Uniwersytet Wrocławski
Wydział Matematyki i Informatyki
Kierunek: Informatyka

Adrian Mularczyk

Stworzenie wydajnego wzorca wstrzykiwania zależności dla złożonych grafów zależności

Praca wykonana pod kierunkiem dr. Wiktora Zychli

Wrocław, 2016

Oświadczenie opiekuna pracy

Oświadczam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierownictwem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu naukowego.

Data..... Podpis opiekuna pracy .....

Oświadczenie autora pracy

Oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami ani też nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w wyższej uczelni.

Data..... Podpis autora pracy .....

Streszczenie

Stworzenie wydajnego wzorca wstrzykiwania zależności dla złożonych grafów zależności

Wstrzykiwanie zależności jest to zbiór zasad projektowania oprogramowania, które umożliwiają luźne powiązania. Dzięki temu kod jest rozszerzalny i łatwiejszy w utrzymaniu. Celem tej pracy było stworzenie takiej realizacji, która będzie sprawdzała się dla złożonych grafów zależności. Aplikacja została napisana w środowisku .NET z wykorzystaniem przestrzeni nazw Reflecion.Emit oraz jest w pełni przetestowana. W pracy zaproponowano dwa równorzędne, niezależne podejścia, oba porównano pod kątem wydajnościowym. Porównanie obejmuje również 5 najbardziej popularnych i 4 najszybsze rozwiązania. Końcowe wyniki wykazały, że z obecnie dostępnych rozwiązań na rynku, zaprezentowane w niniejszej pracy radzi sobie najlepiej.

Abstract

Creating an efficient dependency injection pattern for complex dependency graphs

Injection Dependency is a set of software design principles that allow for loose binding. This makes the code more extensible and easier to maintain. The purpose of this work was to create such an implementation that would work efficiently for complex dependency graphs. The application was written in a .NET environment using the Reflecion.Emit namespace and is fully tested. The paper proposes two equivalent, independent approaches which are compared for performance. The comparison also includes the 5 most popular and 4 fastest solutions. The final results show that from solutions available nowadays on the market, the best solutions are these presented in this paper.

Spis treści

1 Wstęp

1.1 Cel pracy

Wstrzykiwanie zależności jest wzorcem projektowym, który pozwala na tworzenie kodu o luźniejszych powiązaniach, łatwiejszego w testowaniu i modyfikacji. Najbardziej popularnymi implementacjami tego wzorca na platformie .NET są Unity i Ninject. Niestety większość rozwiązań skupia się na zapewnieniu jak największej liczby funkcjonalności, co ma negatywne skutki dla wydajności. O ile przy małej liczbie zależności te czasy nie są zbyt duże, to wraz ze wzrostem zależności wydajność zauważalnie spada.

Celem niniejszej pracy magisterskiej jest stworzenie takiej implementacji tego wzorca, która będzie wydajna dla złożonych grafów zależności, ale również będzie dostarczać niezbędnej funkcjonalności. Do tego celu zostaną wykorzystane mechanizmy z przestrzeni nazw Reflection.Emit. W tej pracy zostaną przedstawione dwa rozwiązania tego problemu.

1.2 Układ pracy

Poza wstępem i podsumowaniem praca składa się jeszcze z czterech rozdziałów. Pierwszy z nich opisuje idee stojące za wstrzykiwaniem zależności. W kolejnym znajduje się opis teoretyczny tego czym jest wstrzykiwanie zależności. Następny rozdział został poświęcony mojej implementacji tego wzorca. Ostatni z rozdziałów skupia się na testach wydajnościowych, w których są porównywane rozwiązanie przedstawione w tej pracy, z kilkoma najbardziej popularnym i kilkoma najwydajniejszymi rozwiązaniami.

2 Odwrócenie zależności

2.1 SOLID

Na przestrzeni lat powstało bardzo dużo projektów. Część z nich była łatwiejsza w utrzymaniu, część trudniejsza. Analiza tych projektów pozwoliła zauważyć, że są pewne zasady, które powodują, że projekty rozwija się łatwiej. Te zasady zostały połączone w zbiory zasad. Najbardziej popularnych i powszechnie stosowanym zbiorem zasad jest SOLID [5]:

- S (Single responsibility principle) - Klasa powinna mieć tylko jedną odpowiedzialność (nigdy nie powinien istnieć więcej niż jeden powód do modyfikacji klasy).
- O (Open/closed principle) - Klasy powinny być otwarte na rozszerzenia i zamknięte na modyfikacje.
- L (Liskov substitution principle) - Funkcje które używają klas bazowych, muszą być w stanie używać również obiektów klas dziedziczących po klasach bazowych, bez dokładnej znajomości tych obiektów.
- I (Interface segregation principle) - Wiele dedykowanych interfejsów jest lepsze niż jeden ogólny.
- D (Dependency inversion principle) - Wysokopoziomowe moduły nie powinny zależeć od modułów niskopoziomowych - zależności między nimi powinny wynikać z abstrakcji.

Niniejsza praca w dużej mierze skupia się na rozwiązaniu dla zasady D - Dependency inversion principle.

2.1.1 Przykład dla zasady D

Rysynek 1 przedstawia przykład przed zastosowaniem zasady D.

```
public class Foo
{
    public void DoSomeWork()
    {
        //do some work
    }
}

public class Bar
{
    private readonly Foo _foo;

    public Bar()
    {
        _foo = new Foo();

    }

    public void DoSomething()
    {
        _foo.DoSomeWork();
    }
}
```

Rys. 1: Przykładowa klasa bez zasady D

Rysunek 2 przedstawia przykład po zastosowaniu zasady D.

```
public interface IFoo
{
    void DoSomeWork();
}

public class Foo : IFoo
{
    public void DoSomeWork()
    {
        //do some work
    }
}

public class Bar
{
    private readonly IFoo _foo;

    public Bar(IFoo foo)
    {
        _foo = foo;
    }

    public void DoSomething()
    {
        _foo.DoSomeWork();
    }
}
```

Rys. 2: Przykładowa klasa z zasadą D

Łatwo zauważyć, że teraz klasy Bar nie interesuje implementacja klasy Foo. Spodziewa się jedynie, że dostanie implementację interfejsu IFoo, który dostarcza metody DoSomeWork. Dzięki takiemu podejściu w łatwy sposób można podmienić implementację interfejsu IFoo w klasie Bar. Zatem tworząc ciało metody DoSomething w klasie Bar nie przejmujemy się implementacją metody DoSomeWork, tylko rozważamy jej "kontrakt", zobowiązanie do realizacji założonej funkcjonalności.

Kolejną zaletą takiego podejścia jest to, że teraz w łatwy sposób można przetestować metodę DoSomething - można stworzyć przykładową implementację interfejsu IFoo lub użyć tzw. obiektu zastępczego (ang. mock).

2.2 Kontenery wstrzykiwania zależności

Aby łatwiej zastosować zasadę D można wesprzeć się tzw. kontenerem wstrzykiwania zależności (ang. Dependency Injection Container) - obiektem, który przechowuje mapę, w której abstrakcje (interfejsy, klasy abstrakcyjne) mają przyporządkowane implementacje (klasy implementujące interfejsy lub dziedziczące z klas abstrakcyjnych).

Kontenery dostarczają nam kilku funkcjonalności. Jedną z nich jest oczywiście możliwość zdefiniowania tego jakiej konkretnej klasy instancję należy zwrócić w miejsce konkretnego interfejsu. Drugą, również ważną funkcjonalnością jest tworzenie, na podstawie przechowywanego mapowania, instancji obiektów konkretnej klasy lub implementujących określony interfejs. Niektóre kontenery dostarczają również mechanizmy pozwalające rozszerzyć tworzenie nowych instancji o elementy programowania aspektowego.

3 Wstrzykiwanie zależności

3.1 Wstęp

Wstrzykiwanie zależności jest niczym więcej niż techniką, która umożliwia luźne powiązania, a luźne powiązania sprawiają, że kod jest rozszerzalny i łatwy w utrzymaniu.[2] Wstrzykiwanie zależności może odbywać się na 3 sposoby:

- wstrzykiwanie przez konstruktor
- wstrzykiwanie przez metodę
- wstrzykiwanie przez właściwość

3.1.1 Wstrzykiwanie przez konstruktor

Jest to główny i najbardziej popularny sposób wstrzykiwania zależności. Niektóre klasy mają więcej niż jeden konstruktor i atrybut "DependencyConstructor" przydaje się wtedy do oznaczenia, który z nich ma zostać wybrany przy tworzeniu nowego obiektu. Przykład klasy z atrybutem DependencyConstructor przedstawia Rys. 3.

```
public class SampleClass
{
    public SampleClass()
    {
    }

    [DependencyConstructor]
    public SampleClass(EmptyClass emptyClass)
    {
        EmptyClass = emptyClass;
    }

    public EmptyClass EmptyClass { get; }
}
```

Rys. 3: Przykładowa klasa z atrybutem DependencyConstructor

3.1.2 Wstrzykiwanie przez metodę

To wstrzykiwanie z reguły odbywa się albo poprzez oznaczenie metody przez którą chcemy wstrzyknąć zależności odpowiednim atrybutem, albo przez wskazanie odpowiedniej metody podczas rejestracji. Przykład klasy z oznaczeniem metody odpowiednim atrybutem przedstawia Rys. 4.

```
public class SampleClass
{
    [DependencyMethod]
    public void SetEmptyClass(EmptyClass emptyClass)
    {
        EmptyClass = emptyClass;
    }

    public EmptyClass EmptyClass { get; private set; }
}
```

Rys. 4: Przykładowa klasa z atrybutem DependencyMethod

3.1.3 Wstrzykiwanie przez właściwość

Tutaj podobnie jak dla wstrzykiwania przez metodę to wstrzykiwanie z reguły odbywa się albo poprzez oznaczenie właściwości przez którą chcemy wstrzyknąć zależności odpowiednim atrybutem, albo przy rejestracji danej klasy definiujemy przez jakie właściwości chcemy wstrzyknąć zależności. Przykład klasy z oznaczeniem właściwości odpowiednim atrybutem przedstawia Rys. 5.

```
public class SampleClass
{
    [DependencyProperty]
    public EmptyClass EmptyClass { get; set; }
}
```

Rys. 5: Przykładowa klasa z atrybutem DependencyProperty

3.2 Implementacje przemysłowe

Na rynku jest wiele implementacji wstrzykiwania zależności. Przedstawię tutaj kilka najbardziej popularnych (według ilości pobrań z NuGet) oraz kilka najszybszych (według rankingu na stronie: http://www.palmmedia.de/Blog/2011/8/30/ioc-container-benchmark-performance-comparison). Dane pochodzą z dnia 21-02-2017. W nawiasie znajduje się wersja implementacji, która została użyta w testach (najnowsza na ten dzień).

Najbardziej popularne:

- Unity (4.0.1) - ponad 5.2 mln pobrań
- NInject (3.2.2) - ponad 4.0 mln pobrań
- Autofac (4.3.0) - ponad 3.7 mln pobrań

- StructureMap (4.4.3) - ponad 1.6 mln pobrań
- Windsor (3.4.0) - ponad 1.4 mln pobrań

Najszybsze:

- Grace (5.1.0)
- DryIoc (2.10.1)
- LightInject (5.0.1)
- SimpleInjector (3.3.2)

4 Implementacja

Kod źródłowy programu jest dostępnym w repozytorium pod adresem:
`https://github.com/amularczyk/NiquIoC`
Znajduje się tam również kod programu, który posłużył do wykonania testów wydajnościowych, a także ta praca napisana w języku LateX i wszystkie obrazki.

4.1 Środowisko pracy

Praca oraz wszystkie testy powstały na komputerze z parametrami:

- Intel Core i7-4720HQ (2.60GHz)
- 12 GB pamięci RAM
- Dysk SSD

Narzędzia użyte do stworzenia pracy i testów:

- System operacyjny Windows 10 Pro
- .Net Framework w wersji 4.6.1
- Visual Studio 2017 Comunnity
- MSTest
- ReSharper
- dotCover
- Dia

4.2 Wstęp

Na początku chciałbym pokrótce opisać dwie rzeczy, które są istotne dla rozwiązania przedstawionego w tej pracy. Pierwszą z nich jest Common Intermediate Language, a drugą przestrzeń nazw Reflection.Emit.

4.2.1 Common Intermediate Language

Common Intermediate Language - CIL (w skrócie IL) to język pośredni do którego kod C# jest kompilowany. Język ten pozwala na komunikację między aplikacjami napisanymi na platformie .NET, a systemem operacyjnym.

4.2.2 Reflection.Emit

Przestrzeń nazw Reflection.Emit pozwala w kodzie programu, w sposób dynamiczny, na utworzenie listy operacji w języku IL, a następnie zapamiętaniu ciągu tych operacji jako delegat. Za każdym razem, gdy ten delegat zostanie wywołany, to wykona się ciąg wcześniej zdefiniowanych operacji IL.

4.3 Opis

Aplikacja składa się z 1 głównego projektu i 8 projektów na potrzeby testów. Rozwiązanie jest stosunkowo złożone i aby mieć pewność, że działa w pełni dobrze, zostało stworzone ponad 1250 testów jednostkowych, a pokrycie kodu testami wynosi ponad 97%.

W wykonanej implementacji został stworzony interfejs IConatiner, który składa się z interfejsów zawierających niezbędne operacje, jakie powinny się znaleźć w każdym kontenerze (Rys. 6).

```
public interface IContainer : IContainerRegister, IContainerResolve, IContainerBuildUp
{
}
```

Rys. 6: Interfejs IContainer

Pierwszy z tych interfejsów to IContainerRegister (Rys. 7). Zawiera on metody służące do zarejestrowania typów w kontenerze.

```
public interface IContainerRegister
{
    IContainerMember RegisterType<T>()
        where T : class;

    IContainerMember RegisterType(Type type);

    IContainerMember RegisterType<TFrom, TTo>()
        where TTo : TFrom;

    IContainerMember RegisterType(Type typeFrom, Type typeTo);

    IContainerMember RegisterType<T>(Func<IContainerResolve, T> objectFactory)
        where T : class;

    IContainerMember RegisterType(Type type, Func<IContainerResolve, object> objectFactory);

    IContainerMember RegisterInstance<T>(T instance);
}
```

Rys. 7: Interfejs IContainerRegister

Drugi z nich to IContainerResolve (Rys. 8). Składa się on z metod odpowiedzialnych za tworzenie i zwracanie obiektów wcześniej zarejestrowanych typów.

```
public interface IContainerResolve
{
    T Resolve<T>();

    T Resolve<T>(ResolveKind resolveKind);

    object Resolve(Type type);

    object Resolve(Type type, ResolveKind resolveKind);
}
```

Rys. 8: Interfejs IContainerResolve

Ostatni z tych interfejsów to IContainerBuildUp (Rys. 9). Jego metody służą do uzupełnienia istniejącej instancji obiektu z wykorzystaniem wstrzykiwania zależności przez metodę i właściwość - są to operacje opcjonalne i nie każde przemysłowe rozwiązanie je zawiera.

```
public interface IContainerBuildUp
{
    void BuildUp<T>(T instance);

    void BuildUp<T>(T instance, ResolveKind resolveKind);
}
```

Rys. 9: Interfejs IContainerBuildUp

Poniżej znajduje się dokładniejszy opis metod z każdego z powyższych interfejsów.

