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

Jakob Hostnik

Povezovanje gruč Kubernetes

DIPLOMSKO DELO

INTERDISCIPLINARNI UNIVERZITETNI
ŠSTUDIJSKI 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:

TODO Besedilo teme diplomskega dela študent prepiše iz študijskega informacijskega sistema, kamor ga je vnesel mentor. V nekaj stavkih bo opisal, kaj pričakuje od kandidatovega diplomskega dela. Kaj so cilji, kakšne metode uporabiti, morda bo zapisal tudi ključno literaturo.

Pripombe dodal [u1]: ? To je tematika naloge?

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

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 ~~naših~~ strežnikih začne zmanjkovati virov, obstajata dva standardna načina za povečanje virov v našem sistemu. Prva možnost je, da strežnike nadgradimo ~~naše strežnike~~, druga pa, da jih kupimo več in jih povežemo v računalniško gručo. V zadnjih letih se je na ~~slednjem~~ 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. ~~Pogledali~~Predstavili ~~si~~ bomo ozadje povezovanja gruč in ~~kakšne~~ pristope, ki jih lahko uporabimo za reševanje naših problemov. Poseben poudarek ~~pa~~ bomo dali tudi na sinhronizaciji~~o~~ podatkov, saj je to eden zahtevnejših delov pri upravljanju več računalniških gruč. ~~Ugotovimo~~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.

Oblikovano: Pisava: Ležeče

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 in a cluster. There has been a major breakthrough in this field with the release of Kubernetes system in the 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

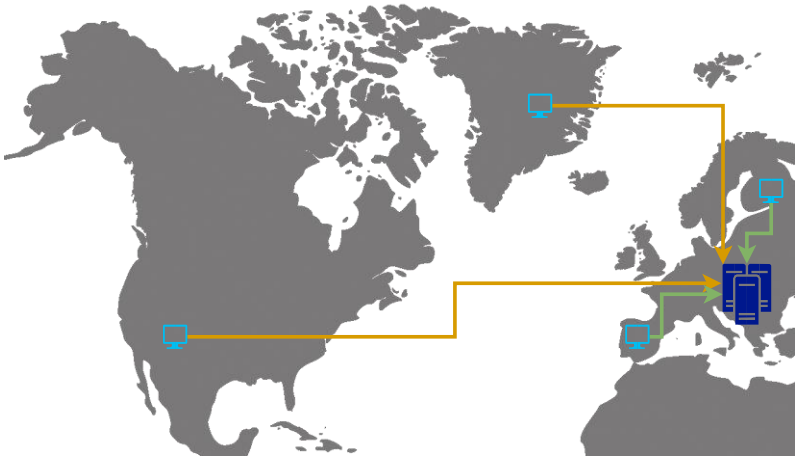
Leta 2014 je Google objavil kodo sistema za orkestracijo kontejnerjev Kubernetes [47] [1]. Kubernetes je univerzalni način, ki ~~nam~~ omogoča, da več računalnikov povežemo v gručo, ki deluje kot ~~ena~~ samostojna enota. Povezovanje strežnikov v gruče ~~nam~~ vsaj teoretično omogoča visoko razpoložljivost (HA) naših storitev [8] in sinhrono delovanje več računalnikov. 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. Po~~siz~~kusili 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 ~~tem~~ diplomskem delu bomo obravnavali rešitve problema povezovanja računalniških gruč in primere uporabe, ki izvirajo iz potreb industrije. Vsakemu primeru bomo poiskali rešitev v okolju Kubernetes ~~okolju~~ z uporabo orodja KubeFed, poudarek pa bomo dali na sinhronizacijo podatkov.

1.2.1 Prevelika latenca

Problem prevelike latence se pojavi v primeru počasnega prenosa podatkov iz naše gruče do uporabnikov [23]. Ko problem povzroča velika fizična razdalja, ga rešimo tako, da ~~s postavitvijo~~ postavimo dodatne gruče bližje naših uporabnikov, denimo na njihovo celino. ~~Č~~Če pa ~~postavimo~~ gruče postavimo še bližje našim končnim uporabnikom, na primer v njihovo podjetje ali dom, pa govorimo o gručah na robu oblaka. Zavedati se moramo, da strežniki v gruči zelo veliko komunicirajo, zato je priporočljivo, da ~~so tudi~~ se nahajajo v istem omrežju znotraj istega podatkovnega centra, saj se s tem izognemo veliki latenci [24].



Slika 1.1: Problem prevelike latence.

1.2.2 Višja 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 [25]. ~~Č~~Če gre v takšnem primeru za oblačnega ponudnika, ~~kjer~~ pri katerem imamo nameščeno ~~našo~~ 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 ~~naše~~ svoje uporabnike preusmerimo v drug podatkovni center.

1.2.3 Potreba po izolaciji aplikacij

Ko govorimo o izolaciji aplikacije, se ~~nanašamo~~ 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 ~~sam~~ 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 ~~nedosegljiva~~, s tem pa vse aplikacije v tej gruči. ~~Ce~~ Če postavimo del neodvisnih aplikacij v drugo gručo, ~~smo~~ s tem prepreči~~li~~ njihov izpad ob napaki v prvi gruči. Izolacija pa je pomembna tudi z varnostnega vidika. ~~C~~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. ~~C~~Če imamo vsako od ~~naših~~ aplikacij v svoji gruči, pa se temu lahko izognemo.

Poglavje 2

Problem povezovanja gruč

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

Zaradi prevelike latence ali drugih ovir računalnikov ne moremo povezati v eno tesno gručo [24]. ~~Te r~~Računalnike lahko vedno povežemo vsaj 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.

