



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ
НАУКА У НОВОМ САДУ



Раде Пејановић

**CLI алат за аутоматизовано
креирање тестних окружења за
платформу дистрибуираног
рачунарства у облаку**

ЗАВРШНИ РАД

Основне академске студије

Нови Сад, 2025



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

Број:

ЗАДАТАК ЗА ЗАВРШНИ РАД

Датум:

(Податке уноси предметни наставник - менџор)

Студијски програм:	Софтверско инжењерство и информационе технологије		
Студент:	Раде Пејановић	Број индекса:	SV10/2021
Степен и врста студија:	Основне академске студије		
Област:	Електротехничко и рачунарско инжењерство		
Ментор:	Милош Симић		
НА ОСНОВУ ПОДНЕТЕ ПРИЈАВЕ, ПРИЛОЖЕНЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ И ОДРЕДБИ СТАТУТА ФАКУЛТЕТА ИЗДАЈЕ СЕ ЗАДАТАК ЗА ЗАВРШНИ РАД, СА СЛЕДЕЋИМ ЕЛЕМЕНТИМА:			
<ul style="list-style-type: none">- проблем – тема рада;- начин решавања проблема и начин практичне провере резултата рада, ако је таква провера неопходна;			

НАСЛОВ ЗАВРШНОГ РАДА:

CLI алат за аутоматизовано креирање тестних окружења за платформу дистрибуираног рачунарства у облаку

ТЕКСТ ЗАДАТКА:

Lore ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequre doleamus animo, cum corpore dolemus, fieri tamen permagna accessio potest, si aliquod aeternum et infinitum impendere malum nobis opinemur. Quod idem licet transferre in voluptatem, ut postea variari voluptas distinguique possit, augeri amplificarique non possit. At etiam Athenis, ut e patre audiebam facete et urbane Stoicos iridente, statua est in quo a nobis philosophia defensa et collaudata est, cum id, quod maxime placeat, facere possimus, omnis voluptas assumenda est, omnis dolor repellendus. Temporibus autem quibusdam et.

Руководилац студијског програма:	Ментор рада:

Примерак за: - Студента; - Ментора



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска документација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Дипломски - бачелор рад
Аутор, АУ:	Раде Пејановић
Ментор, МН:	Др Милош Симић, доцент
Наслов рада, НР:	CLI алат за аутоматизовано креирање тестних окружења за платформу дистрибуираног рачунарства у облаку
Језик публикације, ЈП:	српски/ћирилица
Језик извода, ЈИ:	српски/енглески
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	Војводина
Година, ГО:	2025
Издавач, ИЗ:	Ауторски репрント
Место и адреса, МА:	Нови Сад, трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО: (поплављено/страна/ чијатаг/табела/слика/графика/прилога)	6/42/29/2/17/0/2
Научна област, НО:	Електротехничко и рачунарско инжењерство
Научна дисциплина, НД:	Примењене рачунарске науке и информатика
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Шаблон, завршни рад, упутство
УДК	
Чува се, ЧУ:	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Овај документ представља упутство за писање завршних радова на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. У исто време је и шаблон за Turpst.
Датум прихваташа теме, ДП:	
Датум одbrane, ДО:	01.01.2025
Чланови комисије, КО:	Председник: Др Петар Петровић, ванредни професор Члан: Др Марко Марковић, доцент Члан: Потпис ментора Члан, ментор: Др Милош Симић, доцент



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO:										
Identification number, INO:										
Document type, DT:	Monographic publication									
Type of record, TR:	Textual printed material									
Contents code, CC:										
Author, AU:	Rade Pejanović									
Mentor, MN:	Igor Dejanović, Phd., asist. professor									
Title, TI:	CLI tool for automated creation of test environments for distributed cloud computing platform									
Language of text, LT:	Serbian									
Language of abstract, LA:	Serbian/English									
Country of publication, CP:	Republic of Serbia									
Locality of publication, LP:	Vojvodina									
Publication year, PY:	2025									
Publisher, PB:	Author's reprint									
Publication place, PP:	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6									
Physical description, PD: (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendices)	6/42/29/2/17/0/2									
Scientific field, SF:	Electrical and Computer Engineering									
Scientific discipline, SD:	Applied computer science and informatics									
Subject/Key words, S/KW:	Template, thesis, tutorial									
UC										
Holding data, HD:	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad									
Note, N:										
Abstract, AB:	This document provides guidelines for writing final theses at the Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad. At the same time, it serves as a Typst template.									
Accepted by the Scientific Board on, ASB:										
Defended on, DE:	01.01.2025									
Defended Board, DB:	<table border="1"><tr><td>President:</td><td>Petar Petrović, Phd., assoc. professor</td></tr><tr><td>Member:</td><td>Marko Marković, Phd., asist. professor</td></tr><tr><td>Member:</td><td></td></tr><tr><td>Member, Mentor:</td><td>Igor Dejanović, Phd., asist. professor</td></tr></table>		President:	Petar Petrović, Phd., assoc. professor	Member:	Marko Marković, Phd., asist. professor	Member:		Member, Mentor:	Igor Dejanović, Phd., asist. professor
President:	Petar Petrović, Phd., assoc. professor									
Member:	Marko Marković, Phd., asist. professor									
Member:										
Member, Mentor:	Igor Dejanović, Phd., asist. professor									
		Menthor's sign								



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

ИЗЈАВА О НЕПОСТОЈАЊУ СУКОБА ИНТЕРЕСА

Изјављујем да нисам у сукобу интереса у односу ментор – кандидат и да нисам члан породице (супружник или ванбрачни партнери, родитељ или усвојитељ, дете или усвојеник), повезано лице (кровни сродник ментора/кандидата у правој линији, односно у побочној линији закључно са другим степеном сродства, као ни физичко лице које се према другим основама и околностима може оправдано сматрати интересно повезаним са ментором или кандидатом), односно да нисам зависан/на од ментора/кандидата, да не постоје околности које би могле да утичу на моју непристрасност, нити да стичем било какве користи или погодности за себе или друго лице било позитивним или негативним исходом, као и да немам приватни интерес који утиче, може да утиче или изгледа као да утиче на однос ментор-кандидат.

У Новом Саду, дана _____

Ментор

Кандидат

Садржај

1 Увод	1
1.1 Структура рада	2
2 Теоријске основе и постојећа решења	3
2.1 Теоријски концепти релевантни за разумевање решења	3
2.2 Технологије коришћене у решењу	7
2.3 Постојећа решења	9
3 Функционални захтеви система	11
4 Архитектура система	13
4.1 Концептуални модел решења	13
4.2 Функционалности решења	14
5 Имплементација система	25
6 Закључак	27
Списак слика	29
Списак листинга	31
Списак табела	33
Списак коришћених скраћеница	35
Списак коришћених појмова	37
Биографија	39
Литература	41

Глава 1

УВОД

Савремени софтверски системи све чешће користе дистрибуирану архитектуру и микросервисе [1]. Више независних компоненти са јединственим задужењем (енгл. *single responsibility*) међусобно комуницира ради остваривања заједничке функционалности. Свака компонента система је развијана и тестирана у сопственом окружењу које је конфигурисано за њене потребе [2]. Окружење представља:

- одређену дистрибуцију и верзију оперативног система (енгл. *operating system, OS*)
- предефинисан сет системских променљивих (енгл. *environment variables*)
- скуп зависности (енгл. *dependencies*) неопходних за исправно функционисање компоненте

Како би се спречиле интерференције између компоненти, односно верзија њихових зависности и подешавања системских променљивих, потребно их је изоловати. Изолација омогућава паковање компоненте у сопствено окружење у коме је гарантовано њено исправно функционисање без интерференције остатка система [3]. Изолација се постиже на два начина:

- физичка, где свака компонента система ради на посебној физичкој машини
- логичка, где више виртуелних машина дели једну физичку, а свака виртуелна машина представља појединачну компоненту система

Физичка изолација је непрактична и финансијски неисплатива. Логичка изолација омогућава бољу расподелу ресурса и економичније коришћење хардвера [3]. Најчешће се постиже кроз виртуелизацију (енгл. *virtualization*), која омогућава покретање више независних окружења на једној физичкој машини.