4.3.1 Register

W pierwszej i drugiej metodzie interfejsu IContainerRegister można zarejestrować zwykłe klasy. W trzeciej i czwartej interfejsy oraz klasy, które implementują dany interfejs lub klasy i klasy po nich dziedziczące. W piątej i szóstej metodzie rejestrujemy klasę jako fabrykę obiektów - funkcję, która ma nam zwrócić pożądany obiekt. W siódmej (ostatniej) natomiast możemy zarejestrować konkretną instancję danego typu.

W rozwiązaniu przedstawionym w tej pracy każdy typ może być zarejestrowany tylko raz - ponowna rejestracja tego samego typu nadpisuje istniejącą rejestrację.

Każda z tych siedmiu metod rejestracji zwraca interfejs IContainerMember (Rys. 10), który umożliwia nam zarejestrowanie danego typu z określonym menadżerem czasu życia (czyli implementacją interfejsu IObjectLifetimeManager - Rys. 11). Celem takiego podejścia jest umożliwienie określenia polityki czasu życia dla nowo tworzonych instancji, ponieważ dla różnych przypadków biznesowych możemy potrzebować, aby obiekt danego typu miał konkretny czas życia.

```
public interface IContainerMember
{
    void AsSingleton();

    void AsTransient();

    void AsPerThread();

    void AsPerHttpContext();

    void AsCustomObjectLifetimeManager(IObjectLifetimeManager objectLifetimeManager);
}
```

Rys. 10: Interfejs IContainerMember

Pierwsze cztery metody interfejsu IContainerMember, to wbudowane implementacje interfejsu IObjectLifetimeManager. Piąta metoda dostarcza możliwość podania przez

użytkownika jego własnej implementacji tego interfejsu. Domyślną polityką czasu życia nowo tworzonych instancji jest polityka Transient, czyli zwracanie nowej instancji obiektu za każdym razem, kiedy kontener rozwiązuje zależność.

Wyjaśnienie nazw polityk czasu życia:

- Singleton - za każdym razem zwracany jest ten sam obiekt
- Transient - za każdym razem zwracany jest nowy obiekt
- PerThread - wewnątrz danego wątku zwracany jest ten sam obiekt, ale dla innego wątku zwracany jest nowy (inny) obiekt
- PerHttpContext - wewnątrz danego żądania Http zwracany jest ten sam obiekt, ale dla innego żądania zwracany jest nowy (inny) obiekt

W interfejsie IObjectLifetimeManager właściwość ObjectFactory służy do ustawienia funkcji, która zwraca obiekt. Metoda GetInstance służy do pobrania obiektu.
W zależności od implementacji tego interfejsu, to obiekt zwracany z metody GetInstance może być zawsze taki sam, zawsze różny albo taki sam tylko dla określonych sytuacji (np. taki sam dla tego samego wątku albo tego samego żądania http).

```
public interface IObjectLifetimeManager
{
    Func<object> ObjectFactory { get; set; }

    object GetInstance();
}
```

Rys. 11: Interfejs IObjectLifetimeManager

4.3.2 Resolve

Metody interfejsu IContainerResolve są głównymi operacjami. Register można nazwać sercem kontenera, a Resolve mózgiem. Każda z metod tego interfejsu odpowiada za stworzenie i zwrócenie obiektu odpowiedniego typu.

W niniejszej pracy zaproponowano dwa rozwiązania - PartialEmitFunction i FullEmitFunction (różnice między nimi zostaną opisane w dalszej części pracy), dlatego metody rejestracji jako opcjonalny parametr przyjmuje wartość enumeracji określającej wybraną politykę - ResolveKind (dzięki temu w przyszłości może być ona w łatwy sposób rozszerzona o kolejne rozwiązania). W interfejsie znajdują się również metody, które nie przyjmują tego parametru - zostały one dodane na wypadek, gdy ktoś będzie zawsze korzystał tylko z jednego z rozwiązań (może ustawić je jako domyślne np. w konstruktorze).

4.3.3 BuildUp

Interfejs IContainerBuildUp to zwyczajowy, użyteczny dodatek do kontenera - gdy mamy stworzony obiekt, ale nie jest on w pełni uzupełniony, to można go rozbudować (używając metody z odpowiednią wartością enumeracji ResolveKind lub tej z wartością domyślną). Z metodami tego interfejsu są powiązane bezpośrednio dwa pojęcia - wstrzykiwanie przez metodę i wstrzykiwanie przez właściwość. Do tego celu w niniejszym rozwiązaniu utworzono dwa atrybuty:

- DependencyMethod (dla metod)
- DependencyProperty (dla właściwości)

Podczas operacji BuildUp wywoływane są wszystkie metody i uzupełniane są wszystkie właściwości, które mają te atrybuty. Ta operacja jest również wykonywana podczas operacji Resolve.

Warto tutaj odnotować, że ze względu na szczegóły implementacyjne tylko jedno z niniejszych rozwiązań wspiera operację BuildUp - jest to rozwiązanie PartialEmitFunction. W rozwiązaniu FullEmitFunction ta funkcjonalność nie została zaimplementowana. Jest to spowodowane skomplikowaniem tego rozwiązania i małą potrzebą biznesową używania tej operacji. Jednakże w przyszłości istnieje możliwość jej dodania.

W aplikacji istnieje również atrybut **DependencyConstructor**. Można go użyć przy definicji konstruktora danej klasy. Obiekt każdej klasy jest tworzony przy użyciu konstruktora. Klasa może mieć kilka konstruktorów. W niniejszym rozwiązaniu utworzono logikę wyboru odpowiedniego konstruktora, przy pomocy którego ma zostać stworzony obiekt. Wygląda ona następująco:

- Jeśli jest jeden konstruktor, to go wybierz.
- Jeśli jest kilka konstruktorów, to odpowiedni wybierz w poniższej kolejności:
  1. Konstruktor z atrybutem DependencyConstructor
  2. Konstruktor z największą liczbą parametrów
- Jeśli jest kilka konstruktorów z atrybutem DependencyConstructor albo nie ma żadnego konstruktora z tym atrybutem i jest kilka z największą liczbą parametrów, to rzuć wyjątek.

4.4 Rozwiązanie

Utworzenie instancji nowego obiektu zajmuje czas. Gdy graf zależności dla jakiegoś typu jest bardzo rozbudowany, to stworzenie obiektu takiego typu zajmuje dużo czasu. Proces ten można podzielić na trzy etapy:

- Uzyskanie informacji jakich typów obiekty są potrzebne do stworzenia danego obiektu.
- Stworzenie tych pomocniczych obiektów.
- Stworzenie docelowego obiektu.

W przypadku rozbudowanych grafów zależności, czasami zdarza się, że niektóre typy się powtarzają. Zatem pewne informacje można uzyskać raz, a następnie je zapamiętać. Aby implementacja wzorca wstrzykiwania zależności działała wydajnie dla złożonych grafów zależności, należy jak najwięcej informacji przechowywać w pamięci podręcznej i należy to robić mądrze.

W niniejszej implementacji utworzono dwie strategie, które realizują te założenia. Pierwszy krok jest taki sam dla obu rozwiązań (uzyskanie informacji jakich typów obiekty są potrzebne do stworzenia danego obiektu), natomiast kolejne kroki już się różnią. W pierwszym rozwiązaniu, które nazwano PartialEmitFunction całym proces tworzenia nowego obiektu został rozbity na mniejsze części (docelowy obiekt jest tworzony po kawałku). Każda taka osobna część jest zapisywana w pamięci podręcznej. W drugim rozwiązaniu w pamięci podręcznej jest zapisana tylko jedna operacja. Zawiera ona listę wszystkich kroków, które są niezbędne do stworzenia docelowego obiektu. Więc finalnie docelowy obiekt jest tworzony przy pomocy jednej operacji (kroki drugi i trzeci są połączone). To rozwiązanie nazwano FullEmitFunction.

W obu rozwiązaniach do zapamiętania kroków potrzebnych do stworzenia obiektu danego typu wykorzystano operacje z przestrzeni nazw Reflection.Emit.

4.4.1 Krok pierwszy

Na początku algorytm znajduje odpowiedni konstruktor, przy pomocy którego ma zostać stworzony nowy obiekt. Jeśli robi to po raz pierwszy dla danego typu, to informacje o tym konstruktorze zapisuje w pamięci podręcznej. Do tego celu została użyta struktura danych słownik, gdzie kluczem jest typ obiektu, a wartością obiekt klasy ContainerMember (Rys. 12), w którym przechowujemy wszystkie zapamiętane informacje dla danego typu. Następnym krokiem, jest rekurencyjne wywołanie tej operacji dla wszystkich typów, których obiekty są niezbędne do stworzenia obiektu docelowego typu.

W tej operacji jest kilka wyjątków - są nimi typy zarejestrowane jako Instance albo FactoryObject. Dla pierwszego przypadku nie musimy uzyskiwać informacji o tym jak stworzyć obiekt takiego typu, ponieważ mamy już taki obiekt stworzony i go po prostu wykorzystamy. Dla drugiego przypadku obiekt tworzony jest przy użyciu wcześniej zdefiniowanej przez użytkownika funkcji, której wywołanie spowoduje stworzenie obiektu oczekiwanego typu.

```
internal class ContainerMember : IContainerMemberPrivate
{
    public ContainerMember(IObjectLifetimeManager objectLifetimeManager)...

    internal ConstructorInfo Constructor { get; set; }

    internal List<ParameterInfo> Parameters { get; set; }

    internal List<PropertyInfo> PropertiesInfo { get; set; }

    internal List<MethodInfo> MethodsInfo { get; set; }

    internal bool? IsCycleInConstructor { get; set; }

    internal bool ShouldCreateCache { get; set; }

    #region IContainerMemberPrivate

    public Type RegisteredType { get; set; }

    public Type ReturnType { get; set; }

    public IObjectLifetimeManager ObjectLifetimeManager { get; private set; }

    #endregion IContainerMemberPrivate

    IContainerMember
}
```

Rys. 12: Klasa ContainerMember

Klasa ContainerMember przechowuje:

- Informacje o konstruktorze, przy pomocy którego należy utworzyć obiekt danego typu.
- Informacje o parametrach tego konstruktora.
- Informacje o właściwościach danego typu (na potrzeby operacji BuildUp).
- Informacje o metodach danego typu (na potrzeby operacji BuildUp).
- Czy występuje cykl w konstruktorze.
- Czy należy zapamiętać informacje dla danego typu (domyślnie tak, dla typów zarejestrowanych jako Instance albo ObjectFactory - nie).
- Zarejestrowany typ (ta sama wartość, co klucz ze słownika).
- Zwracany typ.
- Informacje o menadżerze cyklu życia.

4.4.2 Rozwiązanie 1 - PartialEmitFunction

Cały algorytm jest zawarty w metodzie Resolve (Rys. 13). Sama ta metoda jest dość krótka, ale wywołuje ona kolejne metody (które już są dłuższe).

Docelowy obiekt jest tworzony przy pomocy funkcji. Na początku następuje sprawdzenie, czy już wcześniej została utworzona taka funkcja (jeśli tak, będzie ona zapisana w klasie ContainerMember we właściwości ObjectLifetimeManager). Wywołanie funkcji kończy działanie algorytmu. Jeśli funkcja nie została wcześniej utworzona, to jest tworzona.

Funkcja ta nie przyjmuje żadnych parametrów, a jej typem wynikowym jest obiekt. Ciało tej funkcji jest bardzo proste - po prostu ma ona wykonać metodę i zwrócić jej rezultat, którym jest nasz docelowy obiekt.

```
public object Resolve(ContainerMember containerMember,
    Action<object, ContainerMember> afterObjectCreate)
{
    if (containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory == null)
    {
        containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory =
            () => GetObject(containerMember, afterObjectCreate);
    }

    return containerMember.ObjectLifetimeManager.GetInstance();
}
```

Rys. 13: Metoda Resolve klasy PartialEmitFunction

Metoda GetObject (Rys. 14) jest trochę bardziej rozbudowana. Na początku są pobierane informacje o parametrach konstruktora danego typu. Następnie dla każdego z tych parametrów jest tworzony obiekt przy pomocy funkcji Resolve (opisanej wyżej). Została tutaj wykorzystana rekurencja. Gdy obiekty dla wszystkich parametrów konstruktora zostały utworzone, to ich lista jest przekazywana do metody CreateInstanceFunction, która zwraca instancję obiektu oczekiwanego typu. Na koniec jest wywoływana funkcja afterObjectCreate i docelowy obiekt zostaje zwrócony.

```
private object GetObject(ContainerMember containerMember,
    Action<object, ContainerMember> afterObjectCreate)
{
    var ctorParameters = containerMember.Parameters;
    var ctorParametersCount = ctorParameters.Count;

    var parameters = new object[ctorParametersCount];
    for (var i = 0; i < ctorParametersCount; i++)
    {
        var parameterContainerMember =
            _registeredTypesCache.GetValue(ctorParameters[i].ParameterType);
        parameters[i] = Resolve(parameterContainerMember, afterObjectCreate);
    }

    var obj = CreateInstanceFunction(containerMember, parameters);
    afterObjectCreate(obj, containerMember);

    return obj;
}
```

Rys. 14: Metoda GetObject klasy PartialEmitFunction

Na początku metody CreateInstanceFunction (Rys. 15) występuje sprawdzenie, czy funkcja potrafiąca zwrócić obiekt docelowego typu, została utworzona.

Jeśli tak, to przy pomocy tej funkcji jest tworzony obiekt, a następnie jest on zwracany. Ta funkcja jako argument przyjmuje listę obiektów w kolejności zgodnej z listą parametrów konstruktora.

Jeśli nie, to przy pomocy metody CreateObjectFunction taka funkcja jest tworzona. W kolejnym kroku jest ona zapisywana w pamięci podręcznej (również w strukturze słownik, której kluczem jest typ, a wartością jest funkcja). Dalej dzieje się to samo, co w sytuacji, gdy ta funkcja jest już utworzona.

```
private object CreateInstanceFunction(ContainerMember containerMember, object[] parameters)
{
    if (!_createPartialEmitFunctionForConstructorCache.ContainsKey(
        containerMember.ReturnType))
    {
        var factoryMethod = CreateObjectFunction(containerMember);
        _createPartialEmitFunctionForConstructorCache.Add(
            containerMember.ReturnType, factoryMethod);
    }

    var obj =
        _createPartialEmitFunctionForConstructorCache[containerMember.ReturnType](
            parameters);

    return obj;
}
```

Rys. 15: Metoda CreateInstanceFunction klasy PartialEmitFunction

CreateObjectFunction (Rys. 16) jest najbardziej zaawansowaną metodą w tym algorytmie. To w niej wykorzystano metody z przestrzeni nazw Reflection.Emit.

Na początku są pobierane informacje o konstruktorze. Następnie zostaje utworzony obiekt DynamicMethod i z niego jest pobierany ILGenerator. W nim będzie przechowywana listę kroków niezbędnych do utworzenia docelowego obiektu.

Dla każdego z parametrów konstruktora są wykonane następujące operacje:

1. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu pierwszy parametr (będzie nim lista obiektów zgodna z parametrami konstruktora).
2. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu indeks parametru (który to jest parametr z kolei).
3. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie ze szczytu stosu listę i indeks, a umieści na jego szczycie element znajdujący się pod danym indeksem na liście.
4. Pobierz typ parametru.
5. Dodaj do listy kroków operację, która zrzutuje obiekt ze szczytu stosu na odpowiedni typ.

