Pentesting Kubernetes: From Zero to Hero

Сергей Канибор
Исследователь ИБ, Luntry

Agenda

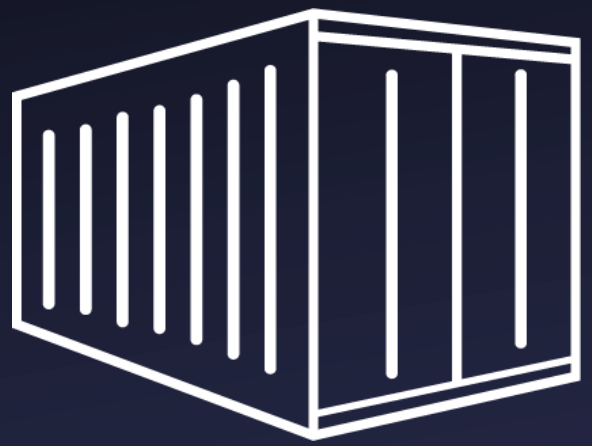
- WTF Kubernetes???
- Разведка
- Внутри Pod
- На Node
- Тулзы

Дисклеймер!

Данный доклад скорее является роадмапом, а не полной инструкцией по пентесту Kubernetes. Уместить некоторые моменты в пределах одного доклада не представляется возможным, так же как и рассказать о всех возможных техниках и нюансах с которыми можно столкнуться при пентесте Kubernetes кластера.

WTF Kubernetes???

Окружение



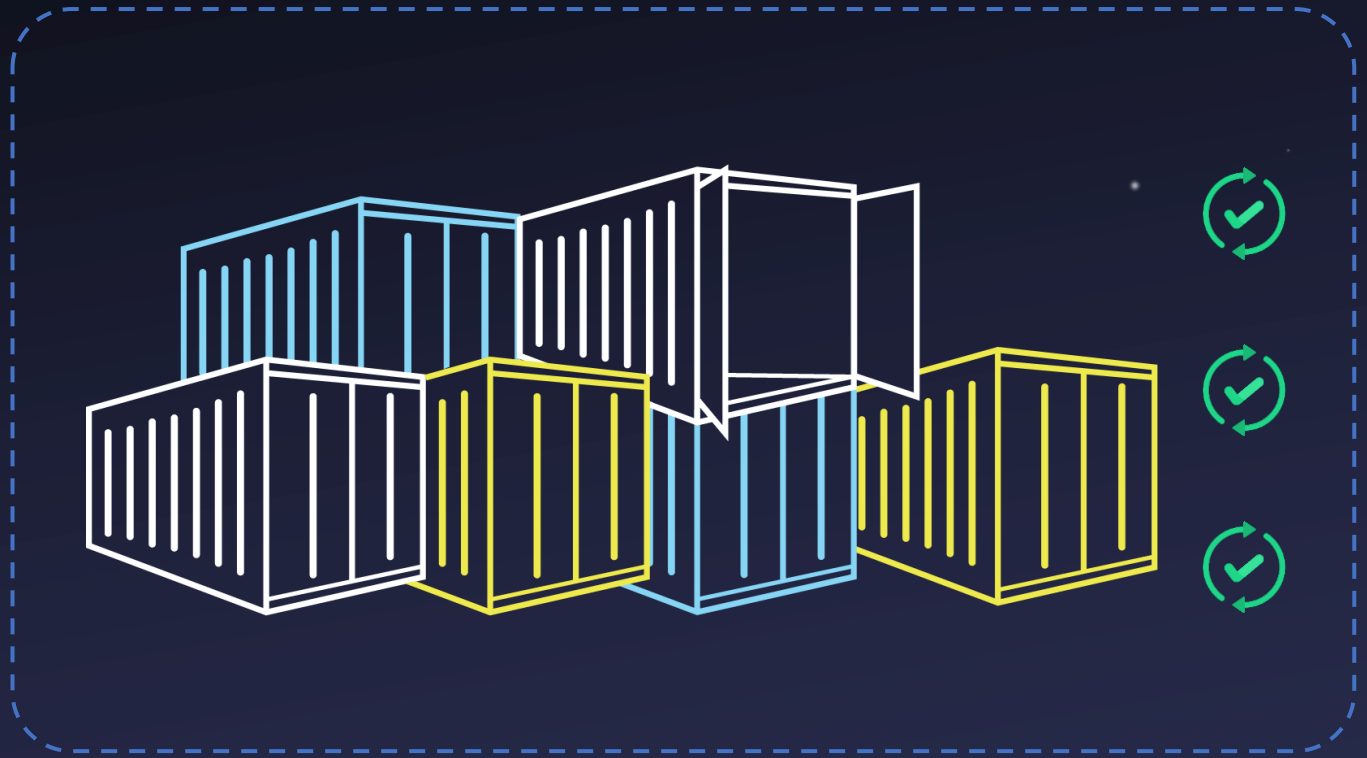
Окружение

Окружение

kubernetes

- Platform as a Service (PaaS)
- Configuration
- Function
- Applications
- Runtime
- Containers
- Operation Systems
- Hardware

Окружение



kubernetes

- Platform as a Service (PaaS)
- Configuration
- Function
- Applications
- Runtime
- Containers
- Operation Systems
- Hardware

Окружение

kubernetes

- Platform as a Service (PaaS)
- Configuration
- Function
- Applications
- Runtime
- Containers
- Operation Systems
- Hardware

Google Cloud

Microsoft Azure

Yandex Cloud

RED HAT OPENSHIFT

SBERCLOUD

VK Cloud Solutions

Amazon EKS

Окружение

kubernetes

- Platform as a Service (PaaS)
- Configuration
- Function
- Applications
- Runtime
- Containers
- Operation Systems
- Hardware

