Univerza v Ljubljani
Fakulteta za računalništvo in informatiko
Fakulteta za matematiko in fiziko

Jakob Hostnik

Povezovanje gruč Kubernetes

diplomsko delo

interdisciplinarni univerzitetni
študijski program prve stopnje
računalništvo in matematika

Mentor: izr. prof. dr. Mojca Ciglarič
Somentor: asist. dr. Matjaž Pančur

Ljubljana, 2021

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil LaTeX.

Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Tematika naloge:

Preučite področje povezovanja gruč Kubernetes. Analizirajte problematiko povezovanja in preglejte nekaj primerov uporabe, ki izvirajo iz potreb podjetij. Pripravite tudi prototipno rešitev povezovanja, pri čemer se osredotočite na rešitve, nastale v odprtokodni skupnosti Kubernetes.

Na tem mestu bi se zahvalil mentorici izr. prof. dr. Mojci Ciglarič in somentorju asist. dr. Matjažu Pančurju za pripravljenost, mentorstvo, vse nasvete in pomoč pri pisanju diplomske naloge. Zahvala pa gre tudi moji ženi, staršem, bratom, sestram in prijateljem za podporo in spodbudo pri študiju.

Mami Lučki.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1 Uvod **1**

1.1 Motivacija 1

1.2 Cilj in vsebina naloge 1

2 Problem povezovanja gruč **5**

3 Kubernetes **7**

3.1 Zgodovina 7

3.2 Osnovni pojmi 7

4 Pregled področja in literature **11**

5 Povezovanje gruč Kubernetes **13**

5.1 ArgoCD in drugi sistemi GitOps 14

5.2 KubeFed 15

5.3 Cilium 17

6 Priprava sistema gruč za testiranje **19**

6.1 Raspberry PI 4 19

6.2 K3S in K3OS 20

6.3 Demonstracijska spletna aplikacija 21

6.4 Namestitev KubeFed 22

7 Povezovanje med podatkovnimi centri 25

7.1 Problem velike latence 25
7.2 Povečanje razpoložljivosti aplikacije 26
7.3 Povezovanje med podatkovnimi centri 26
7.4 Razporeditev uporabnikov po gručah 26
7.5 Definicija infrastrukture za naš primer 27
7.6 Implementacija s KubeFed 28
7.7 Sinhronizacija podatkov 29

8 Upravljanje izoliranih aplikacij 33

8.1 Zmanjševanje posledic vdorov in izpadov 33
8.2 Implementacija s Kubefed 34

9 Upravljanje gruč na robu oblaka 37

9.1 Gruče na robu oblaka 37
9.2 Implementacija s KubeFed 37
9.3 Sinhronizacija podatkov 38

10 Sklepne ugotovitve 41

Literatura 43

Seznam uporabljenih kratic

kratica	angleško	slovensko
CRD	custom resource definition	definicija tipov po meri
DNS	domain name system	sistem domenskih imen
IP	internet protocol	internetni protokol
HA	high availability	visoka razpoložljivost
GA	general availability	splošna dostopnost
VPN	virtual private network	navidezno zasebno omrežje
TOSCA	topology and orchestration specification for cloud applications	specifikacija topologije in orkestracije za aplikacije v oblaku
WAN	wide area network	prostrano omrežje

Povzetek

Naslov: Povezovanje gruč Kubernetes

Avtor: Jakob Hostnik

Ko na strežnikih začne zmanjkovati virov, obstajata dva standardna načina za povečanje virov v našem sistemu. Prva možnost je, da strežnike nadgradimo, druga pa, da jih kupimo več in jih povežemo v računalniško gručo. V zadnjih letih se je na tem področju zgodil preboj s pojavom sistema Kubernetes. Sistem je zaradi svoje popularnosti postal *de facto* standard za upravljanje gruč in orkestracijo kontejnerjev. A ena sama gruča ni vedno dovolj v primerih, ko imamo težave z dragim prenosom podatkov, preveliko latenco do naših uporabnikov ali pa, ko želimo še bolj povečati stabilnost ali varnost našega sistema. Predstavili bomo ozadje povezovanja gruč in pristope, ki jih lahko uporabimo za reševanje naših problemov. Poseben poudarek bomo dali tudi na sinhronizacijo podatkov, saj je to eden zahtevnejših delov pri upravljanju več računalniških gruč. Ugotavljamo, da nam lahko predstavljene sodobne metode povezovanja gruč zelo olajšajo njihovo upravljanje in preprosto rešijo tudi zahtevnejše probleme sinhronizacije podatkov.

Ključne besede: gruča, oblak, Kubernetes, računalniška gruča, povezovanje gruč, mreža gruč, GitOps.

Abstract

Title: Connecting Kubernetes clusters

Author: Jakob Hostnik

When we are running low on resources in our computer system, there are two standard solutions for increasing them. The first solution is to upgrade our servers and the second one is to buy more servers and connect them to a cluster. There has been a major breakthrough in this field with the release of the Kubernetes system in recent years. The system became de facto standard for cluster management and container orchestration. But when we have problems such as expensive data transfer, too much latency to our users, or we want to further increase the stability or security of our system one cluster is not always enough. We will look at the background of connecting clusters and what approaches we can use to solve our problems. Furthermore, we will also place special emphasis on data synchronization, as this is one of the more difficult parts of managing multiple computer clusters. We find that presented modern methods of connecting clusters can greatly facilitate their management and easily solve even more difficult data synchronization problems.

Keywords: cluster, cloud, Kubernetes, computer cluster, connecting clusters, cluster mesh, GitOps.

Poglavje 1

Uvod

1.1 Motivacija

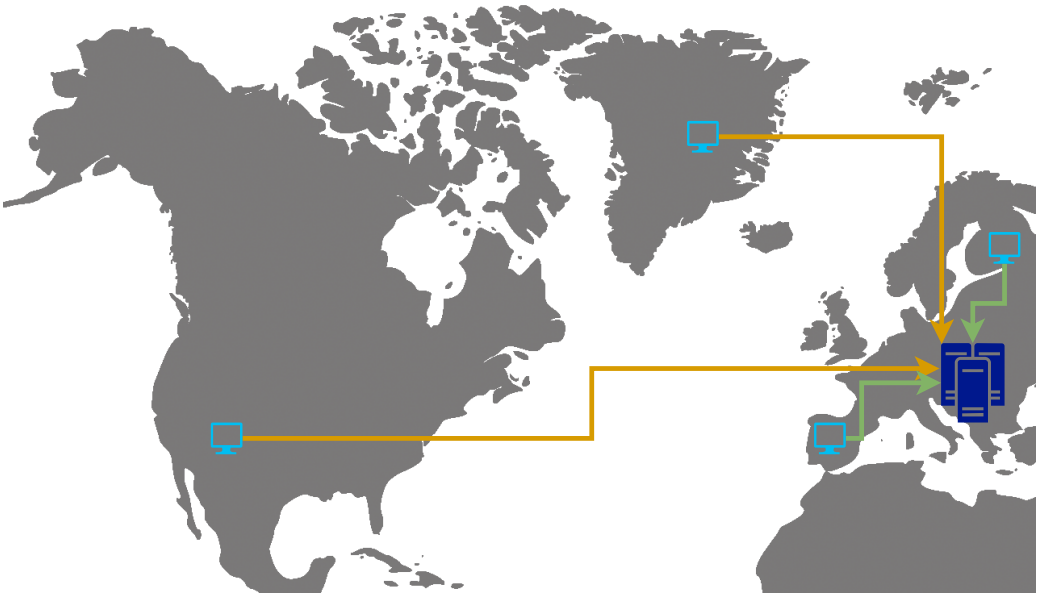
Leta 2014 je Google objavil kodo sistema za orkestracijo kontejnerjev Kubernetes [47] [1]. Kubernetes je univerzalni način, ki omogoča, da več računalnikov povežemo v gručo, ki deluje kot samostojna enota. Povezovanje strežnikov v gruče omogoča visoko razpoložljivost (HA) naših storitev [8], deljenje virov in preprostejšo sinhronizacijo podatkov. V primerih, obravnavanih v tem delu, pa ni dovolj uporaba ene same gruče, ampak moramo med seboj povezati in upravljati več gruč. V zadnjem času so razvijalci Kubernetesa začeli bolj celostno reševati ta problem. Poskusili so ga rešiti s projektom Federation 1, po njegovi ukinitvi [15] pa razvijalci Federation 2 oziroma KubeFed trdijo, da bo projekt uspešno prešel iz alfa v beta verzijo [40].

1.2 Cilj in vsebina naloge

V diplomskem delu bomo obravnavali rešitve problema povezovanja gruč Kubernetes in primere uporabe, ki izvirajo iz potreb industrije. Vsakemu primeru bomo poiskali rešitev v okolji Kubernetes z uporabo orodja KubeFed, poudarek pa bomo dali na sinhronizacijo podatkov.

1.2.1 Prevelika latenca

Problem prevelike latence se pojavi, ko je čas od poslanega zahtevka uporabnika do prejema odgovora s strežnika prevelik [24]. Ko problem povzroča velika fizična razdalja, ga rešimo tako, da postavimo dodatne gruče bližje naših uporabnikov, denimo na njihovo celino. Zavedati se moramo, da strežniki v gruči zelo veliko komunicirajo, zato je priporočljivo, da se nahajajo v istem omrežju znotraj istega podatkovnega centra, saj se s tem izognemo veliki latenci [25].



Slika 1.1: Problem prevelike latence.

1.2.2 Visoka razpoložljivost

Večkrat letno pride do izpada kakšnega večjega podatkovnega centra [10]. To se lahko zgodi iz več razlogov najpogosteje pa gre za napake na programski opremi [19]. Če gre v takšnem primeru za oblačnega ponudnika, pri katerem imamo nameščeno svojo gručo, to pomeni, da bo hkrati nedosegljiva tudi ta. V splošnem se problem reši tako, da uporabljamo več gruč in jih namestimo

v več različnih podatkovnih centrov. V primeru izpada enega podatkovnega centra pa svoje uporabnike preusmerimo v drug podatkovni center.

