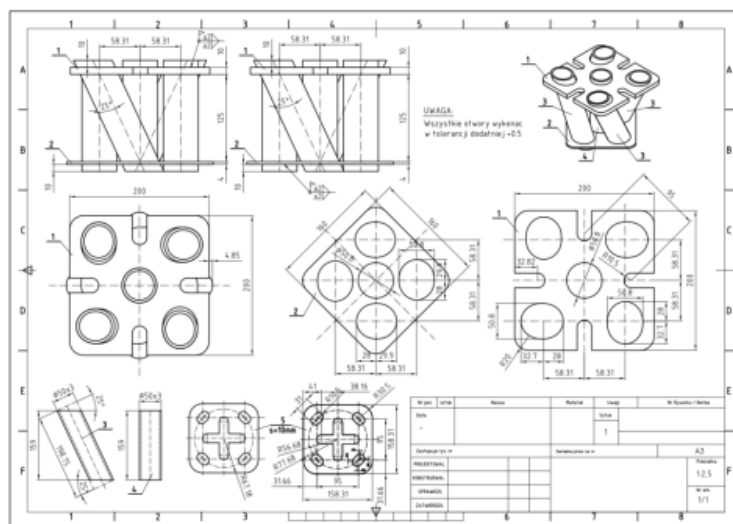
Mikropale znajdują zastosowanie jako posadowienie pośrednie wszelkich obiektów budowlanych, takich jak: · budynki mieszkalne, · obiekty inżynierskie, · obiekty przemysłowe, · obiekty infrastruktury technicznej (instalacje fotowoltaiczne i inne) oraz inne budowle, dla których warunki gruntowe uniemożliwiają posadowienie bezpośrednie. Posadowienie na mikropalach pozwala na obniżenie kosztów wykonania głębokiego wykopu do warstw nośnych, czy wymiany gruntu. Wykonawcy dysponują sprzętem podręcznym, umożliwiającym pracę w trudno dostępnych miejscach, np. w piwnicach z dojściem przez korytarze i drzwi.



Rysunek 10 a) wzmocnienie fundamentu bezpośredniego b) wzmocnienie fundamentu palowego c) ściana siatkowa stabilizująca osuwisko
Źródło: <https://easyfooting.com/>

Stalowy moduł pozycjonujący w gruncie mikropale rurowe ma kształt prostopadłościanu i wymiary 200 mm x 200 mm w poziomie i wysokość 164 mm a wraz z elementem końcowym i pozycjonującym do żądanego poziomu od 220 do 300 mm w zależności od długości śrub mocujących go na stalowym module (Rys. 11).

Geometria modułu pozycjonującego mikropale jest identyczna w każdym modelu EasyFootings®. Moduł pozycjonujący mikropale wykonany jest ze stali ocynkowanej ogniowo i tworzą go dwie równoległe blachy o grubościach 10mm oraz 4 mm z wspawanymi między nimi 4 odcinkami rur prowadzących i pozycjonujących w nim mikropale rurowe pod kątem 25° i jedną centralną pod kątem 90°. O grubości ścianki 3mm. Mikropale kotwiące przechodzą przez stalowy moduł (pozycjonując je) przez pięć odcinków rur wspawanych w module pozycjonującym.



Rysunek 11 Schemat modułu pozycjonującego
Źródło: www.easyfootings.com

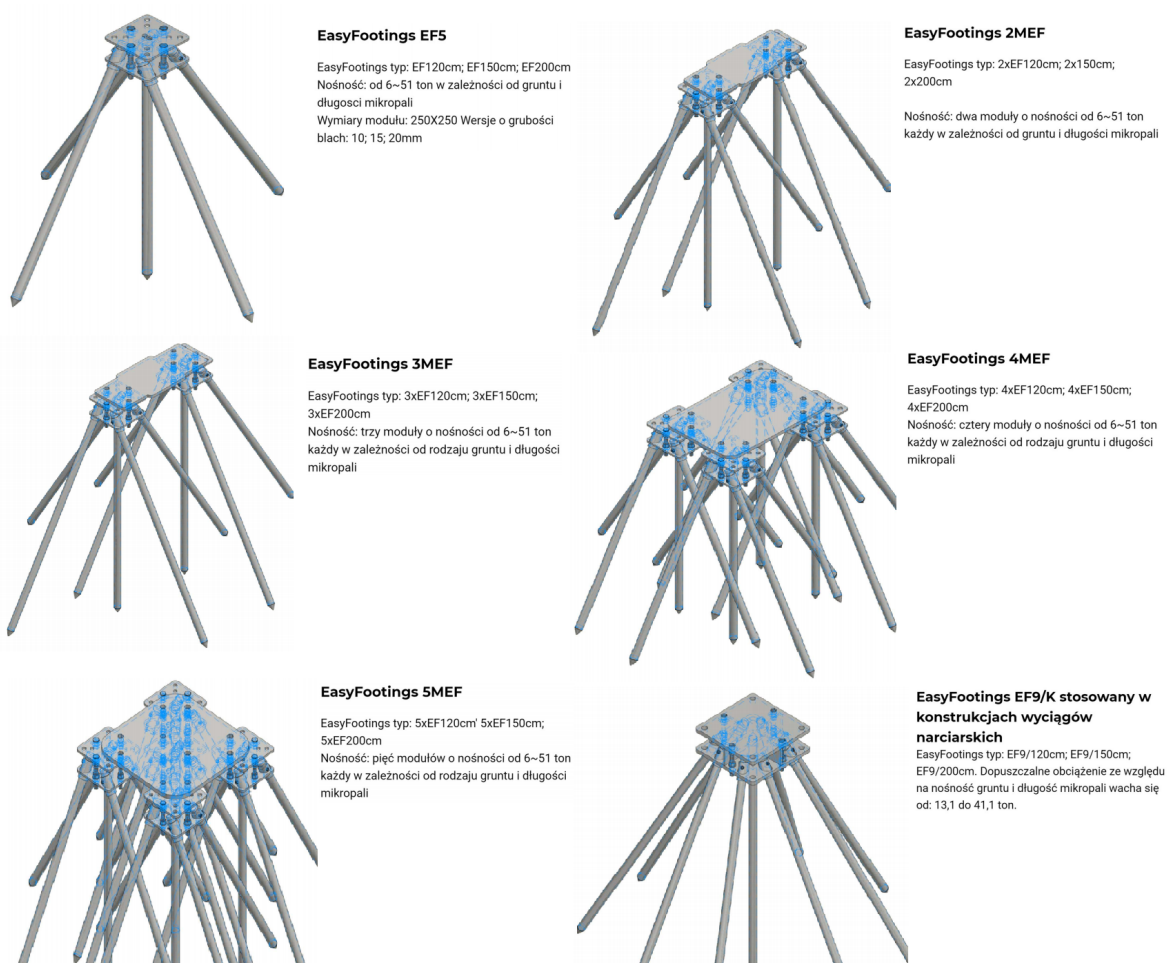
Nośność EasyFootings® osiągana przez jego mikropale wynika z właściwości mechanicznych gruntu, na którym system będzie osadzony. Właściwości mechaniczne określające grunty są używane do obliczania nośności EasyFootings® i są wymienione poniżej:

- Wewnętrzny kąt tarcia (φ)
- Spójność (c)
- Moduł Winklera (K)
- Gęstość (γ)

Dane te uzyskuje się z badań geotechnicznych gruntów, co stanowi podstawę do obliczeń. Alternatywnie i dla konstrukcji objętych kategorią geotechniczną 1 zgodnie z UNE-EN 1997-1, według uznania osoby odpowiedzialnej za instalację i / lub doświadczenie.

2.2 Zestawienie typoszeregów stóp mikropalowych EasyFootings

System EASYFOOTINGS można zastosować do każdego rodzaju gleby, do stawiania obiektów mieszkalnych w tradycyjnym budownictwie, modułowym, pasywnym oraz hal produkcyjno-magazynowych, wiat, tarasów oraz małej architektury. W zależności od obiektu dobierany jest odpowiedni moduł z odpowiednimi długościami mikropali pozwalający na usadowienie danego obiektu (Rys. 12), również ze względu na obciążenia w przypadku piasku, żwiru, mułu oraz gliny (Tab. 1). System wykorzystywany jest również jako wzmocnienie do już istniejących fundamentów tradycyjnych.



Rysunek 12 Rodzaje stóp EasyFootings
Źródło: www.easyfootings.com

Tabela 1 Obciążenia EasyFootings w przypadku mułu/gliny oraz piasku/żwiru

Muły/gliny (CH – grunty bardzo spoiste; CL – grunty średnio spoiste i spoiste zwięzłe; MH i ML – grunty mało spoiste)
Minimum 75 kN/m² -7,5ton/m²

Model EF	Maksymalne obciążenie kN /ton	Długość mikropali cm	Odpowiednik tradycyjnej stopy cm/cm	Głębokość przemarzania cm	Siła wrywania kN/ton	Siły boczne kN/ton
EF5	60,08kN/6,0 ton	120	90x90	120	45,0kN/4,5ton	45,0kN/4,5ton
EF5	101,2kN/10,1ton	150	135x135	150	75,0kN/7,5ton*	75,0kN/7,5ton*
EF5	150,0kN/15,0ton	200	200x200	200	112,5kN/11,2ton*	112,5kN/11,2ton*
Model EF	Maksymalne obciążenie kN /ton	Długość mikropali cm	Odpowiednik tradycyjnej stopy cm/cm	Głębokość przemarzania cm	Siła wrywania kN/ton	Siły boczne kN/ton
EF9/K	131,0kN/13,1 ton	120	1,75 m ²	120	98,2kN/9,82ton*	98,2kN/9,82ton*
EF9/K	182,0kN/18,2ton	150	2,52m ²	150	135,0kN/13,5ton*	135,0kN/13,5ton*
EF9/K	308,0kN/30,8ton	200	4,11m ²	200	231,0/23,1ton*	231,0/23,1ton*
Model EF	Maksymalne obciążenie kN /ton	Długość mikropali cm	Odpowiednik tradycyjnej stopy cm/cm	Głębokość przemarzania cm	Siła wrywania kN/ton	Siły boczne kN/ton
EF8/O	125,0kN/12,5 ton	120	1,66 m ²	120	93,7kN/9,37ton*	93,7kN/9,37ton*
EF8/O	206,0kN/20,6ton	150	2,75m ²	150	154,5kN/15,45ton*	154,5kN/15,45ton*
EF8/O	314,0kN/31,4ton	200	4,19m ²	200	235,5kN/23,55ton*	235,5kN/23,55ton*
Model EF	Maksymalne obciążenie kN /ton	Długość mikropali cm	Odpowiednik tradycyjnej stopy cm/cm	Głębokość przemarzania cm	Siła wrywania kN/ton	Siły boczne kN/ton
EF3/T	41,0kN/4,1 ton	120	0,55m ²	120	30,8kN/3,08ton	30,8kN/3,08ton

Piaski/żwiru (SW – Czysty piasek odsiany; SP – piasek źle odsiany; SM – Piasek z mulem; SC – Piasek z gliną; GM – Żwir z mulem; GC – Żwir z gliną)
Minimum 100 kN/m² -10ton/m²

Model EF	Maksymalne obciążenie kN /ton	Długość mikropali cm	Odpowiednik tradycyjnej stopy cm/cm	Głębokość przemarzania cm	Siła wrywania kN/ton	Siły boczne kN/ton
EF5	78,0kN/7,8 ton	120	90x90	120	58,5kN/5,85ton*	58,5kN/5,85ton*
EF5	131,3kN/13,1ton	150	135x135	150	98,5kN/9,85ton*	98,5kN/9,85ton*
EF5	195,0kN/19,5ton	200	200x200	200	146,25,0kN/14,62ton*	146,25,0kN/14,62ton*
Model EF	Maksymalne obciążenie kN /ton	Długość mikropali cm	Odpowiednik tradycyjnej stopy cm/cm	Głębokość przemarzania cm	Siła wrywania kN/ton	Siły boczne kN/ton
EF9/K	175,0kN/17,5ton	120	1,75m ²	120	131,25kN/13,12ton*	131,25kN/13,12ton*
EF9/K	252,0kN/25,2ton	150	2,52m ²	150	189,0kN/18,9ton*	189,0kN/18,9ton*
EF9/K	400,0kN/40,0ton	200	4,11m ²	200	300,0kN/30,0ton*	300,0kN/30,0ton*
Model EF	Maksymalne obciążenie kN /ton	Długość mikropali cm	Odpowiednik tradycyjnej stopy cm/cm	Głębokość przemarzania cm	Siła wrywania kN/ton	Siły boczne kN/ton
EF8/O	166,0kN/16,6ton	120	1,66m ²	120	124,5kN/12,45ton*	124,5kN/12,45ton*
EF8/O	275,0kN/27,5ton	150	2,75m ²	150	206,25kN/20,62ton*	206,25kN/20,62ton*
EF8/O	419,0kN/41,9ton	200	4,19m ²	200	314,25kN/31,42ton*	314,25kN/31,42ton*
Model EF	Maksymalne obciążenie kN /ton	Długość mikropali cm	Odpowiednik tradycyjnej stopy cm/cm	Głębokość przemarzania cm	Siła wrywania kN/ton	Siły boczne kN/ton
EF3/T	55,0kN/5,5 ton	120	0,55m ²	120	41,25kN/4,12ton*	41,25kN/4,12ton*

Powyższa tabela wskazuje jaki rodzaj stopy należy zastosować dla danego rodzaju gruntu, które są ściśle przypisane do wartości obciążeń, siły wrywania oraz siły bocznej. Konstruktor na podstawie projektu, badań geodezyjnych oraz przypisanych wartości dobiera odpowiedni rodzaj stopy, tworząc całą dokumentację budowlaną pozwalającą na uzyskanie pozwolenia na budowę, a tym samym postawienie budynku.

2.3 Instalacja systemu EasyFootings

Procedura instalacji EasyFootings® została zaprojektowana tak, aby ułatwić pracę instalatorów, ale wiąże się to z koniecznością posiadania podstawowych narzędzi i umiejętności do jej instalacji [1].

Podstawowe umiejętności obejmują:

- Zdolność do wykonywania prostych prac takich jak pomiary w terenie, trasowanie punktów instalacji, niwelacja podstawowa, interpretacja schematów i prostych planów projektowych itp.

- Obsługa profesjonalnych narzędzi ręcznych takie jak młot udarowy, wiertarka, wsporniki montażowe itp.

- Znajomość podstawowych norm bezpieczeństwa do pracy obejmującej powyższe punkty.

Niezbędne środki materialne oprócz umiejętności:

- Narzędzia tyczenia.
- Ręczny młotek.
- Klucz płaski oczkowy lub nastawny klucz STILLSON.
- Osobiste wyposażenie ochronne.
- Młot udarowy elektryczny. Zalecane są młoty z przybliżoną energią uderzenia 40

J.

- Poziomica.
- Podstawowe narzędzie do demontażu systemu.
- Penetrometr

Instalacja EasyFootings® musi przebiegać zgodnie z instrukcją montażu, aby zapewnić bezpieczeństwo i zdrowie pracowników.

W celu rozpoczęcia instalacji wymagane jest:

- Środowisko, w którym prowadzona jest instalacja EasyFootings® i należy traktować to jako proces, który wymaga określenia rejonu pracy i uniemożliwienia dostępu osobom postronnym w trakcie wykonywanych prac instalacyjnych.

- Wobec wszelkich zagrożeń związanych z pracą do jej wykonania niezbędne są elementy ochronne pracowników.

- Instalatorzy EasyFootings® muszą posiadać elementy ochrony indywidualnej do wykonania prac instalacyjnych.

- Instalacja EasyFootings® obejmuje zarządzanie certyfikowanymi narzędziami, instalatorzy muszą być informowani i szkoleni co do sposobów ich użycia – jest to warunek konieczny.