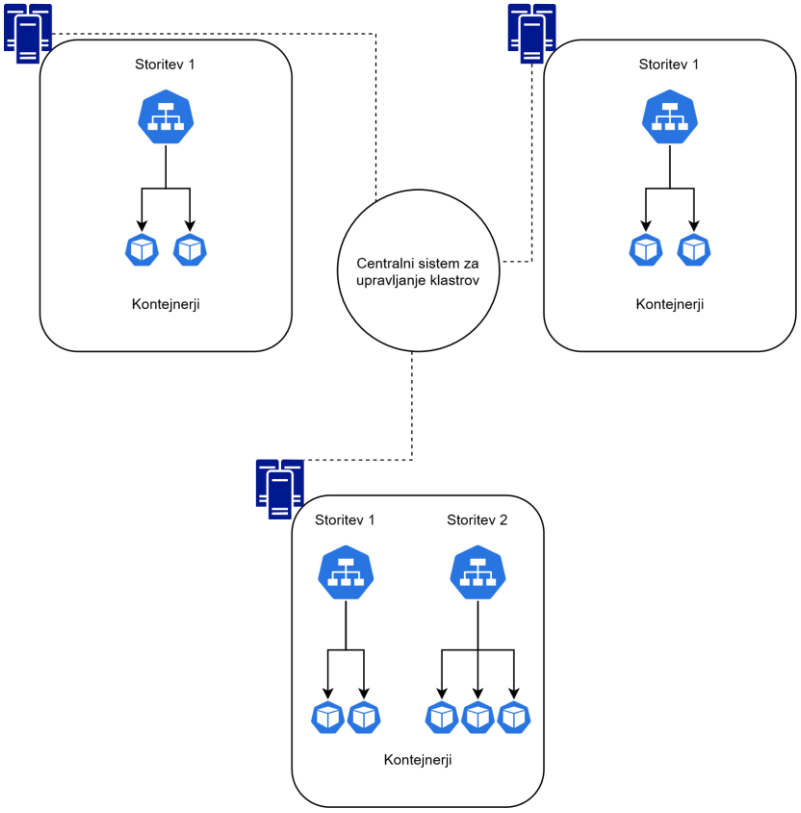
Ko govorimo o tesni povezanosti znotraj gruče, velja, da ima vsako vozlišče dostop do vsakega, da vsak kontejner lahko komunicira z vsakim in, da so vozlišča v istem hitrem notranjem omrežju podatkovnega centra. Pričakujemo, da sistem, ki ga uporabljamo za gručenje, omogoča razporejanje zaželenih storitev in kontejnerjev med strežniki in v primeru izpada vozlišča to odstrani iz sistema, ~~in~~ 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, ~~ohranja~~ svoje storitve in kontejnerje ohranja v delovanju. Naloge sistemov za povezovanje gruč ~~pa~~ so: omogočanje centralnega nadzora nad storitvami v gručah, prerazporejanje teh storitev med

Oblikovano: Zamik: Prva vrstica: 0,61 cm

Pripombe dodal [u2]: Kako to mislite VSAJ v več gruč? Ne vidim smiselnosti v uporabi besede VSAJ na tem mestu, saj za tem nimate konkretne številke (mogoče ste mislili: Vsaj v **nekaj** različnih gruč?)

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 povezanih več 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 ~~vseeno~~ niso pravi začetki Kubernetesa. Začelo se je leta 2003, ko je Google začel z razvojem sistema za upravljanje njihovih notranjih gruč Borg. PozKasneje, leta 2013, je Google predstavil sistem Omega. ~~l~~Leta 2014 pa je ~~Google~~ objavil odprtokodni projekt Kubernetes. Projekt je bil zasnovan na podlagi dobrih praks upravljanja s kontejnerji, ki so se jih pri Googlu naučili skozi leta. PozKasneje je upravljanje nad projektom prevzela organizacija Cloud Native Computing Fundation.

3.2 Osnovni pojmi

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

API ~~ja~~, ali pa smo jih definirali sami (CRD). Najpogostejši tipi objektov, ki se pojavijo v Kubernetesu, so pod, *service*, *deployment*, *stateful set* in objekti za delo z diski.

Pripombe dodal [u3]: Če mislite, da je Google razvijal sistem za upravljanje notranjih gruč Kubernetesa, je tako v redu.

Če mislite, da da je Google razvijal sistem za upravljanje lastnih notranjih gruč (torej Googla), napišite **svojih.** Torej: svojih notranjih gruč Borg.

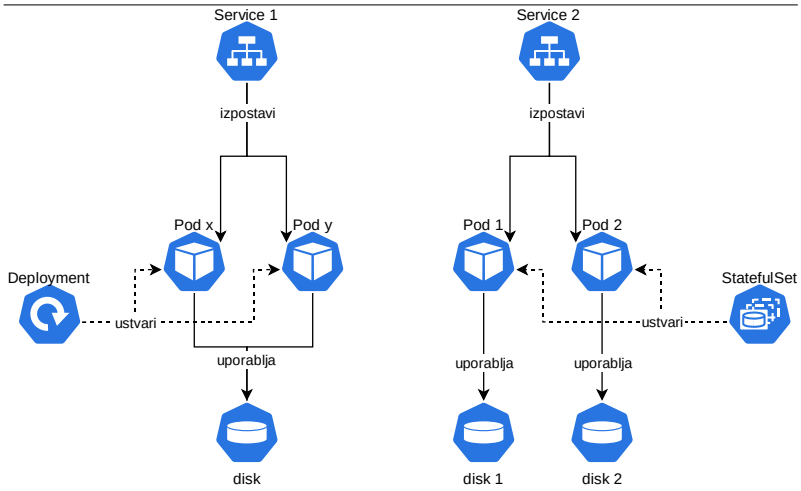
Pripombe dodal [u4]: Ker to niso slovenske besede, ampak strokovne tujke, ki se v stroki uporabljajo v angleški obliki, predlagam, da jih v besedilu zapišete ležeče. Tako ponavadi naredimo npr. z latinskimi izrazi, tudi z angleškimi. To pa ne velja za angleške besede, ki so naslov ali ime nekega produkta in se pišejo z veliko (v takšnih primerih jih že velika začetnica ločuje od tekočega besedila v slovenščini).

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče



Slika 3.1: Primer delovanja objektov 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 pode ene mikrostoritve [44]. Kubernetes iz objekta v notranjem DNS ustvari domeno za mikrostoritev in dinamično razvršča promet med našimi podi. Objekte *service* uporabljamo tako, da namesto pošiljanja zahtevkov neposrednoneposredno ~~direktno~~ na IP- naslov pPoda~~,~~

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

delamo klice na ustvarjeno domensko ime storitve, na primer *curl ime-storitve*. Takšen zahtevek ~~potem~~ nato dobi ~~en~~ eden izmed označenih podov v objektu *service*.

3.2.3 Deployment

Deployment je objekt, ki mu podamo število želj~~i~~enih objektov pod in predlogo za njihovo izdelavo [38]. ~~Potem pa n~~Notranje storitve Kubernetesa nato zagotavljajo, da bo obstajalo toliko takšnih objektov tipa pod, kot smo jih navedli v objektu *deployment*~~u~~. Takšno stanje se ~~poizkuša~~ poskuša ohranjati tudi ob raznih težavah in izpadih vozlišč.