1.2.3 Potreba po izolaciji aplikacij

Ko govorimo o izolaciji aplikacije, se navezujemo na varnost pri vdoru ali pa na večjo razpoložljivost. Uporaba Kubernetesa od nas zahteva izolacijo v kontejnerje. Prav tako pa nam že sam Kubernetes omogoča izolacijo na posamezne strežnike [42] ali nastavitev pravil komunikacije v gruči [37]. Kljub tem postopkom se v Kubernetesu pojavljajo problemi, zaradi katerih postane nedosegljiva celotna gruča, s tem pa vse aplikacije v tej gruči. Če postavimo del neodvisnih aplikacij v drugo gručo, s tem preprečimo njihov izpad ob napaki v prvi gruči. Izolacija pa je pomembna tudi z varnostnega vidika. Če se napadalec polasti enega samega vozlišča, ima posledično tudi popolno kontrolo nad vsemi drugimi aplikacijami, ki tečejo na tem vozlišču [16]. Aplikacije lahko pripadajo istemu uporabniku ali pa celo drugim uporabnikom. Če imamo vsako aplikacijo v svoji gruči, pa se temu lahko izognemo.

Poglavje 2

Problem povezovanja gruč

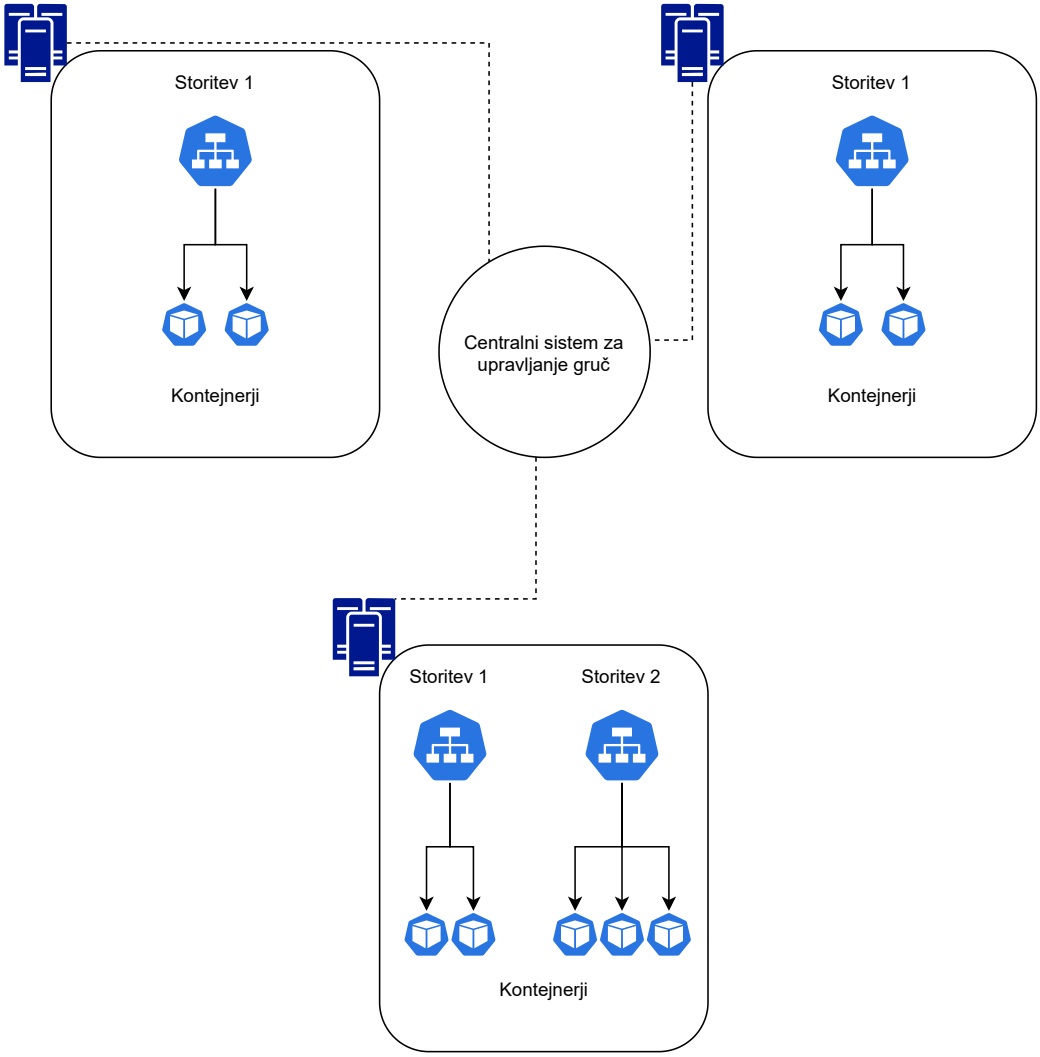
Računalniška gruča je skupina računalnikov, ki zaradi večje zanesljivosti in zmogljivosti opravlja določene storitve.

Zaradi prevelike latence ali drugih ovir računalnikov ne moremo povezati v eno tesno povezano gručo [25]. Računalnike lahko vedno povežemo v več različnih gruč, četudi to pomeni, da je v nekaterih gručah samo po en strežnik oziroma vozlišče. Ob prisotnosti povezave pa lahko te gruče med seboj povežemo, a šibkeje.

Ko govorimo o tesni povezanosti znotraj gruče, velja, da ima vsako vozlišče dostop do vsakega, da vsak kontejner lahko komunicira z vsakim in da so vozlišča v istem hitrem notranjem omrežju podatkovnega centra. Pričakujemo, da sistem, ki ga uporabljamo za gručenje, omogoča razporejanje zaželenih storitev in kontejnerjev med strežniki in v primeru izpada vozlišča to odstrani iz sistema, kontejnerje s tega vozlišča pa prerazporedi na preostala vozlišča.

Šibka povezanost med gručami pomeni, da je povezava med različnimi gručami počasna, nezanesljiva ali draga. Zaradi omejitev moramo sprejemati kompromise na podlagi zmožnosti povezave. Skladno z našimi potrebami se lahko odrečemo komunikaciji med vozlišči v različnih gručah. Pričakujemo, da vsaka gruča skrbi za svoja vozlišča ter svoje storitve in kontejnerje ohranja v delovanju. V tem delu bomo kot naloge sistemov za povezovanje gruč

obravnavali: omogočanje centralnega nadzora nad storitvami v gručah, prerazporejanje teh storitev med gručami, dinamično odkrivanje drugih gruč in njihovih storitev, izločanje nedosegljivih gruč, povezljivost med vsemi vozlišči in kontejnerji, četudi so vozlišča v različnih omrežjih.



Slika 2.1: Primer več povezanih gruč.

Poglavje 3

Kubernetes

Kubernetes definira javno dostopen vmesnik REST. Trenutno obstaja že več kot 70 distribucij [26] Kubernetesa.

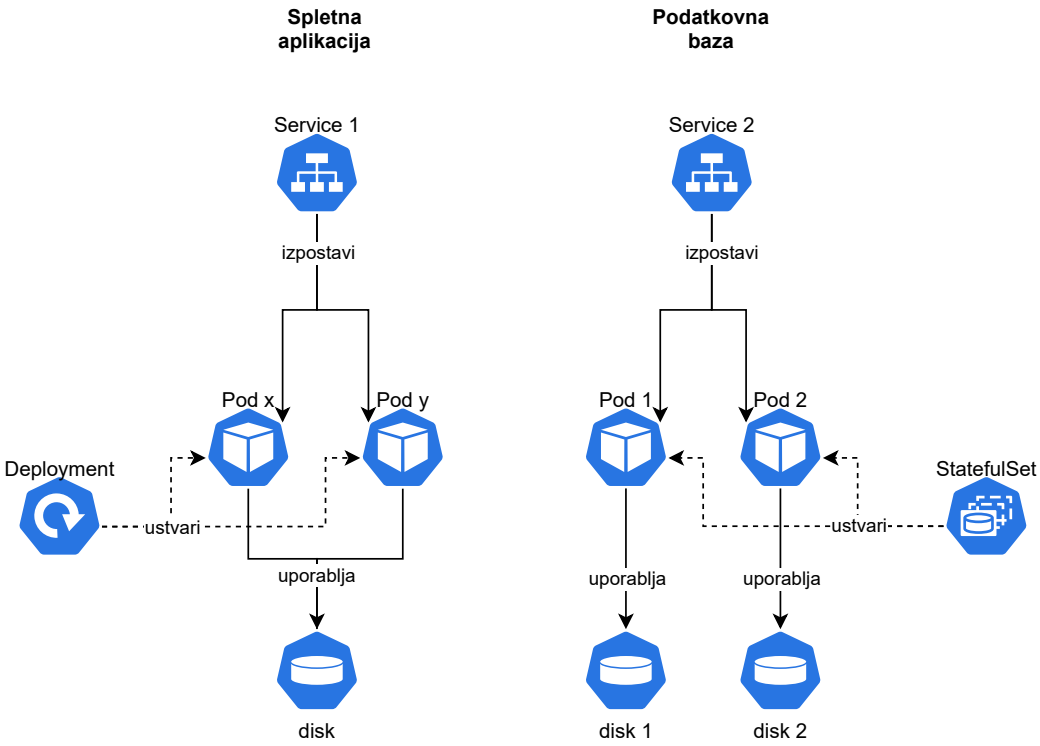
3.1 Zgodovina

Leta 2014 je Google objavil in odprl kodo projekta Kubernetes [8] [1]. Gre za program, ki je bil ustvarjen z namenom, da poenostavi upravljanje kontejnerjev in večjih računalniških gruč v produkcijskih okoljih [47]. A to niso pravi začetki Kubernetesa. Začelo se je leta 2003, ko je Google začel z razvojem sistema za upravljanje svojih notranjih gruč Borg. Pozneje, leta 2013, je Google predstavil sistem Omega, leta 2014 pa je objavil odprtokodni projekt Kubernetes. Projekt je bil zasnovan na podlagi dobrih praks upravljanja s kontejnerji, ki so se jih pri Googlu naučili skozi dolga leta upravljanja velikega števila kontejnerjev v produkcijskem okolju. Pozneje je upravljanje nad projektom prevzela organizacija Cloud Native Computing Fundation.