Та окружења могу бити виртуелне машине (енгл. *virtual machines, VMs*), које се солањају на виртуелизују хардвер и садрже сопствени оперативни систем, или софтверски контејнери (енгл. *software containers*), који деле језгро оперативног система са *host* машином и виртуелизују само кориснички простор (енгл. *user space*) оперативног система [4]. Софтверски контејнери омогућавају брже и лакше покретање апликација са свим зависностима и користе мање ресурса [4]. Ручно покретање и конфигурисање више виртуелних окружења за сложене системе је дуготрајно и подложно грешкама [5].

Како би се овај процес поједноставио и верзионисао, користи се концепт инфраструктуре као кода (енгл. *Infrastructure as Code, IaC*). Конфигурација окружења се описује декларативно (нпр. YAML или JSON). То омогућава аутоматизовано креи-

рање, управљање и репродукцију развојних окружења. Овакви приступи смањују време потребно за постављање окружења и повећавају поузданост процеса развоја и тестирања [6].

Циљ овог рада је развој алата који омогућава једноставно креирање и управљање локалним развојним окружењима применом принципа IaC у оквиру *Constellations* [7] пројекта отвореног кода (енгл. *open source*). Алат аутоматизује:

- покретање контролне равни (енгл. *control plane*) на матичној машини (енгл. *host machine*)
- покретања унапред произвољно дефинисаног броја виртуелних машина, њихово умрежавање и управљање животним циклусом (креирање, покретање, паузирање, гашење и брисање)
- подешавање окружења инсталацијом потребних зависности и конфигурисања системских променљивих
- удаљено покретање и заустављање дефинисаних сервиса на виртуелним машинама

На овај начин се убрзава процес припреме окружења за развој и тестирање, смањује могућност грешке и обезбеђује доследност окружења на различитим системима.

1.1 Структура рада

Овај рад је организован у више поглавља која воде читаоца од теоријских основа до конкретне реализације решења. Након увода, друго поглавље представља теоријске основе и релевантна постојећа истраживања, укључујући концепте виртуелизације, контejнеризације и инфраструктуре као кода, као и преглед алата и решења за аутоматизацију развојних окружења.

Треће поглавље описује функционалне захтеве система, прецизирајући шта алат треба да обезбеди и како изгледа крајње стање окружења. Четврто поглавље се бави архитектуром система, модуларним дизајном и међусобним односима компоненти. Пето поглавље обухвата имплементацију, са детаљима о развоју CLI алата.

Рад се завршава закључком, у коме се говори о резултатима, процењују предности и ограничења решења и дају смернице за будућа унапређења.

Глава 2

Теоријске основе и постојећа решења

Ово поглавље описује основне теоријске концепте неопходне за разумевање решења (поглавље 2.1), технологије коришћене у решењу (поглавље 2.2) и постојећа решења (поглавље 2.3)

2.1 Теоријски концепти релевантни за разумевање решења

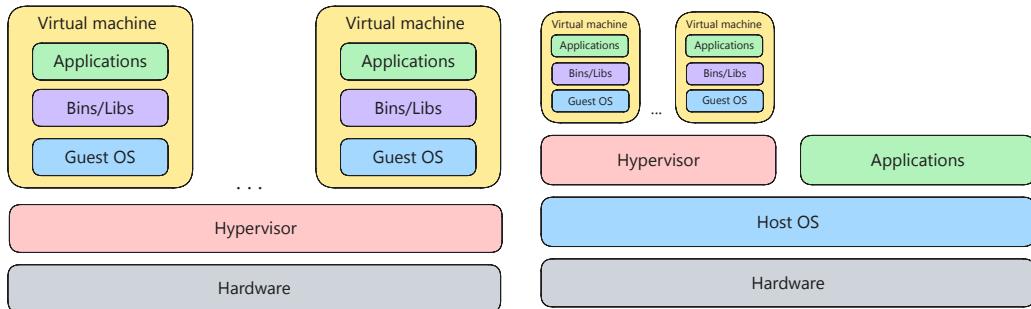
2.1.1 Виртуелизација

Виртуелизација је технологија која омогућава креирање више независних логичких окружења на једној физичкој машини. Омогућава да се један физички рачунар „подели“ на више изолованих система који функционишу као да имају сопствене ресурсе. Основни системски ресурси који се виртуелизују су процесор (CPU), меморија (RAM), складиште (енгл. *storage*) и мрежни интерфејси (енгл. *network interfaces*) [8]. Основни концепти виртуелизације су виртуелне машине (енгл. *virtual machine*, VM) и хипервизори (енгл. *hypervisors*).

Виртуелна машина представља софтверски дефинисано изоловано окружење са сопственим оперативним системом, меморијом, процесором и мрежним интерфејсима. Ресурси виртуелне машине (енгл. *guest machine*) се добијају од физичке машине (енгл. *host machine*), али су логички издвојени тако да њихово окружење функционише независно од других виртуелних машина [9].

Хипервизор, познат и као менаџер виртуелних машина (енгл. *virtual machine monitor*, VMM), представља софтвер који омогућава деобу физичких ресурса рачунара на више виртуелних окружења. Он управља креирањем, доделом ресурса и радом виртуелних машина. Посредује између физичког хардвера (енгл. *host*) и виртуелних система (енгл. *guests*) који користе његове ресурсе.

Постоје две врсте хипервизора. Тип 1 (енгл. *native, bare-metal*) на слици 1a, инсталира се директно на хардвер уместо оперативног система. Ресурси виртуелних машина директно се мапирају на хардвер. Овај тип је популаран у ентерпрајз окружењима и серверским системима. Тип 2 (енгл. *hosted*) на слици 1b, инсталира се као апликација на постојећи *host* оперативни систем. Ресурси и инструкције виртуелних машина најпре се мапирају на *host* оперативни систем који их потом прослеђује хардверу [8], [9].



Слика 1: Типови хипервизора: (а) тип 1 (енгл. *native, bare-metal*); (б) тип 2 (енгл. *hosted*).

Бенефити виртуализације се огледају у:

- смањењу потребне физичке инфраструктуре
- смањењу времена неисправности (енгл. *downtime*), у случају неке катастрофе или неочекиваног гашења физичког рачунара, виртуализована окружења се лакше и брже премештају и постављају на друге физичке машине
- повећању ефикасности и продуктивности тимова који одржавају инфраструктуру
- једноставнијем тестирању и креирању тест окружења која су идентична производним
- еколошком унапређењу и штедњи електричне енергије [10]

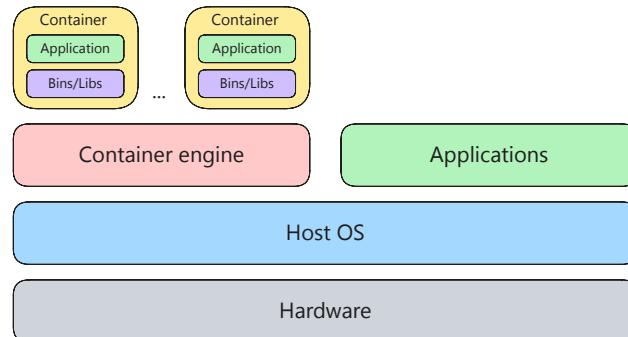
2.1.2 Контејнеризација

Контејнеризација представља технологију која омогућава покретање апликација у изолованим окружењима под називом софтверски контејнери (енгл. *software containers*). За разлику од виртуелних машина, које емулирају цео хардвер и покрећу сопствени оперативни систем, софтверски контејнери деле језгро (енгл. *kernel*) *host* оперативног система и користе заједничке системске ресурсе, али су логички изоловани један од другог. Оваква архитектура омогућава значајно мању потрошњу ресурса, брже покретање и лакше распоређивање апликација у различитим окружењима [4].

Софтверски контејнер је стандардизована јединица софтвера која обједињује апликацију и све њене зависности, библиотеке, конфигурационе датотеке и системске променљиве у један преносиви пакет. Захваљујући томе, апликација ће се понашати исто без обзира на то да ли се извршава на локалном рачунару, серверу или облаку.