Po wykonaniu kroków z listy na stosie będą znajdowały się wszystkie obiekty, które są wymagane przez konstruktor do utworzenia danego typu. Teraz więc do listy kroków należy dodać jeszcze dwie operacje. Pierwsza z nich ma za zadanie stworzyć obiekt przy pomocy danego konstruktora i umieścić go na szczycie stosu. Druga ma na celu zwrócić obiekt ze szczytu stosu.

Wszystkie kroki niezbędne do stworzenia nowego elementu są zapisane w zmiennej typu DynamicMethod. Na końcu z tej zmiennej należy utworzyć, a następnie zwrócić delegata, który jako parametr będzie przyjmował tablicę obiektów (lista obiektów zgodna z parametrami konstruktora) i zwracał obiekt (docelowy obiekt).

```
private static Func<object[], object> CreateObjectFunction(ContainerMember containerMember)
{
    var ctor = containerMember.Constructor;
    var dm = new DynamicMethod($"Create_{ctor.DeclaringType?.FullName.Replace('.', '_')}",
        typeof(object), new[] {typeof(object[])}, true);
    var ilgen = dm.GetILGenerator();

    var parameters = ctor.GetParameters();
    for (var i = 0; i < parameters.Length; i++)
    {
        // Step 1
        ilgen.Emit(OpCodes.Ldarg_0);
        // Step 2
        EmitHelper.EmitIntOntoStack(ilgen, i);
        // Step 3
        ilgen.Emit(OpCodes.Ldelem_Ref);
        // Step 4
        var paramType = parameters[i].ParameterType;
        // Step 5
        ilgen.Emit(
            paramType.IsValueType ? OpCodes.Unbox_Any : OpCodes.Castclass,
            paramType);
    }
    ilgen.Emit(OpCodes.Newobj, ctor);
    ilgen.Emit(OpCodes.Ret);

    return (Func<object[], object>) dm.CreateDelegate(typeof(Func<object[], object>));
}
```

Rys. 16: Metoda CreateObjectFunction klasy PartialEmitFunction

4.4.3 Rozwiązanie 2 - FullEmitFunction

Tutaj podobnie jak dla PartialEmitFunction cały algorytm zawarty jest w metodzie Resolve (Rys. 17). Wygląda ona identycznie jak w rozwiązaniu 1 - docelowy obiekt jest tworzony przy pomocy funkcji, która woła w sobie metodę GetObject. Jeśli funkcji nie ma zapamiętanej w pamięci, to zostaje ona stworzona i zapisana. Na końcu jest ona wywoływana.

```
public object Resolve(ContainerMember containerMember,
    Action<object, ContainerMember> afterObjectCreate)
{
    if (containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory == null)
    {
        containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory =
            () => GetObject(containerMember, afterObjectCreate);
    }

    return containerMember.ObjectLifetimeManager.GetInstance();
}
```

Rys. 17: Metoda Resolve klasy FullEmitFunction

Metoda GetObject (Rys. 18) wygląda trochę inaczej. Nie ma pobierania tutaj żadnych dodatkowych informacji, tylko od razu jest wywoływana metoda CreateInstanceFunction, która zwraca instancję obiektu oczekiwanego typu. Na koniec również jest wywoływana funkcja afterObjectCreate i zostaje zwrócony docelowy obiekt.

```
private object GetObject(ContainerMember containerMember,
    Action<object, ContainerMember> afterObjectCreate)
{
    var obj = CreateInstanceFunction(containerMember);
    afterObjectCreate(obj, containerMember);

    return obj;
}
```

Rys. 18: Metoda GetObject klasy FullEmitFunction

CreateInstanceFunction (Rys. 19) ma jeden dodatkowy krok względem rozwiązania 1. Na początku również następuje sprawdzenie czy została wcześniej utworzona funkcja, która umie zwrócić obiekt docelowego typu. Jeśli nie, to przy pomocy metody CreateObjectFunction taka funkcja zostaje stworzona, a następnie jest zapisywana w pamięci podręcznej (również w strukturze słownika, którego kluczem jest typ, a wartością jest typ pomocniczy FullEmitFunctionResult, który ma tylko jedną właściwość - Result typu funkcja). Następnym krokiem jest walidacja zapisanych danych dla typów przy pomocy metody ValidateTypesCache. Na końcu funkcji obiekt jest tworzony, a następnie zwracany. Tutaj funkcja jako argument przyjmuje dwa słowniki. Pierwszy zawiera informacje o typie (kluczem jest typ, a wartością obiekt ContainerMember), a drugi informacje o indeksie typu (kluczem jest liczba oznaczając hasz danego typu, a wartością typ).

Najpierw zostanie opisana metoda ValidateTypesCache, ponieważ nie wywołuje ona w sobie żadnej innej metody.

```
private object CreateInstanceFunction(ContainerMember containerMember)
{
    if (!_createFullEmitFunctionForConstructorCache.ContainsKey(containerMember.ReturnType))
    {
        var factoryMethod = CreateObjectFunction(containerMember, _registeredTypesCache);
        _createFullEmitFunctionForConstructorCache.Add(
            containerMember.ReturnType, factoryMethod);
    }

    ValidateTypesCache();

    var obj =
        _createFullEmitFunctionForConstructorCache[containerMember.ReturnType]
            .Result(_registeredTypesCache, _typesIndexCache);

    return obj;
}
```

Rys. 19: Metoda CreateInstanceFunction klasy FullEmitFunction

W pierwszym kroku metoda ValidateTypesCache sprawdza (Rys. 20), czy od ostatniego zapisywania danych o typach w pamięci podręcznej jakiś typ został zarejestrowany w kontenerze (lub czy jest to pierwsze zapisanie tych danych). Jeśli tak, to z zarejestrowanych typów zostaje utworzony słownik, w którym kluczem jest hasz typu, a wartością typ. Potem następuje aktualizacja liczby aktualnie zarejestrowanych typów.

```
private void ValidateTypesCache()
{
    var registeredTypesCacheCount = _registeredTypesCache.Count;
    if (_registeredTypesCacheCount != registeredTypesCacheCount)
    {
        _typesIndexCache =
            _registeredTypesCache.ToDictionary(k => k.Value.GetHashCode(), v => v.Key);
        _registeredTypesCacheCount = registeredTypesCacheCount;
    }
}
```

Rys. 20: Metoda ValidateTypesCache klasy FullEmitFunction

Metoda CreateObjectFunction (Rys. 21) jest dużo bardziej rozbudowana niż w rozwiązaniu 1. W niej również są wykorzystane metody z przestrzeni nazw Reflection.Emit.

Na początku jest tworzony obiekt typu DynamicMethod i z niego jest pobierany IL-Generator. W nim będzie przechowana lista kroków niezbędnych do utworzenia docelowego obiektu.

Dla każdego z parametrów konstruktora jest wywoływana metoda CreateObjectFunctionPrivate, która uzupełnia listę kroków o tworzenie pośrednich obiektów. To w tym miejscu jest główna różnica między oboma rozwiązaniami - w pierwszym rozwiąza-

niu w liście kroków nie przejmowaliśmy się utworzeniem pośrednich obiektów, ponieważ przychodziły one jako parametr. W tym rozwiązaniu lista kroków będzie również zawierać niezbędne kroki do utworzenia wszystkich obiektów pośrednich (obiektów wymaganych przez konstruktor).

Dalsze operacje są takie same jak w rozwiązaniu 1 - do listy kroków jest dodana operację, która stworzy obiekty przy pomocy danego konstruktora i umieści go na szczycie stosu, a następnie jest dodana operację, który zwróci nam obiekt ze szczytu stosu.

Na końcu ze zmiennej typu DynamicMethod tworzony jest delegata, a następnie jest on zwracany. Delegat będzie przyjmował dwa parametry - oba typu Dictionary (słownik). Jeden z informacjami o typie, a drugi z informacjami o indeksie typu.

```
private FullEmitFunctionResult CreateObjectFunction(ContainerMember containerMember,
    IReadOnlyDictionary<Type, ContainerMember> registeredTypesCache)
{
    var dm = new DynamicMethod(
        $"Create_{containerMember.Constructor.DeclaringType?.FullName.Replace('.', '_')}",
        typeof(object),
        new[] {typeof(Dictionary<Type, ContainerMember>), typeof(Dictionary<int, Type>)},
        typeof(Container).Module, true);
    var ilgen = dm.GetILGenerator();

    foreach (var parameter in containerMember.Parameters)
    {
        CreateObjectFunctionPrivate(parameter.ParameterType, registeredTypesCache, ilgen,
            new Dictionary<Type, LocalBuilder>());
    }
    ilgen.Emit(OpCodes.Newobj, containerMember.Constructor);
    ilgen.Emit(OpCodes.Ret);

    var func = dm.CreateDelegate(
        typeof(Func<Dictionary<Type, ContainerMember>, Dictionary<int, Type>, object>));
    return new FullEmitFunctionResult
    {
        Result =
            (Func<Dictionary<Type, ContainerMember>, Dictionary<int, Type>, object>)func
    };
}
```

Rys. 21: Metoda CreateObjectFunction klasy FullEmitFunction

W metodzie CreateObjectFunctionPrivate (Rys. 22) są trzy przypadki. W pierwszych dwóch przypadkach pomijane są obiekty, które zostały zarejestrowane jako Instance albo FactoryObject (określa to parametr ShouldCreateCache z obiektu typu ContainerMember).

```
private void CreateObjectFunctionPrivate(Type type,
    IReadOnlyDictionary<Type, ContainerMember> registeredTypesCache, ILGenerator ilgen,
    IDictionary<Type, LocalBuilder> localSingletons)
{
    var containerMember = registeredTypesCache.GetValue(type);

    if (IsTransient(containerMember) && containerMember.ShouldCreateCache)
    {
        foreach (var parameter in containerMember.Parameters)
        {
            CreateObjectFunctionPrivate(parameter.ParameterType, registeredTypesCache,
                ilgen, localSingletons);
        }

        ilgen.Emit(OpCodes.Newobj, containerMember.Constructor);
    }
    else if (IsSingleton(containerMember) && containerMember.ShouldCreateCache)
    {
        if (localSingletons.ContainsKey(type))
        {
            ilgen.Emit(OpCodes.Ldloc, localSingletons[type]);
        }
        else
        {
            var localSingleton = ilgen.DeclareLocal(type);
            localSingletons.Add(type, localSingleton);

            AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager(type, ilgen, containerMember);

            var localVariable = localSingletons[type];
            ilgen.Emit(OpCodes.Stloc, localVariable);
            ilgen.Emit(OpCodes.Ldloc, localVariable);
        }
    }
    else
    {
        AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager(type, ilgen, containerMember);
    }
}
```

Rys. 22: Metoda CreateObjectFunctionPrivate klasy FullEmitFunction

W pierwszym przypadku typ został zarejestrowany jako Transient - Rys. 23. Dla każdego z parametrów konstruktora jest wywoływana rekurencyjnie ta metoda (CreateObjectFunctionPrivate), a na koniec do listy kroków jest dodawana operacja, która stworzy obiekty przy pomocy danego konstruktora i umieści go na szczycie stosu.

```
private static bool IsTransient(ContainerMember containerMember)
{
    return containerMember.ObjectLifetimeManager is TransientObjectLifetimeManager;
}
```

Rys. 23: Metoda IsTransient klasy FullEmitFunction

W drugim przypadku typ musi być singletonem (został on zarejestrowany jako Singleton, PerThread lub PerHttpContext) - Rys. 24. Na początku następuje sprawdzenie czy już wcześniej algorytm natrafił na ten typ. Jeśli tak, to z pamięci podręcznej jest pobierana zmienna lokalna dla danego typu, a następnie do listy kroków jest dodawana operacja, która doda na szczyt stosu obiekt z tej zmiennej. Jeśli nie, to najpierw zostaje stworzona nową zmienna lokalna dla danego typu, a potem jest ona zapisywana w pamięci podręcznej (wykorzystany jest do tego słownik, gdzie kluczem jest typ, a wartością obiekt typu LocalBuilder). Następnie jest wywoływana metoda AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager. Na końcu są dodawane dwie operacje. Pierwsza z nich zdejmie obiekt ze szczytu stosu i zapisze go w zmiennej lokalnej, a druga umieści na szczycie stosu obiekt z tej zmiennej lokalnej. Ma to na celu zapamiętanie danego obiektu i pozostawienie go na szczycie stosu. Dzięki takiemu zabiegowi, gdy drugi raz dany obiekt będzie potrzebny (obiekt jest singletonem, więc za każdym razem będziemy chcieli mieć ten sam obiekt - w kontekście tworzenia danego typu, czyli jednej operacji Resolve), to z zapisanej zmiennej zostanie on dodany na szczyt stosu.

```
private static bool IsSingleton(ContainerMember containerMember)
{
    return containerMember.ObjectLifetimeManager is SingletonObjectLifetimeManager ||
           containerMember.ObjectLifetimeManager is ThreadObjectLifetimeManager ||
           containerMember.ObjectLifetimeManager is HttpContextObjectLifetimeManager;
}
```

Rys. 24: Metoda IsSingleton klasy FullEmitFunction

Metoda AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager (Rys. 25), za wyjątkiem pierwszej operacji jaką jest stworzenie zmiennej lokalnej typu Type, zawiera jedynie operacje, które dodają kolejne pozycje do listy kroków:

1. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu drugi parametr (będzie nim słownik z indeksami typów).
2. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu hasz danego typu.
3. Dodaj do listy kroków operację, która pobierze ze szczytu stosu słownik i indeks, a umieści na jego szczycie element znajdujący się pod danym kluczem w słowniku.
4. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie obiekt ze szczytu stosu i zapisze go w zmiennej lokalnej.
5. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu pierwszy parametr (będzie nim słownik z informacjami o typach).
6. Dodaj do listy kroków operację, która umieści na szczycie stosu obiekt ze zmiennej lokalnej.

7. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie ze szczytu stosu słownik i typ, a umieści na jego szczycie element znajdujący się pod danym kluczem w słowniku.
8. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie obiekt ze szczytu stosu (będzie to obiekt typu ContainerMember), wywoła na nim metodę, która zwróci menadżer czasu życia obiektu i na szczycie stosu umieści rezultat tej metody.
9. Dodaj do listy kroków operację, która zdejmie obiekt ze szczytu stosu (będzie to obiekt typu IObjectLifeTimeManager), wywoła na nim metodę, która zwróci instancję obiektu i na szczycie stosu umieści rezultat tej metody.
10. Dodaj do listy kroków operację, która zrzutuje obiekt ze szczytu stosu na odpowiedni typ.