3.2 Osnovni pojmi

Kubernetesov vmesnik REST nam omogoča, da v sistem shranjujemo najrazličnejše tipe objektov. Takšne, ki so del standardnega Kubernetesovega

vmesnika, ali pa smo jih definirali sami (CRD). Najpogostejši tipi objektov, ki se pojavijo v Kubernetesu so Pod, Service, Deployment, StatefulSet in objekti za delo z diski.



Slika 3.1: Primer delovanja Kubernetes objektov.

3.2.1 Pod

Objekt Pod je najmanjša enota v Kubernetesu, ki lahko teče v gruči [43]. Sestavljen je iz enega ali več kontejnerjev, ki si delijo diske in omrežni vmesnik. To pomeni, da imajo skupen IP in se obnašajo podobno kot izolirani procesi na istem računalniku.

3.2.2 Service

Objekt service označuje vse objekte Pod ene mikrostoritve [44]. Kubernetes iz objekta v notranjem DNS ustvari domeno za mikrostoritev in dinamično razvršča promet med našimi objekti Pod. Objekte service uporabljamo tako, da namesto pošiljanja zahtevkov direktno na IP naslov objekta Pod, delamo klice na ustvarjeno domensko ime storitve na primer `curl ime-storitve`. Takšen zahtevek potem dobi en izmed označenih objektov Pod v objektu service.

3.2.3 Deployment

Deployment je objekt, ki mu podamo število željenih objektov Pod in predlogo za njihovo izdelavo [38]. Potem pa notranje storitve Kubernetesa zagotavljajo, da bo obstajalo toliko takšnih objektov tipa Pod kot smo navedli v deploymentu. Takšno stanje se poizkuša ohranjati tudi ob raznih težavah in izpadih vozlišč.

3.2.4 StatefulSet

Objekt zelo podoben deploymentu, le da statefulset vsakemu objektu Pod dodeli unikatno številko [46]. Pod, ki se ustvari s to številko ohranja diske, mrežni vmesnik, IP naslov in domensko ime. Pomembna razlika med objektoma deployment in statefulset pa je tudi v polju `volumeClaimTemplate`. Statefulset omogoča vsakemu objektu Pod, da si ustvari in uporablja svoj disk. Uporablja pa se za podatkovne baze in podobne storitve, ki morajo ohranjati stanja.

Poglavje 4

Pregled področja in literature

V tem poglavju si bomo pogledali nekaj ključnih del in literature na področju povezovanja gruč Kubernetes. V delih je pogosto za federacijo izbran sistem Federation 1 ali Federation 2 zaradi tesne povezanosti s sistemom Kubernetes [18] [22] [25].

V članku [18] se avtorji lotijo povezovanja gruč pri različnih oblačnih ponudnikih. Pri tem pozornost namenijo tudi avtomatskemu horizontalnemu skaliranju aplikacij. Za uporabo in postavitev pri več oblačnih ponudnikih so uporabili standard TOSCA, ki jim omogoča enoten deklarativni zapis njihove strukture v različnih oblakih. V svoji študiji so uporabili sistem Cloudify, ki pa jim z dodatkom za Kubernetes omogoča tudi enoten način namestitve Kubernetesa. Svoje gruče so še povezali v federacijo s sistemom Federation. Iz članka pa ni povsem razvidno ali so uporabili prvo ali drugo iteracijo sistema Federation. V testne namene pa so v federacijo namestili še strežnik spletne igre in pokazali uspešnost avtomatskega horizontalnega skaliranja.

Lorenzo Martino je v svoji magistrski nalogi [22] v uvodu pojasnil pomembnost pristopa mikrostoritev pri razvoju aplikacij in pokazal prednosti uporabe Kubernetesa v oblaku. Kot glavno prednost je izpostavil neodvisnost od platforme in možnost uporabe sistema Kubernetes v oblaku ali pa v svojem podatkovnem centru. Omenil je tudi hibridne rešitve, ki pa zahtevajo povezovanje in upravljanje več gruč.

V nadaljevanju je podanih nekaj predlogov za uporabo več gruč Kubernetes, kot so: izolacija med produkcijskim in testnim okoljem, težave z latenco zaradi prevelikih fizičnih razdalj, povečevanje razpoložljivosti aplikacije, uporaba dodatne gruče v oblaku zaradi lažjega avtomaskega skaliranja vozlišč, omejitve lokacije obdelovanja podatkov. V delu je predlaganih tudi nekaj programov za upravljanje gruč, v rešitvi svojega problema pa je uporabil sistem KubeFed. Avtor omeni, da je pri svojem delu reševal problem v podjetju, ki se ukvarja s civilnimi in vojaškimi aeronavtičnimi sistemi. Ključna zahteva v podjetju pa je bila obdelava podatkov v lokalnih gručah. Nadaljevanje dela je vezano na reševanje konkretnega problema podjetja. Sinhronizaciji podatkov je v delu namenjena posebna pozornost, saj imajo v podjetju označene podatke, ki se ne smejo obdelovati v oblaku in podatke, ki se lahko. KubeFed je še v razvojni fazi alfa, kar pa je predstavljalo oviro za podjetje. Tako avtor poleg rešitve s KubeFed pripravi še svojo rešitev, kjer implementira samo potrebne funkcionalnosti.

Vir [25] pa se posveti področju upravljanja aplikacij na robu oblaka, kjer zaradi večjega števila gruč centralno upravljanje pride še bolj do izraza. V poročilu je postavljena gruča Kubernetes v prostrano omrežje (WAN). Avtorji so primerjali delovanje ene gruče preko prostranega omrežja z delovanjem iste gruče preko lokalnega omrežja. Izpostavijo pomembnost previdnosti pri takšnem pristopu v gručah na robu oblaka, saj lahko pride do nepredvidljivih rezultatov. V poročilu je predstavljen tudi odprtokodni sistem KubeEdge. Projekt je namenjen razširitvi aplikacij v kontejnerjih na vozlišča na robu oblaka [34]. Avtorji izpostavijo, da imata tako pristop z eno gručo v omrežju WAN kot pristop z KubeEdge pomembno omejitev, saj imajo vozlišča še vedno premalo avtonomnosti v primeru izpada iz omrežja. Izpostavljeno je, da te slabosti rešimo s federacijo in sistemom KubeFed, ki je v nadaljevanju podrobneje opisan. Če je vsako vozlišče v svoji gruči potem je vozlišče v primeru izpada omrežja še vedno avtonomno in omogoča lokalno upravljanje.

Poglavje 5

Povezovanje gruč Kubernetes

Ko postavimo več različnih gruč imamo vedno možnost, da upravljamo vsako posebej. A takšen pristop je neučinkovit, če imamo takšnih gruč res veliko [27]. Osnovna lastnost sistema za upravljanje več gruč Kubernetes, je možnost prenašanja Kubernetesovih objektov med gručami. Tako lahko objekt definiramo samo enkrat in bo naš sistem ta objekt ustvaril v izbranih gručah. Odvisno od naših potreb pa lahko uporabimo sistem, ki omogoča tudi dinamično odkrivanje storitev z enako definicijo v različnih gručah, komunikacijo med storitvami v različnih gručah, dinamično odkrivanje objektov Pod med gručami in komunikacijo med njimi v različnih gručah. Te funkcionalnosti znotraj ene gruče nudi že Kubernetes sam. Je pa seveda odvisno od našega primera, katere funkcionalnosti želimo uporabiti in kako kompleksno postavitev potrebujemo. V nadaljevanju si bomo ogledali različne sisteme za povezovanje gruč Kubernetes, njihove glavne prednosti in značilnosti.

5.1 ArgoCD in drugi sistemi GitOps

5.1.1 Sinhronizacija objektov z uporabo sistemov GitOps

Osnovna ideja pristopa GitOps je, da imamo našo strukturo aplikacij v gruči Kubernetes napisano v repozitoriju Git in potem je kontroler GitOps tisti, ki iz teh definicij postavi strukturo gruče. Takšen pristop se je v zadnjih letih zelo razširil in ArgoCD navaja več kot 100 podjetji, ki pri razvoju svojih spletnih aplikacij uporabljajo pristop GitOps [30].

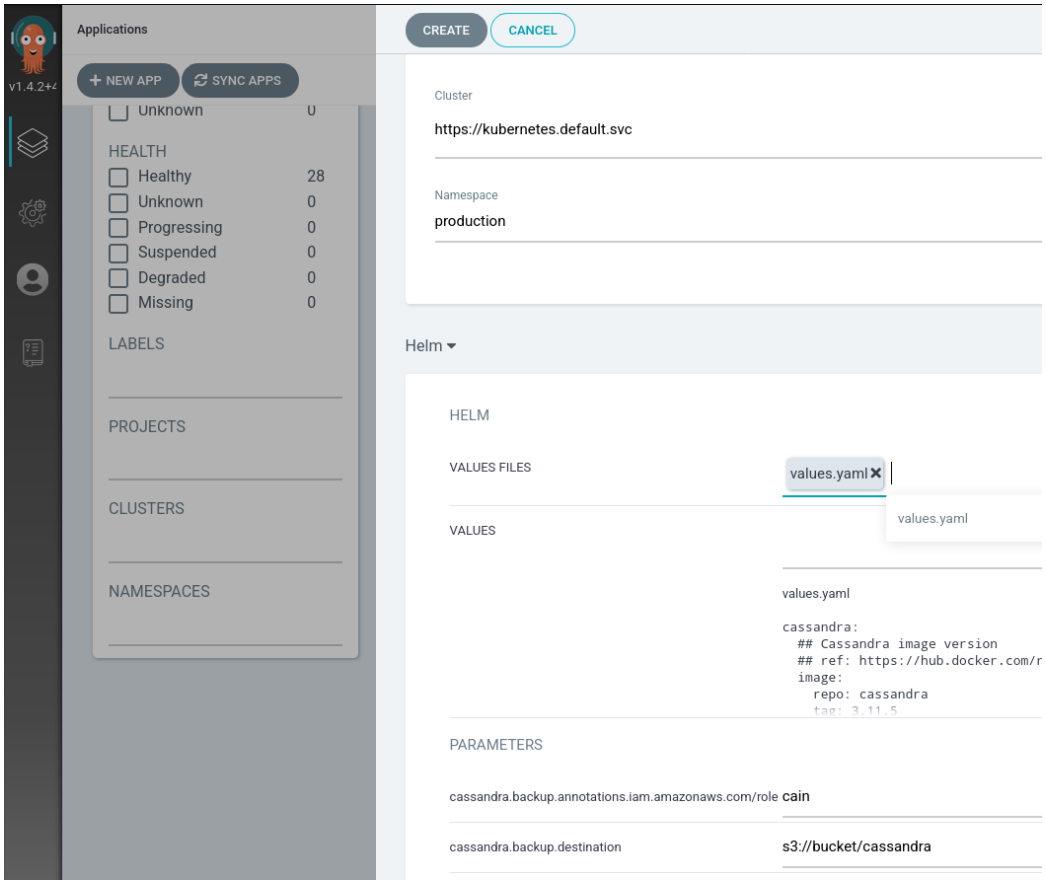
Če uporabljamo kakšnega od sistemov GitOps, lahko potem iz enakega repozitorija postavimo več gruč. V osnovi takšen pristop pomeni, da bomo imeli na voljo samo sinhronizacijo infrastrukture in nam takšen pristop ne omogoča naprednih funkcionalnosti kot so komunikacija med objekti Pod v različnih gručah ali pa odkrivanje storitev ali kontejnerjev. V nadaljevanju si bomo izbrali sistem ArgoCD in si pogledali, kako bi si postavili zgoraj opisano infrastrukturo.