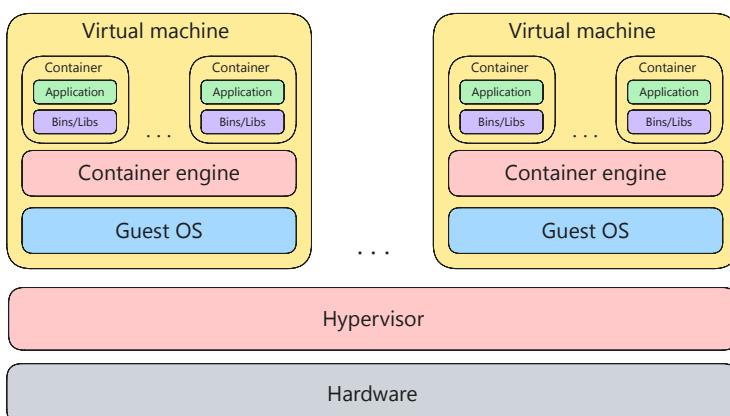
Главна предност контејнеризације у односу на класичну виртуелизацију јесте њена ефикасност [4]. Будући да се више контејнера може покретати на једном оперативном систему без потребе за додатним хипервизором, трошак меморије и

процесорских ресурса је знатно мањи, а време покретања апликација драстично краће. Сваки контејнер се извршава као посебан процес у корисничком простору (енгл. *user space*), док све виртуелне машине захтевају покретање комплетног оперативног система, што их чини знатно „тежим“ и споријим. Овакав приступ омогућава већу густину апликација по систему и једноставније оркестирање [11].



Слика 2: Контејнеризација.

Иако представљају различите технологије, контејнери и виртуелне машине се често користе заједно, јер се њихове предности међусобно допуњују. Виртуелне машине обезбеђују пуну изолацију и сигурност на нивоу хардвера, док контејнери пружају брзину, лакоћу распоређивања и скалабилност апликација. Комбиновањем ова два приступа (слика 4) могуће је покретати више контејнеризованих апликација унутар једне виртуелне машине, чиме се постиже већа флексибилност, боља искоришћеност ресурса и лакше управљање у хетерогеним или мулти-клауд окружењима.



Слика 3: Комбинација виртуелних машина и контејнера.

2.1.3 Инфраструктура као код (енгл. *Infrastructure as Code*)

Инфраструктура као код (енгл. *Infrastructure as Code*, IaC) представља начин аутоматизације подизања и управљања инфраструктуром. Обухвата конфигурисање, постављање (енгл. *deployment*) и управљање виртуелним окружењима на физичким машинама. Виртуелна окружења могу бити виртуелне машине или контејнери, а њихова конфигурација се описује машински читљивим кодом.

Најчешћи формати дефинисања конфигурације јесу YAML и JSON датотеке. Конфигурацију представљају дефиниције виртуелних машина, контејнера, мрежних ресурса, складишта и зависности апликација.

IaC се може реализовати на два начина:

- декларативно (енгл. *declarative*), дефинише се жељено стање у ком систем треба да се налази, а IaC алат сам закључује како да га постигне [12] (“желим 3 сервера са следећом конфигурацијом” [13])
- императивно (енгл. *imperative*), дефинише се сет инструкција (енгл. *playbooks*) које IaC алат треба да испрати корак по корак [12] (“прво креирај сервер, онда инсталирај софтвер, па конфигуриши подешавања” [13])

Представљање инфраструктуре помоћу кода омогућава примену свих концепата који су до сада били незаобилазни у развоју софтвера, као што су верзионисање, ревизија и праћење промена, примена агилних метода, аутоматизовано тестирање и интеграција. Инфраструктурне промене је могуће третирати на исти начин као промене у апликацијском коду, што повећава поузданост, репродуктивност и лакоћу одржавања окружења.

2.1.4 Рачунарство у облаку (енгл. *Cloud Computing*)

Рачунарство у облаку (енгл. *cloud computing*) представља испоруку рачунарских ресурса и складишних капацитета као услуге преко интернета. Релизује се тако што корисник приступа удаљеним серверима складиштеним у огромним центрима података (енгл. *data centers*) у власништву провајдера услуге. На овај начин елиминише се потреба за локалним хардвером и омогућава скалабилност, висока доступност и флексибилност коришћења ресурса.

Главна мана оваквог приступа јесте центризовано управљање комплетним рачунарским ресурсима (рачунарском снагом и складиштеним подацима) које доводи до следећих проблема:

- кашњење (енгл. *latency*) у трансферу и обради података, као последица удаљености између крајњег корисника и облака
- зависност од интернет конекције, без које корисник нема приступ сопственим подацима и рачунарским ресурсима у облаку

- загушеност мреже (енгл. *bandwidth load*), све популарнији паметни системи (енгл. *internet of things*, IoT), паметни аутомобили, авиони и остали уређаји који шаљу континуиране метрике на облак додатно оптерећују мрежу
- безбедносни ризици, подаци се обрађују и складиште на удаљеним серверима што отвара питање приватности и контроле
- регулаторна и правна ограничења, неке организације не смеју да складиште податке ван државе или сопственог система

2.1.5 Рачунарство на ивици (енгл. *Edge Computing*)

Ови изазови постају све израженији са растом броја повезаних уређаја и потребом за обрадом података у реалном времену, што је подстакло развој нових концепата као што је рачунарство на ивици (енгл. *edge computing*). Суштина овог приступа јесте премештање рачунарских ресурса ближе крајњим корисницима, односно изворима података који се налазе на ивици мреже (енгл. *network edge*). На тај начин се смањује кашњење у комуникацији, побољшава одзив система и омогућава ефикаснија обрада података у децентрализованом окружењу [14].

Развој рачунарства на ивици не замењује класично рачунарство у облаку, већ га допуњује и омогућава координисан рад две парадигме. Рачунарство у облаку и даље има кључну улогу у централизованој обради великих количина података, дубинској аналитици и дугорочним одлукама, док рачунарство на ивици преузима обраду података ближе извору, смањује кашњење, оптерећење мреже и омогућава обраду у реалном времену. У пракси, чворови на ивици (енгл. *edge nodes*) могу локално обрадити и филтрирати податке, а резултате слати у облак за даљу анализу [14].

2.1.6 Микро облак (енгл. *Micro Cloud*)

У последњих неколико година све је популарније постављање мањих *data center*-а на ивици мреже. Географски распоређени сервери малих размера, организовани као микро облаци (енгл. *micro clouds*). Инфраструктура се дефинише независно од физичких машина и њихових оперативних система, применом IaC-а и концепата виртуелизације и контејнеризације. Такав приступ омогућава ефикасније коришћење ресурса чак и у хетерогеним кластерима [15].

2.2 Технологије коришћене у решењу

Алат је развијен у *Go* програмском језику. Кориснички интерфејс је реализован као CLI апликација уз употребу библиотеке *Cobra* [16], која омогућава једноставно дефинисање команди и аргумента. Архитектура система је модуларна, састоји се од централног (енгл. *core*) дела који дефинише опште интерфејсе и позадинских модула који могу бити дефинисани од стране корисника и прикључени у алат помоћу конфигурационе датотеке.

У склопу алата имплементиран је један позадински модул који користи *Vagrant* [17] и *go-vagrant* [18] библиотеку за подизање и управљање животним циклусом чвррова. Конфигурациони фајл је дефинисан у YAML формату, док су скрипте за провизионисање (енгл. *provisioning*) и покретање сервиса реализоване као *Shell* скрипте. *VirtualBox* [19] хипервизор је коришћен као провајдер виртуелизације. *Control plane* и сервиси покретани на виртuelним машинама су спаковани у *Docker* [20] контејнере и њихово покретање је вршено помоћу *Docker Compose* [21] алата.

2.2.1 *Cobra*

Cobra је Go библиотека отвореног кода за креирање CLI апликација. Омогућава дефинисање команди, подкоманди и аргумента. Подржава обавезна и опциона поља, као и логичку организацију команди у хијерархију. У алату се користи за имплементацију интерфејса који омогућава покретање и управљање виртуелним окружењима и сервисима на њима.