EasyFootings® musi być zainstalowany po odpowiednim wytyczeniu punktów instalacji na gruncie i upewnieniu się, że nie istnieje jakikolwiek element, na który może mieć wpływ montaż EasyFootings®, szczególnie chodzi tu o możliwość istnienia obiektów wgłębnie umiejscowionych. Za strefę bezpieczeństwa uważa się okrąg o średnicy długości mikropala liczony od środka modułu pozycjonującego EasyFootings®, tak samo w górę nad modulem ze względu na pozycjonowanie mikropali w module a następnie ich wbicie w grunt. Ważne jest, aby pamiętać, że ze względu na bezpieczeństwo operatorów instalujących EasyFootings®, istnieje potrzeba upewnienia się, że mikropale nie będą uszkadzały ziemnych kabli energetycznych lub instalacji wodno-kanalizacyjnych. Niezależnie od tego zaleca się pracę na dywanach izolacyjnych i / lub użycia systemów lokalizacji kabli w gruncie. Tyczenie EasyFootings® musi być zgodne projektem budowlanym instalacji. Zaleca się zewnętrzne punkty odniesienia w minimalnej odległości 2 metry od posadowienia EasyFootings®, tak, aby była możliwość wyznaczenia środka modułu dwoma liniami krzyżującymi się nad każdym z nich instalowanych w gruncie EasyFootings® i usuwanymi po wyznaczeniu osi EasyFootings®. Jeśli używany jest penetrometr, stosuje się takie same środki bezpieczeństwa, jak wtedy gdy EasyFootings® instalowany jest bez jego użycia. Instalacja EasyFootings® obejmuje wpływ na środowiska tylko w momencie jego instalacji w związku z wykonaniem małego wykopu 30 x 30 x 30 cm lub 30 x 30 x 50 cm i ponownego zasypania go po dokonanej instalacji urobkiem z wcześniejszego uzysku.

Instalacja EasyFootings® obejmuje realizację następujących kroków:

- Krok 1: Odbiór z magazynu materiałów i organizacja transportu do miejsca planowanej instalacji. Zazwyczaj EasyFootings® kompletowane są w pakiety paletowe. Moduł pozycjonujący ma przybliżoną wagę 6 kg a waga mikropali waha się od 5 do 8 kg na mb, w zależności od typologii do zainstalowania

- Krok 2: Wykonanie wykopu w gruncie o przybliżonych wymiarach 30 cm x 30 cm pod umieszczawiany stalowy moduł pozycjonujący EasyFootings®. Głębokość otworu to 25 cm minimum w przypadku, gdy EasyFootings® jest przeznaczony głównie do obciążeń ściskających i 50 cm jako minimum dla przypadku przeznaczenia EasyFootings® głównie pod siły rozciągające, moment zginający lub strony siły poziome boczne. Wykopy wykonuje się ręcznie. Szczególną uwagę należy zwrócić na umieszczenie modułu pozycjonującego w wykopie dokładnie w punkcie, który wskazuje tyczenie na gruncie, w tym celu zaleca się zweryfikować poprawność instalacji. Ułożone w poziomie

EasyFootings® należy sprawdzić na dwóch osiach prostopadłych do siebie przy pomocy zwykłej poziomnicy (Rysunek 13).



Rysunek 13 Wykopy w gruncie i ułożenie modułu pozycjonującego EasyFootings
Źródło: <https://easyfooting.com/>

· Krok 3: Ustawienie modułu pozycjonującego EasyFootings® i wprowadzenie do niego mikropali za pomocą ręcznego młotka wbijając je początkowo w moduł pozycjonujący i dokonując kontroli jego poziomu. Mikropale będą wbijane na przemian w kolejności i na odcinkach nie większych niż 15 cm. Podczas całego procesu należy kontrolować, czy EasyFootings® utrzymuje poziomowanie i pozycję w stosunku do wytyczonego położenia oraz czy zachowuje poziome położenie. W przypadku jakichkolwiek odchyień należy dokonać poprawek jego położenia, zmieniając położenie mikropali ręcznie a jeśli nie jest to możliwe, należy EasyFootings® odinstalować i ponownie rozpocząć ten proces, weryfikując wcześniej czy nie było przeszkód w gruncie w miejscu instalacji EasyFootings®, co mogłoby utrudnić instalację. Wymagać to może kilku faz ręcznego wbijania mikropali w moduł. Następnie przystępujemy do wbijania mikropali młotem elektro-udarowym. Wbijanie mikropali należy dokonywać do momentu aż znajdą one swe końcowe położenie w gruncie i module, wtedy EasyFootings® jest zamocowany na swoim docelowym miejscu. Po zakończeniu wbijania mikropali przestrzeń wokół modułu pozycjonującego a ścianami wykopu należy wypełnić urobkiem z wcześniejszego wykopu. W pracach dopuszczalne są tolerancje niższe niż wartości nominalne systemu umożliwiające precyzyjne pozycjonowanie EasyFootings®, służą jak jako wskaźniki (Rysunek 14).



Rysunek 14 Ustawianie i mocowanie
Źródło: <https://easyfooting.com/>

· Krok 4: Wprowadzenie mikropali w moduł pozycjonujący musi odbywać się z kontrolą poziomnicy. Młot elektro-udarowy używamy wtedy, gdy moduł pozycjonujący będzie przygotowany wraz z mikropalami w miejscu docelowej instalacji. Młot elektro-udarowy ma za zadanie przekazywać uderzającą energię uderzeniową od młota na wbijane w grunt mikropale poprzez nakładkę pasującą na mikropal i młot elektro-udarowy. Wbicie mikropali w moduł pozycjonujący i dalej w grunt musi być wykonane z zachowaniem szczególnej staranności i równomiernego ich wbijania. Mikropale muszą być wbijane na przemian w kolejności i na odcinkach nie większych niż 15 cm. Wbijanie mikropali w grunt odbywa się na przemian i według faz, tak aby na każdym etapie nie było to więcej niż 30 cm, co oznacza minimum 4 fazy. Ograniczenie prędkości wbijania powinno nastąpić w końcowym fazie wbijania mikropali, gdzie celem jest zapewnienie, aby mikropal był wbity do odpowiedniej głębokości i nie doprowadzając do bezpośredniego uderzenia młotem modułu pozycjonującego mikropale. Należy kontynuować wbijanie tylko do momentu kiedy uzyskamy wystarczający odcinek mikropala do założenia na jego końcu ogranicznika z PCV. Zaleca się utrzymanie poziomego modułu pozycjonującego podczas całego procesu palowania, sprawdzając to co pewien czas czy EasyFootings® nie przechyla się. Należy też sprawdzić czy punkt instalacji EasyFootings® jest prawidłowy w stosunku do zewnętrznych odniesień projektowych. Po zakończeniu instalacji sprawdza się, czy całość instalacji EasyFootings® przebiegła prawidłowo. Jeśli nie, wymieniamy go na nowy (Rysunek 15).



Rysunek 15 Wbijanie pali młotem elektro-udarowym

Źródło: <https://easyfooting.com/>

· Krok 5: Montaż zatyczek ochronnych z PCV na końcówkach mikropali. Kiedy tylko mikropale zostaną wbite w grunt, aby chronić je w górnej części, zatykamy je zatyczkami ochronnymi z PCV. Dodatkowo możemy uszczelnić dodatkowo połączenie odpowiednią masą uszczelniającą (silikonową). Po wykonaniu kroku 5 i przymocowaniu elementu końcowo ustalającego wysokość poziomu EasyFootings® jest gotowy do pracy i może przejmować obciążenie posadawianego na nim obiektu dla którego został zainstalowany (Rysunek 16).



Rysunek 16 Montaż zatyczek ochronnych

Źródło: <https://easyfooting.com/>

2.4 Demontaż i modyfikacja

Istnieją trzy warunki demontażu i ponownego użycia EasyFootings®[1]:

- EasyFootings® został zainstalowany według instrukcji montażu. Zewnętrzna część mikropala musi być w dobrym stanie Umożliwiając połączenie z narzędziami demontażu.

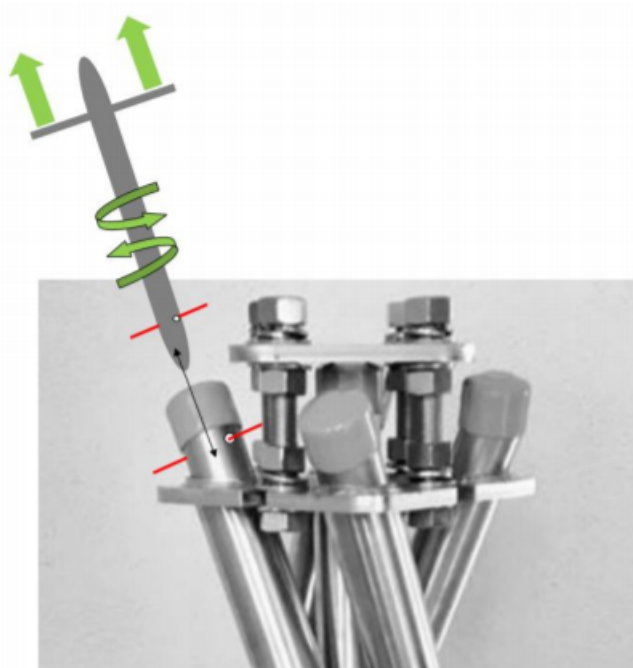
- Aby EasyFootings® mógł być demontowany również moduł pozycjonujący musi być w nie naruszonym i nie uszkodzonym stanie, aby móc zastosować narzędzia do demontażu. Mikropale muszą być proste, co oznacza nie można przekroczyć ich udarowego limitu od czasu pierwszej instalacji.

Demontaż EasyFootings® można przeprowadzić w fazie instalacji, jeśli na przykład został popełniony błąd tyczenia lub jeśli konieczne jest uratowanie niektórych przeszkód stojących na drodze instalacji.

W zależności od potrzeb i trudności możemy użyć następujących metod (Rysunek 17):

- Użycie klucza Stillsona: można go użyć w pierwszym etapie, gdy przyczepność mikropali z podłożem jest niska. Mikropal blokujemy kluczem i ruchami bocznymi wyciągamy mikrofal ku górze z modułu pozycjonującego. Gdy wszystkie mikrofałe zostaną usunięte, można wydobyć moduł pozycjonujący mikropale.

- Korzystanie z podstawowego narzędzia do demontażu: może być używany we wczesnych jego etapach lub do całkowitego odinstalowania EasyFootings® z zainstalowanymi mikropalami blisko modułu pozycjonującego.



Rysunek 17 Przykład użycia narzędzia do demontażu systemu EF

Źródło: <https://easyfooting.com/>

Demontaż przebiega w następujących krokach:

- Krok 1: Zdejmij kapturki ochronne PCV z mikropali, jeśli zostały zainstalowane. Usuń dowolne pozostałości zatyczek i materiału wiążącego z nicuje z mikrofalami.
- Krok 2: Podłącz narzędzie poprzez szpilkę włożoną w przewiercone otwory w końcówce wbitego mikropala.
- Krok 3: Przekręć narzędzie poprzez uchwyt narzędzia. Operator powinien łączyć ruch obrotowy z wysiłkiem wyciągania mikropala. Należy zauważyć, że głównym ruchem jest ruch zwrotny w osi mikropala. Ekstrakcja nie powinna być szczególnie silna, ale musi być ciągła i wyrównana z osią mikropali.
- Krok 4: Po usunięciu wszystkich mikropali usuwamy moduł pozycjonujący z jego lokalizacji.

System EasyFootings® po odinstalowaniu nadaje się do wielokrotnego użytku w nowej lokalizacji, po spełnieniu następujących warunków w odniesieniu do stanu komponentów składowych:

- Moduł pozycjonujący nie jest uszkodzony co mogłoby zagrozić ich wytrzymałości. Pominąć można niewielkie zarysowania z powodu instalacji lub odinstalowania:

a) Uszkodzenia związane z instalacją w punktach styku mikropala z powierzchnią modułu pozycjonującego.

b) Awarie związane z zastosowaniem obciążeń powodujących mikropęknięcia powierzchni w okolicach do punktów styku między mikropalem a modułem pozycjonującym.

- Połączenia są nadal sprawne.

- Mikropale są całkowicie proste. Jak mogą przejść przez moduł pozycjonujący i jeśli jesteście to całkowite przejście następuje przy minimalnym wysiłku liniowym i przemieszczanie można uznać za proste.

- Poziom integralności mikropali jest zgodny z żywotnością konstrukcji - w tym sensie sprawdź, czy stan mikropali (średnica, grubość cynkowania itp.) jest kompatybilny z proponowanym nowym okresem przydatności.

EasyFootings® nie wymaga konserwacji pod warunkiem, że nie wpłynęło to na jego integralność podczas instalacji. Na prawidłowe działanie systemu EasyFootings® oraz jego żywotność nie ma wpływ rejon geograficzny instalacji.

3. Wprowadzenie do analizy LCA

Zwiększona świadomość znaczenia ochrony środowiska i związanych z tym możliwych skutków z produktami, zarówno wytwarzanych, jak i konsumowanych, zwiększyło zainteresowanie rozwojem metod pozwalających lepiej zrozumieć i rozwiązać powstałe skutki. Jedną z technik opracowywanych w tym celu jest ocena cyklu życia (LCA).

Budownictwo mieszkaniowe jako proces jest bardzo obciążający dla środowiska, zmienia krajobraz i kształtuje teren. Pierwszym etapem stawiania budynku jest postawienie fundamentów. W przypadku tradycyjnych metod fundamentowania często wymagane jest użycie ciężkiego sprzętu, co powoduje powstawanie dużej ilości odpadów i emisji zanieczyszczeń. Często dojazd takiego sprzętu wiąże się z ingerencją w środowisko, gdyż potrzebna jest przestrzeń transportowa. Dlatego coraz częściej opracowywane są nowe metody fundamentowania, które pozwolą na ograniczenie negatywnych skutków środowiskowych, takie jak np. palowanie, zachowując możliwości nośne tradycyjnych form fundamentowania. Jedną z takich innowacji jest system EasyFootings, dla którego przeprowadzona zostanie takowa analiza, która pozwoli określić ingerencję danego systemu EF w środowisko.

Life Cycle Assessment (LCA) pozwala na:

- oszacowanie możliwości poprawy produktu pod kątem ekologiczności w różnych punktach koła życia,
- dobór odpowiednich wskaźników efektywności środowiskowej, wraz z technikami pomiarowymi.

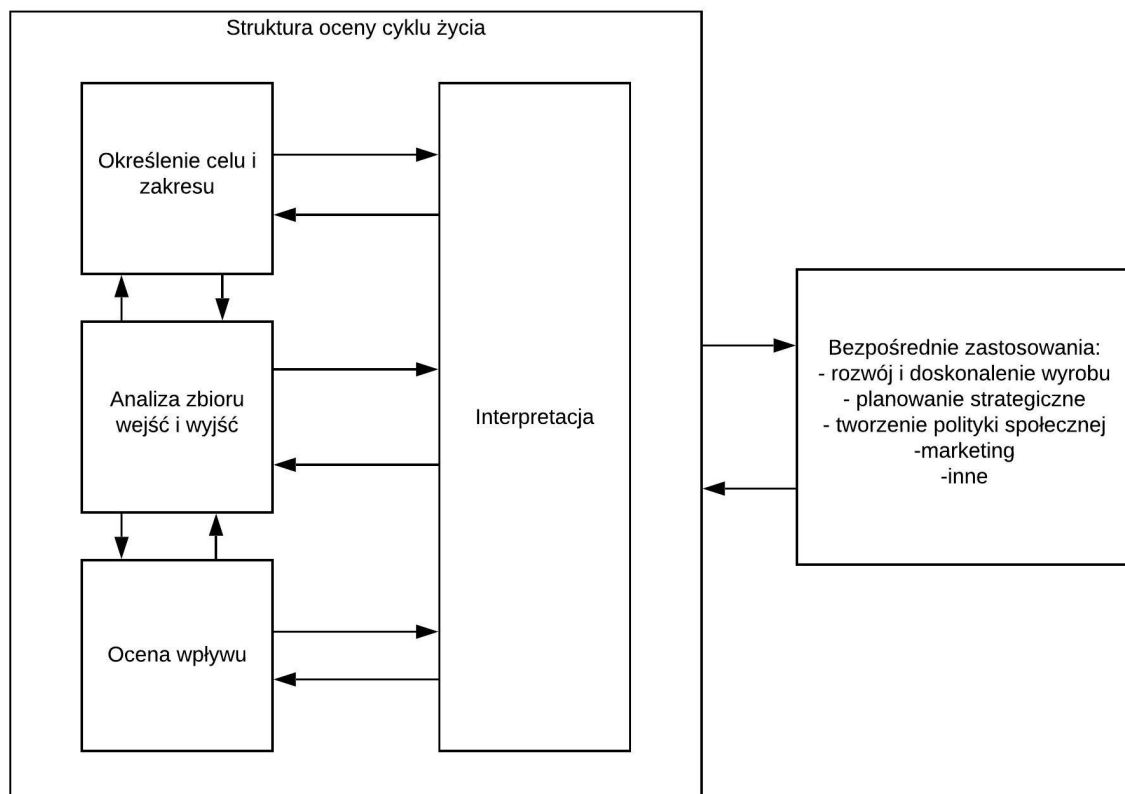
LCA odnosi się do aspektów środowiskowych i potencjalnego wpływu na środowisko w całym cyklu życia produktu od pozyskania surowców poprzez produkcję, stosowanie, obróbkę po zakończeniu eksploatacji, recykling i ostateczną utylizację.