5.1.2 Sinhronizacija objektov z ArgoCD

ArgoCD podpira več različnih formatov konfiguracije gruče [28]. Uporabimo lahko YAML format datoteke z definicijami objektov, ki jih želimo namestiti v vsako gručo. Za nameščanje te konfiguracije v več kot eno gručo imamo na voljo dva pristopa. Prvi način je, da v vsako gručo namestimo ArgoCD in uporabimo enak repozitorij Git v vseh. ArgoCD pa nam omogoča tudi pošiljanje konfiguracije v oddaljene gruče [29]. To pomeni, da imamo lahko kontroler ArgoCD nameščen samo v eni gruči.

Če ne želimo, da imajo vse gruče popolnoma enako infrastrukturo in nameravamo prilagoditi konfiguracijo posamezne gruče. V tem primeru bi uporabili format zapisa konfiguracije, ki podpira predloge. ArgoCD nam ponuja možnost, da ročno določimo spremenljivke predlogam. Tako lahko uporabimo na primer predloge HELM in ArgoCD nam bo omogočil, da vsaki gruči

izberemo svojo datoteko s spremenljivkami. Glede na preprostost delovanja takšnega sistema se moramo zavedati, da od njega ne moremo pričakovati nikakršnih naprednih funkcionalnosti kot sta dinamično odkrivanje storitev ali komunikacija kontejnerjev med gručami. Takšen sistem nam omogoča samo sinhronizacijo infrastrukture.



Slika 5.1: Primer uporabe predloge HELM v ArgoCD.

5.2 KubeFed

9. 1. 2018 je bil po ukinjenem projektu Kubernetes Federation V1 ustvarjen Kubernetes Federation V2 imenovan tudi KubeFed [15]. Cilj obeh projektov

je bil poenostavljeno upravljanje več gruč in razporejanje Kubernetes objektov. V projektu Federation V1 je bil ubran pristop, ki je skupino gruč ali federacijo uporabniku predstavil kar kot novo gručo Kubernetes [45]. Uporabljal je svoj API in kontroler API, ki pa je bil združljiv s Kubernetesovim, kar pa je omogočalo tudi uporabo orodja kubectl [11]. Objekti, ki jih je federacija podpirala so bili kompatibilni s standardnimi Kubernetes objekti [39]. Objekte, ki so bili poslani kontrolerju federacije, je potem Federation V1 ustvaril tudi v pripadajočih gručah. Pristop zaradi mnogih pomanjkljivosti in pomankanja možnosti naprednejših konfiguracij ni uspel pridobiti statusa GA. GA faza v Kubernetesu pomeni, da se uporabniki lahko zanašajo na projekt, ga uporabljajo in se bo vsaj do neke mere ohranjala združljivost za nazaj. Pred dosegom te stopnje naj bi se projekt uporabljalo samo v testne namene.

Tako se je kasneje razvil projekt Federation V2 [15]. Glavna razlika s prvo verzijo z uporabniškega stališča je v tem, da za federacijo ne poizkuša imitirati Kubernetesovega API-ja, ampak uporablja obstoječi Kubernetesov API. Federation V2 samo predstavi nove objekte, ki pa so razširitev standardnih, kot na primer federateddeployment [41]. Federated objekte je treba najprej vklopiti z ukazom `kubefedctl enable`.

```
kubefedctl enable deployment
```

Orodje kubefedctl si moramo namestiti na naš računalnik. Takšen Federated objekt vsebuje tri glavne lastnosti: definicija predloge primarnega objekta, postavitev v gruče in prepis lastnosti originalnega objekta za posamezne gruče. Takšen pristop je zelo široko zastavljen in omogoča tudi federacijo CRD objektov.

```
apiVersion: types.kubefed.io/v1beta1
kind: FederatedDeployment
spec:
  placement:
    clusterSelector:
```

```
    # izbira gruč
    matchLabels: {}
    ...
template:
  # specifikacije objekta deployment
  spec:
  ...
overrides:
  # prepis konfiguracije za posamezne gruče
  - clusterName: gruca-1
    clusterOverrides:
        # nastavi polje replicas na vrednost 5
      - path: "/spec/replicas"
        value: 3
...
```

Federation V2 podpira poleg sinhronizacije infrastrukture tudi odkrivanje storitev v drugih gručah prek zapisov DNS [41]. Omenja pa se možnost odstranitve te funkcionalnosti [36], ki je že sedaj privzeto izklopljena. Preden pa uporabimo KubeFed pa se moramo zavedati, da je projekt v času pisanja diplomske naloge še vedno v razvojni fazi alfa in lahko mine še nekaj časa preden doseže status GA, če slučajno ne bo šel po stopinjah svojega predhodnika.

5.3 Cilium

Cilium je odprtokodni program, ki nam omogoča napredne varnostne in omrežne nastavitve v naši gruči [31]. Program na tretji in četrti omrežni plasti zagotavlja osnovne principe varnosti in zaščite, kot na primer zapiranje portov in omejevanje komunikacije. Poleg tega pa Cilium zagotavlja tudi naprednejšo varnost na sedmi omrežni plasti, saj nam omogoča omejevanje in filtriranje HTTP zahtevkov in podobne varnostne funkcionalnosti

na popularnih protokolih aplikacijskega nivoja [31].

Ker Cilium implementira precejšni del mreženja in povezovanja v Kubernetesu, pa nam s tem lahko ponudi tudi nekaj zelo naprednih možnosti, ko med seboj povezujem več različnih gruč Kubernetes. Tako nam kot ključno prednost Cilium omogoča tudi komunikacijo med kontejnerji v različnih gručah [32] in uporabo globalnih objektov service, ki razporejajo promet med različnimi gručami. Takšne objekte definiramo z anotacijo `io.cilium/ global-service` [33]. Omogoča nam tudi omejevanje povezovanja med gručami z njihovim objektom `CiliumNetworkPolicy` [33]. Ko postavljamo mrežo gruč, pa se moramo še vedno zavedati, da Cilium ne rešuje problema, če so naše gruče skrite v različnih zasebnih omrežjih. Ključno pri uporabi Ciliuma za povezovanje gruč je, da so vsa naša vozlišča dosegljiva med seboj. A četudi so naše gruče v med seboj nedosegljivih zasebnih omrežjih, pa je problem rešljiv z uporabo sistema VPN, ki nam omogoča, da vsa vozlišča povežemo v eno navidezno omrežje [33].

Kljub naprednim funkcijam, ki nam jih Cilium ponuja, pa se moramo zavedati, da se Cilim ukvarja samo s povezovanjem gruč na omrežnem nivoju. Ne omogoča enotnega upravljanja in sinhronizacije objektov med gručami zato moramo objekte sinhronizirati sami. Ampak zaradi dovolj široke zasnove Kubernetesovega vmesnika so rešitve med seboj kompatibilne. Torej lahko uporabimo napredno mreženje Ciliuma in objekte sinhroniziramo s pristopom KubeFed ali GitOps.

Poglavje 6

Priprava sistema gruč za testiranje

6.1 Raspberry PI 4

Za namene testiranja različnih načinov povezovanja gruč Kubernetes moramo najprej postaviti nekaj gruč. Zaradi preprostosti in nizke cene, predvsem pa ker se koncepti zaradi tega ne spremenijo, bomo za naša Kubernetes vozlišča uporabili Raspberry PI 4. Na višjem nivoju pa gre še vedno za gručo Kubernetes in je delo zelo podobno, če uporabimo nekaj 1000 vozlišč v gruči v oblaku ali pa lokalno gručo z enim vozliščem. Raspberry PI 4 je majhen (85x56x20mm) in manj zmogljiv računalnik na eni sami plošči [23]. Ključni prednosti takšnih računalnikov pa sta velikost in cena. Na vsak Raspberry PI se bo namestila gruča Kubernetes z enim samim vozliščem. Fizična postavitev gruč je prikazana na sliki 6.1. Takšna postavitev pa je lahko tudi primer gruče na robu oblaka, kar je bolj podrobno opisano v poglavju 9.

Slika 6.1: Postavitev gruč Raspberry PI.