Po wykonaniu tych 10 operacji na szczycie stosu znajdzie się obiekt danego typu, który został utworzony przy pomocy odpowiedniego menadżera czasu życia.

```
private void AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager(Type type, ILGenerator ilgen,
    ContainerMember containerMember)
{
    if (containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory == null)
    {
        containerMember.ObjectLifetimeManager.ObjectFactory =
            () => CreateInstanceFunction(containerMember);
    }

    var localTypeVariable = ilgen.DeclareLocal(typeof(Type));
    ilgen.Emit(OpCodes.Ldarg_1);
    EmitHelper.EmitIntOntoStack(ilgen, containerMember.GetHashCode());
    ilgen.Emit(OpCodes.Call, typeof(Dictionary<int, Type>).GetMethod("get_Item"));
    ilgen.Emit(OpCodes.Stloc, localTypeVariable);
    ilgen.Emit(OpCodes.Ldarg_0);
    ilgen.Emit(OpCodes.Ldloc, localTypeVariable);
    ilgen.Emit(OpCodes.Call,
        typeof(Dictionary<Type, ContainerMember>).GetMethod("get_Item"));
    ilgen.Emit(OpCodes.Call,
        typeof(ContainerMember).GetMethod("get_ObjectLifetimeManager", Type.EmptyTypes));
    ilgen.Emit(OpCodes.Call,
        typeof(IObjectLifetimeManager).GetMethod("GetInstance", Type.EmptyTypes));
    ilgen.Emit(type.IsValueType ? OpCodes.Unbox_Any : OpCodes.Castclass, type);
}
```

Rys. 25: Metoda AddObjectCreatedByObjectLifetimeManager klasy FullEmitFunction

Trzeci przypadek zachodzi, gdy typ został zarejestrowany jako Instance, FactoryObject lub przy pomocy własnego menadżera czasu życia (własnej implementacji interfejsu IObjectLifetimeManager). W tej sytuacji zostaje wywołana tylko metoda AddObject-CreatedByObjectLifetimeManager.

4.4.4 Przykład

Mamy klasę A, która w konstruktorze przyjmuje obiekty klas B i C. Klasa B w konstruktorze przyjmuje obiekt klasy C, a klasa C ma konstruktor bezparametrowy. Tę sytuację przestawia Rys. 26.

```
public class A
{
    public A(B b, C c)
    {
        B = b;
        C = c;
    }

    public B B { get; }
    public C C { get; }
}

public class B
{
    public B(C c)
    {
        C = c;
    }

    public C C { get; }
}

public class C
{
    public C()
    {
    }
}
```

Rys. 26: Przykładowe klasy A, B i C

Dla pierwszego rozwiązania (PartialEmitFunction), aby stworzyć obiekt klasy A, lista operacji IL prezentuje się następująco:

1. OpCodes.Ldarg_0 [B, C] - na stosie zostanie umieszona referencja do argumentu aktualnej funkcji, czyli do tablicy zawierającej B i C.
2. OpCodes.Ldc_I4_0 - na stos zostanie dodana liczba 0.
3. OpCodes.Ldelem_Ref - ze stosu zostanie ściągnięta liczba oraz tablica, a na jego szczycie zostanie umieszczony obiekt pod indeksem 0 z tablicy - w tym przypadku obiekt B.
4. OpCodes.Castclass typeof(B) - obiekt ze szczytu stosu jest rzutowany na typ B (wcześniej był typu object).

5. OpCodes.Ldarg_0 [B, C] - na stosie zostanie umieszona referencja do argumentu aktualnej funkcji, czyli do tablicy zawierającej B i C.

6. OpCodes.Ldc_I4_1 - na stos zostanie dodana liczba 1.

7. OpCodes.Ldelem_Ref - ze stosu zostanie ściągnięta liczba oraz tablica, a na jego szczycie zostanie umieszczony obiekt pod indeksem 1 z tablicy - w tym przypadku obiekt C.

8. OpCodes.Castclass typeof(C) - obiekt ze szczytu stosu jest rzutowany na typ C.

9. OpCodes.Newobj .ctor A - ze stosu zostają zdjęcie wszystkie obiekty wymagane przez konstruktor klasy A (w tym przypadku obiekty B i C - muszą być one w odpowiedniej kolejności na stosie), a na jego szczycie jest umieszczany nowo utworzony obiekt A.

10. OpCodes.Ret - obiekt ze szczytu stosu (obiekt A) zostaje zwrócony.

Jak łatwo zauważyć, lista tych operacji zakłada, że mamy wcześniej stworzone obiekty wymagane w konstruktorze klasy A (w tym przypadku obiekty B i C). Te obiekty są tworzone na takiej samej zasadzie jak obiekt klasy A. Zatem w tym przypadku będziemy mieli 3 listy z operacjami IL - jedna dla obiektu C, jedna dla obiektu B i jedna dla obiektu A.

Niezależnie od tego jak klasy A, B i C zostały zarejestrowane, zawsze uzyskamy dokładnie te same 3 listy operacji.

Dla drugiego rozwiązania (FullEmitFunction) jest to trochę bardziej rozbudowane.

Jeśli wszystkie klasy zostały zarejestrowane jako Transient, to mamy krótką listę operacji:

1. OpCodes.Newobj .ctor C - na stosie zostanie umieszczony nowo utworzony obiekt C.

2. OpCodes.Newobj .ctor B - ze stosu zostanie zdjęty obiekt C i w jego miejsce pojawi się nowo utworzony obiekt B.

3. OpCodes.Newobj .ctor C - na szczycie stosu zostanie umieszczony nowo utworzony obiekt C.

4. OpCodes.Newobj .ctor A - ze szczytu stosu zostają zdjęcie obiekty B i C, a w ich miejsce pojawi się nowo utworzony obiekt A.

5. OpCodes.Ret - obiekt ze szczytu stosu (obiekt A) zostaje zwrócony.

Jeśli wszystkie klasy zostały zarejestrowane jako Singleton, PerThread lub PerHttpContext, to listę operacji wygląda następująco:

1. OpCodes.Ldarg_1 { {1, typeof(A)}, {2, typeof(B)}, {3, typeof(C)} } - na stosie zostanie umieszona referencja do argumentu aktualnej funkcji, czyli do słownika zawierającego hash danego obiektu ContainerMember i typ obiektu.
2. OpCodes.Ldc_I4 2 - na stos zostanie dodana liczba równa hashowi obiektu ContainerMember dla klasy B (w tym wypadku 2).
3. OpCodes.Call "get_Item" - ze stosu zostają pobrane dwa elementy (słownik oraz liczba), a następnie zostaje wywołana metoda "GetItem" na słowniku, której parametrem jest liczba. Wynik tej operacji (typ B) zostanie umieszczony na szczycie stosu.
4. OpCodes.Stdloc variable_Type - obiekt ze szczytu stosu zostaje zapisany w zmiennej variable_Type
5. OpCodes.Ldarg_0 { {typeof(A), ContainerMember}, {typeof(B), ContainerMember}, {typeof(C), ContainerMember}} - na stosie zostanie umieszona referencja do argumentu aktualnej funkcji, czyli do słownika zawierającego typ obiektu i ContainerMember dla danego obiektu.
6. OpCodes.Ldloc variable_Type - obiekt ze zmiennej variable_Type zostaje umieszczony na szczycie stosu
7. OpCodes.Call "get_Item" - ze stosu zostają pobrane dwa elementy (słownik oraz typ), a następnie zostaje wywołana metoda "GetItem" na słowniku, której parametrem jest typ. Wynik tej operacji (obiekt ContainerMember dla typu B) zostanie umieszczony na szczycie stosu.
8. OpCodes.Call "get_ObjectLifetimeManager" - ze stosu zostaje pobrany element i jest na nim wywołana metoda GetObjectLifetimeManager. Wynik tej operacji (odpowiedni obiekt ObjectLifetimeManager) zostanie umieszczony na szczycie stosu.
9. OpCodes.Call "GetInstance" - ze stosu zostaje pobrany element i jest na nim wywołana metoda GetInstance. Wynik tej operacji (obiekt typu B) zostanie umieszczony na szczycie stosu.
10. OpCodes.Castclass - obiekt ze szczytu stosu jest rzutowany na typ B.
11. OpCodes.Stloc variable_B - obiekt ze szczytu stosu zostaje zapisany w zmiennej variable_B
12. OpCodes.Ldloc variable_B - obiekt ze zmiennej variable_B zostaje umieszczony na szczycie stosu
13. OpCodes.Ldarg_1 { {1, typeof(A)}, {2, typeof(B)}, {3, typeof(C)} }

14. OpCodes.Ldc_I4 3 - na stos zostanie dodana liczba równa hashowi obiektu ContainerMember dla klasy C (w tym wypadku 3).

15. OpCodes.Call "get_Item" - ze stosu zostają pobrane dwa elementy (słownik oraz liczba), a następnie zostaje wywołana metoda "GetItem" na słowniku, której parametrem jest liczba. Wynik tej operacji (typ C) zostanie umieszczony na szczycie stosu.

16. OpCodes.Stdloc variable_Type - obiekt ze szczytu stosu zostaje zapisany w zmiennej variable_Type

17. OpCodes.Ldarg_o { {typeof(A), ContainerMember}, {typeof(B), ContainerMember}, {typeof(C), ContainerMember}}

18. OpCodes.Ldloc variable_Type - obiekt ze zmiennej variable_Type zostaje umieszczony na szczycie stosu

19. OpCodes.Call "get_Item" - ze stosu zostają pobrane dwa elementy (słownik oraz typ), a następnie zostaje wywołana metoda "GetItem" na słowniku, której parametrem jest typ. Wynik tej operacji (obiekt ContainerMember dla typu C) zostanie umieszczony na szczycie stosu.

20. OpCodes.Call "get_ObjectLifetimeManager" - ze stosu zostaje pobrany element i jest na nim wywołana metoda GetObjectLifetimeManager. Wynik tej operacji (odpowiedni obiekt ObjectLifetimeManager) zostanie umieszczony na szczycie stosu.

21. OpCodes.Call "GetInstance" - ze stosu zostaje pobrany element i jest na nim wywołana metoda GetInstance. Wynik tej operacji (obiekt typu C) zostanie umieszczony na szczycie stosu.

22. OpCodes.Castclass - obiekt ze szczytu stosu jest rzutowany na typ C.

23. OpCodes.Stloc variable_C - obiekt ze szczytu stosu zostaje zapisany w zmiennej variable_C

24. OpCodes.Ldloc variable_C - obiekt ze zmiennej variable_C zostaje umieszczony na szczycie stosu

25. OpCodes.Newobj .ctor A - ze szczytu stosu zostają zdjęcie obiekty B i C, a w ich miejsce pojawi się nowo utworzony obiekt A

26. OpCodes.Ret - obiekt ze szczytu stosu (obiekt A) zostaje zwrócony

Jeśli typ został zarejestrowany jako Instance, FactoryObject albo z własną implementacją interfejsu IObjectLifetimeManager, to lista kroków wygląda podobnie jak dla Singleton, z tą różnicą, że nie ma kroków z zapisywaniem obiektu do zmiennej lokalnej (w tym przypadku brak kroków 11, 12, 23 i 24).

5 Testy wydajnościowe

Do przeprowadzania testów wydajnościowych przygotowano osobną aplikację, w której zostały utworzone 4 przypadki testowe:

- Przypadek testowy A,
- Przypadek testowy B,
- Przypadek testowy C,
- Przypadek testowy D.

Dla każdego z przypadków sprawdzany jest czas wykonania operacji "Resolve" dla różnych rodzajów rejestracji. Testy zostały wykonane dla następujących wariantów rejestracji:

- Register as Singleton,
- Register as Transient,
- Register as TransientSingleton,
- Register as PerThread (dla niektórych przemysłowych rozwiązań - PerScope),
- Register as FactoryMethod.

Każdy z testów dla każdego rozwiązania był uruchamiany w osobnym procesie. Wynika dla operacji "Register" zostały pominięte, ponieważ są one prawie zawsze mniejsze niż 1 ms. Przy operacji "Resolve" każdy test był uruchamiany 100 razy, a w wynikach zostały przedstawione następujące czasy w milisekundach: minimalny, maksymalny i średni. Dla pierwszych trzech przypadków testy były wykonywane dla: 1, 10, 100 i 1000 powtórzeń, a dla ostatniego przypadku dla: 1 i 10 powtórzeń.

5.0.1 Register as Singleton

Każdy typ jest zarejestrowany jako "Singleton", czyli obiekt jest tworzony raz, a następnie cały czas zwracany.

5.0.2 Register as Transient

Każdy typ jest zarejestrowany jako "Transient", czyli za każdym razem jest tworzony nowy obiekt.

5.0.3 Register as TransientSingleton

Każdy typ jest zarejestrowany jako "Transient" za wyjątkiem typów, które maja konstruktor bezparametrowy - są one zarejestrowane jako "Singleton".

5.0.4 Register as PerThread

Każdy typ jest zarejestrowany jako "PerThread", czyli obiekt jest tworzony raz dla każdego wątku, a następnie w obrębie tego wątku cały czas zwracany.

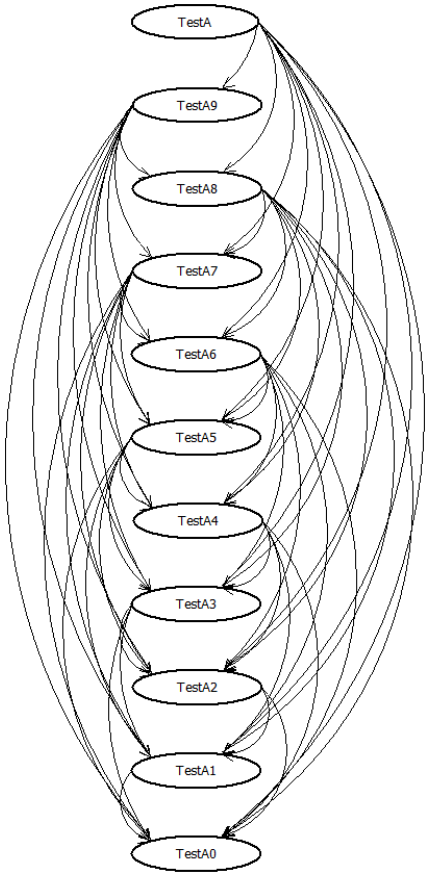
5.0.5 Register as FactoryMethod

Każdy typ jest zarejestrowany jako "FactoryMethod", czyli jako funkcja, która zwraca nam obiekt danego typu. Ciało tej funkcji wygląda tak, że oczekiwany typ jest tworzony z użyciem konstruktora (za pomocą "new"), a wszystkie parametry wymagane przez ten konstruktor są tworzone przy pomocy operacji Resolve.

5.1 Przypadek testowy A

5.1.1 Opis

W tym teście mamy zdefiniowanych 11 typów. Każdy z nich przyjmuje w konstruktorze o jeden parametr mniej niż typ poprzedni (czyli przyjmują one kolejno od 10 do 0 parametrów w konstruktorze). Typem głównym, a zarazem typem o największej liczbie parametrów, jest typ "TestA". Przyjmuje on w konstruktorze 10 parametrów następujących typów: "TestA0", "TestA1", "TestA2", "TestA3", "TestA4", "TestA5", "TestA6", "TestA7", "TestA8", "TestA9". Każdy z tych 10 typów w konstruktorze przyjmuje tyle parametrów, ile wynosi liczba w jego nazwie (czyli obiekt typu "TestA0" ma konstruktor bezparametrowy, obiekt typy "TestA1" ma konstruktor z jednym parametrem; i tak dalej aż do typu "TestA9", który ma konstruktor z dziewięcioma parametrami). Wszystkie typy jako parametry w konstruktorze przyjmują obiekty typów z niższymi liczbami w nazwie (czyli obiekt typu "TestA1" w konstruktorze przyjmuje obiekt typu "TestA0", obiekt typu "TestA2" przyjmuje w konstruktorze obiekty typów "TestA0" i "TestA1"; i tak dalej aż do typu "TestA9", który w konstruktorze przyjmuje obiekty z typami od "TestA0" do "TestA8"). Graf zależności poszczególnych typów został przedstawiony na Rys. 27.



Rys. 27: Graf zależności dla testu A.