2.2.2 *Vagrant*

Vagrant је алат отвореног кода за аутоматизовано креирање и управљање виртуелним машинама. Омогућава дефинисање конфигурације виртуелних окружења у машински читљивим фајловима (енгл. *Vagrantfile*), а затим аутоматско подизање, провизионисање и уништавање тих окружења. Подржава различите хипервизоре као што су *VirtualBox*, *VMware* и други. Омогућава доследно и преносиво развојно окружење за више платформи .

Vagrantfile се пише у *Ruby* програмском језику. У њему се одређују основне карактеристике виртуелних окружења, као што су хипервизор, системски ресурси, мрежна подешавања и скрипте или алати за провизионирање. Такође омогућава аутоматско извршавање скрипти за инсталацију зависности и подешавања окружења. Могуће је дефинисање конфигурације за произволјан број окружења.

Vagrant долази са унапред подешеним опцијама за удаљени приступ виртуелним окружењима помоћу SSH протокола.

2.2.3 *VirtualBox*

VirtualBox је хипервизор типа 2 (енгл. *hosted*), инсталира се на *host* оперативни систем као апликација. Нуди емулацију хардвера и подршку за различите *guest* системе. Корисник може да покрене *guest* оперативни системе као независне виртуелне машине у оквиру *host-a*.

Поред основне виртуелизације, *VirtualBox* подржава више мрежних режима (NAT, bridged, host-only), дељење директоријума и пренос датотека између *host* и *guest* система, као и подршку за USB уређаје и снимке стања (енгл. *snapshots*) који омогућавају враћање виртуелне машине у претходно стање.

У оквиру овог алата, *VirtualBox* служи као хипервизор и продајдер виртуелних машина у склопу *Vagrant*-а.

2.2.4 Docker и Docker Compose

Docker је платформа за контејнеризацију. Омогућава паковање апликације и свих њених зависности у преносиви контејнер. Контејнери се извршавају из *Docker* слика (енгл. *images*), које представљају шаблоне са свим неопходним зависностима, оперативним окружењем, библиотекама и конфигурацијама за покретање апликације. *Docker* слике се дефинишу помоћу *Dockerfile* датотека. *Docker* такође подржава употребу дељених директоријума (енгл. *volumes*) за трајно складиштење података изван животног циклуса контејнера.

Docker Compose је алат који омогућава дефинисање и управљање више повезаних *Docker* контејнера као једним системом. Конфигурација се дефинише у YAML датотеци (*docker-compose.yml*), у којој се описују појединачни сервиси, њихове слике, мрежне поставке и дељени директоријуми. Овакав приступ поједностављује оркестрацију комплексних апликација које се састоје од више међусобно зависних контејнера и омогућава покретање целокупног окружења једном командом.

Коришћени су у склопу *Shell* скрипти за провизионирање, за покретање претходно докеризованих сервиса из *Constellations* пројекта. Такође се користе и за покретање *Control plane*-а на *host* машинини.

2.3 Постојећа решења

У овом поглављу је обрађено неколико неколико постојећих алата који омогућавају аутоматизовање покретања и управљање виртуелним окружењем. Ниједно од предложених решења не одговара на функционалне захтеве проблема у целости или то ради на сувише комплексан начин.

2.3.1 Terraform

Terraform [22] је IaC алат који омогућава декларативно управљање инфраструктуром. Користи сопствени језик HCL (енгл. *HashiCorp Configuration Language*) за опис жељеног стања система, што омогућава да алат сам израчуна кораке потребне за постизање тог стања. *Terraform* може да креира и управља ресурсима на различитим продајдерима, као што су платформе у облаку (AWS, Azure, GCP) или локални продајдери као што је *VirtualBox*.

2.3.2 Ansible

Ansible [23] је IaC алат за аутоматизацију конфигурације и управљање системима. Користи декларативне YAML *playbook*-ове за дефинисање корака које треба извршити на једном или више *host*-ова, као што су инсталација софтвера, копирање фајлова и покретање скрипти. *Ansible* се ослања на SSH за повезивање са *host*-овима

2.3 Постојећа решења

и не захтева инсталiran агент на њима, што га чини погодним за управљање постојећим серверима или виртуелним машинама.

Глава 3

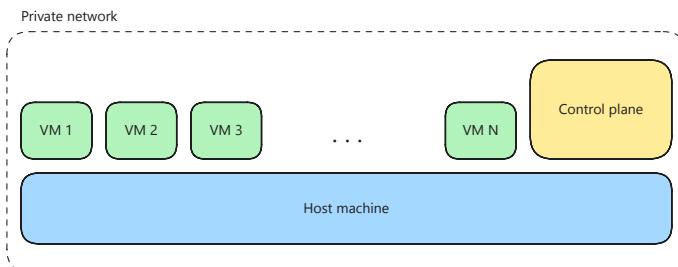
Функционални захтеви система

Потребно је креирати алат за покретање N виртуелних машина одједном. Свака виртуелна машина треба да има инсталану лагану (енгл. *lightweight*) дистрибуцију *Linux* оперативног система. Конфигурација мреже самих машина треба да буде таква да машине буду међусобно видљиве, да виртуелне машине буду видљиве са *host* машине, као и да *host* машина буде видљива из виртelnih машина (слика 5).

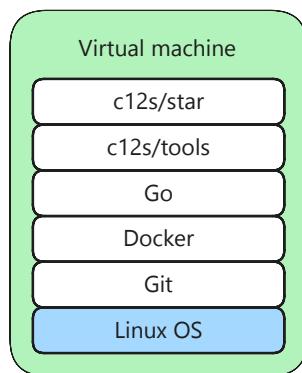
На свакој машини је потребно инсталирати систем за контролу верзија (енгл. *Version Control System*, VCS) *Git* [24], *Docker* и *Go* програмски језик, који представљају основно развојно окружење за компоненте *Constellations* пројекта. Потребно је клонирати *c12s/tools* [25] репозиторијум који садржи опште алате у оквиру пројекта *Constellations*. Након тога потребно је покренути инсталационе скрипте из *c12s/tools* репозиторијума и подесити параметре окружења како би се инсталирали неопходни сервиси. Након инсталације потребно је покренути *c12s/star* [26] сервис на свакој машини (слика 6).

На *host* машини је потребно инсталирати и покренути *control plane* која обухвата скуп сервиса у склопу *Constellations* пројекта који се такође ослањају на употребу *c12s/tools* репозиторијума. Након покретања виртуелних машина и подизања неопходне инфраструктуре тестирање се врши путем *c12s/cockpit* [27] алата који се налази у оквиру *control plane*-а.

Конфигурација окружења треба да се дефинише помоћу YAML датотеке. Алат такође треба да подржи неколико различитих дистрибуција *Linux* оперативног система (са и без графичког интерфејса).



Слика 4: Инфраструктура локалног развојног окружења.



Слика 5: Поставка система на виртуелној машини.

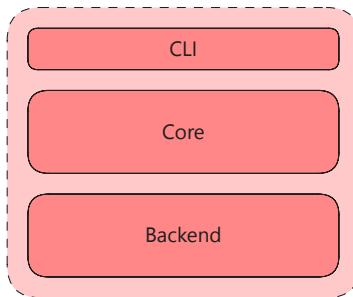
Глава 4

Архитектура система

Ово поглавље приказује преглед концептуалног модела решења (поглавље 3.1) као и преглед свих функционалности решења (поглавље 3.1). Решење је реализовано као CLI алат који се компајлира у бинарну датотеку и на тај начин пружа сет команда за интеракцију са самим алатом.

4.1 Концептуални модел решења

Архитектура система заснива се на модуларном дизајну који омогућава једноставно проширивање функционалности и јасно раздвајање одговорности између компоненти. Систем је организован у три логичка слоја: кориснички интерфејс (CLI), језгро система (*Core*) и механизам за управљање виртуелним машинама (*Backend*) (слика 7).



Слика 6: Архитектура решења на највишем нивоу.