3.2.4 Stateful s~~S~~et

Ta objekt je ~~Objekt~~ zelo podoben objektu *deployment*~~u~~, le da *statefulset* vsakemu podu 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 *stateful_set* pa je tudi v polju *volume c~~C~~laim_t~~T~~emplate*. *Stateful_set* omogoča vsakemu podu, da ~~si~~ ustvari in uporablja svoj disk. Uporablja pa se za podatkovne baze in podobne storitve, ki morajo ohranjati stanja.

Pripombe dodal [u5]: Kako to mislite? Imamo glagol: kličemo. Če je **delati klice** strokovni izraz, potem je v redu, pustite. Raziskovala sem, a tega izraza nisem našla.

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Pripombe dodal [u6]: Če je ime tega polja striktno VolumeClaimeTemplate in se kot tako uporablja v strokovni literaturi, ki ste jo obravnavali, potem lahko pišete tudi tako, ampak mora biti po vsem dokumentu poenoteno (torej vse troje z velikimi črkami in brez presledkov, kar sicer ni slovenska varianta, ampak v jeziku sodobnih tehnologij prevzeta iz angleščine).

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Poglavje 4

Pregled področja in literature

V tem poglavju si bomo pogledali predstavili nekaj ključnih del in literature na s področjau povezovanja gruč Kubernetes. V delih je sta pogosto za federacijo pogosto izbrana sistema Federation 1 ali Federation 2 zaradi tesne povezanosti s sistemom Kubernetes [18] [21] [24].

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 tega 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 [21] 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 avtomatskega skaliranja vozlišč, omejitve lokacije obdelovanja podatkov. V delu je predlaganih tudi nekaj programov za upravljanje gruč, v rešitvi ~~svojega~~ problema pa je avtor 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~~v delu je ~~namenjena~~ posebna pozornost namenjena sinhronizaciji podatkov, 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 predstavljalo oviro. Tako je avtor poleg rešitve s KubeFed pripravil še svojo rešitev, ~~kjer~~ v kateri implementira samo potrebne funkcionalnosti.

Vir [24] pa se posveti področju upravljanja aplikacij na robu oblaka, kjer pride centralno upravljanje zaradi večjega števila gruč ~~centralno upravljanje pride~~ še bolj do izraza. V poročilu je ~~postavljena~~ gruča Kubernetes postavljena v prostrano omrežje (WAN). Avtorji so primerjali delovanje ene gruče preko prostranega omrežja z delovanjem iste gruče preko lokalnega omrežja. ~~Izpostavijo pomembnost previdnosti p~~Pri takšnem pristopu v gručah na robu oblaka izpostavijo pomembnost previdnosti, 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 ~~s~~ sistemom KubeEdge pomembno omejitev, saj imajo vozlišča ~~še vedno premalo avtonomnosti~~ v primeru izpada iz omrežja še vedno premalo avtonomnosti. Izpostavljeno je, da te slabosti rešimo s federacijo in sistemom KubeFed, ki je v nadaljevanju podrobneje opisan. Č~~Č~~e je vsako vozlišče v svoji gruči, potem~~č~~ 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. TodaA takšen ta pristop je ne ni učinkovit, 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 ga bo ta objekt ustvaril v izbranih gručah. Odvisno od naših potreb Glede na potrebe pa lahko uporabimo sistem, ki omogoča tudi dinamično odkrivanje storitev z enako definicijo v različnih gručah, komunikacijo med storitvami v različnih gručah, dinamično odkrivanje podov med gručami in komunikacijo med podi v različnih gručah. Te funkcionalnosti znotraj ene gruče nudi že Kubernetes sam. Je pa seveda odvisno oOd našega primera pa je odvisno, katere funkcionalnosti želimo uporabiti in kako kompleksno postavitev potrebujemo. V nadaljevanju si bomo ogledali predstavili različne sisteme za povezovanje gruč Kubernetes, njihove glavne prednosti in značilnosti.

Pripombe dodal [u7]: Funkcije?

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~~ sto podjetiji, ki ga uporabljajo pri razvoju svojih spletnih aplikacij ~~uporabljajo pristop GitOps~~ [30].

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

Pripombe dodal [u8]: Naprednih funkcij?

5.1.2 Sinhronizacija objektov z ArgoCD

ArgoCD podpira več različnih formatov konfiguracije gruče [28]. Uporabimo lahko ~~YAML~~ format datoteke YAML 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~~vsaki izmed njih. ArgoCD pa nam omogoča tudi pošiljanje konfiguracije v oddaljene gruče [29]. To pomeni, da imamo lahko kontroler ArgoCD nameščen samo v eni gruči.

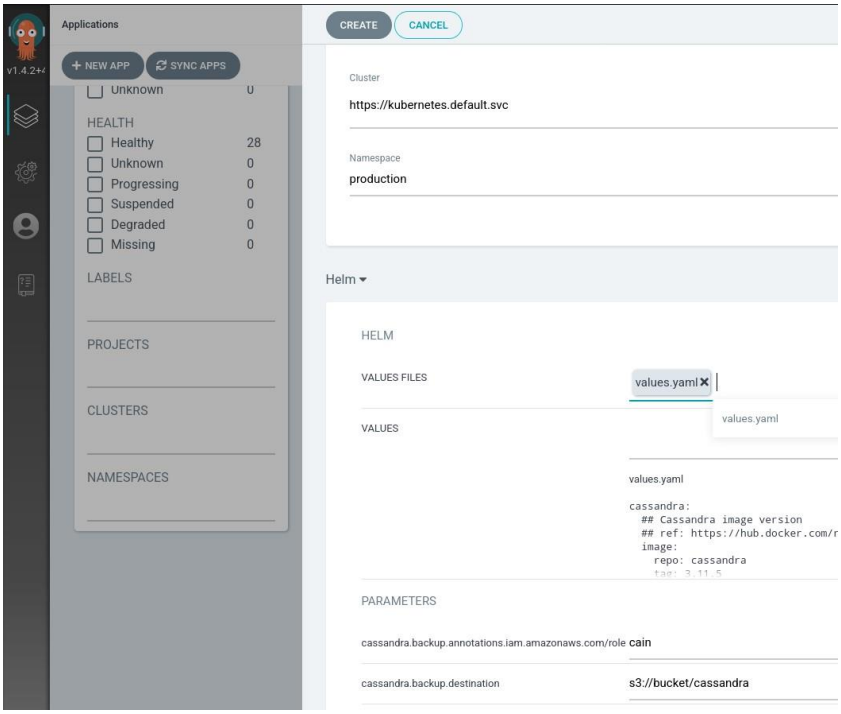
~~Ce~~ Če ne želimo, da imajo vse gruče popolnoma enako infrastrukturo in na~~.~~meravamo prilagoditi konfiguracijo posamezne gruče. V tem primeru l uporabili format zapisa konfiguracije, ki podpira predloge. ArgoCD na ponuja možnost, da ročno določimo spremenljivke predlogam. Tako lahko uporabimo na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