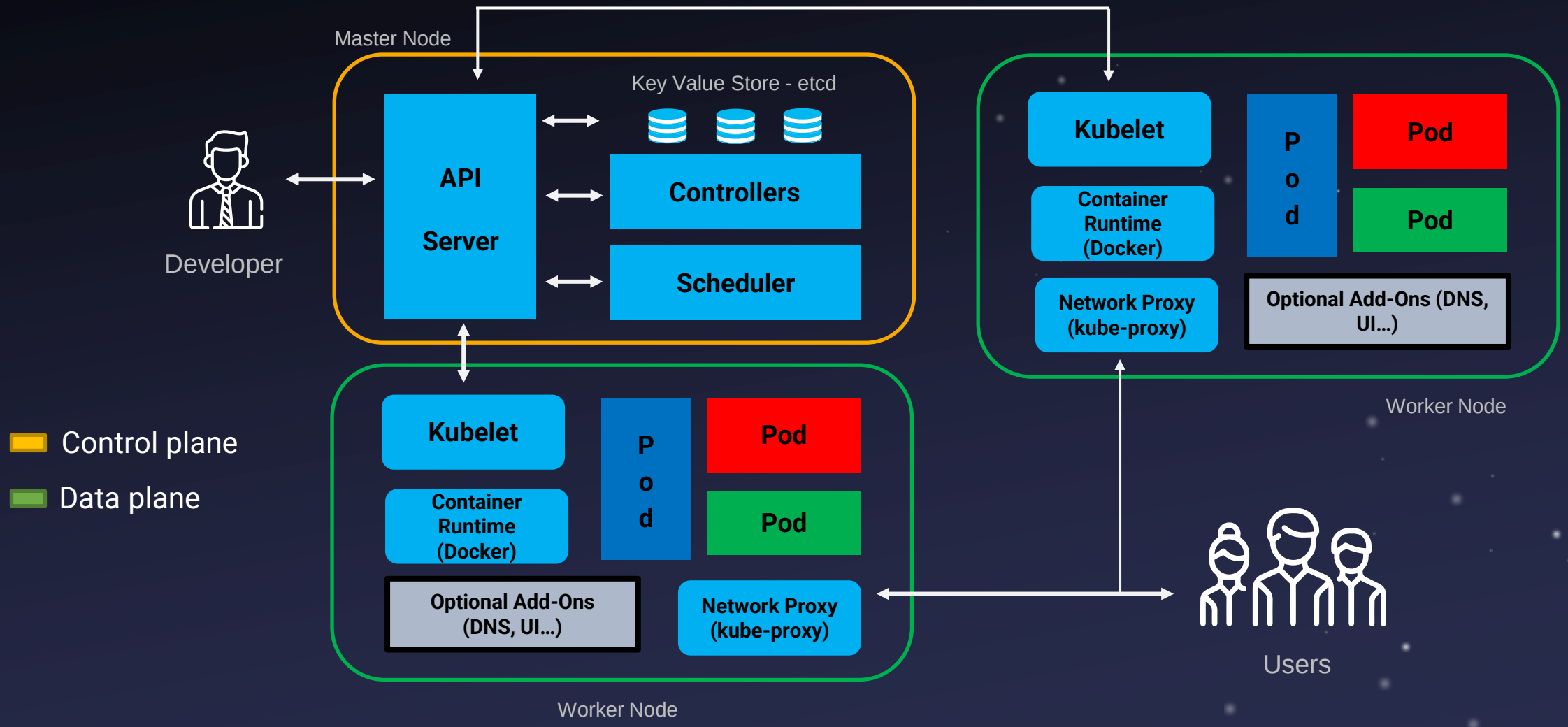
Google Cloud
Microsoft Azure
Yandex Cloud
RED HAT OPENSHIFT
SBERCLOUD
VK Cloud Solutions
Amazon EKS

Разработчики DevOps SRE

Аналитики QA Monitoring

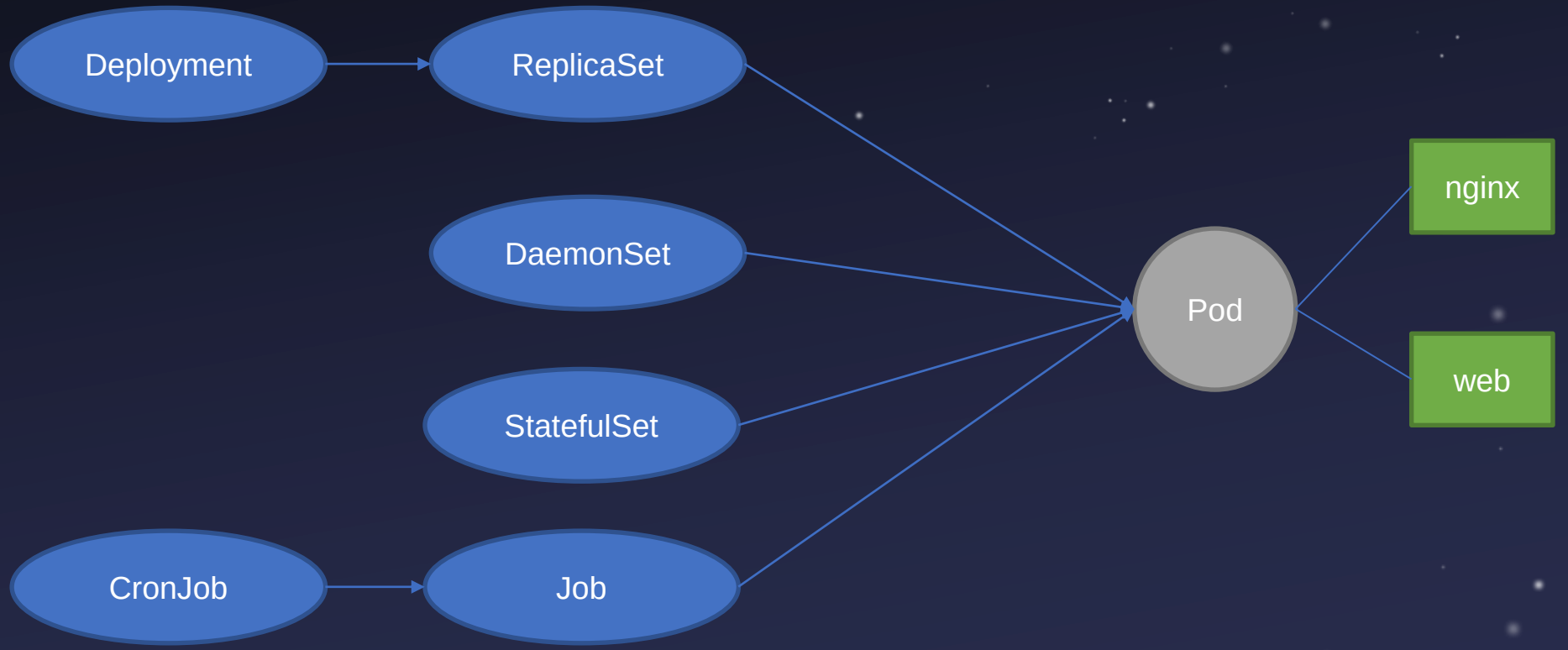

DIVE INTO
KUBERNETES

Архитектура



Pod == container (ну почти)

- Минимальная исполняемая единица в кластере



Threat matrix для Kubernetes от Microsoft

Initial Access	Execution	Persistence	Privilege Escalation	Defense Evasion	Credential Access	Discovery	Lateral Movement	Collection	Impact
Using Cloud credentials	Exec into container	Backdoor container	Privileged container	Clear container logs	List K8S secrets	Access the K8S API server	Access cloud resources	Images from a private registry	Data Destruction
Compromised images in registry	bash/cmd inside container	Writable hostPath mount	Cluster-admin binding	Delete K8S events	Mount service principal	Access Kubelet API	Container service account		Resource Hijacking
Kubeconfig file	New container	Kubernetes CronJob	hostPath mount	Pod / container name similarity	Access container service account	Network mapping	Cluster internal networking		Denial of service
Application vulnerability	Application exploit (RCE)	Malicious admission controller	Access cloud resources	Connect from Proxy server	Applications credentials in configuration files	Access Kubernetes dashboard	Applications credentials in configuration files		
Exposed Dashboard	SSH server running inside container				Access managed identity credential	Instance Metadata API	Writable volume mounts on the host		
Exposed sensitive interfaces	Sidecar injection				Malicious admission controller		Access Kubernetes dashboard		
							Access tiller endpoint		
							CoreDNS poisoning		
							ARP poisoning and IP spoofing		