W ostatnich latach myślenie o cyklu życia odgrywało bardziej znaczącą rolę w kształtowaniu polityki ochrony środowiska. Uznane instytucje takie jako World Resource Institute [11], przyjęli sposób myślenia o cyklu życia i coraz większą liczbę różnych interesariuszy odczuwa presję, aby zmniejszyć wpływ na środowisko związany z globalną konsumpcją. W rezultacie jesteśmy świadkami zmiany inicjatyw kierowanych przez rząd na inicjatywy bardziej prywatne opracowane przez organizacje handlowe i rządowe. Równoległe do tych działań Komisja Europejska pracuje nad standardem dotyczącym śladu środowiskowego [12].

LCA stanowi podstawę ilościową i naukową dla wszystkich tych działań. W wielu przypadkach LCA zasila wewnętrzne i zewnętrzne dyskusje. Aktywność w LCA pozwala na komunikowanie wpływu na środowisko przez produkty i procesy biznesowe, jednocześnie umożliwiając opracowanie sposobu redukcji negatywnego wpływu na środowisko.

Istnieją 4 fazy badania LCA (Rys.18):

- A) Faza określenia celu i zakresu
- B) Faza analizy zbioru wejść i wyjść
- C) Faza oceny wpływu
- D) Faza interpretacji



Rysunek 18 Fazy LCA
Źródło: ISO 14040:2009

Wiodącymi standardami dla LCA są normy:

- PN-EN ISO 14040:2009,
- PN-EN ISO 14044:2009.

ISO 14040 uwzględnia zasady i ramy dla LCA, podczas gdy ISO 14044 określa wymagania i wytyczne dla przeprowadzenia badania LCA.

Normy ISO są zdefiniowane dość ogólnie, co utrudnia ocenę, czy dokonano LCA zgodnie ze standardem. W przeciwieństwie do standardu 14000 nie jest możliwe uzyskanie oficjalnej akredytacji stwierdzającej, że LCA, Metodologia LCA lub oprogramowanie LCA zostało wykonane zgodnie ze standardem ISO. Dlatego żaden producent oprogramowania nie może stwierdzić, że LCA wykonane przy użyciu określonego narzędzia programowego automatycznie są zgodne ze standardami ISO.

3.1 Faza określenia celu i zakresu

W normach ISO istnieją określone wymagania dotyczące definicji celu:

- Aplikacja i zamierzeni odbiorcy zostaną opisani jednoznacznie. Wyszczególnione powinno zostać, w jakim celu dane badanie zostało przeprowadzone.
- Powody przeprowadzenia badania powinny być jasno opisane. Trzeba określić czy osoba wykonująca badanie próbuje udowodnić coś, czy zamierza jedynie przekazać pewne informacje itp. Niektóre badania LCA służą więcej niż jednemu celowi. Wyniki można wykorzystać zarówno wewnątrz, jak i zewnątrz. W takim przypadku implikacje podwójnego celu powinny być jasno opisane. Może to być na przykład inna ocena wpływu bądź czy metody są stosowane w wewnętrznych lub zewnętrznych wersjach badania.

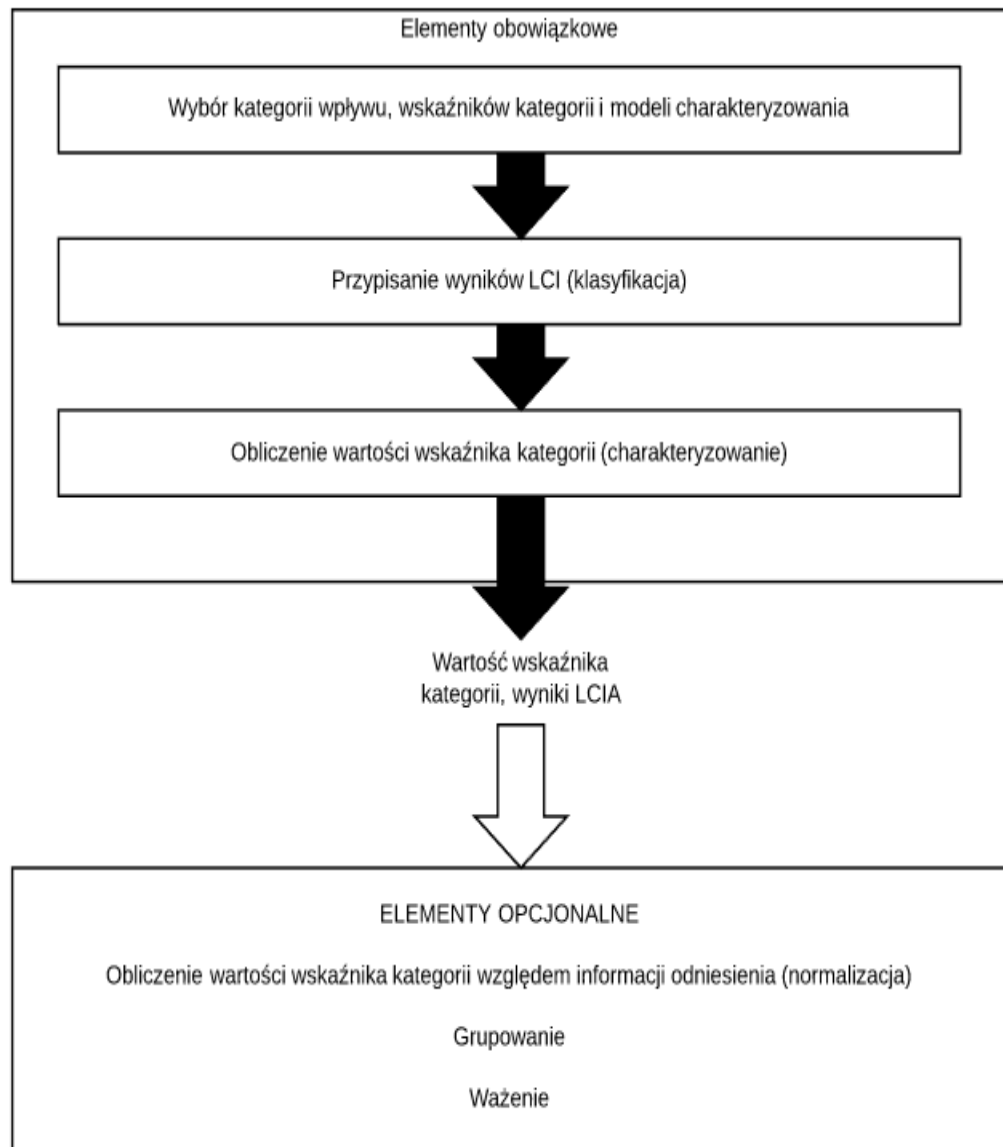
3.2 Faza analizy zbioru wejść i wyjść (LCI)

Life Cycle Inventory (LCI) jest procesem kwalifikacji zapotrzebowania na energię i surowce, emisji do atmosfery, zrzutów wody, odpadów stałych i innych uwolnień w całym cyklu życia wytwarzanego produktu. Pierwszym krokiem w spisie cyklu życia jest opracowanie schematu procesu ilustrującego nakłady i wyniki (zarówno materiałowe, jak i energetyczne) wymagane w cyklu życia ocenianego produktu lub procesu. Drugim etapem LCI jest opracowanie planu gromadzenia danych. Plan gromadzenia danych powinien obejmować cele w zakresie jakości danych, identyfikację źródeł i rodzajów danych oraz identyfikację wszelkich luk. Trzecim krokiem jest gromadzenie danych. Ostatnim krokiem LCI jest ocena i dokumentacja wyników, zapewniająca osiągnięcie celów w zakresie jakości danych, celów jakościowych, identyfikacja źródeł i rodzajów danych oraz identyfikacja wszelkich luk w danych.

3.3 Faza oceny wpływu (LCIA)

Ocena wpływu cyklu życia (LCIA) jest etapem, w którym oblicza się wpływ na środowisko. Kategorie wpływów są wybierane i oceniane są na nich wpływy na podstawie przepływu emisji, energii i materiałów z zebranych danych (Rys. 19). Istnieje wiele różnych rodzajów oddziaływań (wyczerpanie zasobów abiotycznych, globalne ocieplenie, zubożenie warstwy ozonowej, zakwaszenie itp.). Po sklasyfikowaniu i scharakteryzowaniu dane te można znormalizować, pogrupować i zważyć. Normalizacja to proces wyrażania potencjalnego wpływu w sposób umożliwiający porównanie produktów alternatywnych. Grupowanie to proces sortowania wskaźników, a ważenie podkreśla najważniejsze potencjalne skutki.

OCENA WPŁYWU CYKLU ŻYCIA



Rysunek 19 Elementy fazy LCIA
Źródło: ISO 14044 PN-EN 2009

3.4 Faza interpretacji

Ostatni etap LCA powinien identyfikować, kwalifikować, sprawdzać i oceniać informacje uzyskane z oceny. Cel interpretacji określony przez ISO polega na analizie wyników, wyciągnięciu wniosków, wyjaśnieniu ograniczeń i przedstawieniu zaleceń na podstawie oceny LCA. Wyniki tłumaczone ustnie muszą być przekazywane w przejrzysty sposób i zapewniać łatwą do zrozumienia, pełną i spójną prezentację wyników badania LCA, zgodnie z

celem i zakresem badania. Kluczowe kroki w interpretacji wyników LCA obejmują:

- 1) identyfikację istotnych problemów dotyczących analizowanego produktu lub procesu, na podstawie cyklu życia i oceny cyklu życia;
- 2) ocena uwzględniająca kompletność, kontrole wrażliwości i spójności;
- 3) raportowanie, które obejmuje dostarczanie wniosków i rekomendacji.

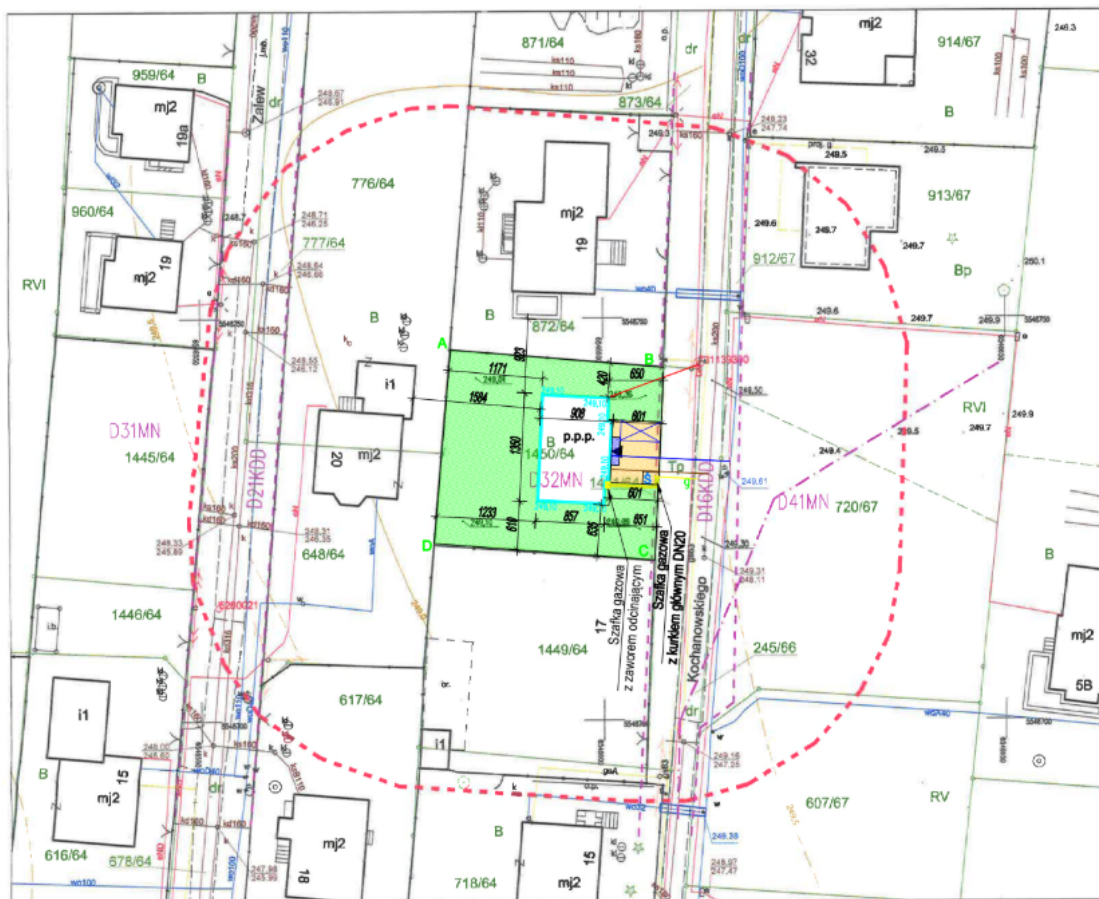
II. Część badawcza

4. Porównanie fundamentów tradycyjnych z EF na przykładzie budynku mieszkalnego o powierzchni 123,46m² w Żorach.

Na potrzeby porównania tradycyjnych form fundamentowania z systemem EasyFootings wykorzystano projekt budynku mieszkalnego w Żorach, dla których obliczono koszty, czas realizacji oraz ilość materiałów wymaganych do postawienia fundamentów. Dodatkowo przeprowadzono analizę LCA dla systemu EasyFootings w celu określenia wpływu modułu fundamentowania EF na środowisko w ograniczonym do określonych etapów cyklu życia produktu.

4.1 Budynek mieszkalny jednorodzinny w Żorach

Projekt przewiduje budowę budynku mieszkalnego jednorodzinnego z dachem skośnym wielospadowym. Obiekt zostanie zlokalizowany w środkowej części działki (działka o powierzchni 653m²) w odległości większej niż 4,00 m od wszystkich granic działki (Rys.20). Obiekt zlokalizowany w odległości większej niż 8,0 m od innych budynków (najbliższy budynek znajduje się w odległości 9,23 m i jest to budynek mieszkalny). Na działce zaprojektowano utwardzony ciąg pieszo jezdny umożliwiający dojście oraz dojazd do obiektu. W obrębie utwardzonej powierzchni w północno - wschodniej części działki wydzielono placyk gospodarczy na szczelne pojemniki do przechowywania odpadów stałych. Na powierzchni utwardzonej projektuje się również jedno miejsce postojowe. Pozostała część działki zagospodarowana zielenią stanowiącą powierzchnię biologicznie czynną. Nie zmienia się sposób zagospodarowania wód opadowych z terenu działki. Wody opadowe z dachów i terenów utwardzonych zostaną rozprowadzone na terenie działki.



Rysunek 20 Mapa działki do celów projektowych

Źródło: www.easyfootings.com

4.1.1. Projektowe zagospodarowanie terenu

Parametry i wskaźniki kształtowania zabudowy i zagospodarowania terenu :

- W ramach działki przeznaczonej do zabudowy powierzchnia zabudowy nie może przekroczyć 40% powierzchni działki budowlanej, a minimalny udział procentowy powierzchni biologicznie czynnej w odniesieniu do powierzchni działki budowlanej wynosi 30% – w projekcie powierzchnia zabudowy = 18,32% powierzchni działki, powierzchnia biologicznie czynna = 74,50% powierzchni działki – dostosowano,
- Wskaźnik intensywności zabudowy w granicach 0,01-2,0 - w projekcie 0,19 – dostosowano,
- Wysokość zabudowy nie może przekraczać 10 m - w projekcie 5,55 m – dostosowano,
- Liczba nadziemnych kondygnacji nie może przekraczać trzech - w projekcie 1 kondygnacja – dostosowano.
- Dopuszcza się stosowanie dachów płaskich, jedno- lub wielospadowych lub dachów mansardowych wymagane jest stosowanie pokrycia w kolorze ceglastym, bordowym, brązowym, grafitowym lub czarnym - w projekcie dach wielospadowy pokryty pokryciem w kolorze grafitowym.

Przedmiotowa inwestycja nie powoduje konieczności wycinki drzew (Tab. 2).

Tabela 2 Zestawienie powierzchni poszczególnych części zagospodarowania działki budowlanej

BILANS TERENU					
LP	RODZAJ POWIERZCHNI	m ²	[%]	Wymagania MPZP	Spełnienie warunku
1.	Powierzchnia działki	653	100	-	
2.	Powierzchnia działki D32MN	653	100	-	
3.	Powierzchnia zabudowy	119,7	18,32	Maks.40%	spełniony
4.	Powierzchnia całkowita	123,46	18,91	-	
5.	Powierzchnia utwardzona (dojścia i dojazdy)	43,38	6,64	-	
6.	Powierzchnia utwardzona (schody i tarasy)	3,48	0,53	-	
7.	Suma powierzchni utwardzonych	46,86	7,18	-	
8.	Powierzchnia biologicznie czynna	486,5	74,50	Min. 30%	spełniony
9.	Wskaźnik intensywności zabudowy	0,19	0,01 – 2,0		spełniony
wg. PN-ISO 9836:1997					

4.1.2 Informacje o ochronie konserwatorskiej oraz ochronie na podstawie ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego

Teren zamierzenia inwestycyjnego nie jest objęty i nie sąsiaduje ze strefami ochrony konserwatorskiej oraz stanowiskami archeologicznymi. Na terenie nie występują zabytki lub obiekty wymagające ochrony dziedzictwa kultury.