Pripombe dodal [u9]: Nedokončan stavek. Dopolnite, KAJ se zgodi ali KAJ naredimo, če tega ne želimo? Nadaljujete tako, da namesto pike postavite vejico in dopolnite.

izberemo ~~svojo~~ lastno datoteko s spremenljivkami. Glede na preprostost delovanja takšnega sistema se moramo zavedati, da od njega ne moremo pričakovati nikakršnih naprednih funkcionalnosti, kot sta dinamičn

Pripombe dodal [u10]: funkcij?

odkrivanje storitev ~~ali~~ in komunikacija podov 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 objekti Kubernetes

objekti [39]. Objekte, ki so bili poslani kontrolerju federacije, je potem Federation V1 nato ustvaril tudi v pripadajočih gručah. Pristop zaradi mnogih pomanjkljivosti in pomankanja možnosti naprednejših konfiguracij ni uspel pridobiti statusa GA. GA fFaza GA v Kubernetesu pomeni, da se uporabniki lahko zanašajo na projekt, ga uporabljajo in ob tem 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 pozneje razvil projekt Federation V2 [15]. Glavna razlika s prvo verzijo različico je 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 *Ffederated Ddeployment* [41 Objekte FFederated objekte je treba najprej vklopiti z ukazom *kubefedc enable*.

Oblikovano: Pisava: Ležeče
Oblikovano: Pisava: Ležeče
Oblikovano: Pisava: Ne Ležeče
Oblikovano: Pisava: Ležeče

```
kubefedctl enable deployment
```

Orodje kubefedctl si moramo namestiti na naš svoj računalnik. Takšen objekt 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 objektov CRD objektov.