= New technique

= Deprecated technique

[Link]

Defense-in-depth

Threat modeling

Code	Images	k8s resources	Authentication Webhook	Authorization Webhook	Admission controllers	Audit Log Webhook	Container/Sandbox/VM	Observability
SAST	Immutable	Labels, annotations	RBAC	RBAC	LimitRanger		Isolation	Asset management
DAST		IaC	IAM		ResourceQuota		Rootless containers, Capabilities	Security monitoring
IAST		Security as Code			PodSecurityPolicy		seccomp, AppArmor, Selinux, distroless images	Application monitoring
RASP		Compliance as Code			ImagePolicyWebhook		Limiting the blast radius	Anomaly detection
SCA		Configuration check			NetworkPolicy		Segregation of duties (Secrets, ServiceAccounts token)	Event resource
...					PodSecurityPolicy			
					MutatingAdmissionWebhook			
					Init containers + sidecars containers injection			
					ValidatingAdmissionWebhook			
					Custom Resource + operator (policy engines)			

+ Multi-tenancy*

Обход сигнатурных средств защиты

- Часто в кластере, помимо встроенных средств безопасности, могут быть и сторонние, базирующиеся на сигнатурных подходах. Например – Falco, Tracee
- Из-за своей особенности, довольно критические правила легко обходятся

Слайды, видео, репозиторий, образ

Обход сигнатурных средств защиты: runtime

```
- list: shell_binaries items: [ash, bash, csh, ksh, sh, tcsh, zsh, dash]

rule: Run shell untrusted
condition: >
spawned_process and shell_binaries and proc.pname exists …
```

Прокидываем shell под другим именем, например – envoy, haproxy

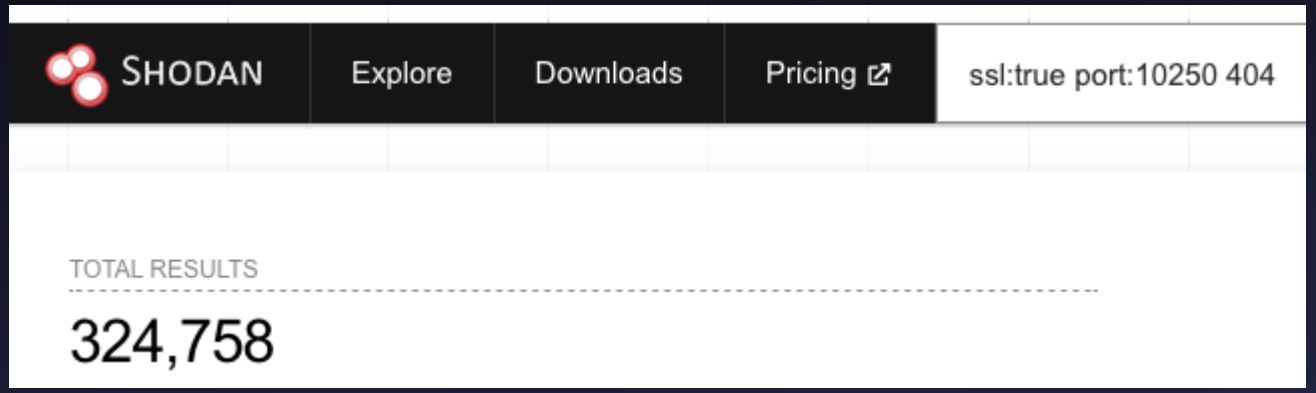
Обход сигнатурных средств защиты: Policy Engine

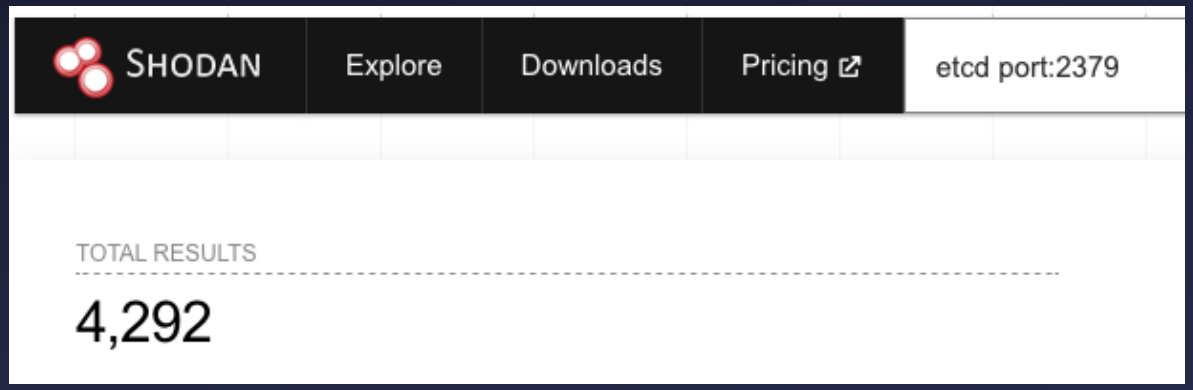
- Мало иметь средство защиты – им нужно уметь пользоваться и правильно настраивать
- Пример – запрет на проброс внутрь контейнера `/var/run/docker.sock`
- По факту используется – `/var/run/crio/crio.sock`
- Обходится через – `/, /var/, /var/run/, /var/run/crio/ …`