Łatwo z niego wywnioskować, że tworząc obiekty poszczególnych typów liczba tworzonych obiektów rośnie wykładniczo:

- TestA0 - 1 obiekt,
- TestA1 - 2 obiekty (obiekt typu TestA1 i obiekt typu TestA0),
- TestA2 - 4 obiekty (obiekt typu TestA2, obiekt typu TestA1 - 2 obiekty, obiekt typu TestA0 - 1 obiekt),
- TestA3 - 8 obiektów (obiekt typu TestA3, obiekt typu TestA2 - 4 obiekty, obiekt typu TestA1 - 2 obiekty, obiekt typu TestA0 - 1 obiekt),
- TestA4 - 16 obiektów,
- TestA5 - 32 obiektów,
- TestA6 - 64 obiektów,
- TestA7 - 128 obiektów,
- TestA8 - 256 obiektów,

- TestA9 - 512 obiektów,
- TestA - 1 024 obiektów.

Zatem tworząc nasz główny obiekt typu TestA, tworzymy: 1 obiekt typu TestA, 1 obiekt typu TestA9, 2 obiekty typu TestA8, 4 obiekty typu TestA7, 8 obiektów typu TestA6, 16 obiektów typu TestA5, 32 obiektów typu TestA4, 64 obiektów typu TestA3, 128 obiektów typu TestA2, 256 obiektów typu TestA1 i 512 obiektów typu TestA0 - co w sumie daje 1024 obiekty.

5.1.2 Wyniki Resolve dla Singleton

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	1	1	1
DryIoc	2	2	2
Grace	2	2	2
LightInject	2	2	2
NiquIoCFull	2	2	2
SimpleInjector	2	2	2
Ninject	3	3	3
Unity	7	8	7
StructureMap	9	10	9

Tab. 1: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji Singleton dla Przypadku testowego A

Czasy dla wszystkich rozwiązań są nieduże. Jest to spowodowane tym, że gdy wszystkie klasy są zarejestrowane jako Singleton, to jest tworzonych niewiele nowych obiektów.

Należy jednak wspomnieć, że najsłabiej tutaj poradziły sobie Unity i StructureMap, których czasy są zauważalnie większe niż pozostałych rozwiązań.

Liczba	1000		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	1	1	1
DryIoc	2	2	2
LightInject	2	2	2
NiquIoCFull	2	2	2
SimpleInjector	2	2	2
Grace	2	3	2
Ninject	6	7	6
Unity	8	8	8
StructureMap	10	11	10

Tab. 2: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji Singleton dla Przypadku testowego A

Gdy klasa jest zarejestrowana jako Singleton, to wraz ze wzrostem liczby tworzonych obiektów, nie powinien wzrastać czas ich tworzenia. We wszystkich rozwiązaniach, za wyjątkiem Ninject, czasy dla 1000 operacji, są zbliżone do czasów dla 1 operacji. Ninject natomiast ma czasy około dwa razy większe.

5.1.3 Wyniki Resolve dla Transient

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
NiquIoCPartial	1	1	1
Windsor	1	2	1
NiquIoCFull	8	9	8
Unity	8	9	8
LightInject	10	10	10
StructureMap	10	10	10
Ninject	10	12	11
SimpleInjector	13	14	13
DryIoc	14	14	14
Grace	15	16	15

Tab. 3: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji Transient dla Przypadku testowego A

W tym wypadku najlepiej poradziły sobie Autofac, NiquIoCPartial i Windsor, które uzyskały zbliżone rezultaty. Pozostałe rozwiązania uzyskały dużo słabsze, o kilka razy większe czasy.

Liczba	10		
	min	max	avg
NiquIoCPartial	3	3	3
Autofac	6	7	6
NiquIoCFull	8	9	8
LightInject	10	10	10
SimpleInjector	13	14	14
StructureMap	13	14	14
DryIoc	14	15	15
Grace	15	16	16
Unity	16	17	16
Windsor	16	21	16
Ninject	88	95	90

Tab. 4: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego A

Najmniejszy czas uzyskał NiquIoCPartial, ale jest on niestety kilkukrotnie większy niż dla 1 powtórzenia. Co więcej wszystkie najpopularniejsze rozwiązania zanotowały spory wzrost czasów. Z drugiej strony wszystkie najszybsze rozwiązania oraz NiquIoCFull zanotowały podobne czasy co dla 1 powtórzenia.

Liczba	100		
	min	max	avg
NiquIoCFull	9	10	9
LightInject	11	12	11
SimpleInjector	15	15	15
DryIoc	16	16	16
Grace	18	19	18
NiquIoCPartial	19	22	19
StructureMap	53	55	54
Autofac	58	63	59
Unity	88	91	88
Windsor	152	192	155
Ninject	864	1035	882

Tab. 5: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego A

Wraz ze wzrostem liczby powtórzeń coraz słabiej radzi sobie NiquIoCPartial oraz najpopularniejsze rozwiązania. Wszystkie one notują spory wzrost czasów. Dla NiquIoCFull i najszybszych rozwiązań ten wzrost jest nieznaczny.

Liczba	1000		
	min	max	avg
NiquIoCFull	18	19	18
LightInject	19	20	19
SimpleInjector	28	30	29
DryIoc	29	30	29
Grace	37	38	37
NiquIoCPartial	171	198	173
StructureMap	414	457	417
Autofac	584	609	587
Unity	803	961	813
Windsor	1511	1799	1529
Ninject	8745	9610	8934

Tab. 6: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego A

Test dla 1000 powtórzeń potwierdził, że czasy dla NiquIoCPartial oraz najpopularniejszych rozwiązań rosną liniowo wraz ze wzrostem liczby powtórzeń. Czasy dla NiquIoCFull oraz najszybszych rozwiązań również wzrosły, ale zaledwie dwukrotnie w stosunku do dziesięciokrotnego wzrostu liczby powtórzeń.

5.1.4 Wyniki Resolve dla TransientSingleton

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
NiquIoCPartial	1	1	1
Windsor	1	2	1
NiquIoCFull	5	6	5
Unity	8	9	8
SimpleInjector	9	9	9
Grace	9	10	10
Ninject	9	10	10
StructureMap	9	10	10
LightInject	14	15	14
DryIoc	18	19	18

Tab. 7: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego A

Dla 1 powtórzenia najmniejsze czasy uzyskały NiquIoCPartial oraz najpopularniejsze rozwiązania.

Liczba	10		
	min	max	avg
NiquIoCPartial	2	3	2
NiquIoCFull	5	6	5
Autofac	6	7	6
SimpleInjector	9	10	9
Grace	10	10	10
StructureMap	12	12	12
Windsor	12	14	12
LightInject	14	14	14
Unity	14	15	14
DryIoc	19	19	19
Ninject	65	82	67

Tab. 8: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego A

Gdy mamy 10 powtórzeń czasy wszystkich rozwiązań wydają się być do siebie zbliżone. Wyjątkiem są tylko dwa rozwiązania: NiquIoCPartial razy sobie trochę lepiej niż pozostałe, a Ninject trochę słabiej.

Liczba	100		
	min	max	avg
NiquIoCFull	6	6	6
SimpleInjector	10	11	10
Grace	10	11	11
NiquIoCPartial	14	15	14
LightInject	14	15	15
DryIoc	20	21	20
StructureMap	35	40	36
Autofac	53	62	54
Unity	73	82	74
Windsor	117	140	119
Ninject	626	743	641

Tab. 9: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego A

W teście również gdy liczba powtórzeń wzrosła do 100, to najlepsze czasy zaczęły uzyskiwać NiquIoCFull i najszybsze rozwiązania. NiquIoCPartial oraz najpopularniejsze rozwiązania zanotował kilkukrotny wzrost czasów.

Liczba	1000		
	min	max	avg
NiquIoCFull	10	12	11
SimpleInjector	17	19	17
Grace	18	19	18
LightInject	20	21	20
DryIoc	31	32	32
NiquIoCPartial	120	123	121
StructureMap	252	306	256
Autofac	531	561	535
Unity	659	753	663
Windsor	1161	1302	1177
Ninject	6297	7218	6463

Tab. 10: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego A

Przy 1000 powtórzeń NiquIoCFull oraz wszystkie najszybsze rozwiązania uzyskały czasy o rząd wielkości mniejsze niż NiquIoCParial i najpopularniejsze rozwiązania.

5.1.5 Wyniki Resolve dla PerThread

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	1	1	1
NiquIoCFull	2	2	2
Ninject	3	3	3
Grace	4	4	4
Unity	7	8	7
SimpleInjector	7	8	8
StructureMap	9	10	9
LightInject	50	53	50
DryIoc	71	73	71

Tab. 11: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji PerThread dla Przypadku testowego A

Z racji tego, że wszystkie obiekty są tworzone w jednym wątku czasy powinny być zbliżone do wyników operacji resolve dla Singleton. Za wyjątkiem dwóch rozwiązań - LightInject i DryIoc, wszystkie pozostałe uzyskały zbliżone czasy. Te dwa rozwiązania najwyraźniej nie radzą sobie dla tego typu rejestracji.

Liczba	1000		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	1	1	1
NiquIoCFull	2	2	2
Grace	4	4	4
Ninject	6	7	6
SimpleInjector	8	8	8
Unity	8	9	8
StructureMap	10	10	10
LightInject	50	52	51
DryIoc	72	74	72

Tab. 12: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji PerThread dla Przypadku testowego A

Podobnie jak w przypadku resolve dla Singleton, tutaj również wzrost liczby powtórzeń nie miał wpływu na wzrost czasu.

5.1.6 Wyniki Resolve dla FactoryMethod

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
DryIoc	0	0	0
LightInject	0	0	0
NiquIoCPartial	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0
SimpleInjector	1	1	1
Unity	1	1	1
Windsor	1	1	1
Grace	2	2	2
StructureMap	7	7	7
Ninject	8	10	9

Tab. 13: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego A

Dla tego testu dla 1 powtórzenia wszystkie rozwiązania za wyjątkiem StructureMap i Ninject uzyskały zbliżone rezultaty. Te dwa rozwiązania poradziły sobie słabiej niż reszta.

Liczba	10		
	min	max	avg
DryIoc	0	0	0
LightInject	1	1	1
NiquIoCPartial	1	1	1
NiquIoCFull	1	1	1
SimpleInjector	2	2	2
Grace	3	5	3
Autofac	5	8	6
Windsor	10	11	10
StructureMap	11	11	11
Unity	14	15	14
Ninject	53	60	55

Tab. 14: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego A

Wraz ze wzrostem liczby powtórzeń tym razem również wszystkie najpopularniejsze rozwiązania zanotowały liniowy wzrost czasów. Oba rozwiązania przedstawione w tej pracy oraz wszystkie najszybsze rozwiązania uzyskały zbliżone wyniki.

Liczba	100		
	min	max	avg
DryIoc	6	6	6
LightInject	6	8	7
NiquIoCFull	11	12	12
SimpleInjector	11	12	12
NiquIoCPartial	12	12	12
Grace	12	13	12
Autofac	49	57	50
StructureMap	52	53	52
Windsor	95	97	95
Unity	141	168	143
Ninject	521	597	531

Tab. 15: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego A

Gdy liczba powtórzeń wzrosła do 100, to wszystkie rozwiązania zanotowały liniowy wzrost czasów.

Liczba	1000		
	min	max	avg
LightInject	60	65	62
DryIoc	63	65	64
SimpleInjector	99	103	100
Grace	103	107	104
NiquIoCFull	113	115	114
NiquIoCPartial	118	121	120
StructureMap	431	447	435
Autofac	482	490	484
Windsor	926	1012	938
Unity	1407	1532	1423
Ninject	5298	5469	5339

Tab. 16: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego A

Dla 1000 powtórzeń liniowy wzrost utrzymał się dla wszystkich rozwiązań. Rozwiązania zaprezentowane w tej pracy dla tego testu poradziły sobie trochę słabiej niż wszystkie najszybsze rozwiązania (czasy prawie dwukrotnie słabsze niż najlepszy wśród najszybszych rozwiązań LightInject), ale dużo lepiej niż wszystkie najpopularniejsze rozwiązania (czasy prawie czterokrotnie mniejsze niż najlepszy wśród najpopularniejszy rozwiązań StructureMap)

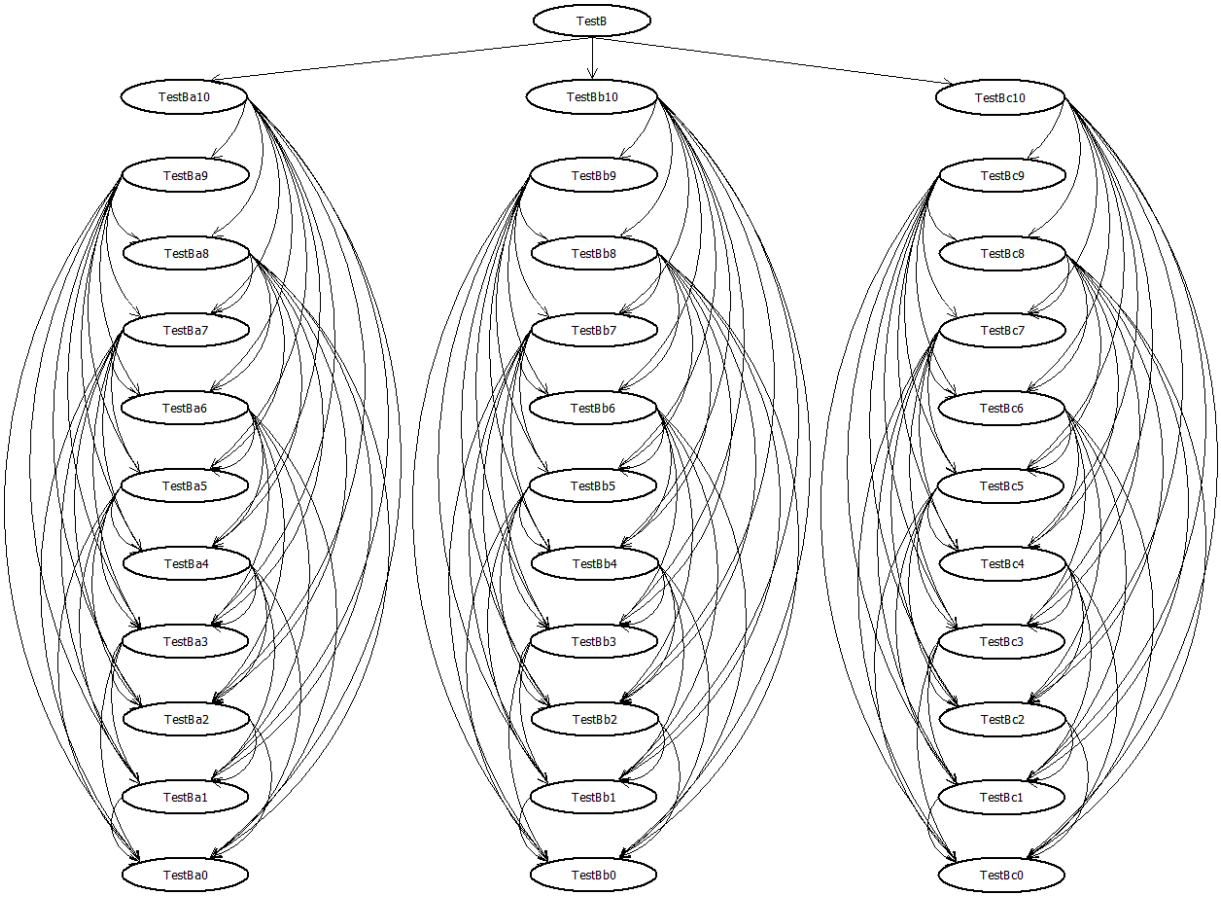
5.2 Przypadek testowy B

5.2.1 Opis

Ten test jest bardzo podobny do przypadku testowego A, tylko dochodzi nam 1 dodatkowy poziom, który wygląda trochę inaczej. W głównym obiekcie "TestB" konstruktor przyjmuje 3 parametry następujących typów: "TestBa10", "TestBb10", "TestBc10". Każdy z tych 3 typów odpowiada typowi "TestA", więc przyjmuje on w konstruktorze 10 parametrów. Dla "TestBa10" są to parametry typów od "TestBa0" do "TestBa9", dla "TestBb10" są to parametry typów od "TestBb0" do "TestBb9", a dla "TestBc10" są to parametry typów od "TestBc0" do "TestBc9". Zależności tych typów wyglądają tak samo, jak dla typów z przypadku testowego A - Rys. 28 przedstawia te zależności.