6.2 K3S in K3OS

Obstaja več implementacij Kubernetesa in mi bomo uporabili z viri varčno odprtokodno implementacijo K3S od podjetja Rancher [21] [7] [9]. Hkrati so v podjetju Rancher pripravili distribucijo operacijskega sistema Linux K3OS [20]. Gre za minimalen operacijski sistem s prednameščenim sistemom K3S. Težava se pojavi, ker še ni pripravljene uradne verzije operacijskega sistema za ploščice Raspberry PI. A k sreči se je v ta namen začel odprtokodni projekt „PiCl k3os image generator“, ki nam iz slik operacijskih sistemov K3OS in Raspberry OS in konfiguracijskih datotek zgradi novo sliko operacijskega sistema za naš Raspberry PI [5]. Konfiguracijske datoteke, ki jih moramo priložiti so standardne YAML datoteke, ki jih podpira sistem K3OS. Vanje zapišemo nastavitve kot so SSH javni ključi za dostop, po-

datki od WiFi omrežja na katerega se povezujemo, geslo, žeton za povezavo s gručo Kubernetes in način v katerem želimo zagnati K3S na sistemu [20]. V

```
ssh_authorized_keys:
- ssh-rsa ...
hostname: gruca-1
k3os:
  ntp_servers:
  - ...
  password: ...
  token: ...
  dns_nameservers:
  - ...
  wifi:
  - name: ...
    passphrase: ...
  k3s_args:
  - server
```

našem primeru smo vse K3S programe zagnali v strežniškem načinu (server) in nobenega v načinu delovnega vozlišča, saj želimo, da vsak Raspberry PI predstavlja svojo gručo.

6.3 Demonstracijska spletna aplikacija

Za potrebe testiranja je bilo potrebno naredili novo testno mikrostoritev. Ker se v tem diplomskem delu želimo osredotočiti na industrijske probleme, mora ta aplikacija omogočati tudi shranjevanje podatkov v podatkovno bazo.

Koda, ki je javno objavljena v repozitoriju Git [13], je napisana v programskem jeziku Go. Iz kode je bil generiran kontejner, ki je objavljen v javnem repozitoriju Docker [14]. Ob tem velja opozoriti, da Raspberry PI uporablja ARM arhitekturo procesorja, kar je zahtevalo dodatno pozornost.

Aplikacija deluje preprosto. Na mrežnih vratih podanih s spremenljivko okolja izpostavi vmesnik REST z dvema preprostima HTTP klicema. `GET` klic na pot `/users` nam bo vrnil seznam vseh uporabnikov, ki so zapisani v tabeli v podatkovni bazi, s klicem `POST` na isto pot pa poskrbimo, da se podatki uporabnika iz našega zahtevka shranijo v tabelo v podatkovni bazi.

```
# ukaz za dodajanje uporabnika
curl -X POST localhost/users \
  --data '{"name": "John", "lastname": "Doe"}'
# ukaz za prikaz vseh uporabnikov
curl localhost/users
```

Za shranjevanje podatkov bomo uporabili 2 različni SQL bazi podatkov. Postgres, ki je preprosta za lokalni razvoj, a ne omogoča napredne sinhronizacije podatkov med strežniki in CrateDB, ki je bil zasnovan kot SQL baza na več vozliščih in nam omogoča napredne sinhronizacije tudi med različnimi strežniki in gručami. K sreči pa CrateDB implementira vmesnik PostgreSQL in nam kode za prehod med bazami ni potrebno spreminjati [3].

6.4 Namestitev KubeFed

Kot ena izmed ključnih komponent složnega delovanja več gruč je njihovo upravljanje. V te namene bomo uporabili program KubeFed, ki ga moramo namestiti na eno izmed gruč, ki jih želimo povezati skupaj. Ker je izdelek še v razvoju in še ni prišel iz alfa faze, še ni objavljene verzije programa za procesorje ARM. Zato je bilo iz kode KubeFed potrebno zgraditi novo sliko kontejnerja, ki je javno objavljena [35]. Potem pa smo uporabili originalno HELM predlogo, kjer smo samo zamenjali originalno sliko kontejnerja z našo. Za delo s KubeKed pa moramo na svoj računalnik namestiti še orodje kubefedcli. Z uporabo ukaza `kubefedctl join` povežemo vse tri gruče v kubefed sistem.

```
kubefedctl join gruca-1
```

```
kubefedctl join gruca-2
kubefedctl join gruca-3
```

S tem smo uspešno povezali več gruč Kubernetes v sistem KubeFed. Seznam vseh povezanih gruč pa lahko preverimo tako, da izpišemo seznam objektov tipa kubefedclusters. V našem primeru imamo povezane tri gruče, kar se vidi iz sledečega izpisa.

```
kubectl get kubefedclusters
```

```
NAME        AGE   READY
gruca-1     1d    True
gruca-2     1d    True
gruca-3     1d    True
```

Sedaj lahko z uporabo ukazov `kubefedctl enable` in `kubefedctl federate` naše objekte dodajamo v vse gruče hkrati. Več o tem je napisano v poglavjih, kjer ukaze tudi uporabljamo.

Poglavje 7

Povezovanje med podatkovnimi centri

7.1 Problem velike latence

Za primer vzemimo preprosto spletno aplikacijo, ki mora hraniti stanje in jo namestimo v eno gručo Kubernetes. Če našo aplikacijo ponudimo vsem uporabnikom na globalnem trgu se nam bo pojavil problem velike latence [24]. To pomeni, da bo naša aplikacija za uporabnike, ki so bolj oddaljeni od naše gruče delovala počasneje oziroma se bodo podatki do uporabnika prenašali dalj časa.

Takšen problem v splošnem rešimo tako, da našo aplikacijo postavimo še v dodatno gručo bližje uporabniku [49]. Če pa moramo podatke med gručami še sinhronizirali pa to zahteva dodaten trud. V našem primeru bomo uporabili podatkovno bazo CrateDB [3], novejšo alternativo standardnim SQL podatkovnim bazam. CrateDB ima v primerjavi s tradicionalnimi podatkovnimi bazami boljšo podporo za sinhronizacijo podatkov med vozlišči [17]. Poleg vsega pa nam za uporabo podatkovne baze CrateDB ni potrebno konceptualno spreminjati naše aplikacije, saj podpira vmesnik podatkovne baze PostgreSQL.

7.2 Povečanje razpoložljivosti aplikacije

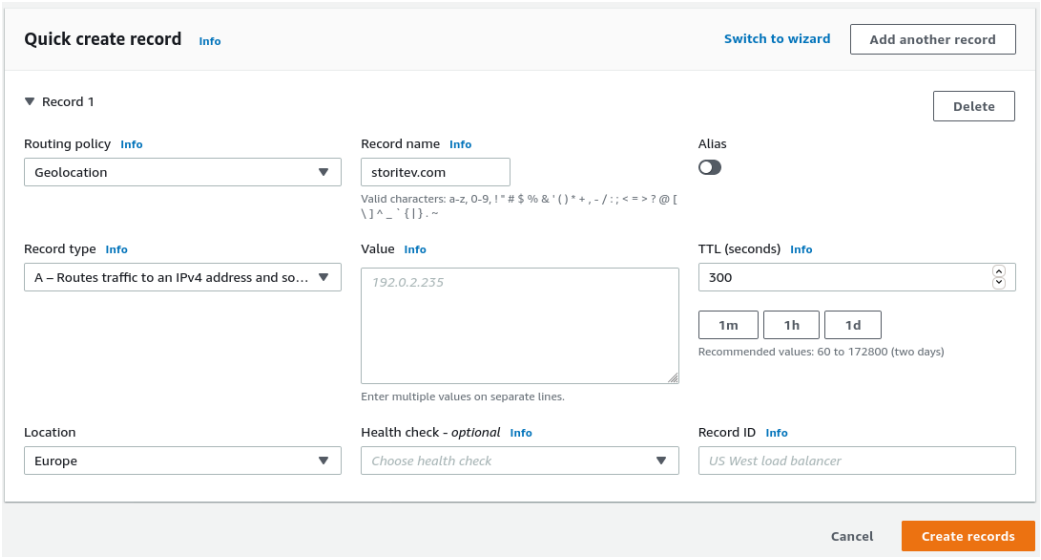
Če je čim višja razpoložljivost za našo aplikacijo kritičnega pomena in smo že poskrbeli za visoko razpoložljivost (HA) aplikacije v naši gruči, še vedno lahko pride do situacije, ko iz omrežja izpade cel podatkovni center [6]. Spomnimo se, da Kubernetes najbolj učinkovito deluje, če naša vozlišča uporabljajo hitro notranje omrežje podatkovnega centra. V primeru napake v podatkovnem centru ali hujših vremenskih pogojev pomeni, da je nedosegljiv cel podatkovni center in s tem gruča v njem. Če uporabljamo strežnike v oblaku, pa gremo lahko še korak dlje z zagotavljanjem razpoložljivosti. Če nam ni dovolj niti to, da uporabimo različne razpoložljivostne cone in podatkovne centre oblačnih ponudnikov, lahko postavimo naše gruče pri več različnih ponudnikih. Takšen pristop je opisan v članku [18], omogoča pa ga predvsem neodvisnost Kubernetesa od platform.

7.3 Povezovanje med podatkovnimi centri

Rešitev za oba omenjena problema je enaka. Postaviti moramo gruče v več različnih podatkovnih centrih in jih nastaviti, da bodo delovale usklajeno. Odvisno od problema bodo te podatkovni centri bližje uporabniku ali pa v lasti različnih oblačnih ponudnikov. A princip ostaja enak.

7.4 Razporeditev uporabnikov po gručah

Ko imamo na vsaki gruči javno izpostavljen Kubernetesov objekt service in postavljene primerne objekte ingress, moramo še vedno uporabnike preusmeriti na njim najbližjo gručo. Uporabnike lahko mi usmerimo avtomatsko z zapisi DNS, ki omogočajo usmerjanje na podlagi geolokacije. Lahko uporabimo in namestimo zunanji DNS skozi Kubernetes ali pa to opravimo kar mimo Kubernetesa. V naših lokalnih testnih gručah bomo ta korak preskočili in jih ne bomo usmerjali preko javnih strežnikov DNS, saj v lokalnem okolju to ni smiselno.