CLI слој представља улазну тачку система. Задужен је за обраду корисничких команда и параметара конфигурације, као и за комуникацију са *Core* слојем који извршава одговарајуће операције.

Core слој чини централни део система и дефинише скуп функционалности (енгл. *interface*) које сваки *Backend* мора да имплементира. Он управља животним циклусом виртуелних машина, оркестрира операције над њима и обезбеђује апстракцију између CLI и *Backend* слојева.

Backend слој садржи конкретну имплементацију механизма за креирање и управљање виртуелним машинама. Тренутно је реализован преко *VagrantBackend*-а, али архитектура омогућава додавање других провайдера без измене осталих делова система.

Захваљујући оваквој организацији, систем је лако проширив и прилагодљив различитим окружењима. Сваки слој је независан, што омогућава развој и тестирање компоненти без међусобне зависности и поједностављује интеграцију нових функционалности.

4.2 Функционалности решења

У овом раду анализира се ток функционалности заснован на постојећој имплементацији *Backend-a*, која је реализована као омотач око *Vagrant-a*. Сви даљи описи односе се на овај конкретан *VagrantBackend*.

Свака функционалност одговара одређеној команди која се извршава из командне линије и активира специфичан ток извршавања унутар система. У табели 1 приказане су све подржане команде и њихови описи.

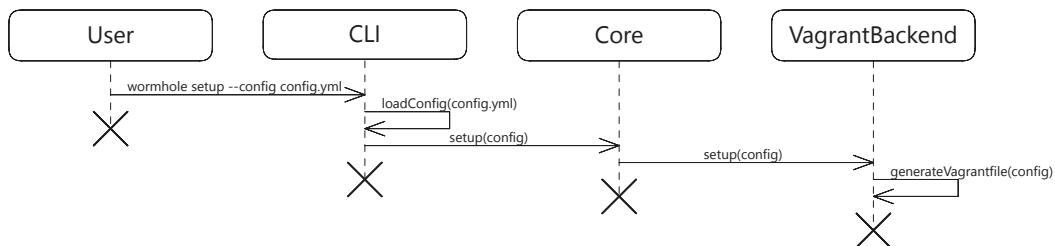
Табела 1: Преглед функционалности Wormhole алата

Функционалност	Команда	Опис
Иницијализација окружења	wormhole setup --config <path>	Учитава YAML конфигурациони фајл и припрема дефиницију виртуелних машина.
Креирање виртуелних машина	wormhole create [node...]	Креира једну или више виртуелних машина.
Заустављање виртуелних машина	wormhole stop [node...]	Суспендује једну или више виртуелних машина.
Наставак рада виртуелних машина	wormhole resume [node...]	Наставља рад једне или више виртуелних машина након суспендовања.
Поновно креирање и покретање виртуелних машина	wormhole reload [node...]	Поново креира виртуелне машине на основу конфигурације.
Гашење виртуелних машина	wormhole shutdown [node...]	Гаси виртуелне машине на контролисан начин, чувајући податке.
Брисање виртуелних машина	wormhole destroy [node...]	Брише једну или више виртуелних машине и све њихове податке.
Покретање сервиса	wormhole start-nodes [node...]	Покреће извршавање сервиса на виртуелним машинама.
Заустављање сервиса	wormhole stop-nodes [node...]	Зауставља извршавање сервиса на виртуелним машинама.
Покретање <i>control plane-a</i>	wormhole start-control	Иницијализује <i>control plane</i> сервисе на <i>host</i> машини.
Заустављање <i>control plane-a</i>	wormhole stop-control	Зауставља <i>control plane</i> сервисе на <i>host</i> машини.

4.2.1 Иницијализација окружења

Процес иницијализације окружења представља полазну тачку рада *Wormhole* алата. Сврха ове функционалности је да на основу конфигурационе датотеке (табела 2) припреми све потребне параметре за креирање виртуелних машина и мрежно повезивање. Резултат овог корака је окружење спремно за покретање.

Корисник прво уноси команду `wormhole setup --config config.yml` у командну линију. CLI слој учитава конфигурациону датотеку на прослеђеној путањи и позива функцију за иницијализацију окружења из *Core* слоја. *Core* мапира позив на одговарајући *Backend* (*VagrantBackend* у овом случају). *VagrantBackend* генерише *Vagrantfile* на основу прослеђене конфигурације (слика 8).



Слика 7: Дијаграм секвенце функционалности иницијализације окружења.

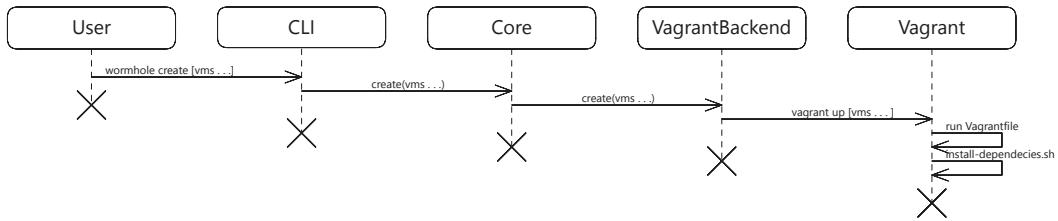
Табела 2: Структура конфигурационе YAML датотеке.

Параметар	Опис
vmCount	Број виртуелних машина које ће бити креиране.
osDistro	Идентификатор слике оперативног система.
osVersion	Верзија слике оперативног система.
cpus	Број процесорских језгара додељених свакој виртуелној машини.
memory	Количина RAM меморије (у MB) додељена свакој виртуелној машини.
gui	Булова вредност, <code>true</code> ако виртуелна машина треба да буде покренута са GUI прозором, <code>false</code> за <i>headless</i> режим.
ipBase	Почетни део IP адресе који се користи за генерирање адреса виртуелних машина.
guestPort	Порт унутар виртуелне машине за сервис који треба да буде откривен.
hostPortBase	Полазни <i>host</i> порт који се користи за мапирање <i>guestPort</i> -а виртуелних машина.
nameBase	Префикс <i>hostname</i> -а.
backendType	Тип <i>Backend</i> -а који ће управљати виртуелним машинама.

4.2.2 Креирање виртуелних машина

Процес креирања виртуелних машина представља следећи корак након успешне иницијализације окружења. Задатак ове функционалности је да на основу параметара дефинисаних у *Vagrantfile*-у (генерираном током иницијализације), аутоматски изгради и покрене једну или више виртуелних машина које чине радно окружење.

Корисник покреће команду `wormhole create [node ...]` са опционим аргументом назива виртуелних машина уколико жели да креира само одређене виртуелне машине из конфигурације. CLI слој приhvата захтев и прослеђује га *Core* модулу, који затим позива одговарајући *VagrantBackend*, задужен за покретање виртуелних машина путем *Vagrant API*-ја.



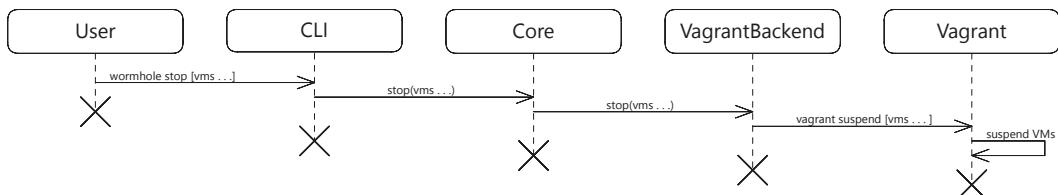
Слика 8: Дијаграм секвенце функционалности креирања виртуелних машина.

Успешним извршавањем ове функционалности, окружење добија све дефинисане виртуелне машине са инсталirаним сервисима и зависностима, спремним за даље покретање (слика 9).

4.2.3 Заустављање виртуелних машина

Функционалност заустављања виртуелних машина омогућава контролисано суспендовање радног окружења ради ослобађања системских ресурса или припреме за касније настављање рада. Циљ овог корака је да се покренуте виртуелне машине у оквиру дефинисаног окружења доведу у стање мировања без губитка података или промене конфигурације.