Разведка

Мисконфиги

- Торчащие наружу порты компонентов Kubernetes

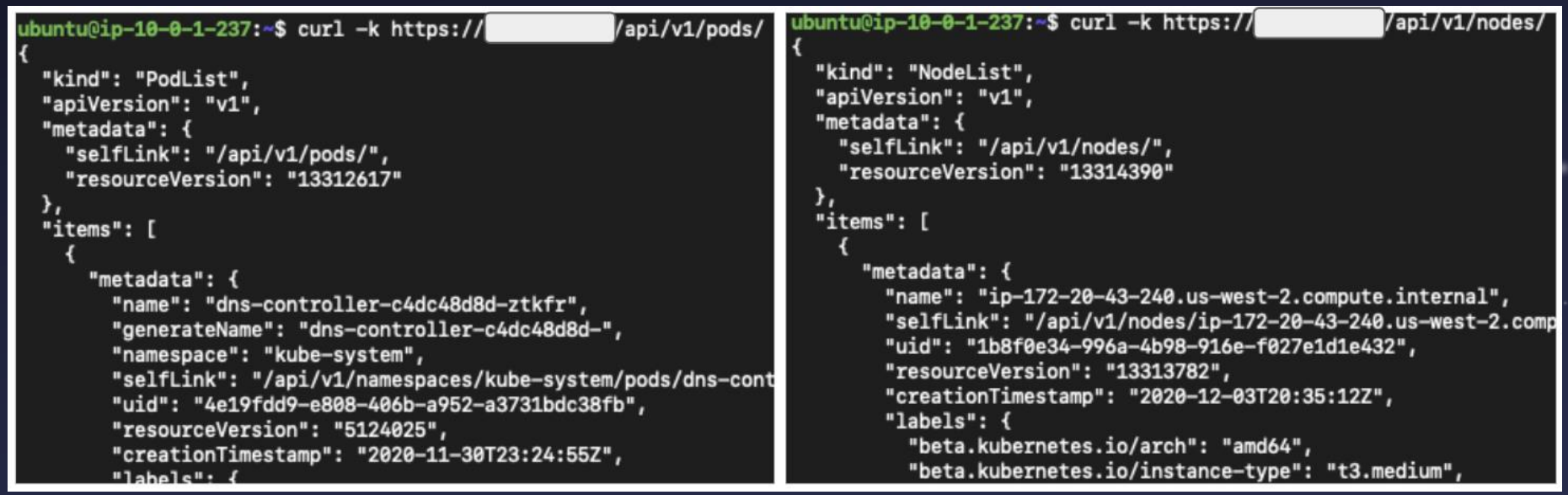




Port	Process	Description
443/TCP	kube-apiserver	Kubernetes API port
2379/TCP	etcd	
6666/TCP	etcd	etcd
4194/TCP	cAdvisor	Container metrics
6443/TCP	kube-apiserver	Kubernetes API port
8443/TCP	kube-apiserver	Minikube API port
8080/TCP	kube-apiserver	Insecure API port
10250/TCP	kubelet	HTTPS API which allows full mode access
10255/TCP	kubelet	Unauthenticated read-only HTTP port: pods, running pods and node state
10256/TCP	kube-proxy	Kube Proxy health check server
9099/TCP	calico-felix	Health check server for Calico
6782-4/TCP	weave	Metrics and endpoints
30000-32767/TCP	NodePort	Proxy to the services
44134/TCP	Tiller	Helm service listening

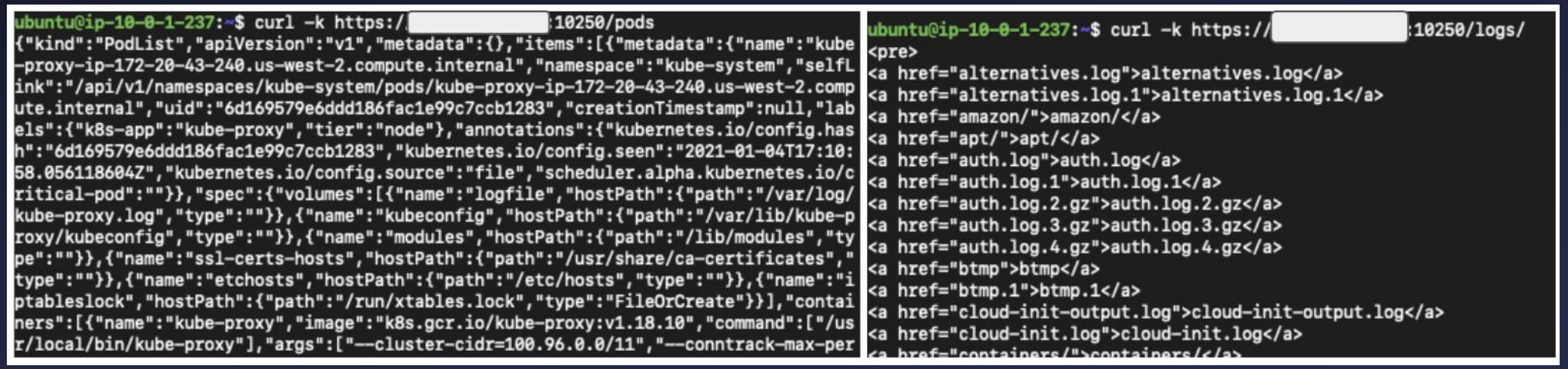
Мисконфиги

- kube-apiserver Anonymous Access
  - `curl -k https://host:443/api/v1/pods`



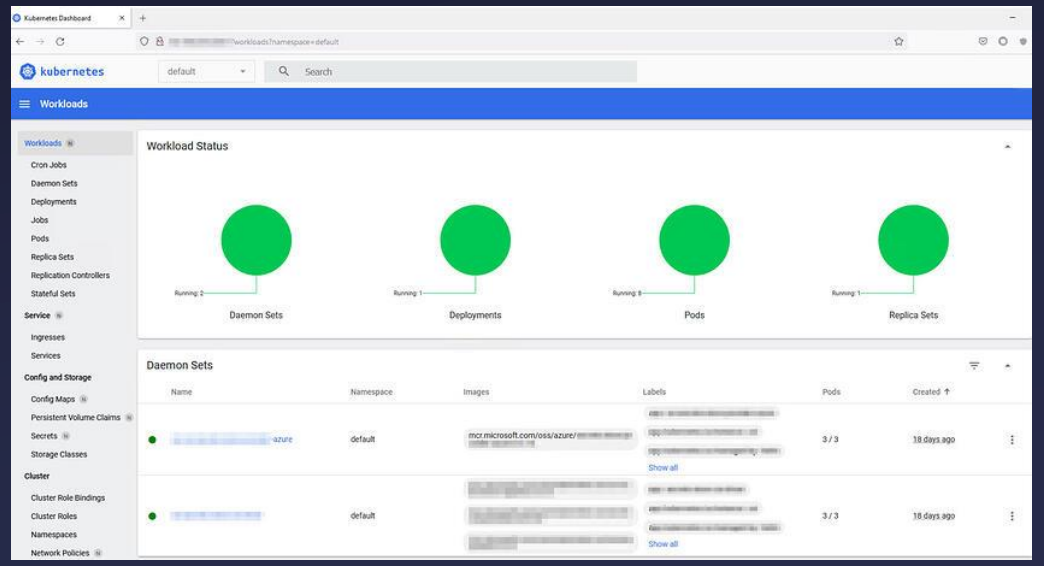
Мисконфиги

- Kubelet Anonymous Access
  - `curl -k https://host:10250/pods`



Мисконфиги

- Открытые dashboards
  - `Weave Scope (4040), Kubernetes Dashboard (8443), Prometheus (9090)...`



[Видео]