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



```
      # izbira gručč
  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 podpira 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~~ preteče še nekaj časa preden doseže status GA, če slučajno ne bo šel po stopinjah svojega predhodnika.

Pripombe dodal [u11]: funkcije

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 sta, 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 HTTP in podobne varnostne funkcionalnosti na popularnih protokolih aplikacijskega nivoja [31].

Pripombe dodal [u12]: funkcije?

Ker Cilium implementira precejšen~~i~~ del mreženja in povezovanja v Kubernetesu, pa nam s tem lahko ponudi tudi nekaj zelo naprednih možnosti, ko med seboj povezujemo več različnih gruč Kubernetes. Tako nam Cilium kot ključno prednost ~~Cilium~~ omogoča tudi komunikacijo med podi 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 dosegljiva.

Oblikovano: Pisava: Leže

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 so 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 je zelo podobno, če uporabimo nekaj ~~1000~~ tisoč vozlišč v gruči v oblaku ali pa lokalno gručo z enim vozliščem. Raspberry PI 4 je majhen (85 x 56 x 20 mm) in manj zmogljiv računalnik na eni sami plošči [22]. 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 ~~S~~sliki 6.1. Takšna postavitev pa je lahko tudi primer gruče na robu oblaka – to, ~~kar~~ je bolj podrobno opisano v poglavju 9.

19

Slika 6.1: Postavitev gruč Raspberry PI.

6.2 K3S in K3OS

Obstaja več implementacij Kubernetesa. ~~in m~~Mi bomo uporabili z viri varčno odprtokodno implementacijo K3S od podjetja Rancher [20] [7] [9]. Hkrati so v podjetju Rancher pripravili distribucijo operacijskega sistema Linux K3OS [19]. Gre za minimalen operacijski sistem s prednameščenim sistemom K3S. Težava se pojavi, ker ~~še ni pripravljene~~ uradnae verzijae operacijskega sistema za ploščice Raspberry PI še ni pripravljena. ~~A k~~K sreči pa se je v ta namen začel odprtokodni projekt *PiCl k3os image generator*~~"~~, ki ~~nam~~ iz slik operacijskih sistemov ~~"~~

Pripombe dodal [u13]: S strokovnega vidika bi jaz svetovala, da tukaj naredite piko. V strokovnih besedilih, med katera spadajo tudi zaključne naloge, se praviloma izogibamo »napovedovanju« v tekočem besedilu (v smislu: več o tem bomo napisali v naslednjem poglavju). To je značilno za kakšna publicistična besedila (novinarstvo, revije …). Ni pa narobe, tako da se sami odločite – samo svetujem ☺

Oblikovano: Pisava: Ležeče

K3O

in Raspberry OS ter~~in~~ konfiguracijskih datotek zgradi novo slik operacijskega sistema za naš Raspberry PI [5]. Konfiguracijske datoteke, jih moramo priložiti, so standardne ~~YAML~~ datoteke YAML, ki jih podpir sistem K3OS. Vanje zapišemo nastavitve, kot so ~~SSH~~ javni ključi za dostop SSH,

podatki od ~~WiFi~~ omrežja Wi-Fi, na katerega se povezujemo, geslo, žeton za povezavo z~~s~~ gručo Kubernetes in način, v katerem želimo zagnati K3S na sistemu [19]. ~~V~~

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

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

Pripombe dodal [u14]: Na primer tukaj tudi nimate zamaknjene/viseče vrstice, s katero uvajate nov odstavek. Pravila za odstavke so: lahko jih uvajamo na dva načina, eden je z zamaknjeno prvo vrstico, drugi pa z linearno poravnavo in prazno vrstico.

Pripombe dodal [u15]: Tega v wordu ne morem popraviti nazaj v obliko, kot jo imate v pdf-ju … V označenem delu ni nobenih sprememb glede na vaš pdf dokument, tako da ohranite, kot imate (ni popravkov).

Pripombe dodal [u16]: Predlog V imate tudi v pdf-ju »presekan« - dajte ga skupaj s stavkom, kot sem naredila tukaj. Opozarjam, da ne bi spregledali ☺

6.3 Demonstracijska spletna aplikacija

Za potrebe testiranja je bilo ~~potrebno~~ treba narediti novo testno mikrostoritev. Ker se želimo 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 ARM, 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.

Pripombe dodal [u17]: Nerazumljivo: KOGA/KAJ izpostavi vmesnik REST na mrežnih vratih?
Pred **podanih** in za **okolja** mora biti vejica (glede na napisano razumem, da so mrežna vrata podana s spremenljivko okolja).

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

Pripombe dodal [u18]: Nič popravkov, vse isto, kot imate v pdf-ju.

Za shranjevanje podatkov bomo uporabili dve ~~2~~ različni ~~SQL~~ bazi podatkov SQL. Postgres, ki je preprosta za lokalni razvoj, a ne omogoča napredne sinhronizacije podatkov med strežniki, in CrateDB, ki je bil zasnovan kot baza 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~~ treba zgraditi novo sliko kontejnerja, ki je javno objavljena [35]. Potem pa smo uporabili originalno ~~HELM~~ predlogo HELM, ~~kjer~~ pri čemer 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 KubeFed.

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 vi iz sledečega izpisa.

Oblikovano: Pisava: Leže

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 naš objekte dodajamo v vse gruče hkrati. Več o tem je napisano v poglavjih, kje ukaze tudi uporabljamo.

Pripombe dodal [u19]: Takšnih ukazov vam nisem dajala v ležeče, ker vidim, da imate v pdf-ju za to itak drugačno pisavo, kar je odličen izbor ☺ Pomembno je, da se loči in da je jasno, o čem govorite …

Pripombe dodal [u20]: Enak komentar kot zgoraj, jaz bi to odstranila. Utemeljitev: s tem ne poveste nič temeljnega in strokovnega za vašo temo.

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~~ Če t~~našo~~ o aplikacijo ponudimo vsem upo~~~~rabnikom na globalnem trgu, se nam bo pojavil problem velike latence [23]. 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~~ Čepa moramo podatke med gručami~~~~ še sinhronizirat~~l~~i, pa to zahteva dodaten trud. V našem primeru bomo uporabili podatkovno bazo CrateDB [3], novejšo alternativo standardnim ~~SQL~~ podatkovnim bazam SQL. 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~~ treba konceptualno spreminjati ~~naše~~ aplikacije, saj podpira vmesnik podatkovne baze PostgreSQL.

7.2 Povečanje razpoložljivosti aplikacije

~~Če~~ 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~~ ves 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 to pomeni, da je nedosegljiv ~~cel~~ ves podatkovni center in s tem gruča v njem. ~~Če uporabljamo strežnike v˘ oblaku, pa gremo lahko še korak dlje~~ Z~~z~~ zagotavljanjem razpoložljivosti gremo lahko še korak dlje, če uporabljamo strežnike v oblaku. Če~~Če˘~~ nam ni dovolj niti to, da uporabimo različne razpoložljivostne cone in podatkovne centre oblačnih ponudnikov, lahko ~~postavimo naše~~svoje gruče postavimo pri več različnih ponudnikih. Takšen pristop je opisan v članku [18], omogoča pa ga predvsem neodvisnost Kubernetesa od platform.

Pripombe dodal [u21]: Ste mislili **razpoložljive**? (to pomeni tiste, ki SO NA VOLJO). Besede **razpoložljivosten** nimamo.

7.3 Povezovanje med podatkovnimi centri

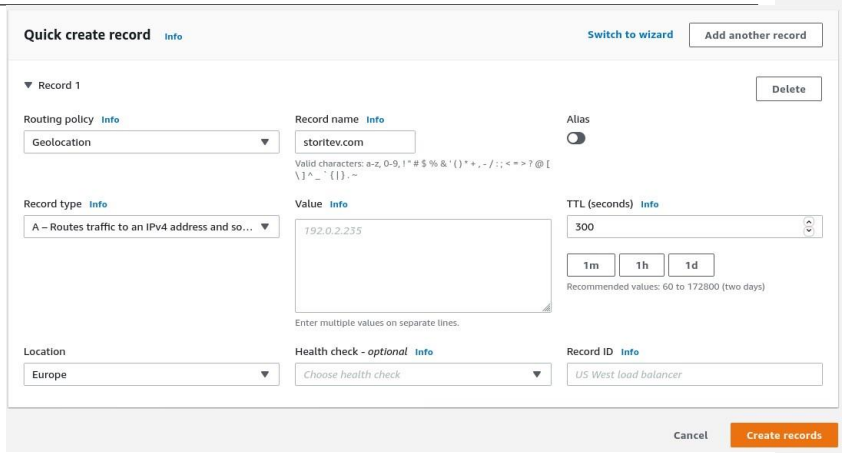
Rešitev za oba omenjena problema je enaka. Postaviti moramo gruče v več različnih podatkovnih centrih in jih nastaviti, da bodo delovale usklajeno. ~~Odvisno od problema bodo te~~ Ti podatkovni centri bodo bližje uporabniku ali pa v lasti različnih oblačnih ponudnikov – odvisno od problema. ~~A~~ ~~p~~Princip pa 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 še vedno preusmeriti na njim najbližjo gručo. ~~Uporabnike lahko~~ Lahko jih ~~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~~ uporabnikov ne bomo usmerjali preko javnih strežnikov DNS, saj v lokalnem okolju to ni smiselno.

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče



Slika 7.1: Ustvarjanje geolokacijskega zapisa DNS v storitvi ROUTE53.

Naslednja možnost ~~pa~~ je rešitev, ki se ~~jo~~ je poslužujejo nekatere internetne računalniške igre (npr. Among US), in sicer, 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 z shranjevanje uporabljala podatkovno bazo CrateDB, ki bo postavljena objektom *stateful set*, diskom na lokalni SD ~~-~~kartici, in dvema objektom *service*. Prvi objekt *service* je zunanji in se bo uporabljal za dostop do baz drugi pa je notranji in ga bomo uporabljali za prepoznavo ostalih primerko CrateDB v gruči. Vsa konfiguracija je javno objavljena na repozitoriju Git [12 Postavimo jo z ukazom kubectl apply -f diploma-demo-1. Takoj

Pripombe dodal [u22]: Ko boste vnašali popravke, pazite na te navednice – v slovenskem besedilnem sistemu se uporabljajo te in ne dve črtici.

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

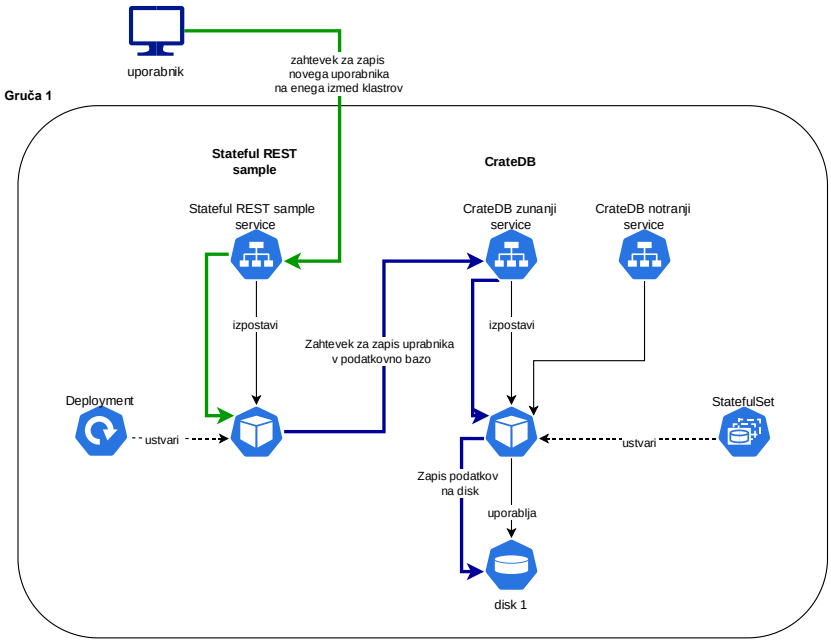
Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Pripombe dodal [u23]: Upam, da vidite tudi te popravke, vstavila sem presledek.



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 po~~siz~~kusimo dodati uporabnika in izpisati vse uporabnike. To naredimo z naslednjima ~~curl~~ ukazoma curl.