Łatwo wywnioskować, że tworząc obiekty poszczególnych typów liczba tworzonych obiektów rośnie dwukrotnie (tak jak dla testu A):

- TestBa0 - 1 obiekt,
- TestBa1 - 2 obiekty (obiekt typu TestBa1 i obiekt typu TestBa0),



Rys. 28: Graf zależności dla testu B.

- TestBa2 - 4 obiekty (obiekt typu TestBa2, obiekt typu TestBa1 - 2 obiekty, obiekt typu TestBa0 - 1 obiekt),
- TestBa3 - 8 obiektów (obiekt typu TestBa3, obiekt typu TestBa2 - 4 obiekty, obiekt typu TestBa1 - 2 obiekty, obiekt typu TestBa0 - 1 obiekt),
- TestBa4 - 16 obiektów,
- TestBa5 - 32 obiektów,
- TestBa6 - 64 obiektów,
- TestBa7 - 128 obiektów,
- TestBa8 - 256 obiektów,
- TestBa9 - 512 obiektów,
- TestBa10 - 1 024 obiektów,

- . . . (dla typów od TestBb0 do TestBb10 i od TestBc0 do TestBc10 sytuacja wygląda dokładnie tak samo jak dla typów od TestBa0 do TestBa10),
- TestB - 3 073 obiektów.

Zatem tworząc obiekt typu TestB, tworzymy: 1 obiekt typu TestB, 1 obiekt typu TestBa10, TestBb10 i TestBc10, 1 obiekt typu TestBa9, TestBb9 i TestBc9, 2 obiekty typu TestBa8, TestBb8 i TestBc8, 4 obiekty typu TestBa7, TestBb7 i TestBc7, 8 obiektów typu TestBa6, TestBb6 i TestBc6, 16 obiektów typu TestBa5, TestBb5 i TestBc5, 32 obiektów typu TestBa4, TestBb4 i TestBc4, 64 obiektów typu TestBa3, TestBb3 i TestBc3, 128 obiektów typu TestBa2, TestBb2 i TestBc2, 256 obiektów typu TestBa1, TestBb1 i TestBc1, 512 obiektów typu TestBa0, TestBb0 i TestBc0 - co daje w sumie 3 073 obiektów.

5.2.2 Wyniki Resolve dla Singleton

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	4	4	4
SimpleInjector	6	6	6
LightInject	6	7	6
DryIoc	8	8	8
Grace	8	8	8
NiquIoCFull	8	9	8
Ninject	9	10	9
Unity	23	24	23
StructureMap	32	33	33

Tab. 17: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji Singleton dla Przypadku testowego B

Czasy dla wszystkich rozwiązań wzrosły trzykrotnie w stosunku do przypadku testowego A. Autofac i Windsor poradziły sobie najlepiej, jednakże dopiero dla tego przypadku testowego ich czasy są dużo mniejsze niż pozostałych rozwiązań. Z drugiej strony wyniki dla Unity oraz StructureMap dużo bardziej odstają od reszty.

Liczba	1000		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	4	4	4
SimpleInjector	6	6	6
LightInject	6	7	6
Grace	8	8	8
NiquIoCFull	8	8	8
DryIoc	8	9	8
Ninject	12	13	12
Unity	24	25	24
StructureMap	33	34	33

Tab. 18: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji Singleton dla Przypadku testowego B

Podobnie jak dla przypadku testowego A, tutaj również wraz ze wzrostem liczby powtórzeń nie było znaczącego wzrostu czasu dla żadnego z rozwiązań.

5.2.3 Wyniki Resolve dla Transient

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	2	2	2
NiquIoCPartial	5	5	5
Windsor	6	7	6
NiquIoCFull	26	27	26
Unity	28	29	28
LightInject	31	33	32
StructureMap	33	34	33
Ninject	36	38	36
SimpleInjector	40	41	40
DryIoc	43	44	43
Grace	50	59	51

Tab. 19: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji Transient dla Przypadku testowego B

W tym teście dla 1 powtórzenia Autofac, NiquIoCPartial oraz Windsor zanotowały czasy o rząd wielkości mniejsze niż pozostałe rozwiązania. Dodatkowo najpopularniejsze rozwiązania osiągnęły niższe czasy niż najszybsze rozwiązania.

Liczba	10		
	min	max	avg
NiquIoCPartial	10	10	10
Autofac	21	25	21
NiquIoCFull	26	27	26
LightInject	32	33	32
SimpleInjector	40	42	41
DryIoc	44	45	44
StructureMap	45	46	45
Unity	49	50	49
Windsor	49	69	50
Grace	51	55	52
Ninject	276	337	284

Tab. 20: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego B

Wraz ze wzrostem liczby powtórzeń wszystkie najpopularniejsze rozwiązania zanotowały wzrost około 10-krotny. NiquIoCPartial zanotował wzrost 2-krotny. NiquIoCFull oraz najszybsze rozwiązania nie zanotowały wzrostu czasów.

Liczba	100		
	min	max	avg
NiquIoCFull	32	33	32
LightInject	37	38	37
SimpleInjector	47	48	47
DryIoc	51	52	51
Grace	57	59	58
NiquIoCPartial	59	79	61
StructureMap	167	175	168
Autofac	189	201	191
Unity	260	271	262
Windsor	476	610	484
Ninject	2733	3595	2790

Tab. 21: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego B

Gdy liczba powtórzeń wzrosła do 100, to NiquIoCPartial zanotował 5-krotny wzrost. Najpopularniejsze rozwiązania mają stały, około 10-krotny wzrosty. NiquIoCFull oraz wszystkie najszybsze rozwiązania zanotowały nieduży wzrost, jednakże wszystkie poradziły sobie o rząd wielkości lepiej niż najpopularniejsze rozwiązania.

Liczba	1000		
	min	max	avg
NiquIoCFull	66	68	66
LightInject	70	73	71
SimpleInjector	95	97	96
DryIoc	97	100	98
Grace	122	128	124
NiquIoCPartial	543	633	550
StructureMap	1333	1565	1346
Autofac	1890	2044	1903
Unity	2355	2419	2366
Windsor	4726	5665	4799
Ninject	28220	29976	28720

Tab. 22: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego B

NiquIoCFull oraz wszystkie najszybsze rozwiązania zanotowały około 2-krotny wzrost czasów, NiquIoCPartial około 5-krotny, a wszystkie najpopularniejsze rozwiązania utrzymały około 10-krotny wzrost czasów.

5.2.4 Wyniki Resolve dla TransientSingleton

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	1	2	1
Windsor	3	5	3
NiquIoCPartial	4	5	5
NiquIoCFull	16	16	16
Unity	27	28	27
SimpleInjector	28	28	28
Ninject	29	34	30
Grace	30	32	31
StructureMap	33	34	33
LightInject	48	50	48
DryIoc	56	57	56

Tab. 23: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego B

Wyniki dla tego testu są zbliżone do wyników dla Transient. Dla 1 powtórzenia lepiej sobie radzą najpopularniejsze rozwiązania niż te najszybsze. Oba rozwiązania zaprezentowane w tej pracy posiadają czasy zbliżone do najpopularniejszy rozwiązań.

Liczba	10		
	min	max	avg
NiquIoCPartial	8	9	8
NiquIoCFull	16	17	16
Autofac	18	20	18
SimpleInjector	28	29	28
Grace	31	32	31
Windsor	37	46	37
StructureMap	40	46	40
Unity	46	47	46
LightInject	48	50	48
DryIoc	57	58	57
Ninject	214	239	219

Tab. 24: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego B

Dla 10 powtórzeń zarówno NiquIoCPartial jak i NiquIoCFull osiągnęły najmniejsze czasy. Są one jednak zbliżone do pozostały rozwiązań. Wyjątkiem jest jedynie Ninject, który osiągnął czasy o rząd wielkości większe niż reszta.

Liczba	100		
	min	max	avg
NiquIoCFull	18	19	18
SimpleInjector	32	34	32
Grace	35	37	35
NiquIoCPartial	41	57	42
LightInject	51	53	51
DryIoc	64	65	64
StructureMap	112	123	113
Autofac	172	206	173
Unity	226	263	228
Windsor	355	435	362
Ninject	2013	2426	2063

Tab. 25: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego B

Gdy liczba powtórzeń wzrosła do 100, NiquIocFull oraz najszybsze rozwiązania zanotowały niewielki wzrost czasów. Z drugiej strony NiquIocPartial oraz wszystkie najpopularniejsze rozwiązania zanotowały kilkukrotny wzrost.

Liczba	1000		
	min	max	avg
NiquIoCFull	37	39	38
SimpleInjector	61	62	61
Grace	69	72	69
LightInject	80	82	80
DryIoc	108	110	109
NiquIoCPartial	365	406	368
StructureMap	797	915	805
Autofac	1698	1832	1709
Unity	2016	2305	2032
Windsor	3543	4824	3637
Ninject	20440	22891	20858

Tab. 26: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego B

Podobnie jak dla testu dla Transient, NiquIocPartial i najpopularniejsze rozwiązania utrzymały liniowy, około 10-krotny wzrosty. Dla pozostałych rozwiązań ten wzrost był około 2-krotny.

5.2.5 Wyniki Resolve dla PerThread

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	4	5	4
NiquIoCFull	8	8	8
Ninject	9	10	9
Grace	13	13	13
SimpleInjector	23	23	23
Unity	23	25	23
StructureMap	32	34	33
DryIoc	246	250	247
LightInject	409	419	412

Tab. 27: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji PerThread dla Przypadku testowego B

Dla tego testu sytuacja wygląda identycznie jak dla przypadku testowego A - DryIoc oraz LightInject nie poradziły sobie z rejestracją PerThread i zanotowały czas o rząd wielkości większe niż pozostałe rozwiązania.

Wyraźnie najlepiej poradziły sobie Autofac i Windsor, a dalej NiquIoCPartial oraz NiquIoCFull. Czasy niedużo większe osiągnęły również Ninject, a także Grace.

Liczba	1000		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	4	5	4
NiquIoCFull	8	8	8
Ninject	12	13	13
Grace	13	14	13
SimpleInjector	23	24	23
Unity	24	25	24
StructureMap	33	34	33
DryIoc	246	249	247
LightInject	409	420	413

Tab. 28: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji PerThread dla Przypadku testowego B

Gdy liczba powtórzeń wzrosła do 1000 żadne z rozwiązań nie zanotowało wzrostu czasów.

5.2.6 Wyniki Resolve dla FactoryMethod

Liczba	1		
	min	max	avg
DryIoc	0	0	0
NiquIoCPartial	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0
Autofac	1	1	1
LightInject	2	4	2
SimpleInjector	4	4	4
Windsor	4	5	4
Unity	4	6	4
Grace	7	9	7
Ninject	23	25	24
StructureMap	25	25	25

Tab. 29: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego B

Dla 1 powtórzenia wszystkie rozwiązania za wyjątkiem Ninject i StructureMap mają zbliżone, nieduże czasy. Te dwa rozwiązania zanotowały czasy o rząd wielkości większe niż pozostałe.

Liczba	10		
	min	max	avg
DryIoc	1	2	1
NiquIoCFull	3	4	3
LightInject	4	4	4
NiquIoCPartial	4	4	4
SimpleInjector	7	7	7
Grace	10	10	10
Autofac	16	17	16
Windsor	33	36	33
StructureMap	37	37	37
Unity	44	45	44
Ninject	166	182	170

Tab. 30: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego B

Najszybsze rozwiązania zanotowały około 2-krotny wzrost czasów, a z kolei dla NiquIoCPartial oraz najpopularniejszych rozwiązań ten wzrost było około 10-krotny. NiquIoCFull osiągnął kilkukrotny wzrost czasów, ale poradził sobie słabiej tylko od DryIoc.

Liczba	100		
	min	max	avg
DryIoc	19	19	19
LightInject	21	22	21
NiquIoCFull	35	37	35
SimpleInjector	35	37	36
NiquIoCPartial	37	39	38
Grace	38	39	39
Autofac	154	156	155
StructureMap	159	162	160
Windsor	298	321	301
Unity	436	443	439
Ninject	1601	1670	1622

Tab. 31: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego B

Wraz ze wzrostem powtórzeń do 100, większość rozwiązań zanotowała około 10-krotny wzrost czasów. Wyjątkami są LightInject, SimpleInjector, Grace i StructureMap, które zanotował około 5-krotny wzrost czasów.

Liczba	1000		
	min	max	avg
LightInject	180	186	182
DryIoc	185	188	186
SimpleInjector	305	311	308
Grace	312	319	315
NiquIoCFull	344	373	353
NiquIoCPartial	364	373	368
StructureMap	1347	1385	1359
Autofac	1545	1573	1550
Windsor	2939	3226	2971
Unity	4355	4492	4373
Ninject	16788	17602	16963

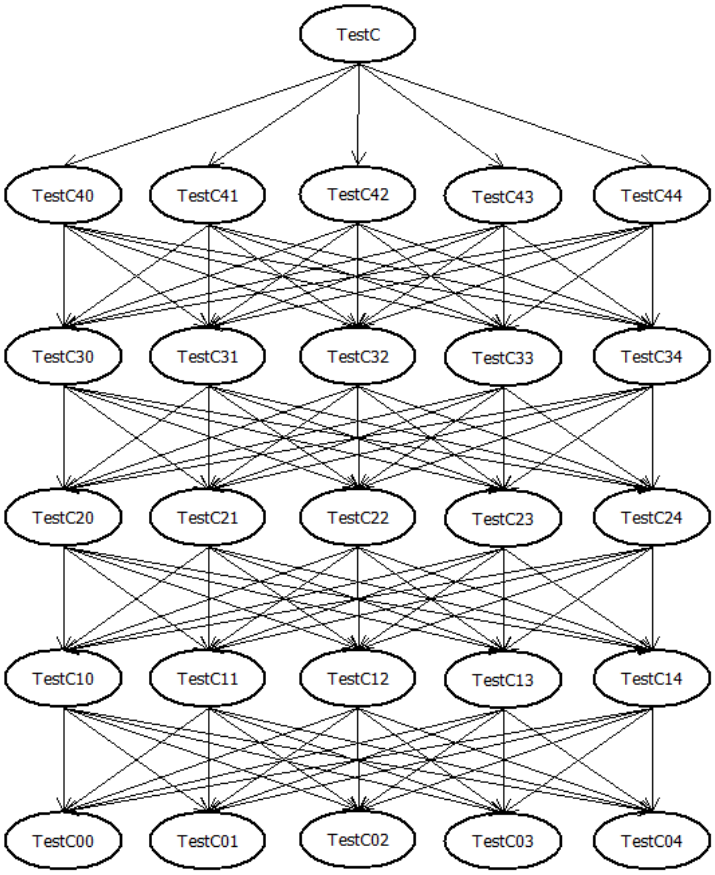
Tab. 32: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego B

Gdy liczba powtórzeń wzrosła do 1000, to wszystkie rozwiązania zanotowały około 9-krotny lub 10-krotny wzrost. Najmniejsze czasy zanotowały LightInject oraz DryIoC.