Внутри Pod

ENV

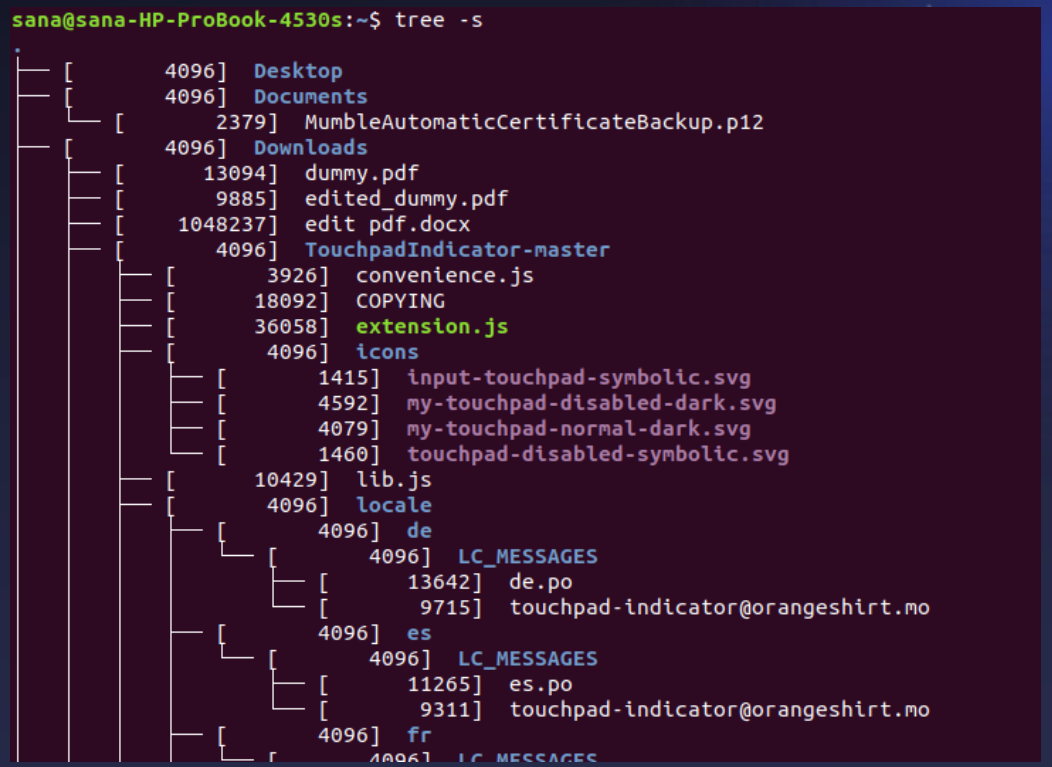
- Через переменные окружения можно понять куда мы попали
- В ENV часто указывают адреса других сервисов
- Там же можно найти креды от облачных провайдеров
- А также секреты, логины и пароли от других сервисов, и другую чувствительную информацию

```
SQL_USER=[redacted]
SQL_ENGINE=django.db.backends.postgresql
cloud_name=
AWS_STORAGE_BUCKET_NAME=[redacted]
PWD=/usr/src/app
DATABASE=[redacted]
SQL_HOST=[redacted]
```

```
KUBERNETES_PORT=tcp://10.96.0.1:443
KUBERNETES_SERVICE_PORT=443
SHIPPINGSERVICE_PORT_50051_TCP_PORT=50051
DISABLE_DEBUGGER=1
SHIPPINGSERVICE_PORT_50051_TCP_PROTO=tcp
PAYMENTSERVICE_PORT=tcp://10.105.96.229:50051
PAYMENTSERVICE_PORT_50051_TCP_PORT=50051
```

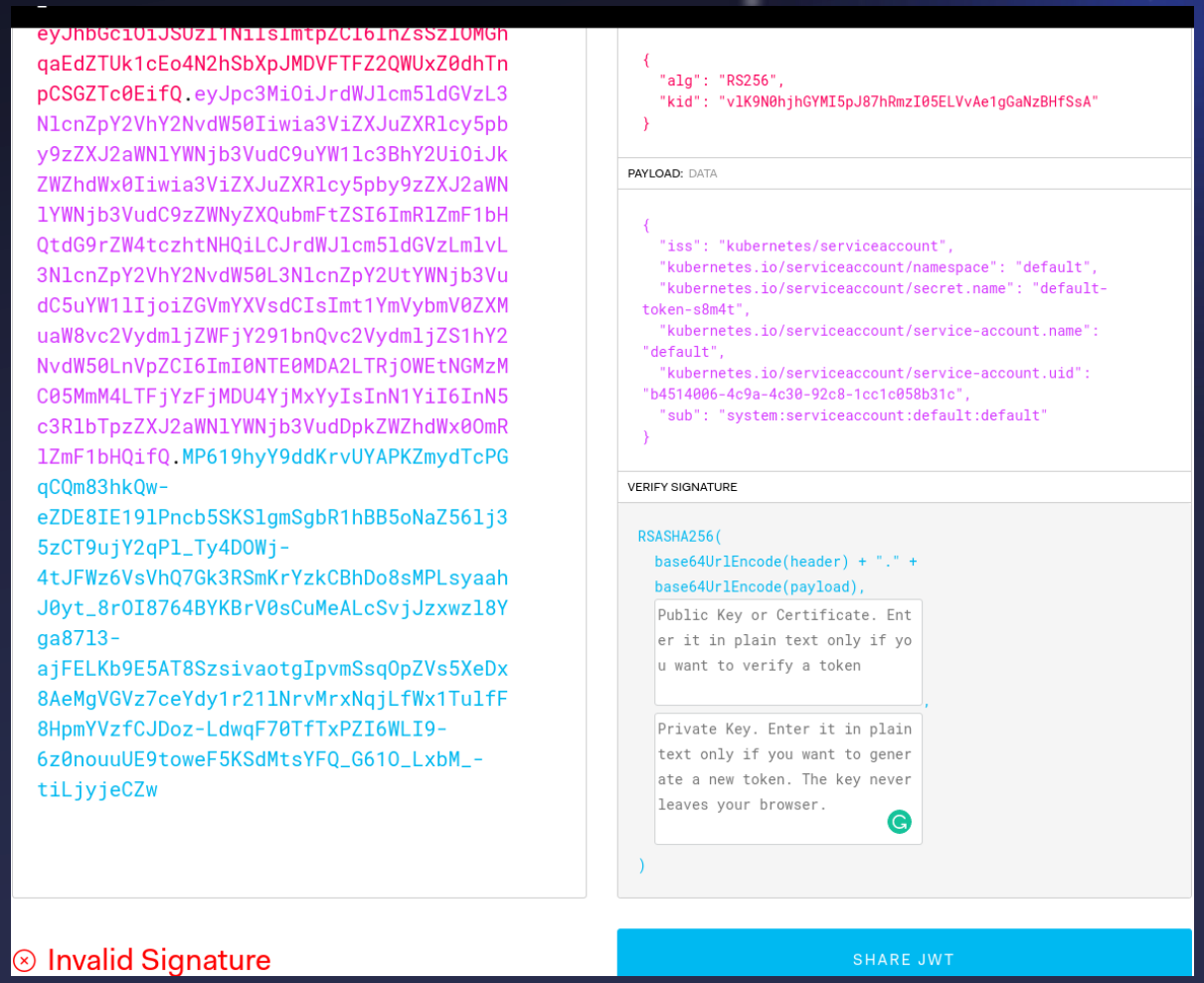
Файловая система контейнера

- Исходный код приложения
- Конфиги с чувствительными данным
- Примаунченные директории
  - Container socket
  - Корневой каталог
  - Возможность создания StaticPod



Service Account

- Для каждого Pod существует Service Account, который определяет возможности Pod в кластере
- `/run/secrets/kubernetes.io/serviceaccount`
- `/var/run/secrets/kubernetes.io/serviceaccount`
- `/secrets/kubernetes.io/serviceaccount`