```
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 *stateful set*. Vklopimo jih z naslednjim ukazom, ki

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

Oblikovano: Pisava: Ležeče

za nas ustvari nove federirane tipe objektov na izbranih tipih.

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

Ko ~~smo si~~ vklopimo~~li~~ federacijo na vseh potrebnih tipih, pa moramo ~~še~~ vklopiti še 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 delovanja~~e~~ z ~~s curl~~ ukazom curl 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

~~Ce~~ Če želimo pred uporabnikom skriti, da uporabljamo več gruč, moramo poleg~~č~~ geolokacijskih zapisov DNS~~,~~ urediti tudi avtomatsko sinhronizacijo podatkov. ~~Sicer v~~V našem primeru res uporabljamo samo en primerek baze 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 uporaboa globalnih storitev, saj nam Cilium že omogoča komunikacijo vsakega poda z vsakim, tudi če so ti v različnih gručah. Druga možnost pa je, da izpostavimo vsak pod s svojim javnim IP--naslovom in jih v gručo ročno povežemo ročnov gručo.

Potem pa moramo nastaviti še nastavitve, ki jih baza podpira, za zmanjšanje šanje 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. ČČe ne uporabimo pri-merne 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 REST in ukazom jq [48] za razčlenjevanje podatkov. Podatki se sinhronizirajo vsakih deset10 sekund. Primer še testiramo Po testiranju primera in dobimo spodnji izhod, kar potrdi, da so se podatki uspešno sinhronizirali.

```
curl -s -X POST gruca-1/users|jq \
```

Pripombe dodal [u24]: Enako kot prej, mislite razpoložljive cone? Lahko da gre za termin vaše stroke – sem preverjala, a žal nisem našla, tako da … vi najbolje veste, ali se ta besedna zveza uporablja v vaši stroki pogosto. Če se, potem je v redu tako, kot imate – razpoložljivostna cona.

Oblikovano: Zamik: Levo: -0,01 cm, Prva vrstica: 0 cm

Pripombe dodal [u25]: Če lahko, bi bilo tu bolje uporabiti konkretno besedo, konkretno *stvar*. Beseda STVAR je namreč tako poljubna in ne deluje strokovno.

Pripombe dodal [u26]: Če tukaj ni nujno, potem izpustite besedo NAŠEGA. Ohranite jo samo, če je ta vmesnik REST lahko tudi od koga drugega – glede na kontekst mislim, da je jasno, da gre za vašega in zato se to ne rabi poudarjati. Veliko uporabljate zaimek »naš«, kar je precej moteče. Kjer ni bilo nujno, sem odstranila.

--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 [25]. Vseeno pa lahko kljub vdorom in napakam, zaradi katerih postanejo naši sistemi nedosegljivi, vedno ~~lahko~~ po~~iz~~skusimo 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~~ s čimer je 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~~je, ~~če~~ ko ena aplikacija ali mikrostoritev zavzame vse vire v gruči, hkrati pa odpovejo ostale varovalke, ki jih ponuja že sam Kubernetes. V takšnih primerih bo namesto samo dela odpovedal celoten ~~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

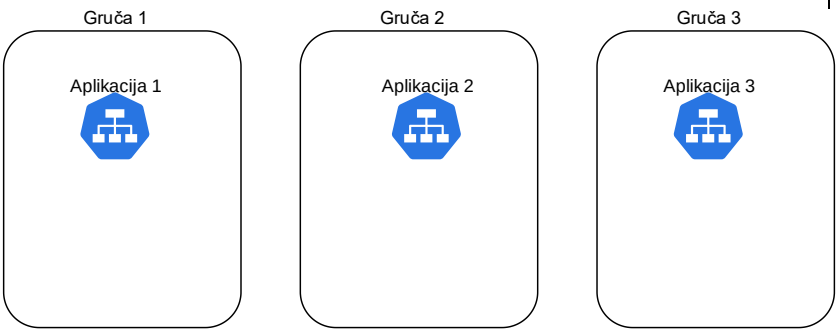
Pripombe dodal [u27]: Mislim, da je bolj točno tako: **na delovanje naših.** (kot: naših aplikacij). Verjetno niste mislili na celotno vaše delovanje …

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

8.1.2 Vdori

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

8.2 Implementacija s KubeF~~f~~ed



Slika 8.1: Primer izoliranih aplikacij.

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

zelo preprost ~~–~~. ~~s~~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 spisati 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~~ treba posebej ukvarjati s sinhronizacijo podatkov, saj smo ~~ali~~ vse podatke obdržali v isti gruči ali pa ~~sinhroniziramo~~ sinhronizirali na enak način kot v poglavju 7.