Корисник покреће команду `wormhole stop [node ...]` са опционим аргументом који одређује једну или више виртуелних машина за заустављање. Уколико аргумент није наведен, Wormhole CLI аутоматски зауставља све машине дефинисане у конфигурацији. CLI слој прослеђује захтев Core модулу, који позива методу из VagrantBackend-а задужен за суспензију виртуелних машина путем Vagrant API-ја (слика 10).



Слика 9: Дијаграм секвенце функционалности заустављања виртуелних машина.

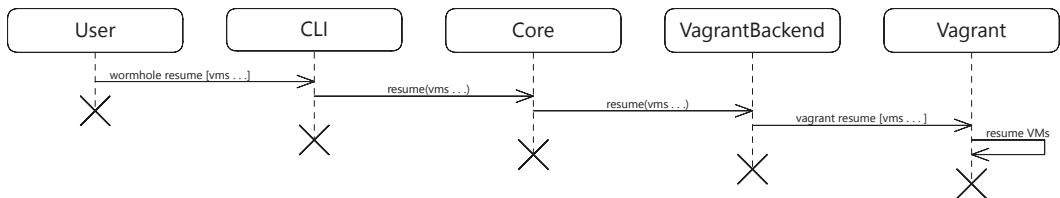
Извршавањем ове функционалности виртуелне машине прелазе у стање *suspended*, задржавајући тренутно стање меморије и система, што омогућава брзо настављање рада у наредном кораку (*resume*).

4.2.4 Наставак рада виртуелних машина

Функционалност наставка рада виртуелних машина омогућава поновно активирање претходно суспендованих виртуелних окружења. Сврха овог корака је да се

систем врати у стање у којем је био пре заустављања, како би се наставио рад без потребе за поновним креирањем или иницијализацијом окружења.

Корисник покреће команду `wormhole resume [node ...]` са опционим аргументом који одређује једну или више виртуелних машина које треба поново покренути. Уколико аргумент није наведен, Wormhole CLI аутоматски наставља рад свих виртуелних машина дефинисаних у конфигурацији. CLI слој прослеђује захтев *Core* модулу, који затим позива методу из *VagrantBackend*-а задужену за наставак рада виртуелних машина путем *Vagrant API*-ја (слика 11).



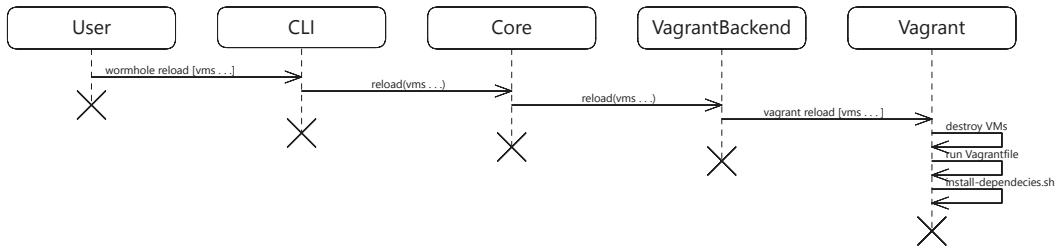
Слика 10: Дијаграм секвенце функционалности наставка рада виртуелних машина.

Извршавањем ове функционалности виртуелне машине се враћају из стања *suspended* у активно, при чему се задржава претходно стање система и подаци унутар сваке машине. На тај начин омогућен је континуитет развојног окружења без потребе за поновним покретањем сервиса.

4.2.5 Поновно креирање и покретање виртуелних машина

Функционалност поновног креирања и покретања виртуелних машина омогућава обнављање окружења на основу најновије конфигурације дефинисане у *Vagrantfile*-у. Сврха овог корака је да се обезбеди освежавање система након измена у конфигурационој датотеци или ажурирања софтверских компоненти, без потребе за ручним брисањем и поновним подизањем окружења.

Корисник покреће команду `wormhole reload [node ...]` са опционим аргументом који одређује једну или више виртуелних машина које треба поново креирати и покренути. Уколико аргумент није наведен, Wormhole CLI извршава поступак над свим машинама дефинисаним у конфигурацији. CLI слој прослеђује захтев *Core* модулу, који затим позива методу из *VagrantBackend*-а задужену за поновно креирање и покретање виртуелних машина путем *Vagrant API*-ја (слика 12).



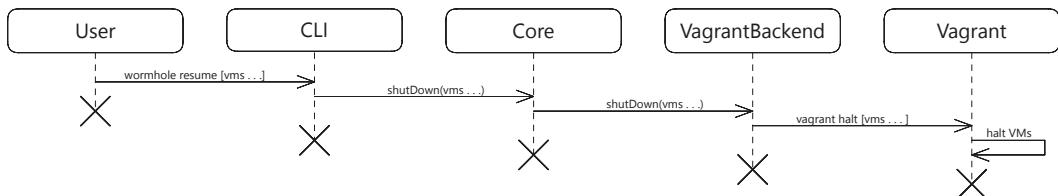
Слика 11: Дијаграм секвенце функционалности поновног креирања и покретања виртуелних машина.

Извршавањем ове функционалности све виртуелне машине се гасе и затим поново покрећу, при чему се ажурирају сви параметри дефинисани у конфигурационој датотеци.

4.2.6 Гашење виртуелних машина

Функционалност гашења виртуелних машина омогућава контролисано искључивање радног окружења. За разлику од суспендовања (*stop*) где се стање меморије чува, гашењем се машине у потпуности искључују, што омогућава ослобађање свих системских ресурса и чини овај корак погодним када се окружење више не користи у текућој сесији.

Корисник покреће команду `wormhole shutdown [node ...]` са опционим аргументом који одређује једну или више виртуелних машина које треба искључити. Уколико аргумент није наведен, Wormhole CLI извршава поступак над свим машинама дефинисаним у конфигурацији. CLI слој прослеђује захтев *Core* модулу, који затим позива методу из *VagrantBackend*-а задужену за гашење виртуелних машина путем *Vagrant API*-ја (слика 13).



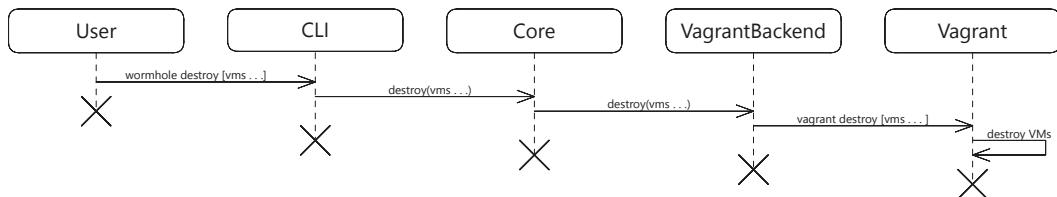
Слика 12: Дијаграм секвенце функционалности гашења виртуелних машина.

Извршавањем ове функционалности све виртуелне машине се уредно искључују, при чему се њихово стање не чува у меморији. Овај корак представља крај активне сесије рада у *Wormhole* окружењу и претходи евентуалном уништавању окружења (*destroy*).

4.2.7 Брисање виртуелних машина

Функционалност брисања виртуелних машина представља завршни корак у управљању радним окружењем. Њена сврха је трајно уклањање свих виртуелних машина и њихових података, чиме се систем враћа у почетно стање и ослобађају се сви заузети ресурси. Овај корак се најчешће користи након завршетка развојног или тестног циклуса када више није потребно задржати претходно окружење.

Корисник покреће команду `wormhole destroy [node ...]` са опционим аргументом који одређује једну или више виртуелних машина које треба поново креирати и покренути. Уколико аргумент није наведен, *Wormhole CLI* извршава поступак над свим машинама дефинисаним у конфигурацији. CLI слој прослеђује захтев *Core* модулу, који затим позива методу из *VagrantBackend*-а задужену за уништавање виртуелних машина и уклањање њихових придржених ресурса путем *Vagrant API*-ја (слика 14).