4.1.3 Dane określające wpływ eksploatacji górniczej na działkę lub teren zamierzenia budowlanego, znajdującego się w granicach terenu górniczego.

Nieruchomość położona jest poza oddziaływaniem szkód górniczych.

4.1.4 Informacje i dane o charakterze i cechach istniejących i przewidywanych zagrożeń dla środowiska oraz higieny i zdrowia użytkowników projektowanych obiektów budowlanych i ich otoczenia w zakresie zgodnym z przepisami odrębnymi.

Zgodnie z art. 59 Ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko [13], oraz zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko [14] inwestycja nie podlega procedurze sporządzenia raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko.

Zgodnie z Konwencją z dnia 25 lutego 1991 r. o ocenach oddziaływania na środowisko w kontekście transgranicznym [15], nie występują przesłanki do

przeprowadzenia postępowania w sprawie oceny oddziaływania na środowisko w kontekście transgranicznym.

4.1.5 Obszar oddziaływania obiektu budowlanego.

Podstawa prawna opracowania:

- Art. 20 ust. 1 pkt 1 lit. c i art. 34 ust. 3 pkt 5 Ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane [16].
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [17].

Obszar oddziaływania budynku nie wykracza poza granicę działki stanowiącej własność inwestora (Rysunek 21). Obiekt zostanie zlokalizowany w odległości większej niż 4,00 m od granic działki. Obiekt zlokalizowany w odległości większej niż 8,00 m od najbliższych sąsiednich budynków mieszkalnych. Inwestycja nie ma wpływu na zmianę przesłaniania i zacieniania innych obiektów, nie powoduje emisji zanieczyszczeń gazowych, pyłowych i płynnych oraz nie powoduje ponadnormatywnego hałasu, wibracji, promieniowania, powierzchni ziemi, glebę, wody powierzchniowe i podziemne. Inwestycja nie powoduje konieczność wycinki drzew.

4.1.6 Opinia geotechniczna

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych, projektowana inwestycja posadowiona będzie w prostych warunkach gruntowo wodnych.

Zgodnie z Rozporządzeniem, o którym mowa wyżej projektowaną inwestycję zalicza się do I kategorii geotechnicznej. Projekt uwzględnia warunki posadowienia wynikające z opinii geotechnicznej. Dokonano odkrywek w obrębie projektowanej lokalizacji budynku. Stwierdzono, iż warunki hydrogeologiczne w strefie badawczej ocenia się, jako przydatne pod możliwość budowy budynku mieszkalnego. Przyjęto, że maksymalne obciążenie jednostkowe podłoża pod fundamentem nie będzie przekraczać 150 kN/m².

Warunki gruntowe określa się jako proste. Warunki wodne określa się jako proste.

Poziom przemarzania dla miejscowości Żory 1,0 m p.p.t. Minimalna wytrzymałość gruntu: przyjęto 1,5 kg/cm². Do wymiarowania geotechnicznego założono posadowienie na warstwie zagęszczonego piasku średniego.

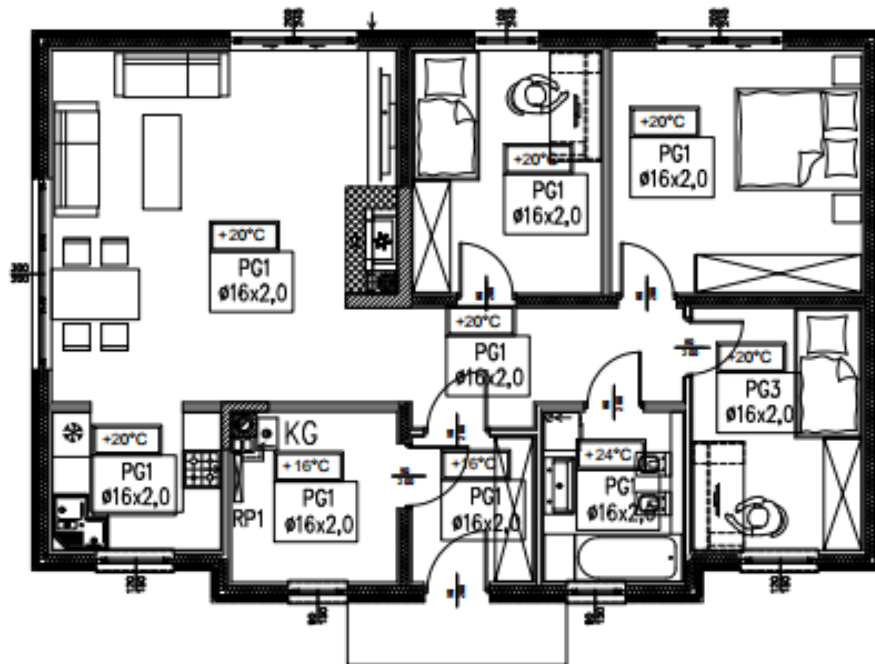
4.1.7 Zakres robót

W ramach inwestycji wykonany zostanie następujący zakres robót:

- zagospodarowanie placu budowy,
- usunięcie warstwy humusu,
- wykonanie prac ziemnych – niwelacja terenu, wykopy fundamentowe i ich zasypanie,
- wykonanie fundamentów,
- wykonanie betonowej podwaliny,
- wykonanie płyty podłogi na gruncie,
- wykonanie drewnianej konstrukcji ścian parteru,
- wykonanie drewnianego stropu nad parterem,
- wykonanie drewnianej konstrukcji ścian poddasza,
- wykonanie konstrukcji dachu,
- wykonanie izolacji przeciwwilgociowych,
- wykonanie pokrycia dachu,
- montaż stolarki okiennej i drzwiowej,
- wykonanie ocieplenia dachu i ścian,
- montaż instalacji wewnętrznych i zewnętrznych,
- wykonanie posadzek,
- prace wykończeniowe – posadzki, sufity, tynki, malowanie ścian,
- montaż i demontaż rusztowań,
- wykonanie dróg i placów,
- wykonanie chodników i urządzenie terenów zieleni,
- uporządkowanie terenu po zakończeniu robót budowlanych.

4.1.8 Podsumowanie

Według powyższego projektu teren budowy posiada łatwy dojazd, nie jest wymagana wycinka drzew, nie występują szkody górnicze. Występujący rodzaj gleby określono jako zagęszczony piasek średni. Maksymalne obciążenie jednostkowe podłoża nie przekracza 150kN/m². Inwestycja zaliczona została do I kategorii geotechnicznej, która obejmuje niewielkie obiekty budowlane, w tym przypadku dwu-kondygnacyjny budynek mieszkalny. Wykopy można wykonywać do głębokości 1,2m, natomiast nasypy budowlane do wysokości 3m. Według powyższych danych możliwe jest zastosowanie łąw fundamentowych, płyt fundamentowych oraz systemu EasyFootings. W następnych podrozdziałach zostanie przedstawiona analiza porównawcza wymienionych wyżej rodzajów fundamentowania.



OZNACZENIA

- PG1
Ø16x2,0 Proj. pole grzewcze ogrzewania podłogowego
- +16°C Temperatura obliczeniowa w pomieszczeniu
- Proj. instalacja c.o.
- RP1 Proj. rozdzielacz ogrzewania podłogowego
- P1 Proj. pion grzewczy c.o.
- Grzejnik

UWAGA:

DOKŁADNY DOBÓR OGRZEWANIA PODŁOGOWEGO
I AUTOMATYKI WG WYTYCZNYCH PRODUCENTA
WYKONAĆ PRZED ROZPOCZĘCIEM ROBÓT INSTALACYJNYCH

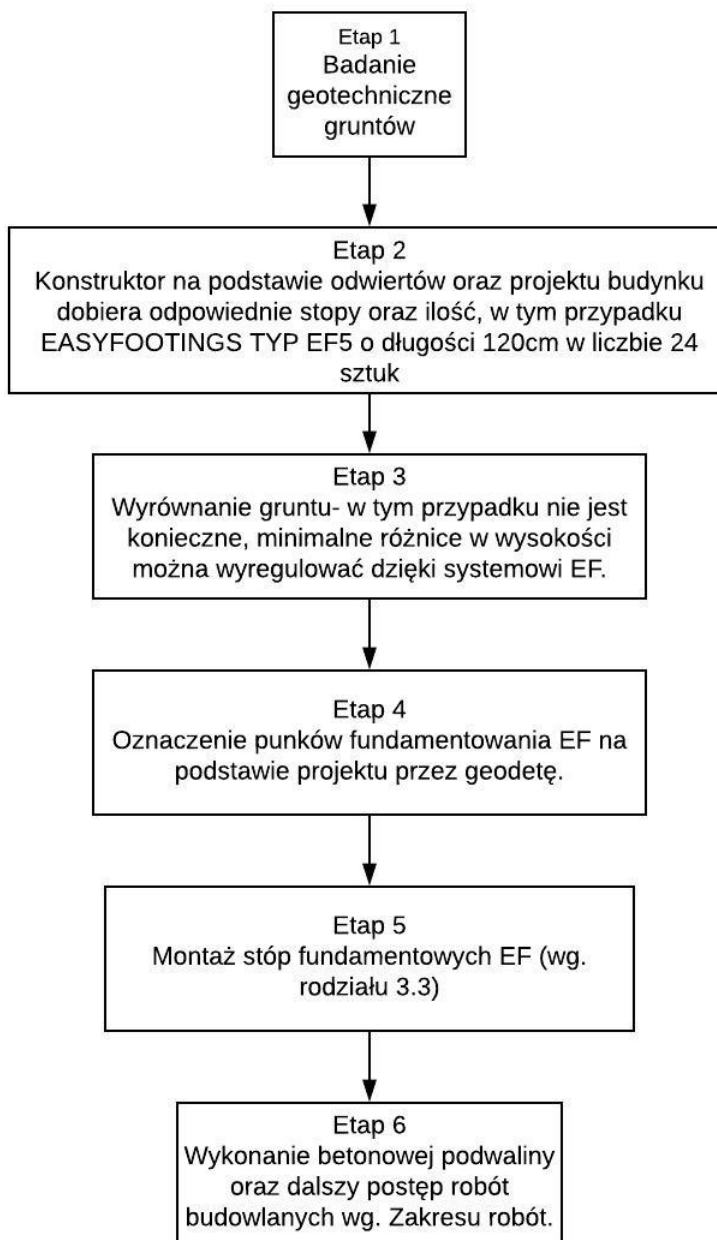
		Tytuł: Budowa budynku mieszkalnego jednorodzinnego					
RZUT PARTERU - SCHEMAT INSTALACJI C.O.		Lokalizacja:					
Projektował:	Imię i nazwisko:	Nr upr.:	Specjalność:	Podpis:	Data:	Skala:	
			architektoniczna			1:100	
Opracował:					Branża:	Faza:	
Opracował:					A	P.B. IS-03	
Opracował:							

Rysunek 21 Projekt budynku mieszkalnego jednorodzinnego
Źródło: www.easyfootings.com

4.2 Opis dostępnych technologii

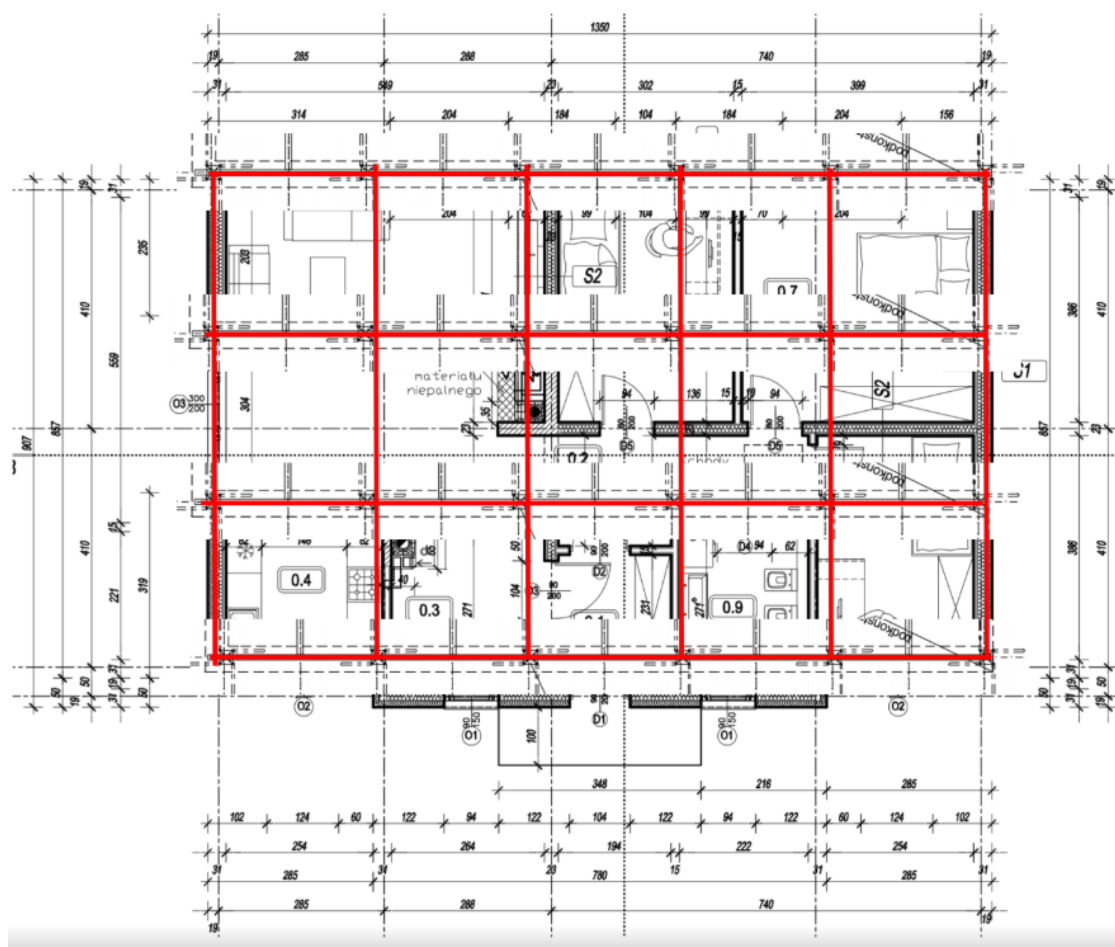
4.2.1 System fundamentowania EASYFOOTINGS

Wdrożenie systemu fundamentowania EASYFOOTINGS dla budynku mieszkalnego jednorodzinnego (Rys. 22) jest bardzo proste i zamyka się w kilku krokach. Wyrównanie terenu nie jest konieczne, ponieważ system pozwala na regulację wysokości stóp i dopasowanie ich równomiernie.



Rysunek 22 Etapy wdrażania systemu EF dla budowy budynku mieszkalnego
Źródło: Opracowanie własne

Według wyliczeń konstruktora wymagana liczba stóp dla projektu to 24 szt (Rys. 23). Koszt jednej sztuki stopy EASYFOOTINGS TYP EF5 to 830zł (Ceny aktualne dnia 20.02.2020), natomiast koszt robocizny montażu to 100zł za sztukę, co przy 24 sztukach daje nam 20 040zł za produkt i 2400zł za montaż (Tab.3).



Rysunek 23 Sugerowana siatka punktów fundamentowania EF w rozstawie 300x300cm
Źródło: www.easyfootings.com

Tabela 3 Koszty EF dla projektu budynku mieszkalnego o powierzchni 126,46cm².

	Koszt
Badanie geotechniczne	800zł
Wyrównanie gruntu	0zł
Usługa geodezyjna	700zł
Materiały	20 040zł
Robocizna	2400zł
SUMA	23 940zł

4.2.2 Ławy fundamentowe

W przypadku ław fundamentowych początkowym etapem jest wyznaczenie zarysu projektu na podstawie opracowanego projektu przez geodetę. Następnie za pomocą koparko-spycharki, ewentualnie ręcznie usuwana jest 30cm warstwa humusu. Grunt zostaje wstępnie wyrównany oraz oczyszczony. Kolejnymi etapami jest wyznaczenie ścian narożnikowych oraz wytyczenie punktów w wykopie, po czym wykonywany jest wykop pod fundamenty. Głębokość wykopu wynika z projektu budowlanego, zbyt płytkie fundamenty mogą poważnie zagrozić konstrukcji budynku, natomiast zbyt głębokie zwiększą jedynie koszt budowy budynku. W tym przypadku powinien on wynosić ok 0,8m.