Service Account

- kubectl auth can--i --list

```
antitree@webadmin-74bb488d96-7qpxb:/usr/src/app$ ./kubectl auth can-i --list
Resources                                       Non-Resource URLs                      Resource Names   Verbs
*.*                                             []                                     []               [*]
selfsubjectaccessreviews.authorization.k8s.io   []                                     []               [create]
selfsubjectrulesreviews.authorization.k8s.io    []                                     []               [create]
                                                [/.well-known/openid-configuration]    []               [get]
                                                [/api/*]                               []               [get]
                                                [/api]                                 []               [get]
                                                [/apis/*]                              []               [get]
                                                [/apis]                                []               [get]
                                                [/healthz]                             []               [get]
                                                [/healthz]                             []               [get]
                                                [/livez]                               []               [get]
                                                [/livez]                               []               [get]
                                                [/openapi/*]                           []               [get]
                                                [/openapi]                             []               [get]
                                                [/openid/v1/jwks]                      []               [get]
                                                [/readyz]                              []               [get]
                                                [/readyz]                              []               [get]
                                                [/version/]                            []               [get]
                                                [/version/]                            []               [get]
                                                [/version]                             []               [get]
                                                [/version]                             []               [get]
```

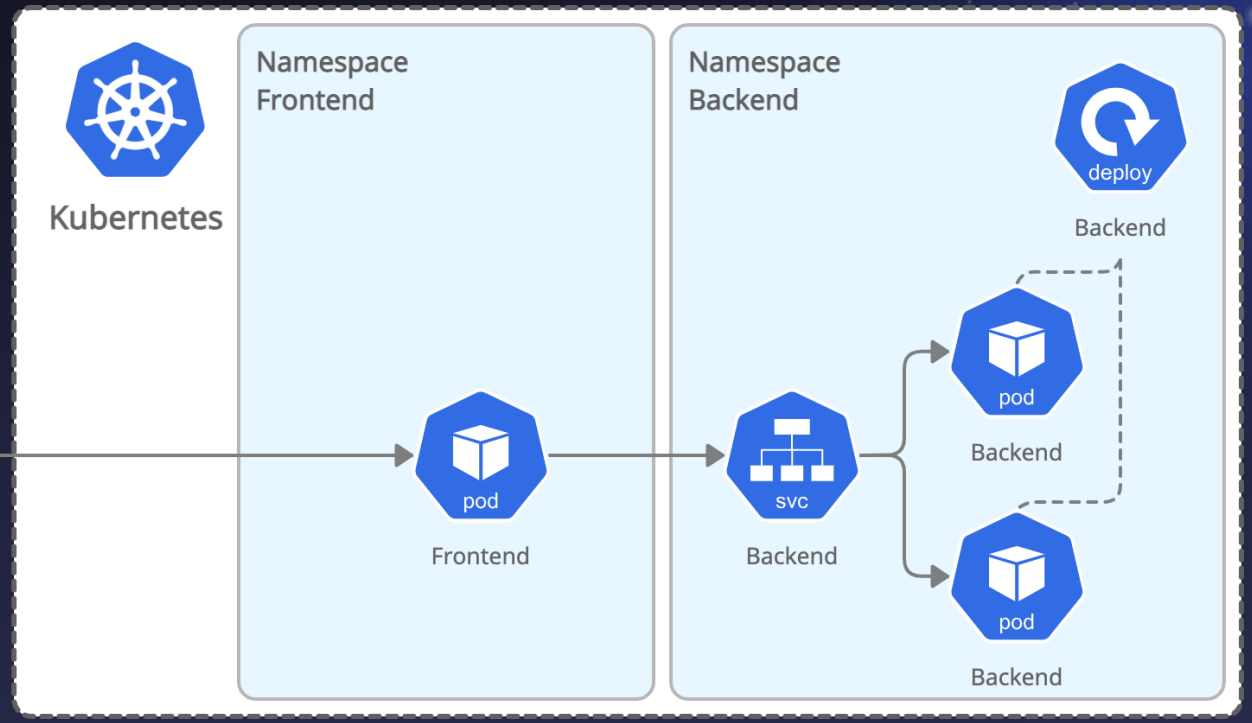
Опасные права

- ***
- impersonate
- escalate
- nodes/proxy
- pods/portforward
- …

```
- apiVersion:
rbac.authorization.k8s.io/v1
kind: ClusterRole
metadata:
  name: nodeproxy
rules:
  - apiGroups:
  - ""
  resources:
  - nodes/proxy
  verbs:
  - get
  - create
```

Kubernetes Network 101

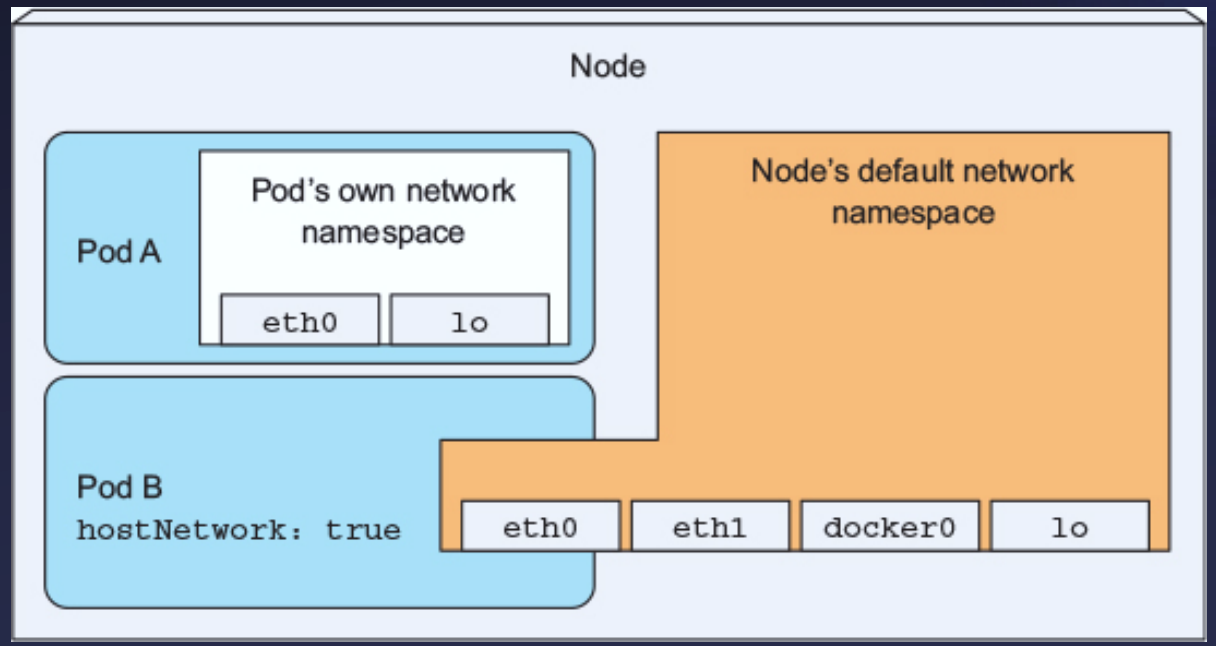
- У всех Pods есть IP
- Service для load-balancing
- DNS для service-discovery
- DNS tunneling
- Для ограничение сетевого взаимодействия используются Network Policy



hostNetwork gotcha!