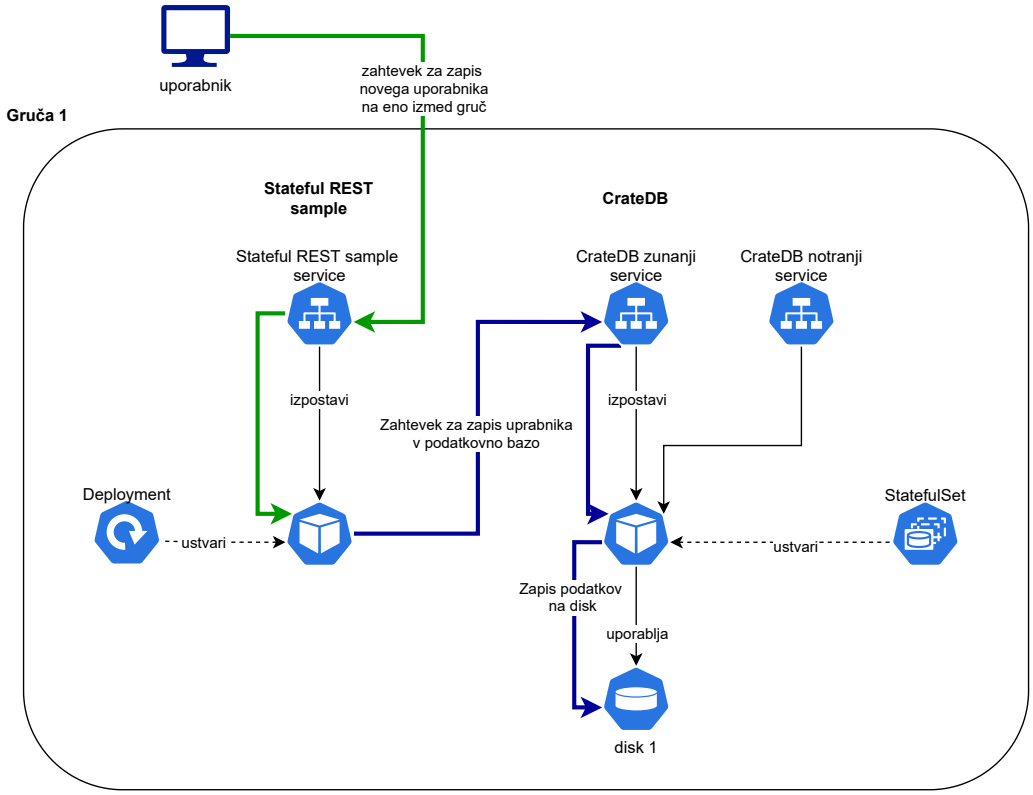


Slika 7.1: Ustvarjanje geolokacijskega zapisa DNS v storitvi ROUTE53.

Naslednja možnost pa je rešitev, ki se jo poslužujejo nekatere internetne računalniške igre (npr. Among US), da so naši strežniki popolnoma ločeni in se vsak uporabnik sam odloči na kateri gruči ali strežniku želi igrati. V takšnih primerih se lahko tudi izognemo problemu sinhronizacije podatkov med strežniki, kar zelo poenostavi upravljanje naših gruč.

7.5 Definicija infrastrukture za naš primer

V našem primeru spletne aplikacije bomo imeli v vsaki gruči eno postavitev aplikacije „Stateful rest sample“ z objektom deployment. Da aplikacijo izpostavimo izven gruče, pa bomo uporabili objekt service. Aplikacija bo za shranjevanje uporabljala podatkovno bazo CrateDB, ki bo postavljena z objektom statefulset, diskom na lokalni SD kartici, in dvema objektoma service. Prvi objekt service je zunanji in se bo uporabljal za dostop do baze, drugi pa je notranji in ga bomo uporabljali za prepoznavo ostalih primerkov CrateDB v gruči. Vsa konfiguracija je javno objavljena na repozitoriju Git[12]. Postavimo jo z ukazom `kubectl apply -f diploma-demo-1` Takoj



Slika 7.2: Infrastruktura vsake gruče v primeru demonstracijske aplikacije

preverimo, če aplikacija deluje in če lahko podatke zapisujemo v bazo. To storimo tako, da prek demonstracijske aplikacije poizkusimo dodati uporabnika in izpisati vse uporabnike. To naredimo z naslednjima `curl` ukazoma.

```
curl -X POST gruca-1/users \
    --data '{"name": "John", "lastname": "Doe"}'
curl gruca-1/users
```

7.6 Implementacija s KubeFed

Najprej se moramo odločiti za katere tipe objektov bomo vklopili federacijo oziroma za katere bomo želeli univerzalno upravljanje. V našem primeru gre za service, deployment in statefulset. Vklopimo jih z naslednjim ukazom, ki

za nas ustvari nove federirane tipe objektov na izbranih tipih.

```
kubefedctl enable <ime tipa>
```

Ko smo si vklopili federacijo na vseh potrebnih tipih pa moramo še vklopiti avtomatsko upravljanje na specifičnih objektih. V našem primeru želimo za to uporabiti ukaz `kubefedctl federate`.

```
kubefedctl federate deployment stateful-rest-sample
kubefedctl federate service stateful-rest-sample
kubefedctl federate statefulset crate
kubefedctl federate service crate-internal
kubefedctl federate service crate-external
```

Izvršeni ukazi ustvarijo federirane objekte, ki uporabijo postavitev v vse gruče in za predlogo kar podane objekte. Tako je za nas rezultat izvršenih ukazov kreiranje federiranih objektov in posledično kopiranje objektov v vse naše povezane gruče.

Po preizkusu delovanje s `curl` ukazom opazimo, da podatki med gručami še vedno niso sinhronizirani. Uporabniki, ki jih vnesemo v eno gručo se še ne sinhronizirajo v ozadju. Na tej točki se ustavijo nekatere spletne aplikacije in prepustijo izbiro strežnika oziroma gruče kar uporabniku.

7.7 Sinhronizacija podatkov

Če želimo pred uporabnikom skriti, da uporabljamo več gruč, moramo poleg geolokacijskih zapisov DNS, urediti tudi avtomatsko sinhronizacijo podatkov. Sicer v našem primeru res uporabljamo samo en primerek CrateDB baze na gručo, a vseeno smo na nivoju sinhronizacije znotraj gruče to stvar že uredili. Moramo se zavedati, da tudi podatkovna gruča CrateDB, najbolje deluje, če so vozlišča v hitrem lokalnem omrežju. CrateDB podpira tudi sinhronizacijo med različnimi razpoložljivostnimi conami in podatkovnimi centri [4].

7.7.1 Uporaba primerne podatkovne baze

Za sinhronizacijo podatkov lahko uporabimo podatkovno bazo, ki ima sinhronizacijo med različnimi gručami že podprto. CrateDB podpira sinhronizacijo tudi preko razpoložljivostnih con. Vseeno pa moramo vsa vozlišča povezati v enako podatkovno gručo [4]. To pomeni, da morajo biti primerki CrateDB dostopni med seboj. Problem lahko rešimo z uporabo sistema Cilium in uporaba globalnih storitev, saj nam Cilium že omogoča komunikacijo vsakega kontejnerja z vsakim, tudi če so ti v različnih gručah. Druga možnost pa je, da izpostavimo vsak objekt Pod s svojim javnim IP naslovom in jih ročno povežemo v gručo.

Potem pa moramo nastaviti še nastavitve, ki jih baza podpira za zmanjšanje prometa in zagotavljanje željene razpoložljivosti med gručami [4]. Podobne načine sinhronizacije podpira tudi na primer podatkovna baza Cassandra [2].

7.7.2 Podatke sinhroniziramo sami

Sinhronizacija podatkovne baze ni trivialen problem. Če ne uporabimo primerne podatkovne baze ali pa želimo sinhronizirati samo določene stvari preko gruč, bomo sinhronizacijo podatkov verjetno morali implementirati sami. To pomeni, da bomo ustvarili novo mikrostoritev, ki bi v ozadju kopirala ključne podatke med podatkovnimi centri. Ker samo mi poznamo naš konkreten primer uporabe, je takšen pristop lahko najbolj učinkovit.

V našem primeru bomo s preprosto skripto kopirali uporabnike iz ene aplikacije v drugo kar z uporabo našega vmesnika REST. To bomo storili v drugem Ubuntu kontejnerju z uporabo ukazov `curl` za izvajanje REST klicev in ukazom `jq` [48] za razčlenjevanje podatkov. Podatki se sinhronizirajo vsakih 10 sekund. Primer še testiramo in dobimo spodnji izhod, kar potrdi, da so se podatki uspešno sinhronizirali.

```
curl -s -X POST gruca-1/users|jq \
  --data '{"name": "John", "lastname": "Doe"}'
```

```
curl -s gruca-2/users|jq
[{"Name":"John","Lastname":"Doe"}]
```

Poglavje 8

Upravljanje izoliranih aplikacij

8.1 Zmanjševanje posledic vdorov in izpadov

Računalniška stroka si je že nekaj časa nazaj priznala, da popolnega sistema ne more ustvariti: sistema, ki se ne more sesuti, sistema, ki bo ves čas razpoložljiv in sistema, v katerega ne bo mogoče vdreti. To vsake toliko časa potrdijo tudi najbolje upravljani veliki sistemi kot so AWS, Google, Facebook z izpadi ali vdori na njihovih storitvah [19]. Vseeno pa kljub vdorom in napakam, zaradi katerih postanejo naši sistemi nedosegljivi, vedno lahko poizkusimo zmanjšati posledice ob morebitnem vdoru ali izpadu.