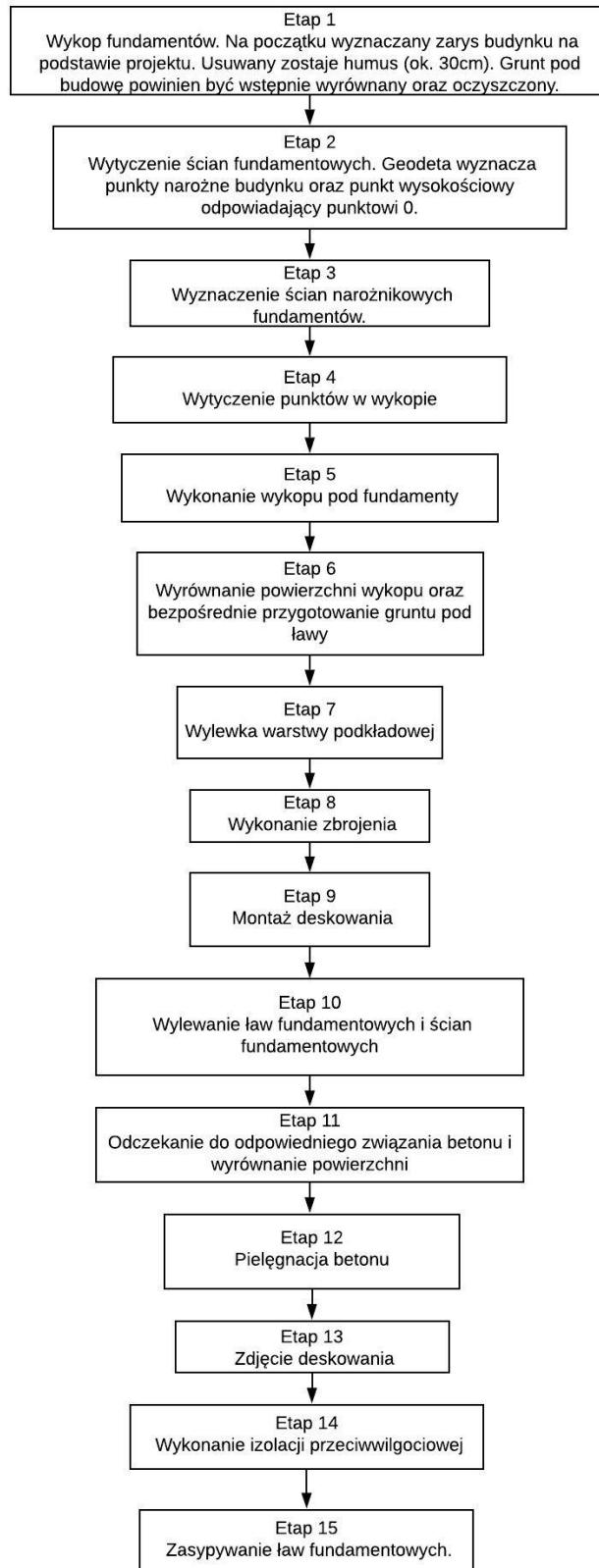
Następnie powierzchnia wykopu jest wyrównywana oraz grunt jest przygotowywany pod postawienie ław. Wykonana jest wylewka warstwy podkładowej oraz wykonanie zbrojenia. Ilość stali wykorzystanej przy zbrojeniu ław dla budynku o powierzchni 123,46m² obliczona została na 227,67kg. W kolejnym etapie następuje proces szalowania (deskowanie), czyli nadawanie formy dla mieszanki betonowej.

Kolejnym krokiem jest proces wylewania ław fundamentowych. Łączną ilość wymaganego betonu szacuje się na 13,39m³. Proces powstawania fundamentu do tego momentu szacuje się na 4-7 dni i zależy od ekipy budowlanej oraz innych warunków, które mogą ten czas wydłużyć. Czas potrzebny do związania i wyschnięcia betonu szacuje się od 3 do 6 tygodni, w międzyczasie beton jest wyrównywany oraz pielęgnowany za pomocą metody dostosowanej do panujących warunków atmosferycznych. Po tym okresie deskowanie zostaje zdjęte oraz wykonana zostaje izolacja przeciwwilgociowa. Ostatnim etapem jest zasypianie ław fundamentowych piaskiem

Koszty wykonania ław fundamentowych pod budynek mieszkalny zgodnie z projektem (Rys. 24) zaczynają się od 31 305,53zł (Tab. 4). Oczywiście bardziej doświadczona ekipa oraz lepsze materiały podnoszą ostateczną cenę wykonania.

Tabela 4 Koszty ław fundamentowych dla projektu budynku mieszkalnego o powierzchni 123,46cm².

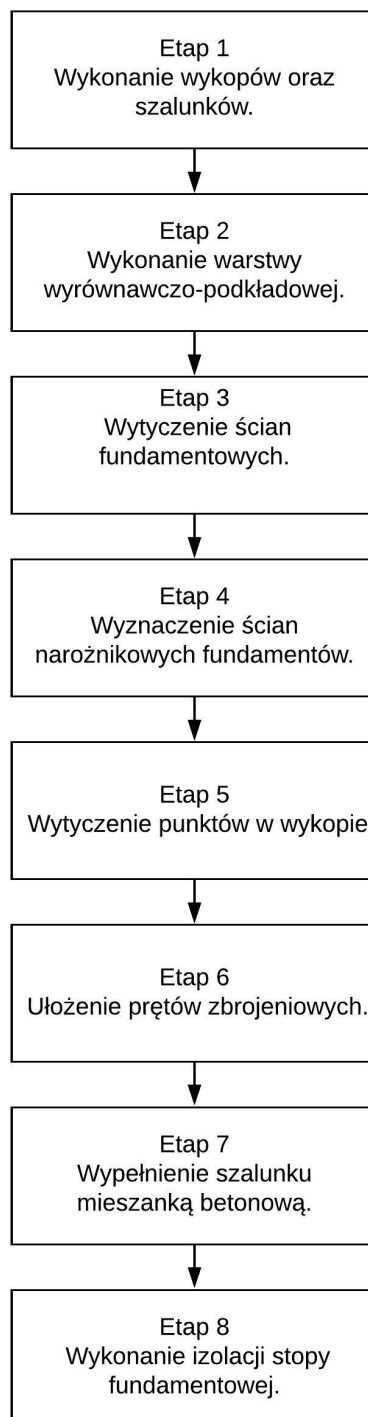
Usługa	Najniższa cena	Średnia cena	Najwyższa cena
B a d a n i e geotechniczne	600zł	800zł	1400zł
Wyrównanie gruntu	180zł	240zł	360zł
Usługa geodezyjna	500zł	700zł	900zł
Materiały	20 604,96zł	26 857,05zł	35 666,31zł
Robocizna	9420,57zł	9595,23zł	11 763,72zł
SUMA	31 305,53zł	38 192,28zł	50 090,03zł



Rysunek 24 Etapy powstawania łąw fundamentowych dla budynku mieszkalnego
Źródło: Opracowanie własne

4.2.3 Stopy fundamentowe

Stopy fundamentowe stawiane są podobnie jak ławy (Rys.25), jednakże najczęściej stosowane są do domów o maksymalnej powierzchni 70m² oraz przy słupach i filarach, dlatego nie mają zastosowania w tym projekcie.



Rys. 25 Etapy budowy stóp fundamentowych.
Źródło: Opracowanie własne

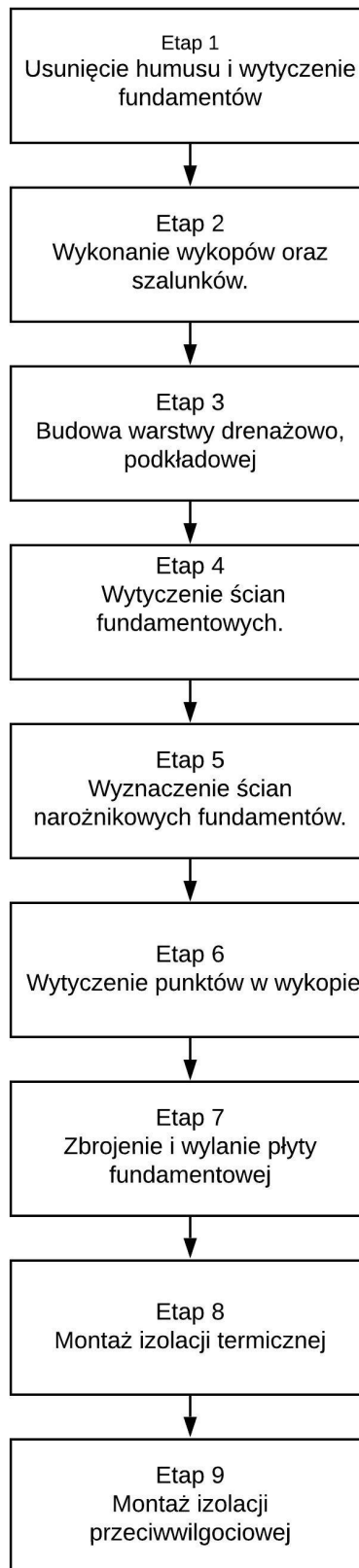
4.2.4 Płyty fundamentowe

Płyty fundamentowe są coraz częściej wykorzystywane do w budownictwie mieszkaniowym, pozwala na równomierne osiadanie budynku, a czas wykonania jest krótszy niż w przypadku łąw fundamentowych. Początkowym etapem jest badanie geotechniczne, następnie wytyczone zostają fundamenty oraz usunięty zostaje humus. Następnie wykonane zostają wykopy oraz szalunki, po czym następuje budowa warstwy drenażowo-podkładowej. W kolejnym etapie wytyczone zostają ściany fundamentowe oraz ścian narożnikowych. Wytyczone zostają punkty w wykopie, po czym wykonywane jest zbrojenie oraz wylanie płyty fundamentowej. Po wyschnięciu i związaniu betonu, które trwa ok. 2 tygodnie, wykonana zostaje izolacja termiczna oraz przeciwwilgociowa (Rys. 26).

Średni koszt materiałów potrzebnych do stawienia płyt fundamentowych to 22 564,33 zł, natomiast koszt robocizny to 9192,11zł (Tab.5). Czas potrzebny to około 28 dni i zależy od zgrania ekipy pracującej przy stawianiu fundamentu oraz innych okoliczności (warunki atmosferyczne, opóźnienia itp.).

Tabela 5 Koszty płyt fundamentowych dla projektu budynku mieszkalnego

Usługa/materiały	Najniższa cena	Średnia cena	Najwyższa cena
B a d a n i e geotechniczne	600zł	800zł	1400zł
Wyrównanie gruntu	180zł	240zł	360zł
Usługa geodezyjna	500zł	700zł	900zł
Materiały	20 604,96zł	22 564,33zł	25 884,12zł
Robocizna	8440,00zł	9192,11zł	9450,25zł
SUMA	30324,96zł	33496,44zł	37994,37zł



Rysunek 26 Etapy budowy płyt fundamentowych
Źródło: Opracowanie własne

4.3 Porównanie dostępnych technologii

Dla porównania przyjęte zostały średnie ceny robocizny oraz materiałów dla tradycyjnych fundamentów oraz płyt fundamentowych. Ceny są aktualne na dzień 17.12.2019 (Tabela 6).

W przypadku tradycyjnych fundamentów oraz płyty fundamentowej istnieją różnice między czasem wykonania, natomiast w zakresie kosztów są one bardzo zbliżone. Tradycyjny rodzaj fundamentowania wymaga usunięcia humusu oraz wyrównania terenu. Jako że działka leży w łatwo dostępnym miejscu nie ma potrzeby usuwania drzew dla przejazdu ciężkiego sprzętu. Oczywiście w kosztach trzeba doliczyć cenę wypożyczenia koparki. Natomiast w przypadku systemu fundamentowania EasyFootings po wyborze rodzaju stóp oraz ich długości przez konstruktora, geodeta wyznacza punkty fundamentowania i można od razu przystąpić do ich montażu.

Koszt 24 stóp systemu EasyFootings to 20 040zł, natomiast koszt montażu to 2400zł. Czas montażu systemu fundamentowania EF wynosi ok. 15min na 1 stopę, co w przypadku tego projektu daje czas ok. 6h. W przypadku ław oraz płyt fundamentowych od 3 do 7 dni trwa sam etap przygotowywania wykopów oraz wylewanie betonu, natomiast okres schnięcia mieszanki betonowej dla ław wynosi 4 tygodnie, a dla płyt 14 dni (Rysunek 28).

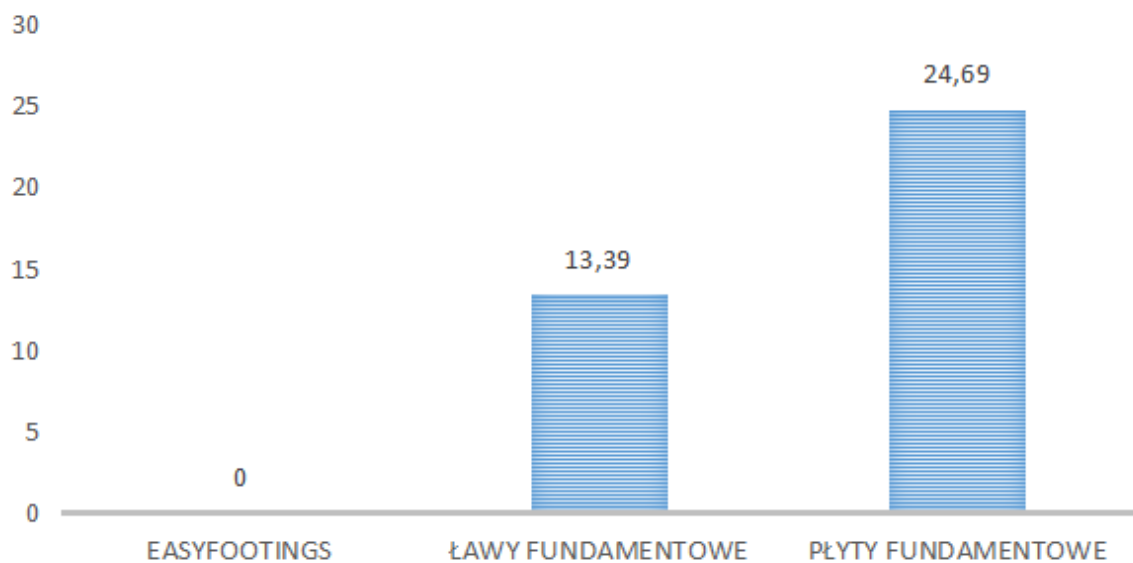
Masa całkowita 1 stopy EASYFOOTINGS TYP EF5 wraz z mikropalami o długości 120cm to 38kg. Ilość betonu wykorzystana to 0m³.

W przypadku ław fundamentowych ilość potrzebnego betonu to 13,39m³, natomiast ilość stali szacuje się na 227,67kg. Natomiast dla płyt fundamentowych ilość betonu to 24,69m³, a ilość stali to 2098,65kg (Rysunek 27).