Kubernetes запускает Pods в своей собственной изолированной сети, однако можно сделать так, чтобы они работали в хостовой сети, тем самым обойти Network Policy. Для этого в манифесте нужно указать:

```
apiVersion: v1
kind: Pod
metadata:
  name: nginx
spec:
  hostNetwork: true
  containers:
  - name: nginx
    image: nginx
```



Взаимодействие с kube-api

- Через стандартный CLI – `kubectl`
  - Если повезёт – может быть в контейнере, но можно затащить извне
  - `curl -LO https://storage.googleapis.com/kubernetes-release/release/`curl -s https://storage.googleapis.com/kubernetes-release/release/stable.txt`/bin/linux/amd64/kubectl`
- Через `curl`
  - kube-apiserver– это обычный HTTP сервер

```
KUBE_TOKEN=$(cat /var/run/secrets/kubernetes.io/serviceaccount/token)
curl -sSk -H "Authorization: Bearer $KUBE_TOKEN" \
https://$KUBERNETES_SERVICE_HOST:$KUBERNETES_PORT_443_TCP_PORT/api/v1/namespaces/default/pods/$HOSTNAME
```

- Средствами командной оболочки bash (ссылка)
  - /dev/tcp, /dev/udp

DNS discovery

- `dig +short srv any.any.svc.cluster.local`


```
nginx-netshoot-7f9c6957f8-9hrxp ~ dig +short srv any.any.svc.cluster.local
0 2 5000 webadmin.default.svc.cluster.local.
0 2 6379 redis-replica.k8s-workshop.svc.cluster.local.
0 2 3306 mysql.wordpress-mysql.svc.cluster.local.
0 2 9187 pg-exporter.monitoring.svc.cluster.local.
```


PSSU 210948 1
2261
MAX.GR. 30,480 KG 67,200 LBS
TARE 2,200 KG 4,850 LBS
NET 28,280 KG 62,350 LBS
CU. CAP. 33.2 CUM 1,170 CUFT

Побег из контейнера

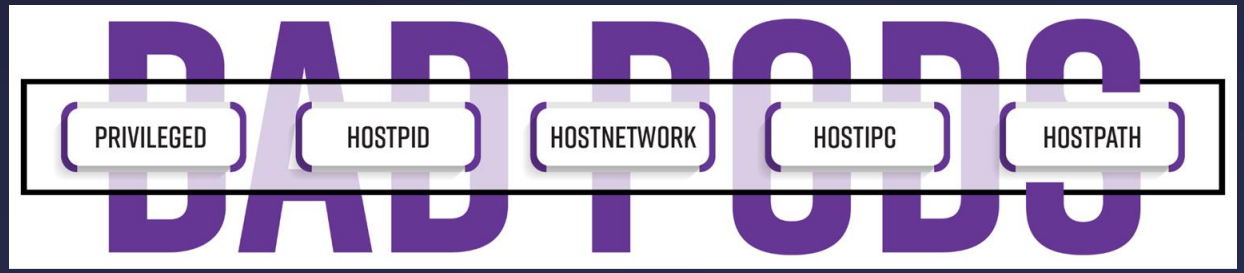
- Через контейнер, удобный для побега:
  - `/var/run/secrets/kubernetes.io/serviceaccount/token`
- Bad Pods
  - `CAP_SYS_ADMIN`
- Через container runtime уязвимости:
  - CVE-2022-23648
- Через kernel уязвимости:
  - CVE-2022-0185
- Через уязвимости Кубера:
  - CVE-2018-1002105

Container escapes: Kubernetes edition

Bad Pods

```
spec:
  hostNetwork: true
  hostPID: true
  hostIPC: true
  containers:
  - name: everything-allowed-pod
    image: ubuntu
    securityContext:
      privileged: true
    volumeMounts:
    - mountPath: /host
      name: noderoot
    command: [ "/bin/sh", "-c", "--" ]
    args: [ "while true; do sleep 30; done;" ]
  volumes:
  - name: noderoot
    hostPath:
     path: /
```

- privileged
- capabilities
- sharing namespace
- используя, примаунченные директории
  - чувствительные директории
  - container runtime socket



Container Escape == Cluster Admin

- В 50% случаев, побег из контейнера приведёт к полной компрометации кластера
- На Node, помимо контейнеров, выполняющих бизнес-логику, есть и системные, расширяющие функциональность кластера – CNI, ServiceMesh и т.д.
- Часто, они имеют довольно мощные привилегии:
  - Скедулим cilium-operator на подконтрольную Node
  - Получаем мощный Service Account token от cilium-operator
  - Проводим эскалацию прав, добавив себе полные права

Слайды

Ha Node

Полный доступ к файловой системе Node

```
systemd+     594  0.0  0.2  23896 10968 ?        Ss   Sep05   0:03 /lib/systemd/systemd-resolved
systemd+     595  0.0  0.1  90228  4932 ?        Ssl  Sep05   0:01 /lib/systemd/systemd-timesyncd
root         612  0.0  0.1 238148  7208 ?        Ssl  Sep05   0:10 /usr/lib/accountsservice/accounts-daemon
message+     613  0.0  0.1   7564  4696 ?        Ss   Sep05   1:01 /usr/bin/dbus-daemon --system --address=systemd: --nofork --nopidfile --systemd-activation --syslog-only
root         620  0.0  0.0  81928  3620 ?        Ssl  Sep05   0:20 /usr/sbin/irqbalance --foreground
root         621  0.0  0.4  31612 17912 ?        Ss   Sep05   0:00 /usr/bin/python3 /usr/bin/networkd-dispatcher --run-startup-triggers
root         625  0.0  0.0   9412  2880 ?        Ss   Sep05   0:00 /usr/sbin/cron -f
root         628  0.1  0.1   6840  4388 ?        Ss   Sep05   1:58 /usr/sbin/qemu-ga
syslog       629  0.0  0.1 224352  4756 ?        Ssl  Sep05   0:06 /usr/sbin/rsyslogd -n -iNONE
root         635  0.0  0.1  16820  6544 ?        Ss   Sep05   0:38 /lib/systemd/systemd-logind
root         637  0.1  0.2 392556 11688 ?        Ssl  Sep05   3:06 /usr/lib/udisks2/udisksd
daemon       643  0.0  0.0   3792  2076 ?        Ss   Sep05   0:00 /usr/sbin/atd -f
root         648  0.0  0.0   8428  1848 tty1     Ss+  Sep05   0:00 /sbin/agetty -o -p -- \u --noclear tty1 linux
root         678  0.0  0.5 110508 20724 ?        Ssl  Sep05   0:00 /usr/bin/python3 /usr/share/unattended-upgrades/unattended-upgrade-shutdown --wait-for-signal
root         687  0.0  0.1 232716  6764 ?        Ssl  Sep05   0:00 /usr/lib/policykit-1/polkitd --no-debug
root         692  0.0  0.1  12176  6724 ?        Ss   Sep05   0:00 sshd: /usr/sbin/sshd -D [listener] 0 of 10-100 startups
_rpc        1893  0.0  0.0   7104  3628 ?        Ss   Sep05   0:00 /sbin/rpcbind -f -w
root        7349  2.5  1.9 1940600 79952 ?       Ssl  Sep05  41:11 /usr/bin/containerd
root       12010  0.0  0.0   2488   524 ?        S    Sep05   0:04 bpfilter_umh
root       12099  0.2  0.2 114100 10004 ?        Sl   Sep05   3:22 /usr/bin/containerd-shim-runc-v2 -namespace k8s.io -id 7a03feb9dfe539749e09b120787f54ddf7a7a2817404dc6808528ab7a3253803 -address /run/containerd/containerd.sock
65535      12120  0.0  0.0    964     4 ?        Ss   Sep05   0:00 /pause
root       12159  0.6  0.2 114100 10984 ?        Sl   Sep05  11:16 /usr/bin/containerd-shim-runc-v2 -namespace k8s.io -id bf56a4c0a2b66ad7881812c87679cc0575af9c798f9c595f0cf8246246675eb9 -address /run/containerd/containerd.sock
65535      12180  0.0  0.0    964     4 ?        Ss   Sep05   0:00 /pause
```