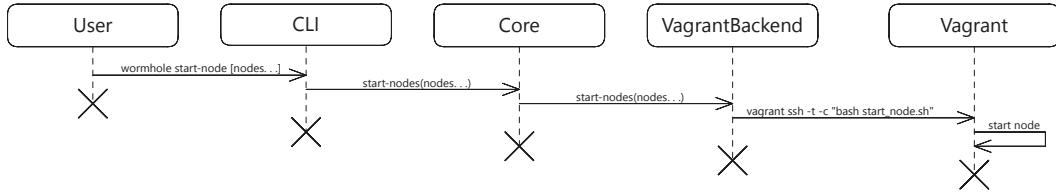
Слика 13: Дијаграм секвенце функционалности брисања виртуелних машина.

Извршавањем ове функционалности све виртуелне машине и њихови повезани подаци се трајно briшу. Након овог корака, систем остаје без активних инстанци, што омогућава поновну иницијализацију окружења од самог почетка или потпуно искључивање развојне инфраструктуре.

4.2.8 Покретање сервиса на чворовима

Функционалност покретања чворова представља корак у којем се активирају сервиси унутар сваке виртуелне машине дефинисане у окружењу. Циљ овог процеса је да се након успешног креирања и покретања инфраструктуре омогући подизање софтверских компоненти које чине радне чворове система.

Корисник покреће команду `wormhole start-nodes [node ...]` са опционим аргументом којим може ограничити извршавање само на поједине чворове. CLI слој прихвата захтев и прослеђује га *Core* модулу, који позива методу из *VagrantBackend*-а задужену за даљу оркестрацију. За разлику од претходних функционалности, *VagrantBackend* у овом случају не управља директно животним циклусом виртуелних машина, већ користи механизам удаљеног приступа путем `vagrant ssh` команде ради извршавања скрипте за покретање сервиса унутар сваке машине (слика 15).



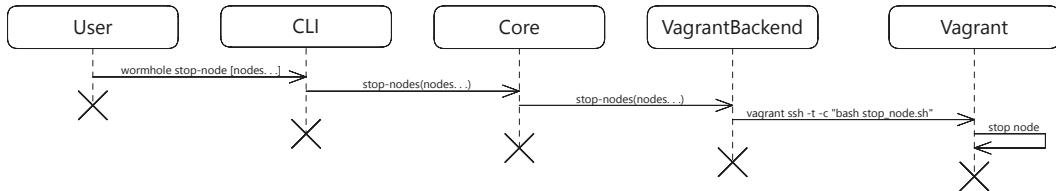
Слика 14: Дијаграм секвенце функционалности покретања сервиса на чворовима.

Извршавањем ове функционалности, сви дефинисани чворови у окружењу покрећу своје сервисе и успостављају комуникацију са *control plane*-ом, чиме окружење постаје потпуно оперативно и спремно за даљи развој и тестирање.

4.2.9 Заустављање сервиса на чворовима

Функционалност заустављања чворова омогућава контролисано заустављање свих сервиса покренутих унутар виртуелних машина. Сврха овог корака је да се радни чворови система уредно искључе, како би се спречили губитак података и неконзистентност током гашења или реконфигурације окружења.

Корисник покреће команду `wormhole stop-nodes [node ...]` са опционим аргументом којим може ограничiti извршавање само на поједине чворове. CLI слој приhvата захтев и прослеђује га Core модулу, који позива одговарајућу методу из VagrantBackend-а. Као и код покретања чворова, VagrantBackend користи механизам удаљеног приступа путем `vagrant ssh` команде ради извршавања скрипте за гашење сервиса унутар сваке машине (слика 16).



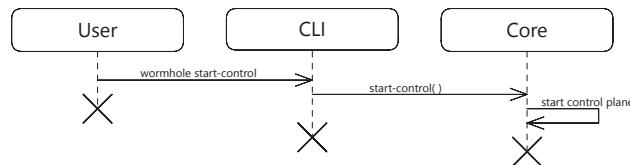
Слика 15: Дијаграм секвенце функционалности заустављања сервиса на чворовима.

Извршавањем ове функционалности, сви активни чворови у окружењу уредно заустављају своје сервисе и прекидају комуникацију са *control plane*-ом, чиме се систем доводи у стабилно и безбедно стање мirovanja.

4.2.10 Покретање *control plane*-а

Функционалност покретања *control plane*-а представља корак у којем се иницијализује централни део система задужен за управљање и координацију свих чворова унутар окружења. Сврха овог процеса је успостављање сервиса који омогућавају надзор, комуникацију и оркестрацију између различитих компоненти *Constellations* пројекта.

Корисник покреће команду `wormhole start-control`, чиме се иницира процес подизања *control plane*-а на *host* машини. CLI слој прихвата захтев и прослеђује га *Core* модулу, који у овом случају директно извршава скрипту за покретање сервиса без посредовања *VagrantBackend*-а. Ова скрипта, која се налази у оквиру `c12s/tools` репозиторијума, покреће све неопходне контејнере и сервисе у *Docker* окружењу (слика 17).



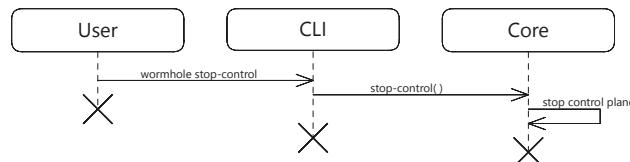
Слика 16: Дијаграм секвенце функционалности покретања *control plane*-а.

Извршавањем ове функционалности, *control plane* постаје активан и спреман за комуникацију са чворовима, чиме се успоставља потпуно функционално окружење за управљање системом.

4.2.11 Заустављање *control plane*-а

Функционалност заустављања *control plane*-а омогућава контролисано искључивање централног дела система задуженог за управљање чворовима. Сврха овог процеса је уредно заустављање свих активних сервиса и ослобађање ресурса *host* машине, без нарушувања интегритета података или конфигурације окружења.

Корисник покреће команду `wormhole stop-control`, којом се иницира поступак гашења *control plane*-а. CLI слој прихвата захтев и прослеђује га *Core* модулу, који директно извршава скрипту за заустављање сервиса без посредовања *VagrantBackend*-а. Скрипта, која је део `c12s/tools` репозиторијума, зауставља све активне контејнере и сервисе покренуте у *Docker* окружењу (слика 18).



Слика 17: Дијаграм секвенце функционалности заустављања *control plane*-а.

Извршавањем ове функционалности, сви сервиси у оквиру *control plane*-а се уредно искључују, чиме се систем доводи у стабилно стање мрковања и припрема за могуће поновно покретање или потпуно гашење окружења.

Глава 5

Имплементација система

Глава 6

Закључак

У закључку дајте кратак преглед онога шта урађено, са освртом на проблеме који су решени, предности и мане решења и правце даљег развоја.

Списак слика

Слика 1 Типови хипервизора: (а) тип 1 (енгл. <i>native, bare-metal</i>); (б) тип 2 (енгл. <i>hosted</i>).....	4
Слика 2 Контејнеризација.....	5
Слика 3 Комбинација виртуелних машина и контејнера.....	5
Слика 4 Инфраструктура локалног развојног окружења.....	11
Слика 5 Поставка система на виртуелној машини.....	12
Слика 6 Архитектура решења на највишем нивоу.....	13
Слика 7 Дијаграм секвенце функционалности иницијализације окружења....	16
Слика 8 Дијаграм секвенце функционалности креирања виртуелних машина.....	18
Слика 9 Дијаграм секвенце функционалности заустављања виртуелних машина.....	18
Слика 10 Дијаграм секвенце функционалности наставка рада виртуелних машина.....	19
Слика 11 Дијаграм секвенце функционалности поновног креирања и покретања виртуелних машина.....	20
Слика 12 Дијаграм секвенце функционалности гашења виртуелних машина..	20
Слика 13 Дијаграм секвенце функционалности брисања виртуелних машина..	21
Слика 14 Дијаграм секвенце функционалности покретања сервиса на чворовима.....	22
Слика 15 Дијаграм секвенце функционалности заустављања сервиса на чворовима.....	22
Слика 16 Дијаграм секвенце функционалности покретања <i>control plane-a</i>	23
Слика 17 Дијаграм секвенце функционалности заустављања <i>control plane-a</i>	23