Poglavje 9

Upravljanje gruč na robu oblaka

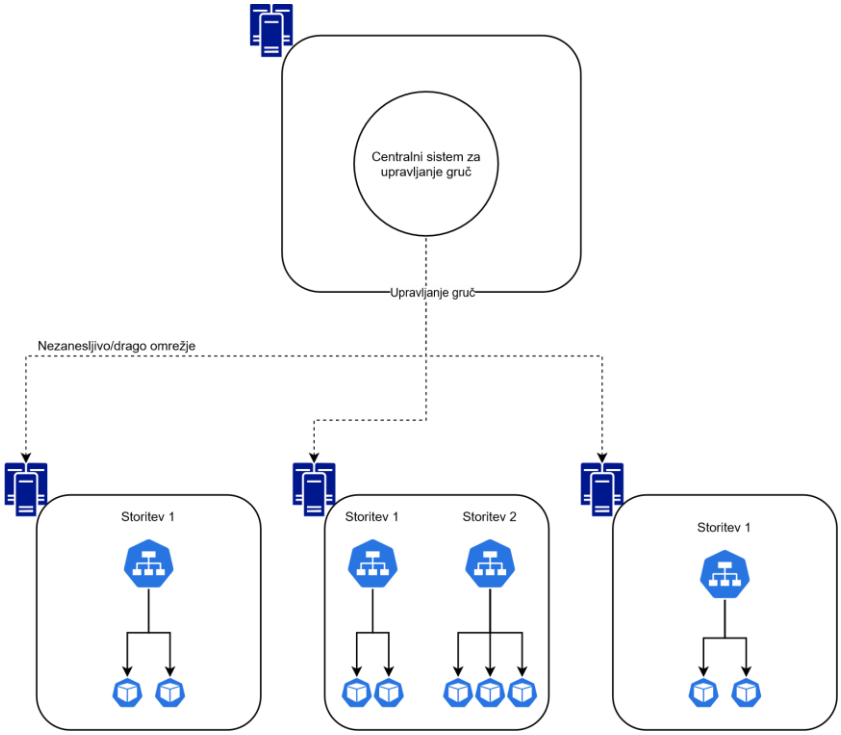
9.1 Gruče na robu oblaka

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 osredotočiali na upravljanje takšnih gruč.

9.2 Implementacija s KubeFed

Ko enkrat povežemo vse gruče z ukazom kubefedctl join, je njihovo upravljanje preprosto. Samo nNastavimo samo, 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 omrežjii.

Nam pa KubeFed omogoča še eno možnost s svojo strukturo. Lahko sS svojim kontrolerjem in vmesnikom KubeFed lahko 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.

z objektis Kubernetes Job objekti.

Z zelo preprosto integracijo v sistem Kubernetes nam vmesnik 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. ŽŽelimo, da naša kamera prepoznava obraze in na podlagi tega ~~dovoljuje~~ zaposlenim dovoljuje 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. ~~Ce~~ Če posnetke obdelujemo lokalno, se izognemo pošiljanju velike količine 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~~ z nekakšnim sistemom za povezovanje. ~~Tu~~ Pri tem bi lahko uporabili pristopa KubeFed ali ~~pristop~~ GitOps. Pošiljanje podatkov na centralni 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~~predstavili 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. Za to ~~pa~~ je bilo ~~potrebo~~ treba 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~~problemov. 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] B.rendan Burns, B.rian Grant, D.avid Oppenheimer, E.ric Brewer, inan J.ohn Wilkes. Borg, omega, and kubernetes: Lessons learned from thre container-management systems over a decade. *Queue*, 14(1): 70–9 jJanuary 2016.

[2] Apache Cassandra. Initializing a multiple node cluster (multiple datacenters). Dosegljivo: https://docs.datastax.com/en/cassandraoss/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] Oodprtokodna skupnost D.ennis Brentjes, S.jors Gielen. Picl k3os image generator. Dosegljivo: https://github.com/sgielen/picl-k3osimage-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 in M. Mahloo. Minimizing and managin cloud failures. *Computer*, 50(11): 86–90, nNovember 2017.

[7] H.alim Fathoni, C.hao-T.ung Yang, C.hih-H.ung Chang, and in C.hin-Yin. Huang. Performance comparison of lightweight kubernetes in edge devices.

VIn Christian C. Esposito, Jiman J. Hong, and in K.im-K.wang Raymond Choo:,

Pripombe dodal [u28]: Glede angleščine pri navajanju literature: **and** in pa **angleška imena mesecev** bi jaz pisala v slovenščini. Tako sem vam popravila. Če pa imate na fakulteti izrecno pravilo, da mora biti angleška literatura v celoti navedena v angleščini (torej z **and, january ...**), potem pa teh mojih popravkov ne upoštevajte.

Pripombe dodal [u29]: Tu pazite, vstavite takšen znak, kot ga imate zdaj v pdf-ju. Opozorim, da ne boste samo kopirali ...

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

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

[9] T.om Goethals, F.ilip De Turck, and in B.runo Volckaert. Fledge: Kubernetes compatible container orchestration on low-resource edge devices. In V ChingC.-Hsien H. Hsu, Sond`es. Kallel, K.un-C.han Lan, and in Z.ibin Zheng:, editors, *Internet of Vehicles. Technologies and Services Toward Smart Cities*, pstr.ages 174–189, Cham, 2020. Springer International Publishing.

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

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

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

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

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

[15] Shashidhara T D, I.rfan Ur Rehman, P.aul 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. A.hamed Bhuiyan, and in A. Rahman. Xi commandments of kubernetes security: A systematization of knowledge related

Oblikovano: Zamik: Viseče: 0,85 cm, Presledek Po: 0,2 pt, Razmik med vrsticami: Poljubno 1,38 li, Samoštevilčenje + Raven: 1 + Slog oštevilčevanja: 1, 2, 3, … + Začni pri: 1 + Poravnava: Levo + Poravnano pri: 0,85 cm + Zamik pri: 0,85 cm

Pripombe dodal [u30]: Tole mora biti združeno, kot imate v pdf-ju …

Oblikovano: Zamik: Viseče: 0,85 cm, Presledek Po: 0,2 pt, Razmik med vrsticami: Poljubno 1,38 li, Samoštevilčenje + Raven: 1 + Slog oštevilčevanja: 1, 2, 3, … + Začni pri: 1 + Poravnava: Levo + Poravnano pri: 0,85 cm + Zamik pri: 0,85 cm

Oblikovano: Brez označevanja in oštevilčevanja

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

[17] L.auren Milechin, S.iddharth Samsi, W.illiam Arcand, D.avid Bestor, W.ilBergeron, Chansup C. Byun, M.atthew Hubbell, M.ichael Houle, M.ichael Jones, A.nne Klein, P.eter Michaleas, J.ulie Mullen, A. Prout, A.ntonio Rosa, C.harles Yee, A.lbert Reuther, J.eremy Kepner, V.ijay Gadepally. A billion updates per second using 30,-000 hierarchical in-memory D4M databases. *CoRR*, abs/1902.00846, 2019.