8.1.1 Izpadi aplikacije

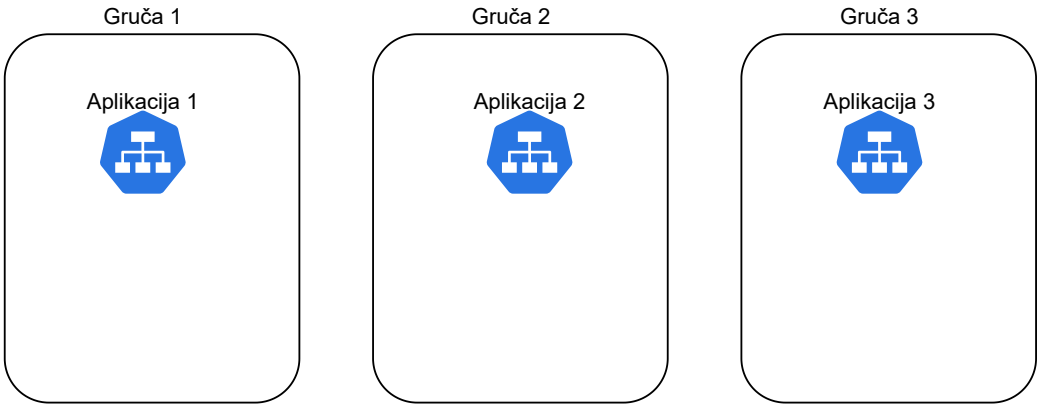
Kljub temu, da smo naše aplikacije namestili na različne gruče in je s tem aplikacija odporna na izpad ene gruče, pa lahko ob hujših nepravilnostih delovanja ene aplikacije in napaki pri nastavitvi gruč kaskadno izpadejo tudi vse gruče na katerih imamo aplikacijo nameščeno. Takšen primer bi bil, če ena aplikacija ali mikrostoritev zavzame vse vire v gruči, hkrati pa odpovejo ostale varovalke, ki jih ponuja že sam Kubernetes. V takšnih primerih bo odpovedal cel naš sistem namesto samo del sistema. Zato se lahko odločimo, da bomo nekatere bolj kritične aplikacije ali mikrostoritve postavili v gručo, kjer napake drugih aplikacij ne bodo vplivale na naše delovanje. A vseeno se

moramo zavedati, da je ta korak smiseln šele ko smo opravili že vse predhodne preventivne ukrepe, kot so razdelitev aplikacije na mikrostoritve, kontejnerijzacija, izolacija na posamezno Kubernetes vozlišče, pravilna nastavitev omejitev avtomatskega povečevanja in druge.

8.1.2 Vdori

Podobno kot pri izpadih aplikacije je tudi pri preprečevanjih posledic vdorov. Najprej moramo poskrbeti za primerno zaščito Kubernetes vozlišč, naše aplikacije, kriptiranje komunikacije med mikrostoritvami, uporabo nepriviligiranih in neadministratorskih kontejnerjev [16]. Če pa nam vsi zgoraj našteti in ostali priporočeni ukrepi niso dovolj ali pa se zavedamo, da imamo v gručah manj varne aplikacije in napadalec prek teh aplikacij ne sme dostopati do podatkov kritičnih aplikacij, potem pa je smiselno kritične aplikacije izolirati v svoje gruče.

8.2 Implementacija s Kubefed



Slika 8.1: Primer izoliranih aplikacij.

Ena izmed treh glavnih lastnost federiranih objektov je možnost izbire gruč, na katerih se bo določen objekt ustvaril. S tega stališča je naš primer

zelo preprost. Samo določimo, da se naša aplikacija izvaja na gruči 3 namesto na vseh. Tokrat za federacijo ne moremo uporabiti ukaza `kubefedctl federate`, ampak moramo spisati konfiguracijo federiranih objektov sami. Najprej bomo z ukazom `kubectl tag` označili našo izolirano gručo (ali več njih). Potem pa bomo lastnosti `.clusterSelector.matchLabels` vsakega federiranega objekta, ki ga želimo izolirati, dodali označbe vseh izoliranih gruč. V takšnih primerih se nam ni potrebno posebej ukvarjati s sinhronizacijo podatkov, saj smo ali vse podatke obdržali v isti gruči ali pa sinhroniziramo na enak način kot v poglavju 7.

Poglavje 9

Upravljanje gruč na robu oblaka

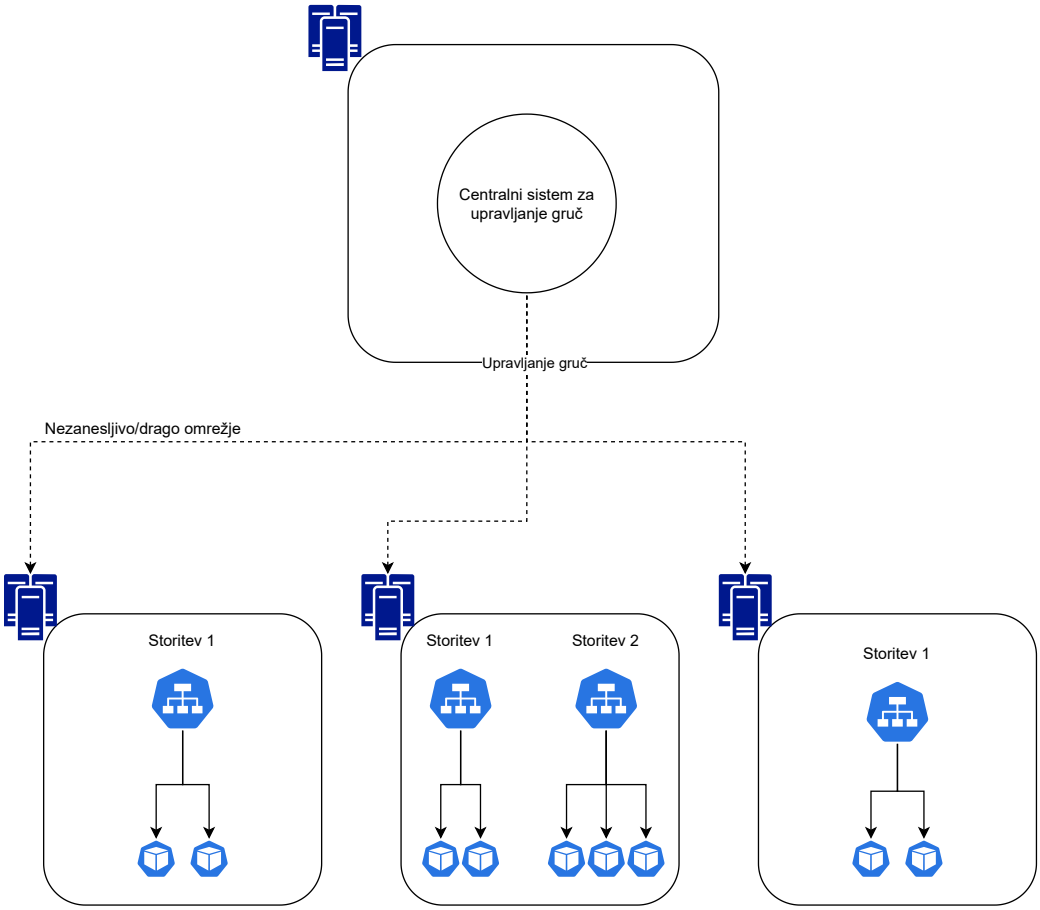
9.1 Gruče na robu oblaka

Razlogov zakaj gruče postavljamo na rob oblaka oziroma fizično bližje končnemu uporabniku je več. Za primer vzemimo zahtevo podjetja, da se morajo njihovi podatki obdelovati lokalno v njihovem podjetju. V našem primeru se bomo osredotočali na upravljanje takšnih gruč.

9.2 Implementacija s KubeFed

Ko enkrat povežemo vse gruče z ukazom `kubefedctl join` je njihovo upravljanje preprosto. Samo nastavimo v kateri gruči želimo katere objekte in naša naloga je končana. Zavedati se moramo, da nekaj prenosa podatkov porabi tudi KubeFed za sinhronizacijo, zato moramo biti pozorni, če se podatki prenašajo preko dragih mobilnih omrežji.

Nam pa KubeFed omogoča še eno možnost s svojo strukturo. Lahko s svojim kontrolerjem in vmesnikom KubeFed implementiramo še dodatne funkcionalnosti, kot so razporejanje obremenjenosti med lokalnimi strežniki in po potrebi povečujemo število primerkov ali pa kar razporejamo opravila



Slika 9.1: Primer upravljanja gruč na robu oblaka.

s Kubernetes Job objekti.

Z zelo preprosto integracijo v sistem Kubernetes nam KubeFed vmesnik tu omogoča zelo preprosto implementacijo katerekoli naše rešitve.

9.3 Sinhronizacija podatkov

V primeru gruč na robu oblaka bomo sinhronizacijo verjetno implementirali sami, saj le mi vemo kakšen problem rešujemo in zakaj smo sploh postavljali gruče na robu oblaka.

Za primer vzemimo hipotetični varnostni sistem korporacije, ki centralno

spremlja varnost v posameznih podružnicah. Sistem ima eno nadzorno kamero pri vhodu v vsako podružnico. Želimo, da naša kamera prepoznava obraze in na podlagi tega dovoljuje zaposlenim vstop. V našem centralnem sistemu pa želimo, hraniti seznam vstopov. En način reševanja tega problema je z gručami na robu oblaka. V vsako podružnico bi postavili gručo računalnikov Raspberry PI, ki so dovolj zmogljivi, da obdelujejo posnetke kamer in prepoznavajo obraze. Če posnetke obdelujemo lokalno, se izognemo pošiljanju veliki količini podatkov na centralne strežnike, posledično pa bo hitrejše tudi preverjanje zaposlenih. Tako bi na centralni strežnik pošiljali samo številko zaposlenega in čas vstopa. Takšen pristop bi prišel še toliko bolj do izraza, če imajo podružnice dostop do interneta samo prek dragega mobilnega omrežja, kjer lahko z zmanjšanjem prometa, zelo zmanjšamo tudi stroške podjetja. Vse te gruče na podružnicah bi imele zelo podobno strukturo in jih je smiselno centralo upravljati s kakšnim sistemom za povezovanje. Tu bi lahko uporabili pristop KubeFed ali pristop GitOps. Pošiljanje podatkov na centrali strežnik pa bi morali napisati sami in ga vgraditi v naš program za prepoznavo obrazov.

Poglavje 10

Sklepne ugotovitve

V diplomskem delu smo si pogledali teoretično ozadje povezovanja več računalniških gruč in osnove Kubernetesa. Predstavljenih je bilo tudi nekaj popularnih orodij za delo z več gručami Kubernetes. V praktičnem delu pa smo se posvetili predvsem reševanju pogostih problemov v industriji, ki zahtevajo povezovanje več gruč. Zato pa je bilo potrebo postaviti tudi ustrezno okolje za preizkušanje naših rešitev.