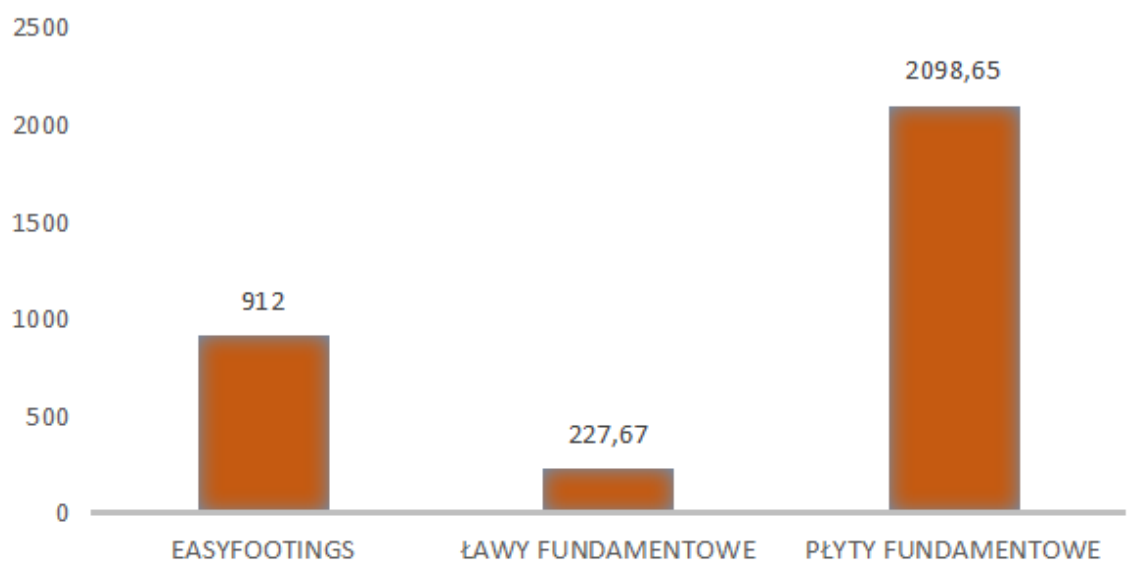
Tabela 6 Porównanie systemu fundamentowania EF z tradycyjnymi rodzajami fundamentu na potrzeby budynku mieszkalnego 123,46m²

	EasyFootings	Ł a w y fundamentowe	S t o p y fundamentowe	P ł y t y fundamentowe
Koszt całkowity	23 940,00zł	38 192,28zł	NIE DOTYCZY	33496,44zł
Czas wykonania (w r a z z s c h n i ę c i e m betonu)	1 dzień	35 dni	NIE DOTYCZY	21 dni
Ilość materiału: beton	0m ³	13,39m ³	NIE DOTYCZY	24,69m ³
Ilość materiału: stal	912,00kg	227,67kg	NIE DOTYCZY	2098,65kg

ILOŚĆ BETONU W M3

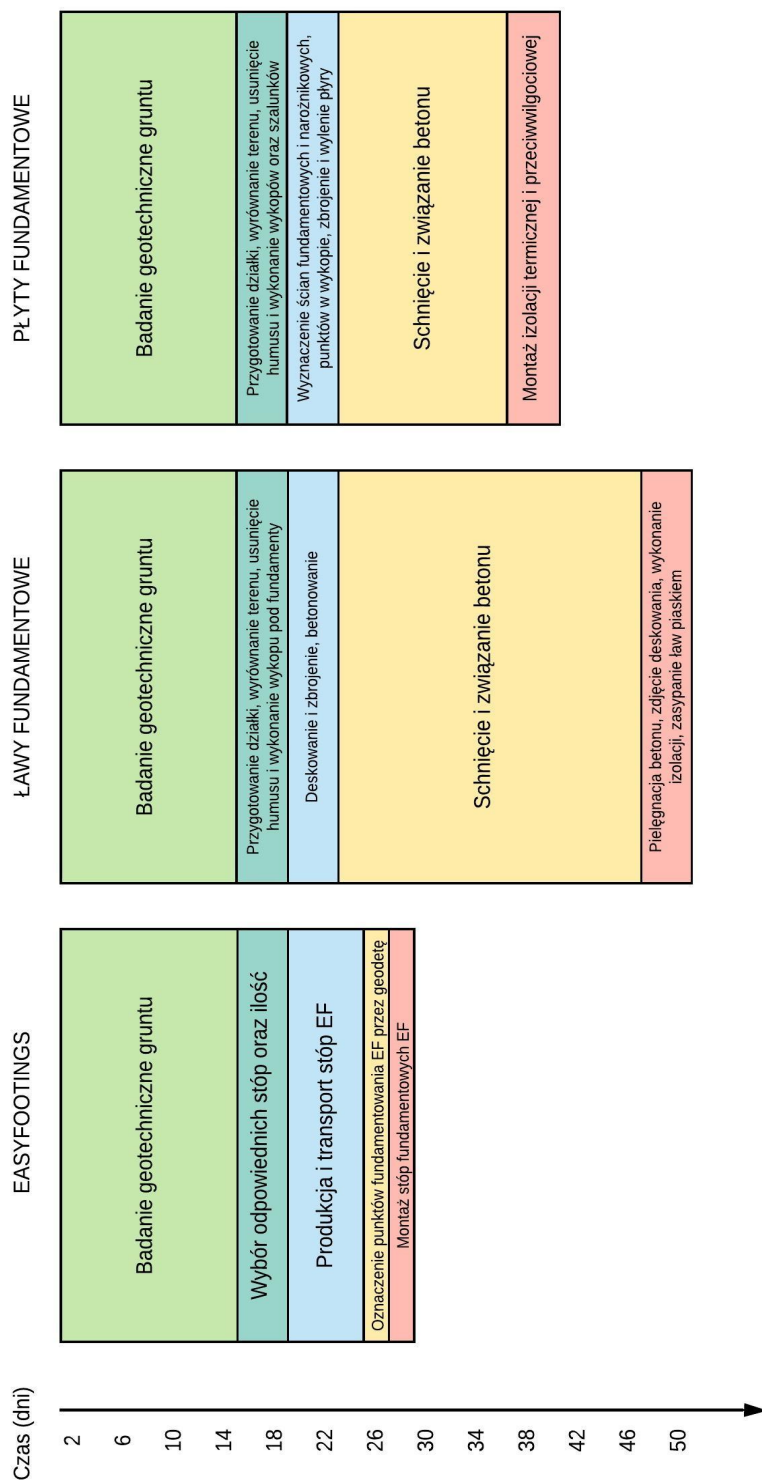


ILOŚĆ STALI W KG



Rysunek 27 Ilość betonu w m3 oraz stali w kg potrzebnych do poszczególnych rodzajów fundamentów

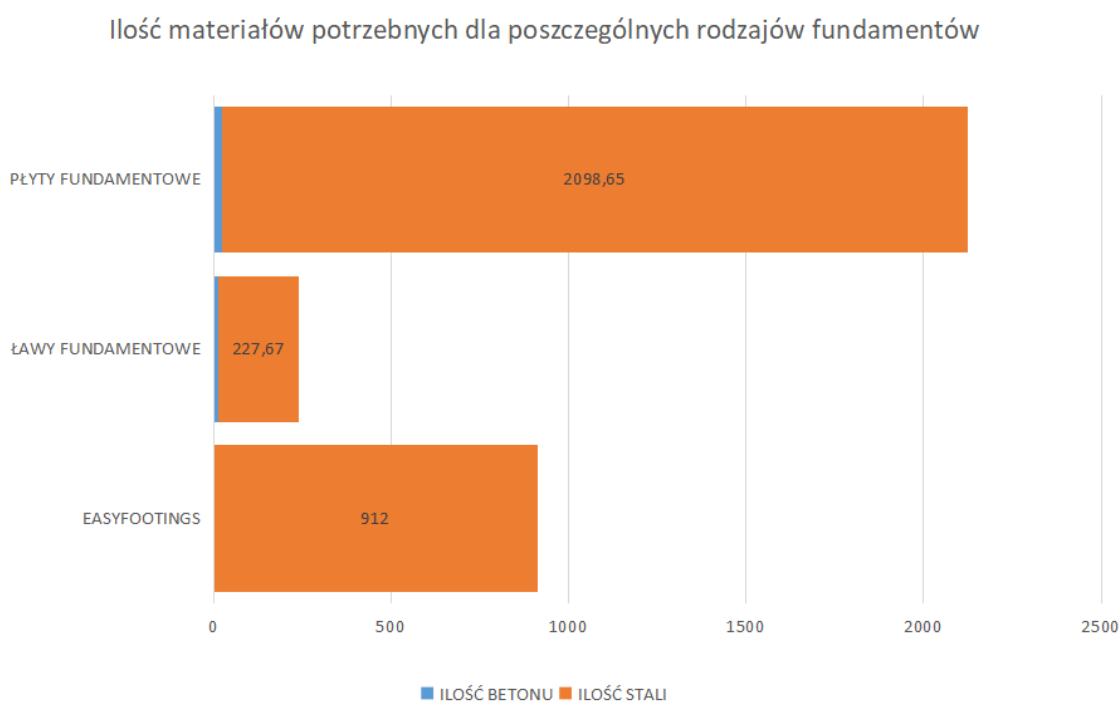
Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 28 Porównanie czasu wykonania poszczególnych rodzajów fundamentu
Źródło: Opracowanie własne

4.4 Podsumowanie różnic pomiędzy technologiami

W przypadku fundamentów tradycyjnych największą przeszkodą jest czas schnięcia betonu, przez co cały proces budowy znacząco wydłuża się. W przypadku EASYFOOTINGS etap ten został pominięty i do postawienia fundamentów nie jest wymagany beton. W przypadku ław fundamentowych ilość wymaganego betonu to ok. 13,39m³, natomiast do płyt fundamentowych to aż dwa razy więcej- 24,69m³. Koszt fundamentów EF to 23 940zł obejmujący badanie geotechniczne, usługę geodezyjną, robocizną oraz materiał. Jest to najniższa cena z porównywanych rodzajów fundamentowania. W przypadku ław koszt to prawie 40 000zł, natomiast płyty wyjdą nas ok 33 496,44zł. Ilość stali wykorzystanej przy stawianiu fundamentów jest najniższa w przypadku ław fundamentowych, gdzie potrzeba 227,67kg. W przypadku EASYFOOTINGS liczba ta jest dużo większa i wynosi 912kg. Natomiast płyty wymagają aż 2098,65kg stali. Łączna ilość surowca potrzebnego do postawienia fundamentów jest najwyższa dla płyt, następnie dla EASYFOOTINGS, a najmniejsza dla ław fundamentowych (Rys. 29). Jednakże największą zaletą zastosowania EASYFOOTINGS jest czas potrzebny do postawienia fundamentów- 1 dzień - oraz koszt, który jest o ok. 12 000zł niższy od następnej opcji. W związku z budową domu mieszkalnego o wielkości 123,46m² w Żorach na terenie płaskim, na którym bez przeszkód można wykorzystać każdy rodzaj z stosowanych fundamentów, EASYFOOTINGS jest opcją najszybszą w posadowieniu oraz najtańszą i ekonomiczną. Dodatkowo po zakończeniu użytkowania budynku bardzo łatwo przebiega demontaż stóp, pozwalając na ich kolejne użycie bądź utylizację.



Rysunek 29 Ilość materiałów potrzebnych dla poszczególnych rodzajów fundament
Źródło: Opracowanie własne

5. Analiza LCA

Oceny cyklu życia (LCA) to metody badawcze mające na celu uzyskanie wglądu w pełny cykl życia produktu. Określa wszystkie dane wejściowe i wyjściowe. Oznacza to, że wszystkie fazy produktu są brane pod uwagę i analizowane, od surowców, opakowań, transportu, sprzedaży detalicznej i konsumenta po utylizację lub recykling. LCA pokazuje, gdzie ma miejsce wpływ na środowisko w łańcuchu dostaw. Hotspoty to lokalizacje w łańcuchu dostaw o największym wpływie na środowisko. Ujawnienie tych hotspotów jest okazją do ulepszenia określonego procesu lub produktu. Ostatecznie doprowadzi to do oszczędności na przykład w zakresie surowców, zużycia energii i kosztów oraz bardziej zrównoważonego produktu. W niektórych przypadkach korzyści środowiskowe mogą być również wykorzystane jako punkt sprzedaży. W danej pracy skupiam się na przeprowadzeniu analizy LCA dla modułów fundamentowych EASYFOOTINGS TYP 5 (Rys.30).

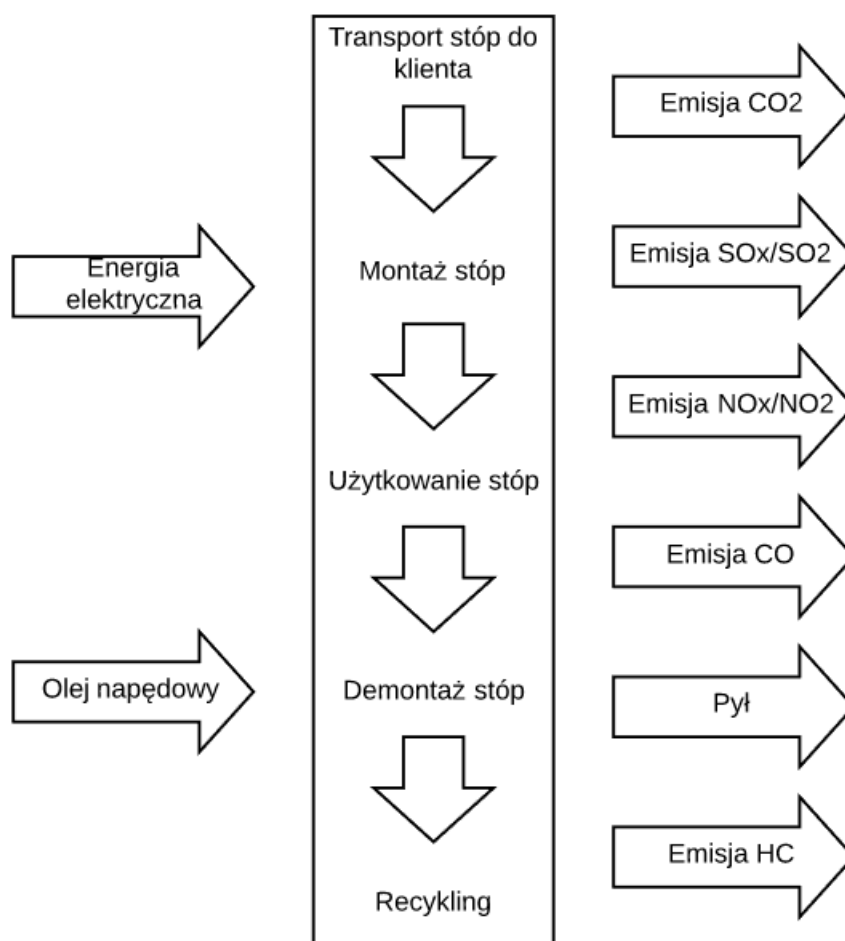


Rysunek 30 LCA dla EASYFOOTINGS
Źródło: Opracowanie własne

Do przeprowadzenia analizy LCA wykorzystano oprogramowanie UMBERTO LCA+ oraz SIMA PRO DEMO 7, które są wiodącymi rozwiązaniami programowymi w zakresie LCA. Wykorzystano wersje trial, zapewniające dostęp do aplikacji na 14 dni. Dane wykorzystane do przeprowadzenia analizy dotyczą cyklu życia EasyFootings typu 5 dla projektu budynku mieszkalnego w Żorach. Do obliczeń wykorzystano wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych do środowiska.

5.1 Faza określenia celu i zakresu

Celem danej analizy jest określenie efektów środowiskowych dla modułu fundamentowego EASYFOOTINGS TYP 5 od odebrania produktu z fabryki, przez transport do klienta, użytkowanie, następnie demontaż i utylizację (Rys. 31).



Rysunek 31 Granice systemu opracowane dla analizy LCA określające procesy jednostkowe, wejścia oraz wyjścia dla cyklu życia EF
Źródło: Opracowanie własne

Moduł EASYFOOTINGS TYP 5 jest to system składający się z szeregu modularnych elementów tzw. Strukturalnych Stup EasyFootings® – Structural Foundation Footing – to materiał budowlany stosowany do budowy fundamentów. Montaż na budowie odbywa się za pomocą złączy śrubowych przy użyciu niewielkiego młota udarowego (Rys. 32).