[18] D.ongmin Kim, H.anif Muhammad, E.unsam Kim, S.umi Helal, and in C.hoonhwa Lee. Tosca-based and federation-aware cloud orchestration for kubernetes container platform. *Applied Sciences*, 9(1), 2019.

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

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

[21] Marino M. Lorenzo. Dynamic application placement in a kubernetes multicluster environment. Magisterska naloga, Politecnico di Torino, 2020.

[21] 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].

[22][23] Marzieh, Malekimajd, A.li Movaghar, and in Seyedmahyar S. Hosseinimotlagh. Minimizing latency in geo-distributed clouds. *The Journal of Supercomputing*, 71(12): 4423–4445, decemberDec 2015.

Oblikovano: Zamik: Viseče: 0,85 cm, Presledek Po: 0,2 pt, Razmik med vrsticami: Poljubno 1,38 li, Samoštevilčenje + Raven: 1 + Slog oštevilčevanja: 1, 2, 3, … + Začni pri: 1 + Poravnava: Levo + Poravnano pri: 0,85 cm + Zamik pri: 0,85 cm

[23][24] K.arim Manaouil and in A.drien Lebre. Kubernetes and the edge? Raziskovalno poročilo RR-9370, Inria Rennes – Bretagne Atlantique, 2020.

[24][25] D.avid Mytton. What are the common causes of cloud outages? Dosegljivo: https://davidmytton.blog/what-are-the-common-causesof-cloud-outages/, 2019. [Dostopano: 27. 01. 2021].

[25][26] Cloud native computing foundation. Cncf cloud native interactive landscape. Dosegljivo: https://landscape.cncf.io/, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[26][27] Platform9. Difference between multi-cluster, multi-master, multi-tenant & federated kubernetes. Dosegljivo: https: //platform9.com/blog/difference-between-multi-clustermulti-master-multi-tenant-federated-kubernetes/. [Dostopano: 20. 11. 2020].

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

[28][29] ArgoCD skupnost. Declarative setup. Dosegljivo: https://argoproj. github.io/argo-cd/operator-manual/declarative-setup. [Dostopano: 16. 12. 2020].

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

[30][31] Cilium skupnost. Introduction to cilium & hubble. Dosegljivo: https: //docs.cilium.io/en/latest/intro/. [Dostopano: 3. 1. 2020].

[31][32] Cilium skupnost. Multi-cluster (cluster mesh). Dosegljivo: https:// docs.cilium.io/en/latest/concepts/clustermesh/. [Dostopano: 3. 1. 2020].

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

Oblikovano: Zamik: Viseče: 0,85 cm, Presledek Po: 0,2 pt, Razmik med vrsticami: Poljubno 1,38 li, Samoštevilčenje + Raven: 1 + Slog oštevilčevanja: 1, 2, 3, … + Začni pri: 1 + Poravnava: Levo + Poravnano pri: 0,85 cm + Zamik pri: 0,85 cm

Oblikovano: Zamik: Viseče: 0,85 cm, Presledek Po: 0,2 pt, Razmik med vrsticami: Poljubno 1,38 li, Samoštevilčenje + Raven: 1 + Slog oštevilčevanja: 1, 2, 3, … + Začni pri: 1 + Poravnava: Levo + Poravnano pri: 0,85 cm + Zamik pri: 0,85 cm

Oblikovano: Zamik: Viseče: 0,85 cm, Razmik med vrsticami: Poljubno 1,38 li, Samoštevilčenje + Raven: 1 + Slog oštevilčevanja: 1, 2, 3, … + Začni pri: 1 + Poravnava: Levo + Poravnano pri: 0,85 cm + Zamik pri:

[32][34] KubeEdge skupnost. Kubeedge. Dosegljivo: https://kubeedge.io. [Dostopano: 20. 1. 2021].

[33][35] Kubefed skupnost. Kubefed. Dosegljivo: https://hub.docker.com/r/hostops/kubefed, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[34][36] KubeFed skupnost. kubefed: remove crossclusterservicediscovery feature. Dosegljivo: https://github.com/kubernetes-sigs/kubefed/–issues/1283, 2020. [Dostopano: 16. 11. 2020].

[35][37] Kubernetes skupnost. Assigning pods to nodes. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/schedulingeviction/assign-pod-node/. [Dostopano: 20. 1. 2021].

[36][38] Kubernetes skupnost. Deployments. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/workloads/controllers/deployment/. [Dostopano: 3. 1. 2021].

[37][39] Kubernetes skupnost. Federated cluster. Dosegljivo: https://v1-16.docs.kubernetes.io/docs/tasks/federation/administerfederation/cluster/. [Dostopano: 23. 11. 2020].

[38][40] Kubernetes skupnost. Kubefed repozitorij. Dosegljivo: https://github.com/kubernetes-sigs/kubefed. [Dostopano: 23. 11. 2020].

[39][41] Kubernetes skupnost. Kubefed user guide. Dosegljivo: https://github.com/kubernetes-sigs/kubefed/blob/master/ docs/userguide.md. [Dostopano: 23. 11. 2020].

[40][42] Kubernetes skupnost. Network policies. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/services-networking/networkpolicies/. [Dostopano: 20. 1. 2021].

[41][43] Kubernetes skupnost. Pods. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/workloads/pods/. [Dostopano: 3. 1. 2021].

[42][44] Kubernetes skupnost. Service. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/services-networking/service/. [Dostopano: 3. 1. 2021].

[43][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].

[44][46] Kubernetes skupnost. Statefulsets. Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/workloads/controllers/statefulset/. [Dostopano: 3. 1. 2021].

[45][47] Kubernetes skupnost. What is kubernetes? Dosegljivo: https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/, 2020. [Dostopano: 16. 12. 2020].

[46][48] Odoprtokodna skupnost Stephen Dolan. Github - stedolan/jq: Commandline json processor. Dosegljivo: https://github.com/stedolan/jq, 2020. [Dostopano: 20. 01. 2021].

[47][49] M. A. Tamiru, G. Pierre, J. Tordsson, and in E. Elmroth. Instability in geo-distributed kubernetes federation: Causes and mitigation. In V *2020 28th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)*, pages str. 1–8, 2020.