5.3 Przypadek testowy C

5.3.1 Opis

Ten przypadek testowy znacząco różni się od dwóch poprzednich. Mamy tutaj zdefiniowanych 26 typów. 5 z tych typów ma konstruktor bezparametrowy, a pozostałe 21 ma konstruktor z pięcioma parametrami. Typem głównym jest typ "TestC". Obiekt tego typy w konstruktorze przyjmuje 5 obiektów, kolejno następujących typów: "TestC40", "TestC41", "TestC42", "TestC43" i "TestC44". Każdy z tych pięciu typów ma taki sam konstruktor - przyjmuje w nim 5 obiektów o typach, które w nazwie mają pierwszą cyfrę o 1 mniejszą, czyli są to obiekty typów od "TestC30" do "TestC34". Dla tych i kolejnych typów zasada z konstruktorami wygląda tak samo. Na końcu dochodzimy do typów od "TestC00" do "TestC04", które mają konstruktor bezparametrowy. Rys. 29 przedstawia graf zależności typów dla tego przypadku testowego.



Rys. 29: Graf zależności dla testu C.

Łatwo wywnioskować, że tworząc obiekty poszczególnych typów liczba tworzonych obiektów rośnie ponad pięciokrotnie:

- typy od TestC00 do TestC04 - 1 obiekt,
- typy od TestC10 do TestC14 - 6 obiektów (obiekt danego typu plus 5 obiektów typów od TestC00 do TestC04),
- typy od TestC20 do TestC24 - 31 obiektów (obiekt danego typu plus 5 obiektów typów od TestC10 do TestC14),
- typy od TestC30 do TestC34 - 156 obiektów,
- typy od TestC40 do TestC44 - 781 obiektów,
- TestC - 3 906 obiektów.

Zatem tworząc obiekt typu TestC, tworzymy: 1 obiekt typu TestC, 5 obiektów typów od TestC40 do TestC44, 25 obiektów typów od TestC30 do TestC34, 125 obiektów typów od TestC20 do TestC24, 625 obiektów typów od TestC10 do TestC14 oraz 3 125 obiektów typów od TestC00 do TestC04 - co daje w sumie 3 906 obiektów.

5.3.2 Wyniki Resolve dla Singleton

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	3	3	3
LightInject	4	4	4
SimpleInjector	4	4	4
DryIoc	5	5	5
Grace	5	5	5
NiquIoCFull	5	5	5
Ninject	6	6	6
Unity	15	16	15
StructureMap	22	23	22

Tab. 33: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji Singleton dla Przypadku testowego C

Najlepiej poradził sobie Autofac i Windsor, a najsłabiej Unity oraz StructureMap. Pozostałe rozwiązania zanotowały zbliżone czasy.

Liczba	1000		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	3	3	3
LightInject	4	4	4
SimpleInjector	4	4	4
DryIoc	5	5	5
Grace	5	5	5
NiquIoCFull	5	5	5
Ninject	9	10	9
Unity	16	17	16
StructureMap	23	24	23

Tab. 34: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji Singleton dla Przypadku testowego C

Dla tego przypadku testowego sytuacja dla tego testu wygląda identycznie jak dla dwóch poprzednich przypadków testowych. Wraz ze wzrostem powtórzeń, czasy pozostają na tym samym poziomie, a tabela z wynikami jest zbliżona do tabeli dla przypadku testowego A i B.

5.3.3 Wyniki Resolve dla Transient

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	2	2	2
NiquIoCPartial	3	4	4
Windsor	7	8	7
Unity	18	19	19
StructureMap	26	27	26
NiquIoCFull	31	33	31
LightInject	36	37	36
DryIoc	39	41	39
Ninject	38	42	39
SimpleInjector	40	42	41
Grace	61	63	61

Tab. 35: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji Transient dla Przypadku testowego C

Dla 1 powtórzenia najlepiej radzą sobie najpopularniejsze rozwiązania oraz NiquIoCPartial. Dalej jest NiquIoCFull, a za nim wszystkie najszybsze rozwiązania. Najniższe czasy osiągnęły Autofac i NiquIoCPartial.

Liczba	10		
	min	max	avg
NiquIoCPartial	10	11	10
Autofac	23	25	24
NiquIoCFull	31	33	32
LightInject	36	39	37
DryIoc	40	41	40
StructureMap	40	42	40
SimpleInjector	41	43	41
Unity	47	51	47
Grace	62	65	62
Windsor	61	82	62
Ninject	345	375	353

Tab. 36: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego C

Tym razem również wszystkie najpopularniejsze rozwiązania zanotowały około 10-krotny wzrost, NiquIoCPartial około 2-krotny wzrost, a NiquIoCFull oraz wszystkie najszybsze rozwiązania osiągnęły podobne czasy co dla 1 powtórzenia.

Liczba	100		
	min	max	avg
NiquIoCFull	38	41	38
LightInject	43	49	44
DryIoc	47	48	47
SimpleInjector	49	51	49
Grace	73	74	73
NiquIoCPartial	72	80	74
StructureMap	178	207	181
Autofac	229	250	231
Unity	315	369	318
Windsor	594	769	608
Ninject	3430	4043	3511

Tab. 37: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego C

Pomimo że ten przypadek testowy znacząco różni się od poprzednich dwóch, to stosunek wzrostów czasów, wraz ze wzrostem powtórzeń dla tego testu wydaje się być taki sam. NiquIoCFull oraz najszybsze rozwiązania notują niewielki wzrost i ich czasy są na tym samym poziomie co dla 10 powtórzeń, a pozostałe rozwiązania mają wyniki około 9-10 razy większe.

Liczba	1000		
	min	max	avg
NiquIoCFull	81	83	82
LightInject	86	88	86
DryIoc	98	100	99
SimpleInjector	115	117	116
Grace	153	163	155
NiquIoCPartial	683	781	690
StructureMap	1520	1810	1540
Autofac	2274	2419	2288
Unity	2995	3359	3015
Windsor	5898	7708	6037
Ninject	36072	42914	37642

Tab. 38: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego C

Tendencja wzrostów się utrzymała i NiquIoCFull radzi sobie lepiej niż wszystkie najszybsze rozwiązania, a NiquIoCPartial niż wszystkie najpopularniejsze rozwiązania.

5.3.4 Wyniki Resolve dla TransientSingleton

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	1	2	2
NiquIoCPartial	3	3	3
Windsor	3	3	3
NiquIoCFull	12	13	12
Unity	18	18	18
SimpleInjector	21	22	21
StructureMap	23	23	23
Grace	23	24	23
Ninject	25	30	26
LightInject	52	54	52
DryIoc	58	70	58

Tab. 39: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego C

Dla 1 powtórzenia najlepiej radzą sobie Autofac, NiquIoCPartial i Windsor. Pozostałe rozwiązania zanotowały czasy od kilku, do kilkunastu razy większe. Najsłabiej poradziły sobie LightInject oraz DryIoc.

Liczba	10		
	min	max	avg
NiquIoCPartial	6	7	6
NiquIoCFull	12	13	12
Autofac	19	20	20
SimpleInjector	21	22	21
Grace	23	24	23
StructureMap	30	31	30
Windsor	34	41	35
Unity	39	41	40
LightInject	52	55	53
DryIoc	59	62	59
Ninject	199	231	203

Tab. 40: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego C

Gdy mamy 10 powtórzeń zarówno NiquIoCFull jak i wszystkie najszybsze rozwiązania nie zanotowały wzrostu czasów. NiquIoCPartial, Unity oraz StructureMap zanotowały wzrost około 2-krotny, a Autofac, Windsor oraz Ninject około 10-krotny. Mimo że dla LightInject i DryIoC czasy nie wzrosły, to i tak dla tylu powtórzeń osiągnęły one jedne z najwyższych wyników.

Liczba	100		
	min	max	avg
NiquIoCFull	13	14	14
SimpleInjector	23	24	24
Grace	25	26	25
NiquIoCPartial	38	46	39
LightInject	55	57	56
DryIoc	65	68	65
StructureMap	80	84	80
Autofac	184	198	187
Unity	242	258	243
Windsor	338	400	343
Ninject	1903	2364	1951

Tab. 41: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego C

Przy 100 powtórzeniach wzrost czasów wygląda identycznie jak dla testu Transient - NiquIoCFull oraz najszybsze rozwiązania mają niewielki, a pozostałe rozwiązania kilkukrotny. LightInject i DryIoC tym razem zanotowały czasy lepsze niż wszystkie najpopularniejsze rozwiążania, ale wciąż słabsze niż NiquIoCPartial.

Liczba	1000		
	min	max	avg
NiquIoCFull	25	26	25
Grace	44	45	44
SimpleInjector	44	45	44
LightInject	82	85	83
DryIoc	105	107	106
NiquIoCPartial	347	359	349
StructureMap	549	593	553
Autofac	1810	1898	1831
Unity	2258	2428	2272
Windsor	3368	4115	3429
Ninject	19137	22595	19626

Tab. 42: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego C

Dla 1000 powtórzeń najmniejszy czas zanotował NiquIoCFull, a dalej wszystkie najszybsze rozwiązania. NiquIoCPartial dla tego przypadku testowego również znalazł się za wszystkimi najszybszymi rozwiązaniami oraz przed wszystkimi najpopularniejszymi rozwiązaniami.

5.3.5 Wyniki Resolve dla PerThread

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	3	3	3
NiquIoCFull	5	5	5
Ninject	6	7	6
Grace	8	9	8
Unity	15	16	15
SimpleInjector	16	16	16
StructureMap	22	23	22
DryIoc	157	162	158
LightInject	525	556	529

Tab. 43: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji PerThread dla Przypadku testowego C

Dla tego przypadku testowego wyniki są podobne jak w poprzednich przypadkach testowych - najlepiej poradziły sobie Autofac i Windsor, następnie dwa rozwiązania zaprezentowane w tej pracy, a dalej pozostałe rozwiązania. Najsłabsze czasy uzyskały DryIoc oraz LightInject, które nie radzą sobie z rejestracją PerThread.

Liczba	1000		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	3	3	3
NiquIoCFull	5	5	5
Grace	8	9	8
Ninject	9	10	9
Unity	16	17	16
SimpleInjector	16	18	16
StructureMap	23	73	24
DryIoc	158	161	158
LightInject	525	550	529

Tab. 44: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji PerThread dla Przypadku testowego C

Test dla 1000 powtórzeń pokazał, że dla żadnego rozwiązania wraz ze wzrostem liczby powtórzeń, dla tego testu nie wzrasta czas.

5.3.6 Wyniki Resolve dla FactoryMethod

Liczba	1		
	min	max	avg
DryIoc	0	0	0
NiquIoCPartial	0	0	0
NiquIoCFull	0	0	0
Autofac	2	2	2
LightInject	2	2	2
SimpleInjector	3	4	3
Windsor	4	5	4
Grace	6	6	6
Unity	6	7	6
StructureMap	18	20	18
Ninject	26	28	27

Tab. 45: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego C

Gdy mamy 1 powtórzenie najlepiej radzą sobie NiquIoCPartial, NiquIoCFull oraz najszybsze rozwiązania. Najpopularniejsze rozwiązania zanotowały czasy trochę (Autofac, Windsor, Unity) lub dużo (StructureMap, Ninject) słabsze.

Liczba	10		
	min	max	avg
DryIoc	2	2	2
NiquIoCFull	4	4	4
LightInject	4	5	4
NiquIoCPartial	5	5	5
SimpleInjector	7	7	7
Grace	9	9	9
Autofac	19	21	19
StructureMap	34	35	34
Windsor	38	41	39
Unity	56	58	56
Ninject	209	220	213

Tab. 46: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego C

Wraz ze wzrostem liczby powtórzeń, czasy dla wszystkich rozwiązań wzrosły - dla rozwiązań najszybszych był to wzrost około 2-krotny, a dla pozostałych około 10-krotny.

Liczba	100		
	min	max	avg
DryIoc	24	25	24
LightInject	24	27	25
Grace	42	44	42
NiquIoCFull	42	45	43
SimpleInjector	43	45	44
NiquIoCPartial	45	47	46
StructureMap	177	198	180
Autofac	186	197	189
Windsor	366	378	369
Unity	555	645	564
Ninject	2110	2474	2152

Tab. 47: Wyniki testów dla 100 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego C

Gdy mamy 100 powtórzeń wyraźnie wyższe czasy osiągnęły najpopularniejsze rozwiązania. Najniższe czasy zanotowały DryIoC oraz LightInject, a pozostałe rozwiązania (Grace, NiquIoCFull, SimpleInjector i NiquIoCPartial) uzyskały podobne wyniki.

Liczba	1000		
	min	max	avg
LightInject	215	223	218
DryIoc	232	236	234
Grace	357	369	361
SimpleInjector	380	389	385
NiquIoCFull	419	440	424
NiquIoCPartial	446	479	451
StructureMap	1594	1748	1623
Autofac	1867	1979	1880
Windsor	3650	4077	3721
Unity	5561	5645	5577
Ninject	22141	23030	22398

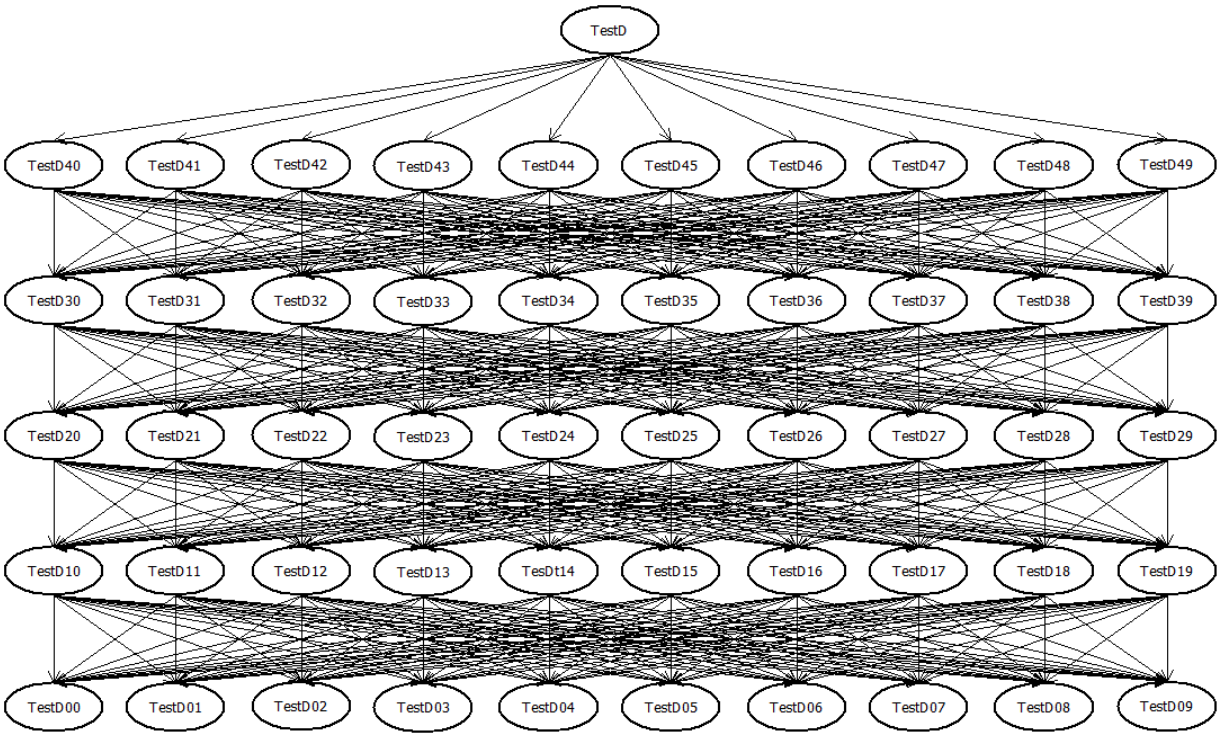
Tab. 48: Wyniki testów dla 1000 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego C

Przy 1000 powtórzeniach wszystkie rozwiązania zanotowały liniowy, około 10-krotny wzrost. Jednakże najmniejszy przyrost czasu zanotował LightInject i to on osiągnął najlepszy czas.