Z razvojem Kubernetesa se je razvilo tudi zelo veliko odprtokodnih orodij, ki omogočajo lažje upravljanje in povezovanje več gruč. Tako so napredne tehnologije prišle v roke širšemu krogu ljudi in jim omogočajo preprostejše reševanje težav. Kubernetes pa je s standardizacijo orkestracije zelo olajšal tudi možnost gostovanja aplikacije pri več različnih oblačnih ponudnikih, kjer se zopet pojavi problem povezovanja več gruč.

Področje orkestracije in povezovanja gruč se bo še zelo razvijalo in tema bo zagotovo zahtevala še veliko diplomskih del.

Literatura

[1] Brendan Burns, Brian Grant, David Oppenheimer, Eric Brewer, and John Wilkes. Borg, omega, and kubernetes: Lessons learned from three container-management systems over a decade. *Queue*, 14(1):70–93, January 2016.

[2] Apache Cassandra. Initializing a multiple node cluster (multiple datacenters). Dosegljivo: `https://docs.datastax.com/en/cassandra-oss/2.2/cassandra/initialize/initMultipleDS.html`, 2020. [Dostopano: 29. 12. 2020].

[3] CrateDB. Cratedb: the distributed sql database for iot and time-series data. Dosegljivo: `https://crate.io/`, 2020. [Dostopano: 29. 12. 2020].

[4] CrateDB. Cratedb: the distributed sql database for iot and time-series data. Dosegljivo: `https://crate.io/`, 2020. [Dostopano: 29. 12. 2020].

[5] odprtokodna skupnost Dennis Brentjes, Sjors Gielen. Picl k3os image generator. Dosegljivo: `https://github.com/sgielen/picl-k3os-image-generator`, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[6] P. T. Endo, G. L. Santos, D. Rosendo, D. M. Gomes, A. Moreira, J. Kelner, D. Sadok, G. E. Gonçalves, and M. Mahloo. Minimizing and managing cloud failures. *Computer*, 50(11):86–90, November 2017.

[7] Halim Fathoni, Chao-Tung Yang, Chih-Hung Chang, and Chin-Yin Huang. Performance comparison of lightweight kubernetes in edge devices. In Christian Esposito, Jiman Hong, and Kim-Kwang Raymond Choo,

editors, *Pervasive Systems, Algorithms and Networks*, pages 304–309, Cham, 2019. Springer International Publishing.

[8] Sayfan Gigi. *Mastering Kubernetes*. Packt Publishing Ltd, 2017.

[9] Tom Goethals, Filip De Turck, and Bruno Volckaert. Fledge: Kubernetes compatible container orchestration on low-resource edge devices. In Ching-Hsien Hsu, Sondès Kallel, Kun-Chan Lan, and Zibin Zheng, editors, *Internet of Vehicles. Technologies and Services Toward Smart Cities*, pages 174–189, Cham, 2020. Springer International Publishing.

[10] J. Gray and D. P. Siewiorek. High-availability computer systems. *Computer*, 24(9):39–48, 1991.

[11] Lukasz Guminski. Cluster federation in kubernetes 1.5. Dosegljivo: `https://kubernetes.io/blog/2016/12/cluster-federation-in-kubernetes-1-5/`. [Dostopano: 23. 11. 2020].

[12] Jakob Hostnik. Connecting kubernetes clusters. Dosegljivo: `https://github.com/hostops/connecting-kubernetes-clusters`, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[13] Jakob Hostnik. Stateful rest sample. Dosegljivo: `https://github.com/hostops/stateful-rest-sample`, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[14] Jakob Hostnik. Stateful rest sample. Dosegljivo: `https://hub.docker.com/r/hostops/stateful-rest-sample`, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[15] Shashidhara T D Irfan Ur Rehman, Paul Morie. Kubernetes federation evolution. Dosegljivo: `https://kubernetes.io/blog/2018/12/12/kubernetes-federation-evolution/`, 2018. [Dostopano: 20. 12. 2020].

[16] M. S. Islam Shamim, F. Ahamed Bhuiyan, and A. Rahman. Xi commandments of kubernetes security: A systematization of knowledge rela-

ted to kubernetes security practices. In *2020 IEEE Secure Development (SecDev)*, pages 58–64, 2020.

[17] Lauren Milechin Siddharth Samsi William Arcand David Bestor William Bergero Chansup Byun Matthew Hubbell Michael Houle Michael Jones Anne Klein Peter Michaleas Julie Mullen AProut Antonio Rosa Charles Yee Albert Reuther Jeremy Kepner, Vijay Gadepally. A billion updates per second using 30, 000 hierarchical in-memory D4M databases. *CoRR*, abs/1902.00846, 2019.

[18] Dongmin Kim, Hanif Muhammad, Eunsam Kim, Sumi Helal, and Choonhwa Lee. Tosca-based and federation-aware cloud orchestration for kubernetes container platform. *Applied Sciences*, 9(1), 2019.

[19] V. B. Mendiratta L. Fiondella, S. S. Gokhale. Cloud incident data: An empirical analysis. In *2013 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E)*, pages 241–249, 2013.

[20] Rancher Labs. K3os. Dosegljivo: `https://github.com/rancher/k3os`, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[21] Rancher Labs. K3s: Lightweight kubernetes. Dosegljivo: `https://k3s.io/`, 2020. [Dostopano: 16. 11. 2020].

[22] Marino Lorenzo. Dynamic application placement in a kubernetes multi-cluster environment. Magisterska naloga, Politecnico di Torino, 2020.

[23] Raspberry Pi Trading Ltd. Raspberry pi 4 computer model b. Dosegljivo: `https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/200521+Raspberry+Pi+4+Product+Brief.pdf`. [Dostopano: 20. 1. 2021].

[24] Marzieh Malekimajd, Ali Movaghar, and Seyedmahyar Hosseinimotlagh. Minimizing latency in geo-distributed clouds. *The Journal of Supercomputing*, 71(12):4423–4445, Dec 2015.

[25] Karim Manaouil and Adrien Lebre. Kubernetes and the edge? Raziskovalno poročilo RR-9370, Inria Rennes - Bretagne Atlantique, 2020.

[26] Cloud native computing foundation. Cncf cloud native interactive landscape. Dosegljivo: https://landscape.cncf.io/, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[27] Platform9. Difference between multi-cluster, multi-master, multi-tenant & federated kubernetes. Dosegljivo: https://platform9.com/blog/difference-between-multi-cluster-multi-master-multi-tenant-federated-kubernetes/. [Dostopano: 20. 11. 2020].

[28] ArgoCD skupnost. Argo cd - declarative gitops cd for kubernetes. Dosegljivo: https://argoproj.github.io/argo-cd. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[29] ArgoCD skupnost. Declarative setup. Dosegljivo: https://argoproj.github.io/argo-cd/operator-manual/declarative-setup. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[30] ArgoCD skupnost. Who uses argo cd? Dosegljivo: https://github.com/argoproj/argo-cd/blob/master/USERS.md. [Dostopano: 20. 1. 2021].

[31] Cilium skupnost. Introduction to cilium & hubble. Dosegljivo: https://docs.cilium.io/en/latest/intro/. [Dostopano: 3. 1. 2020].

[32] Cilium skupnost. Multi-cluster (cluster mesh). Dosegljivo: https://docs.cilium.io/en/latest/concepts/clustermesh/. [Dostopano: 3. 1. 2020].

[33] Cilium skupnost. Set up cluster mesh. Dosegljivo: https://docs.cilium.io/en/latest/gettingstarted/clustermesh/. [Dostopano: 3. 1. 2020].

[34] KubeEdge skupnost. Kubeedge. Dosegljivo: https://kubeedge.io. [Dostopano: 20. 1. 2021].

[35] Kubefed skupnost. Kubefed. Dosegljivo: https://hub.docker.com/r/hostops/kubefed, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[36] KubeFed skupnost. kubefed: remove crossclusterservicediscovery feature. Dosegljivo: https://github.com/kubernetes-sigs/kubefed/issues/1283, 2020. [Dostopano: 16. 11. 2020].

[37] Kubernetes skupnost. Assigning pods to nodes. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/scheduling-eviction/assign-pod-node/. [Dostopano: 20. 1. 2021].

[38] Kubernetes skupnost. Deployments. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/workloads/controllers/deployment/. [Dostopano: 3. 1. 2021].

[39] Kubernetes skupnost. Federated cluster. Dosegljivo: https://v1-16.docs.kubernetes.io/docs/tasks/federation/administer-federation/cluster/. [Dostopano: 23. 11. 2020].

[40] Kubernetes skupnost. Kubefed repozitorij. Dosegljivo: https://github.com/kubernetes-sigs/kubefed. [Dostopano: 23. 11. 2020].

[41] Kubernetes skupnost. Kubefed user guide. Dosegljivo: https://github.com/kubernetes-sigs/kubefed/blob/master/docs/userguide.md. [Dostopano: 23. 11. 2020].

[42] Kubernetes skupnost. Network policies. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/services-networking/network-policies/. [Dostopano: 20. 1. 2021].

[43] Kubernetes skupnost. Pods. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/workloads/pods/. [Dostopano: 3. 1. 2021].

[44] Kubernetes skupnost. Service. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/services-networking/service/. [Dostopano: 3. 1. 2021].

[45] Kubernetes skupnost. Set up cluster federation with kubefed. Dosegljivo: https://v1-16.docs.kubernetes.io/docs/tasks/federation/set-up-cluster-federation-kubefed/. [Dostopano: 23. 11. 2020].

[46] Kubernetes skupnost. Statefulsets. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/workloads/controllers/statefulset/. [Dostopano: 3. 1. 2021].

[47] Kubernetes skupnost. What is kubernetes? Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[48] oprtokodna skupost Stephen Dolan. Github - stedolan/jq: Command-line json processor. Dosegljivo: https://github.com/stedolan/jq, 2020. [Dostopano: 20. 01. 2021].

[49] M. A. Tamiru, G. Pierre, J. Tordsson, and E. Elmroth. Instability in geo-distributed kubernetes federation: Causes and mitigation. In *2020 28th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)*, pages 1–8, 2020.