Конфиги, ключи и сертификаты

- $HOME/.kube/config
- /etc/kubernetes/bootstrap-kubelet.conf
- /etc/kubernetes/manifests/etcd.yaml
- /etc/kubernetes/pki

```
kubectl –kubeconfig $HOME/.kube/config get po

KUBECONFIG=<filename> kubectl config set-cluster default-cluster --server=https://<host ip>:6443
--certificate-authority <path-to-kubernetes-ca> --embed-certs

KUBECONFIG=<filename> kubectl config set-credentials <credential-name> --client-key <path-to-key>.pem
--client-certificate <path-to-cert>.pem --embed-certs

KUBECONFIG=<filename> kubectl config set-context default-system
--cluster default-cluster --user <credential-name>

KUBECONFIG=<filename> kubectl config use-context default-system
```

Container runtime socket

- Можно общаться с сокетом напрямую
  - `unix:///var/run/crio/crio.sock`
  - `unix:///var/run/containerd/containerd.sock`
  - `unix:///var/run/docker.sock`
- Универсальный инструмент `crictl`
  - `curl -sL https://github.com/kubernetes-sigs/cri-tools/releases/download/v1.25.0/crictl-v1.25.0-linux-amd64.tar.gz | tar zxf -`
  - Возможность создавать контейнеры, аттачиться к ним, смотреть логи, список запущенных контейнеров и многое другое
  - `crictl exec -i -t example_pod bash`

crictl

```
crictl ps
```

```
CONTAINER ID        IMAGE
1f73f2d81bf98       busybox@sha256:141c253bc4c3fd0a201d32dc1f493bcf3fff003b6df416dea4f41046e0f37
87d3992f84f74       nginx@sha256:d0a8828cccb73397acb0073bf34f4d7d8aa315263f1e7806bf8c55d8ac139d5
1941fb4da154f       k8s-gcrio.azureedge.net/hyperkube-amd64@sha256:00d814b1f7763f4ab5be80c58e981
```

```
crictl logs 87d3992f84f74
```

```
10.240.0.96 - - [06/Jun/2018:02:45:49 +0000] "GET / HTTP/1.1" 200 612 "-" "curl/7.47.0" "-"
10.240.0.96 - - [06/Jun/2018:02:45:50 +0000] "GET / HTTP/1.1" 200 612 "-" "curl/7.47.0" "-"
10.240.0.96 - - [06/Jun/2018:02:45:51 +0000] "GET / HTTP/1.1" 200 612 "-" "curl/7.47.0" "-"
```

Доступ к kubelet

- Используя данные конфиги, можно взаимодействовать с Pod и другими ресурсами, находящимися на Node, на которую вы сбежали
- `kubectl –kubeconfig /etc/kubernetes/kubelet.conf get po -A`
- Полезные пути:
  - `/var/lib/kubelet/kubeconfig`
  - `/var/lib/kubelet/kubelet.conf`
  - `/var/lib/kubelet/config.yaml`
  - `/var/lib/kubelet/kubeadm-flags.env`
  - `/etc/kubernetes/kubelet-kubeconfig`
  - `/etc/kubernetes/kubelet.conf`
  - `/etc/kubernetes/admin.conf`
  - `/etc/kubernetes/controller-manager.conf`
  - `/etc/kubernetes/scheduler.conf`

StaticPod

- В Kubernetes есть возможность создавать Pod в обход kube-apiserver
- Это позволяет обходить встроенные средства безопасности Kubernetes, такие как Audit Log и Admissions controllers
- Помещаем нужный нам манифест Pod по пути `/etc/kubernetes/manifests`, либо манифест можно разместить на удалённом сервере

Road to the Master Node

- В большинстве кластерах нельзя запускать контейнеры на Master Node
  - на Master Node хранятся Service Account, ключи и сертификаты, благодаря которым мы можем стать cluster-admin
- В Kubernetes существует механизм Taints & Toleraitions, который не позволяет запустить Pod на Master Node
  - Его можно обойти =)
  - spec:

```
tolerations:
- key: ""
  operator: "Exists"
  effect: "NoSchedule"
```

Тулзы

Pentest тулы

- kube-hunter – мощный инструмент для пентестеров от Aqua Security
- kubescape – выявление мисконфигов кластера, RBAC, скан образов
- kdigger – тулза для разведки окружения
- kubelectl – кастомный клиент для общения с kubelet
- peirates – мульти-комбайн тулза для пентеста кластера, в том числе изнутри Pod
- BOtB – пентест тулза для побега из контейнера
- Krew plugins – access-matrix, fuzzy, kubesec-scan, node-shell,, sudo, who-can

Privilege escalation

- Контейнер – всё ещё Linux
- Используем известные техники повышения привилегий
- linPEAS – скрипт для поднятия привилегий в Unix окружениях
- LinEnum
- LinuxSmartEnumeration
- Traitor – тулза для выявления потенциальных уязвимостей и мисконфигураций, которые могут привести к повышению привилегий

Удобные образы

- Чтобы не тащить весь арсенал можно использовать уже готовые образы с нужными инструментами или сделать свой =)
- hackercontainer
- netshoot
- botty

Полезные ссылки

- Kubernetes Pentest Methodology: part 1, part 2, part 3
- PayloadsAllTheThings – Kubernetes
- HackTricks: Kubernetes Security
- Container escapes: Kubernetes edition
- Bad Pods
- Kubernetes goat
- minik8s-ctf
- k8s (in)security

Заключение

- Для более успешного пентеста необходимо полное понимание работы как средств защиты, так и самого Kubernetes
- Возможны различные модели нарушителя
- Широкий attack surface
- Учиться, учиться и еще раз…

Спасибо за внимание!

Telegram: @r0binak

luntry.ru