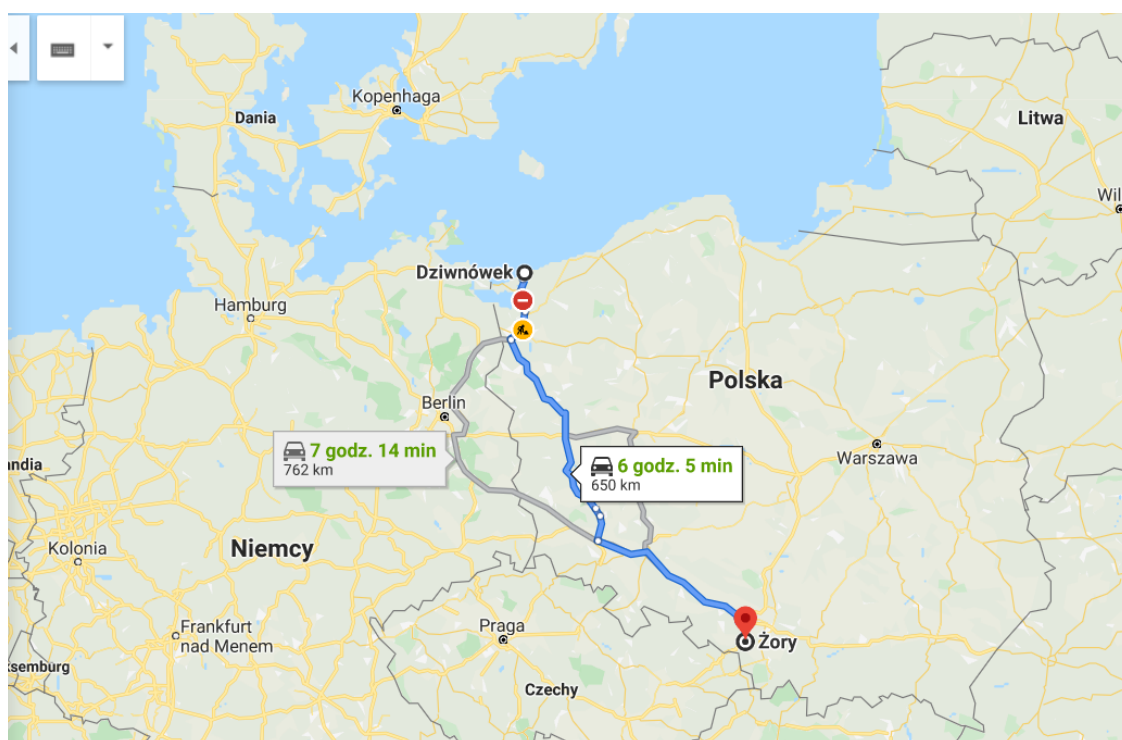
CEL: Określenie efektów środowiskowych dla stóp EASYFOOTINGS EF TYP 5 od momentu transportu do klienta	
Wykonawca	Luca Torresani
Typ badania	Badanie opisowe
Etapy cyklu	Od momentu transportu do klienta
Zastosowanie	Mikro

Rysunek 32 Cel i zakres LCA
 Źródło: Opracowanie własne

5.2 Faza analizy zbioru wejść i wyjść

W przypadku produkcji surowca oraz stóp EASYFOOTINGS produkcja zlecona jest zewnętrznej fabryce, która w celu badań nie udostępnia szczegółowych informacji dotyczących wejść energii, materiałów, wyrobów, emisji do powietrza, zrzutów do wody, gleby oraz innych aspektów środowiskowych. W danej sytuacji analiza LCA zostanie przeprowadzona od momentu transportu z fabryki w miejscowości Dziwnówek do klienta docelowego w Żorach i będzie dotyczyła montażu stóp, demontażu oraz transportu do najbliższego punktu skupu złomu w celu recyklingu.

Odległość niezbędna do pokonania to ok. 650km (Rys. 33). Towar transportowany jest przez firmę zewnętrzną samochodem ciężarowym VOLVO FH 500 z kabiną Globetrotter, silnikiem D13K500 Euro 6 C, skrzynia biegów I-Shift generacji F z pakietem eco, w tym system I-SEE z ostrzeżeniem o kolizji oraz hamulcem awaryjnym i systemem utrzymywania pasa ruchu. Rok produkcji to 2018 rok. Samochód wyprodukowany zgodnie z normą EURO 6. Średnie spalanie oleju napędowego pozyskane ze strony producenta danego samochodu ciężarowego na tej trasie to 28 L/100km.



Rysunek 33 Trasa transportu stóp EF z fabryki do odbiorcy
Źródło: Google Maps

Procesy wejściowe zachodzące to odbiór stóp EF zabezpieczonych na paletach transportowych oraz ich transport w samochodzie ciężarowym VOLVO FH 500 do klienta znajdującego się w Żorach. Do obliczeń wykorzystano wzory emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych do powietrza [X] oraz dane z emisji spalin pojazdu udostępnionego przez producenta. Procesy wyjściowe to spalanie oleju napędowego, wynoszące ok. 182L/100km oraz emisji spalin CO₂, NO_x, HC, CO oraz pyłu (Tab. 7).

Tabela 7 Ilość spalonego oleju napędowego oraz emisje spalin na trasie 650km

	Volvo FH 500
Olej napędowy	182 L/100km
Emisja CO ₂	481 kg
Emisja NO _x	0,052 kg
Emisja HC	0,038 kg
Emisja CO	0,325 kg
Pył całkowity	0,0036 kg

Następnym etapem procesu jest montaż stóp EASYFOOTINGS EF TYP 5, zaczynający się od odbioru stóp. Towar jest rozpakowywany, a wypożyczone palety transportowe zwrócone kierowcy. Kolejnym etapem jest montaż stóp przez wyszkolonym pracowników w wyznaczonych przez geodetę punktach. Pracownicy do montażu stóp używają młot udarowy BOSCH GSH 16-30 41J, 30mm z nasadką 3/4" 42mm (Rys. 34) o mocy 1750W. Dodatkowo wspomagają się niwelatorem optycznym Leica NA324 oraz dalmierzem Leica Disto X310. Do obliczeń użyto wskaźników emisyjności dla energii elektrycznej udostępnionych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami.



Rys. 34 BOSCH GSH 16-30
Źródło: www.bosch.com

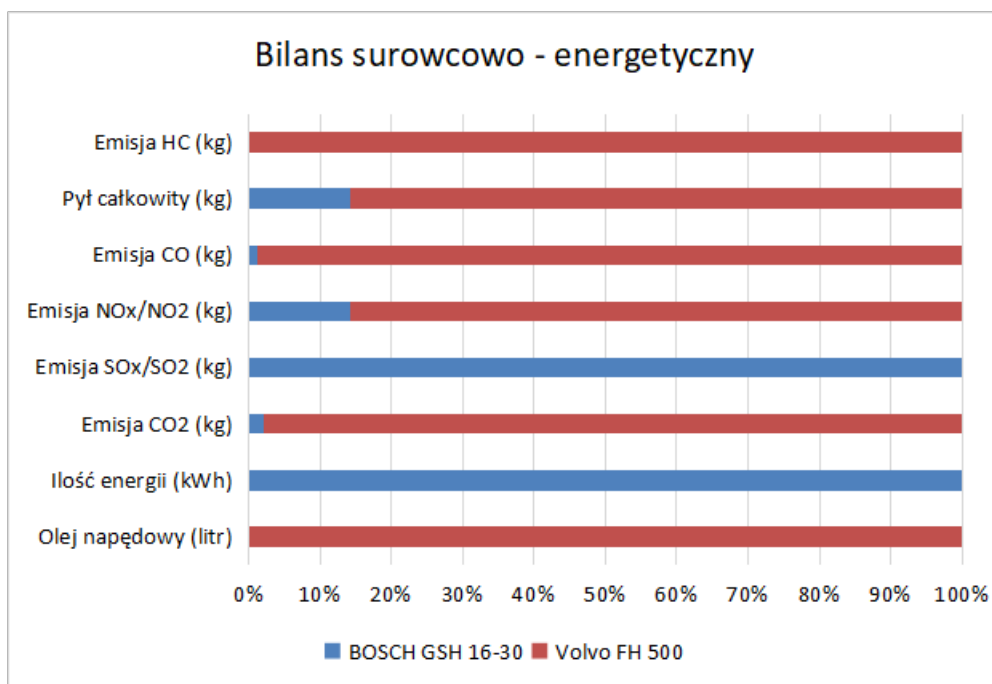
Czas do wykonania montażu niezależnie od warunków pogodowych to ok. 6h. W trakcie pracy zużytej zostanie 6,8 kWh energii. Koszt użytej energii to 3,85zł brutto, natomiast spowodowano emisje dwutlenku węgla, tlenku siarki, tlenku azotu, tlenku węgla oraz pyłu. Ingerencja w środowisko to montaż stóp składających się z stalowego modułu pozycjonującego wymiarach 200mm x 200mm w poziomie i wysokości 164mm oraz mikropali o długości 120cm i średnicy 42,9mm i grubości 2,9mm (Tab. 8).

Tabela 8 Ilość energii wykorzystanej przy montażu stóp oraz powstałe przy produkcji energii emisje spalin

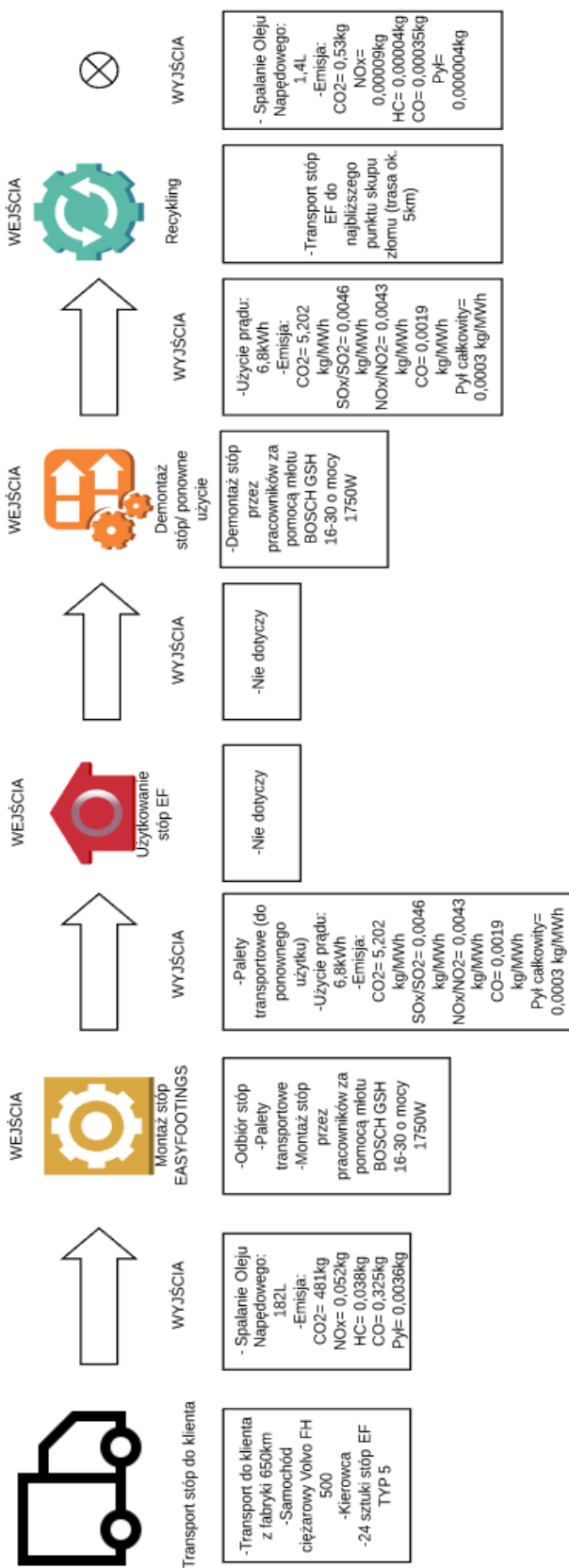
	BOSCH GSH 16-30
Ilość energii	6,8 kWh
Emisja CO ₂	5,202 kg/ MWh
Emisja SO _x /SO ₂	0,0046 kg/MWh
Emisja NO _x /NO ₂	0,0043 kg/MWh
Emisja CO	0,0019 kg/MWh
Pył całkowity	0,0003 kg/MWh

W trakcie użytkowania stóp EF TYP 5 jedyny wpływ na środowisko może pochodzić od stali S235JRH użytej do produkcji stóp. Jednakże produkt jest poddawany cynkowaniu ogniowemu, który jest procesem nakładania na stal wytrzymałej mechanicznie powłoki. Technologia procesu jest poddana bardzo restrykcyjnym zasadom ochrony środowiska (Dz. U. 2013 poz. 1235). Sam proces galwanizacji powoduje minimalną emisję pierwiastka cynku i nie prowadzi do zaburzenia ekosystemu, natomiast sam produkt poddany cynkowaniu ogniowemu nie wpływa na środowisko, dodatkowo sam cynk jest materiałem łatwym w odzysku.

System EASYFOOTINGS pozwala na łatwy demontaż użytych stóp oraz ich ponowne użycie bądź recykling. Demontaż przebiega w identyczny sposób do montażu i wykorzystane zostają te same narzędzia. W trakcie demontażu zużytej zostanie ok. 6,8 kWh energii i spowoduje to emisje CO₂, NO_x/NO₂, SO_x/SO₂, CO oraz pyłu na podobnym poziomie. Natomiast w momencie demontażu usunięte zostają moduły oraz mikropale z gleby. W przypadku niezdatności modułów do ponownego użycia należy je zawieźć do najbliższego punktu skupu złomu (znajdującego się ok. 5km od miejsca demontażu w Żorach), w trakcie którego spalony zostanie olej napędowy (1,4l) i spowoduje to emisję spalin w postaci CO₂ w wysokości 0,53kg, NO_x 0,00009kg, HC=0,00004kg, CO 0,00035kg oraz 0,000004kg pyłu (Rys. 35).



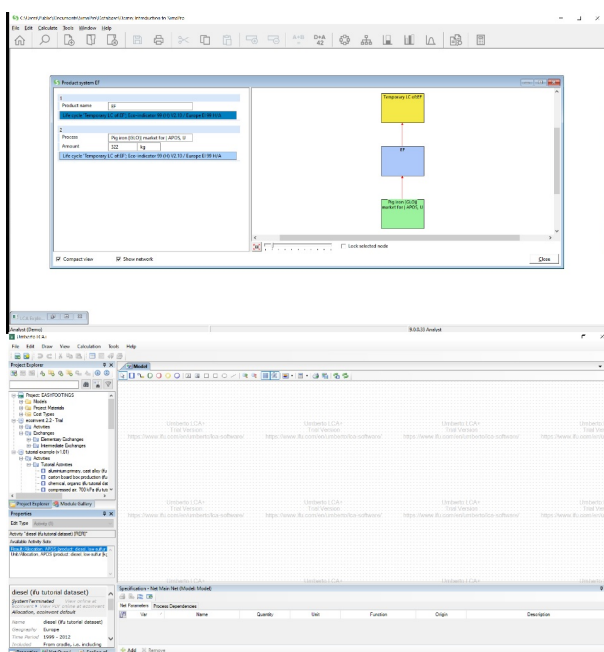
Rysunek 35 Bilans surowcowo - energetyczny
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 36 Przepływ procesu dla EASYFOOTINGS TYP 5
 Źródło: Opracowanie własne

5.3 Faza oceny cyklu życia LCIA

W trzecim etapie oceny wpływu cyklu życia LCIA uzyskamy możliwość wyznaczenia wpływu zależności środowiskowych wejść oraz wyjść. Analiza LCIA przeprowadzona została za pomocą programów komputerowych UMBERTO LCA+ oraz SIMA PRO 7 DEMO (Rys. 37). Pierwszy program Umberto LCA+ jest jednym z wiodących rozwiązań programowych LCA w zakresie zrównoważonego rozwoju produktów i jest rekomendowany przez ekspertów z branży, doradztwa, badań i edukacji. Wykorzystana została wersja trial pozwalająca na użytkowanie pełnej wersji przez ograniczoną ilość czasu (14 dni). Drugi program SIMA PRO 7 DEMO pomaga efektywnie wykorzystać wiedzę LCA, pomóc w podejmowaniu trafnych decyzji i zmienić cykle życia produktów na lepsze. SimaPro to wiodący pakiet oprogramowania LCA o 25-letniej reputacji w przemyśle i środowisku akademickim w ponad 80 krajach. SimaPro to profesjonalne narzędzie do gromadzenia, analizowania i monitorowania danych dotyczących zrównoważonego rozwoju produktów i usług Twojej firmy. Oprogramowanie może być wykorzystywane do różnych zastosowań, takich jak raportowanie o zrównoważonym rozwoju, ślad węglowy i wodny, projektowanie produktów, generowanie deklaracji środowiskowych produktów i określanie kluczowych wskaźników wydajności. Uzyskana licencja demo pozwalała na ograniczone użytkowanie programu.