5.4 Przypadek testowy D

5.4.1 Opis

Podobnie jak przypadek testowy B jest analogiczny z przypadkiem A, tak ten przypadek, jest zbliżony do przypadku C. Mamy tutaj tyle samo poziomów, co dla C, ale na każdym poziomie (poza pierwszym) obiektów jest dwa razy więcej. Zatem w tym teście mamy zdefiniowanych 51 typów. Tutaj konstruktor bezparametrowy ma 10 typów, a pozostałe 41 ma konstruktor z dziesięcioma parametrami. Typ główny to "TestD" i przyjmuje on w konstruktorze 10 obiektów, kolejno następujących typów: "TestD40", "TestD41", "TestD42", "TestD43", "TestD44", "TestD45", "TestD46", "TestD47", "TestD48", "TestD49". Jest więc to sytuacja niemal identyczna jak dla poprzedniego przypadku. Dla pozostałych typów jest podobnie i każdy z nich w konstruktorze przyjmuje 10 obiektów o typach z pierwszą cyfrą o 1 mniejszą (obiekty typów od "TestD40" do "TestD49", przyjmują w konstruktorze obiekty typów od "TestD30" do "TestD39" itd.). Ostatnie 10 typów, czyli typy od "TestD00" do "TestD09", mają konstruktor bezparametrowy. Graf zależności dla tego przypadku testowego został przedstawiony na Rys. 30.



Rys. 30: Graf zależności dla testu D.

Łatwo wywnioskować, że tworząc obiekty poszczególnych typów liczba tworzonych obiektów rośnie ponad dziesięciokrotnie:

- typy od TestD00 do TestD09 - 1 obiekt,

- typy od TestD10 do TestD19 - 11 obiektów (obiekt danego typu plus 10 obiektów typów od TestD00 do TestD09),
- typy od TestD20 do TestD29 - 111 obiektów (obiekt danego typu plus 10 obiektów typów od TestD10 do TestD19),
- typy od TestD30 do TestD39 - 1 111 obiektów,
- typy od TestD40 do TestD49 - 11 111 obiektów,
- TestD - 111 111 obiektów.

Zatem tworząc obiekt typu TestD, tworzymy: 1 obiekt typu TestD, 10 obiektów typów od TestD40 do TestD49, 100 obiektów typów od TestD30 do TestD39, 1 000 obiektów typów od TestD20 do TestD29, 10 000 obiektów typów od TestD10 do TestD19, 100 000 obiektów typów od TestD00 do TestD09 - co daje w sumie 111 111 obiektów.

5.4.2 Wyniki Resolve dla Singleton

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	8	9	9
DryIoc	10	10	10
SimpleInjector	11	12	11
LightInject	14	14	14
Grace	16	17	16
NiquIoCFull	18	19	18
Ninject	21	22	21
StructureMap	49	50	49
Unity	52	53	52

Tab. 49: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji Singleton dla Przypadku testowego D

Dla tego testu tabela z wynikami bardzo przypomina tabelę dla przypadku testowego C, jednakże czasy są około 2-3 razy większe. Po raz kolejny dla rejestracji Singleton najlepiej radzą sobie Autofac i Windsor, a najsłabiej StructureMap i Unity.

Liczba	10		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	8	9	8
DryIoc	10	10	10
SimpleInjector	11	12	11
LightInject	14	15	14
Grace	16	17	16
NiquIoCFull	18	19	18
Ninject	21	22	21
StructureMap	49	50	49
Unity	52	54	52

Tab. 50: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji Singleton dla Przypadku testowego D

Jak można się było spodziewać, tym razem również wzrost liczby powtórzeń nie miał wpływu na wzrost wyników.

5.4.3 Wyniki Resolve dla Transient

Liczba	1		
	min	max	avg
NiquIoCPartial	36	38	37
StructureMap	102	110	103
Autofac	136	160	147
Unity	150	200	152
SimpleInjector	177	179	178
Windsor	177	261	182
NiquIoCFull	566	576	569
LightInject	797	831	812
DryIoc	979	996	982
Ninject	1016	1179	1039
Grace	1413	1472	1426

Tab. 51: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji Transient dla Przypadku testowego D

Test dla tego przypadku testowego pokazał dużo większe różnice czasów niż dla poprzednich przypadków testowych. Dla 1 powtórzenia wyraźniej najlepszy czas zanotował NiquIoCPartial, który osiągnął czas o rząd wielkości niższy niż kolejne rozwiązanie. Średnie czasy zanotowały StructureMap, Autofac, Unity oraz Windsor. Pozostałe rozwiązania razem z NiquIoCFull osiągnęły bardzo duże wyniki.

Liczba	10		
	min	max	avg
SimpleInjector	205	212	206
NiquIoCPartial	285	291	287
StructureMap	586	603	591
NiquIoCFull	619	661	631
LightInject	841	878	853
DryIoc	1013	1025	1015
Unity	1073	1183	1080
Autofac	1161	1279	1188
Grace	1465	1558	1495
Windsor	1797	2421	1827
Ninject	10072	11599	10307

Tab. 52: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji Transient dla Przypadku testowego D

Wzrost liczby powtórzeń do 10 pokazał, że zarówno NiquIoCFull jak i prawie wszystkie najszybsze rozwiązania zanotowały niewielki wzrost. Wyjątkiem jest tutaj DryIoC, który osiągnął 10-krotny przyrost czasu. Jednakże bardzo duże wyniki już dla 1 powtórzenia spowodowały, że z najszybszy rozwiązań jedynie SimpleInjector ma nieduży czas. NiquIoCPartial pomimo 9-krotnego wzrostu czasu osiągnął drugi z najlepszych wyników. Wszystkie najpopularniejsze rozwiązania zanotowały wzrost około 10-krotny.

5.4.4 Wyniki Resolve dla TransientSingleton

Liczba	1		
	min	max	avg
NiquIoCPartial	17	18	17
StructureMap	60	69	61
Autofac	77	84	78
SimpleInjector	85	87	86
Windsor	85	102	87
Unity	115	140	116
NiquIoCFull	144	151	145
Grace	374	386	376
Ninject	503	572	511
DryIoc	905	922	910
LightInject	1285	1358	1310

Tab. 53: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego D

Dla tego testu ponownie dla 1 powtórzenia najmniejszy czas osiągnął NiquIoCPartial. Z pozostałych rozwiązań, to jedynie Grace, Ninject, DryIoC i LightInject zanotowały bardzo duże wyniki.

Liczba	10		
	min	max	avg
SimpleInjector	91	93	91
NiquIoCPartial	100	104	101
NiquIoCFull	151	159	152
StructureMap	165	173	167
Grace	381	396	383
Unity	683	771	689
Windsor	852	965	864
Autofac	893	964	910
DryIoc	936	983	942
LightInject	1297	1360	1316
Ninject	4732	5620	4818

Tab. 54: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji TransientSingleton dla Przypadku testowego D

Gdy liczba operacji wzrosła do 10, to jak można się było spodziewać - NiquIoCPartial zanotował około 5-krotny wzrost, a najpopularniejsze rozwiązania zanotowały około 10-krotny wzrost. NiquIoCFull oraz najszybsze rozwiązania osiągnęły czasy zbliżone do czasów dla 1 powtórzenia. Najmniejszy czas uzyskał SimpleInjector, a trochę większe rezultaty zanotowały NiquIoCPartial, NiquIoCFull i StructureMap. Pozostałe rozwiązania osiągnęły zauważalnie większe czasy - od kilku do nawet kilkunastu razy.

5.4.5 Wyniki Resolve dla PerThread

Liczba	1		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	8	9	9
NiquIoCFull	18	18	18
Ninject	21	22	21
Grace	28	28	28
SimpleInjector	46	48	46
StructureMap	49	51	49
Unity	52	53	52
DryIoc	1042	1051	1045
LightInject	762748	795038	773697

Tab. 55: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji PerThread dla Przypadku testowego D

Wyniki dla tego testu są podobne jak w pozostałych przypadkach testowych. Jedynym wyjątkiem jest LightInject, który najwyraźniej nie poradził sobie z tak dużo liczbą

obiektów dla tego typu rejestracji i zanotował czas o 5 rzędów wielkości większy, niż rozwiązania z najmniejszymi czasami - Autofac, Windsor i NiquIoCPartial.

Liczba	10		
	min	max	avg
Autofac	0	0	0
Windsor	0	0	0
NiquIoCPartial	8	10	9
NiquIoCFull	18	18	18
Ninject	21	22	21
Grace	28	28	28
SimpleInjector	46	48	46
StructureMap	49	51	49
Unity	52	53	52
DryIoc	1042	1051	1044
LightInject	763101	781163	774677

Tab. 56: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji PerThread dla Przypadku testowego D

Przy 10 powtórzeniach nic się nie zmieniło i wyniki są zbliżone do wyników dla 1 powtórzenia.

5.4.6 Wyniki Resolve dla FactoryMethod

Liczba	1		
	min	max	avg
DryIoc	9	10	10
LightInject	12	13	12
NiquIoCPartial	15	17	15
SimpleInjector	20	20	20
NiquIoCFull	20	21	20
Grace	24	25	24
Autofac	67	80	68
StructureMap	90	93	91
Windsor	127	136	129
Unity	173	181	174
Ninject	654	748	674

Tab. 57: Wyniki testów dla 1 powtórzenia dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego D

NiquIoCPartial, NiquIoCFull oraz wszystkie najszybsze rozwiązania zanotowały zbliżone wyniki. Rozwiązania najpopularniejsze osiągnęły czasy od kilku, do kilkunastu razy większe. Najlepszy czas uzyskał DryIoC.

Liczba	10		
	min	max	avg
DryIoc	78	81	79
LightInject	79	83	80
SimpleInjector	128	131	129
Grace	127	149	130
NiquIoCPartial	164	170	166
NiquIoCFull	185	191	188
StructureMap	592	610	597
Autofac	671	799	685
Windsor	1227	1284	1238
Unity	1744	1839	1769
Ninject	6206	6515	6299

Tab. 58: Wyniki testów dla 10 powtórzeń dla operacji FactoryMethod dla Przypadku testowego D

Wzrost liczby powtórzeń do 10 spowodował wzrost czasów dla wszystkich rozwiązań. Najmniejszy wzrost czasów zanotowały najszybsze rozwiązania, jednak wciąż był on co najmniej 6-krotny. NiquIoCPartial i NiquIoCFull podobnie jak wszystkie najpopularniejsze rozwiązania zanotowały wzrost około 10-krotny. Jednakże nieduże czasy przy 1 powtórzeniu dla rozwiązań zaprezentowanych w tej pracy spowodowały, że mimo wszystko osiągnęły one znacząco lepsze wyniki niż wszystkie najpopularniejsze rozwiązania. Najlepsze czasy uzyskały wszystkie najszybsze rozwiązania, a najmniejsze z tych czasów osiągnęły DryIoC i LightInject.

6 Podsumowanie

Zaproponowane przeze mnie rozwiązania bardzo dobrze realizują postawione we wstępie pracy cele. Dla wszystkich przypadków testowych, dla każdego z rodzaju rejestracji jedno z moich rozwiązań radziło sobie najlepiej albo niewiele odbiegało od najlepszego rozwiązania (zawsze któreś z moich rozwiązało było w pierwszej trójce, a czasami nawet oba). Możliwość mieszania użyć zaprezentowanych przeze mnie rozwiązań (w jednym projekcie można korzystać z obu rozwiązań niezależnie) sprawia, że NiquIoC jest najwydajniejszą implementacją wzorca wstrzykiwania zależności dla złożonych grafów zależności.

Dodatkowo wyniki moich testów pokazują, że rozwiązanie Ninject jest najmniej wydajne i nie zaleca się go używać przy bardzo rozbudowanych grafach. Jeśli chodzi natomiast o rozwiązania, które radzą sobie dobrze, to nie ma drugiego takiego (poza moim), które zawsze dawałoby zadowalające rezultaty. SimpleInjector dość dobrze radzi sobie dla testów Singleton, Transient i TransientSingleton, ale osiąga słabe rezultaty dla PerThread i FactoryMethod. LightInject z kolei jest rozwiązaniem, które wraz ze wzrostem liczby operacji ma najmniejszy wzrostu czasu. Jednakże w wielu przypadkach dość duże czasy dla małej liczby operacji powodują, że wyniki dla wielu operacji są bardzo duże. Takim pośrednim rozwiązaniem jest natomiast Grace. To rozwiązanie ma zarówno nieduże wzrosty czasów jak i nieduże wyniki dla małej ilości operacji, jednak mimo wszystko są one dużo słabsze niż dla NiquIoC.

6.1 Kontynuacja projektu

Zaprezentowane przeze mnie rozwiązania są bardzo wydaje, ale mają swoje ograniczenia. Jednym z nich jest między innymi konieczność rejestracji wszystkich typów. Tę funkcjonalność można by rozszerzyć, aby nie trzeba było rejestrować klas. Algorytm sam rejestrowałby klasy, gdyby okazywały się potrzebne - większość z rozwiązań dostarcza taką funkcjonalność. Kolejnym rozszerzeniem mogłoby być automatyczna rejestracja wszystkich typów z danego assembly. Osobom wykorzystującym moje rozwiązanie zaoszczędziłoby to sporo czasu na rejestrowanie wszystkich typów. Dodatkowo dodając kolejny typ do danego assembly, nie trzeba byłoby się przejmować zarejestrowaniem go. Jeszcze jednym dodatkiem wydaje się danie możliwości rejestracji wielu implementacji danego interfejsu. To jest również często spotykana funkcjonalność. Na koniec warto również wspomnieć o metodzie BuildUp dla NiquIoCFull - w mojej pracy tego zabrakło, a to również mogłoby być jednym z kolejnych rozszerzeń.

Spis rysunków

Spis tabel

Literatura

[1] Ian Griffiths, Matthew Adams, Jesse Liberty, C#. Programowanie. Wydanie VI, 2012

[2] Mark Seemann, Dependency Injection in .NET, 2012

[3] Serge Lidin, Expert .NET 2.0 IL Assembler, 2006

[4] Robert C. Martin, Czysty kod. Podręcznik dobrego programisty, 2014

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/SOLID_(object-oriented_design)