Списак листинга

Списак табела

Табела 1 Преглед функционалности Wormhole алата	15
Табела 2 Структура конфигурационе YAML датотеке.	17

Списак коришћених скраћеница

Скраћеница	Опис
API	Application Programming Interface (апликациони програмски интерфејс)
AWS	Amazon Web Services (Амазон веб сервиси)
CI/CD	Continuous Integration / Continuous Delivery (континуирана интеграција / континуирана испорука)
CORS	Cross-Origin Resource Sharing (размена ресурса између извора и дестинације различитог порекла)
CSS	Cascading Style Sheets (језик за описивање стилова)
DOM	Document Object Model (објектни модел документа)
DTO	Data Transfer Object (објекат за пренос података)
HTTP	HyperText Transfer Protocol (протокол за пренос хипертекста)
JSON	JavaScript Object Notation (формат за размену података)
JWT	JSON Web Token (сигурносни токен заснован на JSON формату)
RLS	Row-Level Security (сигурност на нивоу реда)
REST	Representational State Transfer (скуп правила за комуникацију између клијента и сервера)
RPC	Remote Procedure Call (позив удаљене процедуре)
SQL	Structured Query Language (структурисани упитни језик)
TLS	Transport Layer Security (безбедност транспортног слоја)
UML	Unified Modeling Language (језик за моделовање дијаграма)
URL	Uniform Resource Locator (јединствени идентификатор и локатор ресурса)
UI	User Interface (кориснички интерфејс)
UUID	Universally Unique Identifier (универзално јединствени идентификатор)
WAL	Write-Ahead Logging (записивање операција унапред)

Списак коришћених појмова

Појам	Ођашњење
Асинхрони рад	Рад који се изводи независно од главног тока извршавања, омогућавајући наставак других операција без чекања на његов завршетак.
Bucket (S3)	Логичка јединица за складиштење у AWS S3 сервису, која организује фајлове у облаку.
Read-Only	Режим рада у коме су подаци само за читање, без могућности измене.
Cross-platform	Способност софтвера да се извршава на више различитих оперативних система из истог кода.
Connection pool	Механизам за управљање и поновну употребу веза са базом података како би се побољшале перформансе апликације.

Биографија

Раде Пејановић рођен је 2002. године у Новом Саду. Првих шест разреда основне школе завршио је у ОШ „Јован Дучић“ у Петроварадину, а преостала два у ОШ при Гимназији „Јован Јовановић Змај“ у Новом Саду. Паралелно је похађао иijuку музичку школу „Јосип Славенски“ у Новом Саду, одсек кларинет.

Средњошколско образовање наставио је у Гимназији „Јован Јовановић Змај“ на смеру за ученике са посебним способностима за физику. За изузетан успех у основној и средњој школи добио је Вукову диплому.

Факултет техничких наука у Новом Саду, смер Софтверско инжењерство и информационе технологије, уписао је 2021. године и успешно завршио све испите предвиђене студијским програмом.

Овим радом завршава основне академске студије на Факултету техничких наука у Новом Саду.

Литература

- [1] W. Lamersdorf, „Paradigms of Distributed Software Systems: Services, Processes and Self-organization“, у *E-Business and Telecommunications — International Conference (ICETE 2011), Communications in Computer and Information Science, vol. 314*, M. S. Obaidat, J. L. Sevillano, и J. Filipe, Up., Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, стр. 33–40. doi: [10.1007/978-3-642-35755-8_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35755-8_3).
- [2] J. Thönes, „Microservices“, *IEEE Software*, том 32, изд. 1, стр. 116, 2015, doi: [10.1109/MS.2015.11](https://doi.org/10.1109/MS.2015.11).
- [3] S. Nanda и T.-c. Chiueh, „A Survey on Virtualization Technologies“, *Technical Report TR179, Department of Computer Science, Stony Brook University*, 2005, [На Интернету]. Доступно на <http://comet.lehman.cuny.edu/cocchi/CMP464/papers/VirtualizationSurveyTR179.pdf>
- [4] P. Sharma, L. Chaufournier, P. Shenoy, и Y. C. Tay, „Containers and Virtual Machines at Scale: A Comparative Study“, у *Proceedings of the 17th International Middleware Conference*, у Middleware '16. Trento, Italy: Association for Computing Machinery, 2016. doi: [10.1145/2988336.2988337](https://doi.org/10.1145/2988336.2988337).
- [5] S. Chinamanagonda, „Automating Infrastructure with Infrastructure as Code (IaC)“, *SSRN Electronic Journal*, 2019, doi: [10.21275/SR24829170834](https://doi.org/10.21275/SR24829170834).
- [6] K. Morris, *Infrastructure as Code*. O'Reilly Media, 2021. [На Интернету]. Доступно на <https://books.google.rs/books?id=UW4NEAAAQBAJ>
- [7] c12s, „c12s — GitHub Organization“. 2025.
- [8] R. Hat, „What is Virtualization?“. Приступљено: 05. Новембар 2025. [На Интернету]. Доступно на <https://www.redhat.com/en/topics/virtualization/what-is-virtualization>
- [9] AWS, „What is Virtualization?“. Приступљено: 05. Новембар 2025. [На Интернету]. Доступно на <https://aws.amazon.com/what-is/virtualization/>
- [10] J. Shamir, „The Benefits of Virtualization“. [На Интернету]. Доступно на <https://www.ibm.com/think/insights/virtualization-benefits>
- [11] Docker, „What is a Container?“. Приступљено: 05. Новембар 2025. [На Интернету]. Доступно на <https://www.docker.com/resources/what-container/>

-
- [12] C. Feng, „Imperative vs Declarative IaC: Ansible and Terraform Insights“. Приступљено: 06. Новембар 2025. [На Интернету]. Доступно на <https://www.casperfeng.com/blog/imperative-vs-declarative-iac-ansible-and-terraform-insights>
 - [13] J. Holdsworth и A. Badman, „What Is Infrastructure as Code (IaC)?“. [На Интернету]. Доступно на <https://www.ibm.com/think/topics/infrastructure-as-code>
 - [14] K. Cao, Y. Liu, G. Meng, и Q. Sun, „An Overview on Edge Computing Research“, *IEEE Access*, том 8, стр. 85714–85728, 2020, doi: [10.1109/ACCESS.2020.2991734](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991734).
 - [15] M. Simić, G. Sladić, M. Zarić, и B. Markoski, „Infrastructure as Software in Micro Clouds at the Edge“, *Sensors*, том 21, изд. 21, стр. 7001, 2021, doi: [10.3390/s21217001](https://doi.org/10.3390/s21217001).
 - [16] spf13, „Cobra: A Commander for modern Go CLI interactions“. 2025.
 - [17] HashiCorp, „Vagrant – Development Environments Made Easy“. [На Интернету]. Доступно на <https://developer.hashicorp.com/vagrant>
 - [18] B. Matcuk, „go-vagrant: A golang wrapper around the Vagrant command-line utility“. 2021.
 - [19] O. Corporation, „Oracle VM VirtualBox – Powerful open source virtualization“. [На Интернету]. Доступно на <https://www.virtualbox.org/>
 - [20] I. Docker, „Docker – Accelerate how you build, share, and run applications“. [На Интернету]. Доступно на <https://www.docker.com/>
 - [21] I. Docker, „Docker Compose Documentation“. [На Интернету]. Доступно на <https://docs.docker.com/compose/>
 - [22] HashiCorp, „Terraform – Automate Infrastructure on Any Cloud“. [На Интернету]. Доступно на <https://developer.hashicorp.com/terraform>
 - [23] A. Community, „Ansible Documentation“. [На Интернету]. Доступно на <https://docs.ansible.com/>
 - [24] G. Community, „Git – Distributed version control system (official site)“. Приступљено: 06. Новембар 2025. [На Интернету]. Доступно на <https://git-scm.com/>
 - [25] c12s, „tools: Scripts and utilities used by the c12s organization“. 2025.
 - [26] c12s, „star: A Go module by c12s (GitHub repository)“. 2024.
 - [27] c12s, „cockpit: A CLI tool that communicates with the Constellations gateway“. 2024.