Rysunek 37 Oprogramowanie SIMA PRO 7 DEMO oraz UMBERTO LCA+
Źródło: Opracowanie własne

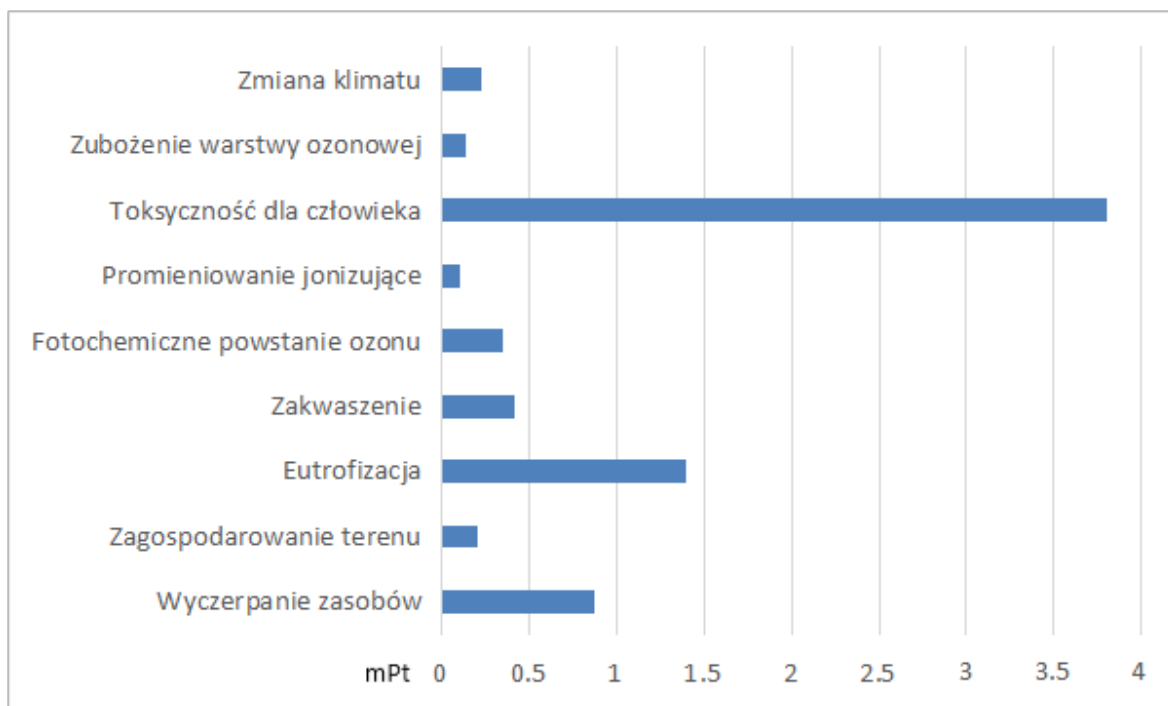
Uzyskane dane LCI przekształcone zostały we wskaźniki kategorii za pomocą metody ILCD, powstałej za pomocą współpracy JRC (Wspólne Centrum Badawcze) Komisji Europejskiej. Za jej pomocą jesteśmy w stanie przedstawić ocenę oddziaływania na środowisko naturalne w kategoriach wpływu: zmiany klimatyczne, zubożenie warstwy ozonowej, toksyczność dla człowieka, promieniowanie jonizujące, fotochemiczne powstanie ozonu, zakwaszenie, eutrofizacja, zagospodarowanie terenu bądź wyczerpanie zasobów.

Wyniki LCIA przedstawione zostały w formie uproszczonych histogramów. Jedyny wpływ na środowisko ma wykorzystanie energii elektrycznej przy użytkowaniu narzędzie BOSCH GSH 16-30 oraz spalanie oleju napędowego poprzez samochód ciężarowy VOLVO FH 500. Wpływ procentowy zużycia surowców przedstawiony został w tabeli 9.

Tabela 9 Wpływ procentowy zużycia surowców i emisji zanieczyszczeń

	O l e j napędowy (litr)	I l o ś ć energii (kWh)	Emisja C O 2 (kg)	E m i s j a SOx/SO2 (kg)	E m i s j a NOx/NO2 (kg)	Emisja C O (kg)	P y ł całkowity (kg)	Emisja H C (kg)
BOSCH G S H 16-30	0%	100%	2%	100%	14%	1%	14%	0%
V o l v o FH 500	100%	0%	98%	0%	86%	99%	86%	100%

Na rysunku 38 przedstawiony został histogram ilustrujący negatywny wpływ zużycia energii elektrycznej i spalania oleju napędowego na środowisko. Najbardziej widoczne jest to w kategorii wpływu Toksyczność dla człowieka, Eutrofizacja oraz Wyczerpanie zasobów.



Rysunek 38 Znormalizowany profil LCA dla przepływu procesu EASYFOOTINGS EF TYP 5
 Źródło: Opracowanie własne

Przyczyny powstania negatywnych wpływów to głównie spalanie węgla w procesie produkcji energii elektrycznej dla zasilenia narzędzi niezbędnych do montażu stóp EF oraz w większym zakresie transport danych modułów z fabryki do klienta. Spalanie oleju napędowego powoduje emisje zanieczyszczeń dwutlenku węgla, tlenku azotu, tlenku węgla, węglowodorów oraz pyłu. Jednym z sposobów na ograniczenie ilości emisji zanieczyszczeń może być alternatywna metoda transportu, oparta na energii odnawialnej. Natomiast spalanie węgla w procesie produkcji elektrycznej niezbędnej do montażu oraz demontażu stóp powoduje emisje dwutlenku węgla, tlenku siarki, tlenku azotu, tlenku węgla oraz pyłu. Tutaj również metodą ograniczenia emisji spalin jest alternatywne źródło energii, jak energia słoneczna, energia pozyskana z elektrowni wiatrowych, wodnych itd. Trzeba zaznaczyć iż system fundamentowania EASYFOOTINGS pozwala na ponowne użycie modułów poprzez ich demontaż, co pozwala ograniczyć skutki emisji przy produkcji.

5.4 Faza interpretacji cyklu życia

Przeprowadzona analiza LCA przy pomocy metody ILCD za pomocą oprogramowania UMBERTO LCA+ oraz SIMA PRO 7 DEMO pozwoliła na przedstawienie negatywnych skutków transportu stóp EF oraz ich montażu wynikających z źródeł energii- elektrycznej oraz oleju napędowego. Największy wpływ notują w kategorii wpływu: Toksyczność dla człowieka, Eutrofizacja oraz Wyczerpanie zasobów. Większy udział w emisji zanieczyszczeń ma transport produktu i spalanie oleju napędowego. Metodą zniwelowania negatywnych oddziaływań jest wybór alternatywnych źródeł energii- w przypadku montażu np energii słonecznej.

Podsumowanie

Fundamentowanie jest jednym z najważniejszych elementów konstrukcyjnych budowli, który wpływa na bezpieczne funkcjonowanie budynku. Fundamenty dzielimy na pośrednie i bezpośrednie, do pierwszej kategorii zaliczamy wszelkie fundamenty oparte na palowaniu, w tym system fundamentowania EasyFootings. Do fundamentów bezpośrednich zaliczamy płyty fundamentowe, stopy fundamentowe i ławy fundamentowe. Najpopularniejszym, a zarazem uważanym za najtańszy rodzaj fundamentowania są ławy fundamentowe, które w przeprowadzonym badaniu wymagają najmniejszą ilość stali, natomiast czas ich wykonania jest najdłuższy, ponieważ aż 35 dni. Postawienie płyt fundamentowych wymaga 21 dni, ale zarówno dla ław jak i płyt fundamentowych najwięcej czasu wymaga schnięcie i związanie betonu. System EF nie wymaga użycia betonu do postawienia, dodatkowo czas montażu to tylko 1 dzień w przypadku dwóch pracowników. Najniższą cenę porównywanych fundamentów zawierający koszt robocizny oraz materiału zanotował system EF, którego cena zamknęła się w 23 940zł, czyli o 9556,44zł taniej od płyt fundamentowych oraz aż o 14 252,28zł mniej niż ławy fundamentowe. Należy zaznaczyć iż wybrane zostały średnie ceny rynkowe dla porównania, aktualne na dzień 17.12.2019 rok. Według przeprowadzonego badania porównawczego najtańszą oraz najszybszą opcją w przypadku budowy domu mieszkalnego na podstawie projektu w Żorach jest system EF, natomiast najmniejszą ilość materiału wymaga postawienie ław fundamentowych.

W drugiej części pracy skupiono się na analizie LCA dla modułu fundamentowego, od momentu odbioru stóp z fabryki, transportu dla klienta, użytkowanie a w ostateczności demontaż. W pierwszej fazie określono cel i zakres analizy, rodzaj badania oraz opracowano granice systemu. Następnie w fazie analizy zbioru wejść i wyjść przedstawiono trasę od fabryki do klienta, obliczono emisję spalin na trasie przy użyciu samochodu ciężarowego VOLVO FH 500 oraz obliczono ilość wymaganej energii do zasilenia młota udarowego BOSCH GSH 16-30 wykorzystanego do montażu 24 stóp EF typu 5, zgodnie z projektem opracowanym przez konstruktora. Przyczyny negatywnego wpływu na środowisko przedstawiono w fazie trzeciej, oceny cyklu życia LCIA i wyróżniono spalanie węgla w procesie produkcji energii elektrycznej wymaganej do zasilenia narzędzia montażu stóp oraz spalanie oleju napędowego w trakcie transportu, który w większym stopniu wpływa na emisję zanieczyszczeń powietrza. Do przeprowadzenia analizy wykorzystano oprogramowanie UMBERTO LCA+ oraz SIMA PRO DEMO 7, dzięki któremu powstał uproszczony histogram ilustrujący negatywny wpływ zużycia energii elektrycznej oraz spalanie oleju napędowego, w którym najbardziej widoczny był wpływ w kategorii toksyczności dla człowieka, eutrofizacji oraz wyczerpaniu zasobów.

Wnioski

Przeprowadzona analiza porównawcza fundamentów tradycyjnych oraz systemu EasyFootings wykazała, iż mimo możliwości zastosowania łąw fundamentowych oraz płyt fundamentowych, EF jest metodą najszybszą, najtańszą oraz jako jedyna nie wymaga użycia betonu, dlatego jest fundamentem bardziej ekonomicznym. Do postawienia fundamentów EF nie jest wymagane użycie ciężkiego sprzętu, a montaż odbywa się za pomocą przenośnego młota udarowego. Dodatkowo możliwość demontażu oraz ponownego użycia znacznie obniża wpływ na środowisko, co pozwala na określenie systemu EasyFootings jako ekologicznego.

Natomiast analiza LCA wykazała, iż największy wpływ na środowisko ma spalanie oleju napędowego w trakcie transportu oraz spalanie węgla w celu produkcji energii elektrycznej wymaganej do zasilania narzędzi niezbędnych do montażu stóp. Jako metodę obniżenia negatywnych skutków na środowisko można zaproponować alternatywne źródło transportu oparte na energii elektrycznej oraz źródło produkcji energii elektrycznej oparte na źródłach odnawialnych.

Spis rysunków

Rysunek 1 Ławy fundamentowe a) prostokątne b) schodkowe c) trapezowe d) prostokątne e) schodkowe f) trapezowe	7
Rysunek 2 Wykopy przygotowane pod ławy fundamentowe	8
Rysunek 3 Podstawowe kształty stóp żelbetowych a) prostopadłościenna b) ostrosłupowa c) schodkowa d) kielichowa	9
Rysunek 4 Ułożenie zbrojeniowe płyty fundamentowej wraz z instalacją ogrzewania podłogowego	10
Rysunek 5 Przykład płyty fundamentowej zaprojektowanej na tereny ze skodami górnymi	11
Rysunek 6 Przykład wykorzystania systemu EF oraz przedstawienie modułu pozycjonującego w użyciu.....	12
Rysunek 7 Wizualizacja systemu EF umiejscowionego w glebie	13
Rysunek 8 System fundamentowania EasyFootings®	15
Rysunek 9 Rozmieszczenie i nominalne wymiary	16
Rysunek 10 a) wzmocnienie fundamentu bezpośredniego b) wzmocnienie fundamentu palowego c) ściana siatkowa stabilizująca osuwisko	17
Rysunek 11 Schemat modułu pozycjonującego	18
Źródło: www.easyfootings.com	18
Rysunek 12 Rodzaje stóp EasyFootings	19
Rysunek 13 Wykopy w gruncie i ułożenie modułu pozycjonującego EasyFootings	23
Rysunek 14 Ustawianie i mocowanie	24
Rysunek 16 Montaż zatyczek ochronnych	25
Rysunek 17 Przykład użycia narzędzia do demontażu systemu EF	27
Rysunek 18 Fazy LCA.....	30
Rysunek 19 Elementy fazy LCIA	33
Rysunek 20 Mapa działki do celów projektowych.....	36
Rysunek 21 Projekt budynku mieszkalnego jednorodzinnego	40
Rysunek 22 Etapy wdrażania systemu EF dla budowy budynku mieszkalnego	41
Rysunek 23 Sugerowana siatka punktów fundamentowania EF w rozstawie 300x300cm ⁴²	
Rysunek 24 Etapy powstawania ław fundamentowych dla budynku mieszkalnego	44
Rys. 25 Etapy budowy stóp fundamentowych.....	45
Rysunek 26 Etapy budowy płyt fundamentowych	47

Rysunek 27 Ilość betonu w m ³ oraz stali w kg potrzebnych do poszczególnych rodzajów fundamentów	49
Rysunek 28 Porównanie czasu wykonania poszczególnych rodzajów fundamentu	50
Rysunek 29 Ilość materiałów potrzebnych dla poszczególnych rodzajów fundament	51
Rysunek 30 LCA dla EASYFOOTINGS.....	52
Rysunek 31 Granice systemu opracowane dla analizy LCA określające procesy jednostkowe, wejścia oraz wyjścia dla cyklu życia EF	53
Rysunek 32 Cel i zakres LCA.....	54
Rysunek 33 Trasa transportu stóp EF z fabryki do odbiorcy.....	55
Rys. 34 BOSCH GSH 16-30	56
Rysunek 35 Bilans surowcowo - energetyczny	58
Rysunek 36 Przepływ procesu dla EASYFOOTINGS TYP 5	59
Rysunek 37 Oprogramowanie SIMA PRO 7 DEMO oraz UMBERTO LCA+.....	60
Rysunek 38 Znormalizowany profil LCA dla przepływu procesu EASYFOOTINGS EF TYP 5.....	62

Spis tabel

Tabela 1 Obciążenia EasyFootings w przypadku mułu/gliny oraz piasku/żwiru	20
Tabela 2 Zestawienie powierzchni poszczególnych części zagospodarowania działki budowlanej.....	37
Tabela 3 Koszty EF dla projektu budynku mieszkalnego o powierzchni 126,46m ²	42
Tabela 4 Koszty ław fundamentowych dla projektu budynku mieszkalnego o powierzchni 123,46m ²	43
Tabela 5 Koszty płyt fundamentowych dla projektu budynku mieszkalnego	46
Tabela 6 Porównanie systemu fundamentowania EF z tradycyjnymi rodzajami fundamentu na potrzeby budynku mieszkalnego 123,46m ²	48
Tabela 7 Ilość spalonego oleju napędowego oraz emisje spalin na trasie 650km	56
Tabela 8 Ilość energii wykorzystanej przy montażu stóp oraz powstałe przy produkcji energii emisje spalin	57
Tabela 9 Wpływ procentowy zużycia surowców i emisji zanieczyszczeń.....	61

Literatura

1. Materiały udostępnione przez EasyFootings®, ul. Kamieńska 11b, 72-420 Dziwnówek
2. Major I., Technologia budowy domów szkieletowych - ekologiczna forma jednorodzinnego budownictwa mieszkaniowego, [w:] Jakościowe i ekologiczne aspekty w technologiach budowlanych, pod red. M. Ulewicz, J. Selejdaka, Sekcja Wydawnictw WZPCz, Częstochowa 2013.
3. Michalak H., Pyrak S., Domy jednorodzinne konstruowanie i obliczanie, Arkady, Warszawa 2005.
4. www.budownictwopolskie.pl
5. Dembicki E.: Fundamentowanie. T 1 i 2. Arkady 1987-1988.
6. A. Kuczyński, W. Lenkiewicz, Zarys budownictwa ogólnego, WSiP, Warszawa 1986.
7. Wójcik M.: Podstawy budownictwa, Politechnika Gdańska Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Gdańsk 2010.
8. Norma ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe - Ocena Cyklu Życia - Zasady i struktura
9. Norma ISO 14044:2009 Zarządzanie środowiskowe - Ocena Cyklu Życia - Wymagania i wytyczne
10. Rybaczewska-Błażejowska M.: Narzędzia oceny cyklu życia (LCA) a modelowanie systemów gospodarki odpadami. Zarządzanie środowiskiem i zrównoważona energetyka, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu we Wrocławiu, Wrocław, 2015, 141-150.
11. www.wri.org WRI/WBCSD GHG Protocol New Standards
12. www.ec.europa.eu Single Market for Green Products Initiative
13. Ustawa z dnia 3 października 2008 roku o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, Dz. U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1227 z późniejszymi zmianami
14. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. W sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, Dz. U. z 2010 r. Nr 213 poz. 1397 z późniejszymi zmianami
15. Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 10 listopada 1999 r. W sprawie trybu i warunków wydawania i cofania pozwolenia na stosowanie zabezpieczenia generalnego i zabezpieczenia ryczałtowego oraz wypadków, w których zabezpieczenia te można stosować, a także sposobu określania wysokości zabezpieczenia ryczałtowego, Dz. U. z 1999 r. Nr 96 poz. 1110
16. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane, Dz. U. z 1994 r. Nr 89, poz. 414 z późniejszymi zmianami
17. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz. U. z 2012 r. Nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami