

SDN

OPDRACHT 2 & 3

SDN Opdracht 2 portfolio

H.Donkerbroek, 374181

B.Boelens, 453713

Vak: Software Defined Networking Practicum

Docent: Eleanor van Wijck

Oplevering: 16/10/25

Inhoud

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Inleiding | 2 |
| 2. | Theoretisch kader | 2 |
| 2.1. | Wat is SDN? | 2 |
| 2.2. | Wat is OpenFlow? | 3 |
| 2.3. | Wat is een flow entry en hoe wordt deze gelezen? | 3 |
| 2.4. | Wat doen de verschillende OpenFlow-tabellen? | 4 |
| 2.5. | Hoe werkt Mininet? | 4 |
| 2.6. | Wat is Faucet? | 4 |
| 3. | Eindproduct..... | 6 |
| 3.1. | Schematische netwerktekening | 6 |
| 3.2. | Flow entries | 6 |
| 3.3. | Onderbouwing ontwerpkeuzes | 7 |
| 3.4. | Functioneel bewijs | 8 |
| 4. | Reflectie en evaluatie | 8 |
| 5. | Literatuurlijst | 9 |
| 6. | Bijlagen | 10 |
| 6.1. | Bijlage 1 [Flow dump] | 10 |
| 6.2. | Bijlage 2 [Net command] | 11 |

| | | |
|------|------------------------------------|----|
| 6.3. | Bijlage 3 [Links command] | 11 |
| 6.4. | Bijlage 4 [Port security] | 12 |
| 6.5. | Bijlage 5 [Rate limiting] | 13 |
| 6.6. | Bijlage 6 [VLAN segmentatie] | 14 |
| 6.7. | Bijlage 7 [Hosts naar ISP] | 15 |
| 6.8. | Bijlage 8 [Logboek] | 16 |
| 7. | Github & Video | 17 |
| 8. | Opdracht 3 | 18 |

1. Inleiding

Het College van Bestuur (CvB) heeft besloten om de huidige, verouderde Cisco-netwerkinfrastructuur volledig te vervangen door een moderne Software Defined Networking (SDN) oplossing. Om kosten te besparen is ervoor gekozen om deze migratie in-house uit te voeren door het bestaande IT-team in plaats van externe consultants in te huren.

Het doel van dit project is het ontwikkelen van een schaalbaar, veilig en toekomstbestendig SDN-netwerk dat voldoet aan de eisen van het CvB en volledig beheerd kan worden door het interne IT-team. Het is een SDN netwerk met een centrale faucet controller die alle switches beheert.

2. Theoretisch kader

2.1. Wat is SDN?

Software-Defined Networking (SDN) is een netwerkarchitectuur waarbij de controle laag wordt losgekoppeld van de data laag. In normale netwerken beslissen switches of routers zelf hoe pakketten worden verwerkt. In SDN worden de switches en routers vanuit een centrale controller aangestuurd. Een SDN netwerk is flexibeler dan een klassiek netwerk omdat het netwerkgedrag softwarematig kan worden aangepast zonder fysieke aanpassingen. Door de centrale controller is het netwerk ook snel en gemakkelijk te optimaliseren.

2.2. Wat is OpenFlow?

OpenFlow is het meest gebruikte communicatieprotocol voor SDN. Het zorgt ervoor dat de controller in staat is regels te installeren in switches, zodat deze pakketten kunnen matchen en verwerken.

Een switch bevat flow tables. In deze tables staan flow entries die beschrijven hoe pakketten met bepaalde header-kenmerken moeten worden behandeld. Als een pakket geen match vindt wordt het pakket naar de controller gestuurd. De controller beslist wat met het pakket moet gebeuren en geeft een nieuwe regel terug. De controller beheert de regels en de switch voert alleen de instructies van de controller uit. Het is een “domme” switch omdat het alleen pakketten door geeft en niet zelf hoeft te beslissen.

2.3. Wat is een flow entry en hoe wordt deze gelezen?

Een flow entry is een regel in een flow table die bepaalt hoe pakketten met bepaalde kenmerken verwerkt moeten worden.

Een flow entry bevat:

- Match fields: de criteria waarop pakketten gematcht worden zoals; poort, MAC-adres, IP.
- Priority: welke regel wint als meerdere entries matchen
- Counters: statistieken (aantal pakketten, bytes).
- Instructions/Actions: wat er met een pakket moet gebeuren(doorsturen, droppen, headers wijzigen, naar controller sturen).
- Timeouts (optioneel): hoelang de regel geldig is.

Flow entry voorbeeld:

Match: in_port=1, eth_type=0x0800, ipv4_dst=10.0.0.2

Action: output=2

Alle IPV4-pakketten die binnenkomen op poort 1 en bestemming 10.0.0.2 hebben, worden doorgestuurd naar poort 2.

2.4. Wat doen de verschillende OpenFlow-tabellen?

Binnen OpenFlow is er sprake van een aantal verschillende tabellen. Elke tabel heeft een eigen structuur en functie.

1. Flow table

Deze tabel bevat de flow entries die bepalen hoe pakketten worden verwerkt. Elke flow entry bevat een match criteria, een action en een counter.

2. Group table

De group table ondersteunt bepaalde geavanceerde actiesets zoals bijvoorbeeld load balancing, multicast, broadcast en failover.

3. Meter table

Deze tabel beheert de bandbreedte en QoS en definieert acties zoals de rate limiting per VLAN en de prioritering van het verkeer.

4. Table pipeline

De table pipeline houdt eigenlijk in dat flow tables in series kunnen worden uitgevoerd. Een pakket wordt na verwerking van de ene tabel doorgestuurd naar de andere tabel. Dit maakt het mogelijk om complexe policies zoals VLAN-segmentatie, firewalls en forwarding te implementeren.

2.5. Hoe werkt Mininet?

Mininet is een tool om netwerken virtueel te simuleren op één computer. Je bouwt een netwerk met OpenFlow switches en hosts die pakketten kunnen versturen en ontvangen. Binnen Mininet kan je bepaalde commando's zoals pingall en iperf gebruiken om snel de connectiviteit en latency binnen het netwerk te testen.

Het voordeel van Mininet is dat het de mogelijkheid biedt om custom python scripts te gebruiken om een netwerk te ontwikkelen. Dit zorgt ervoor dat een netwerk snel en logisch, virtueel opgebouwd kan worden.

2.6. Wat is Faucet?

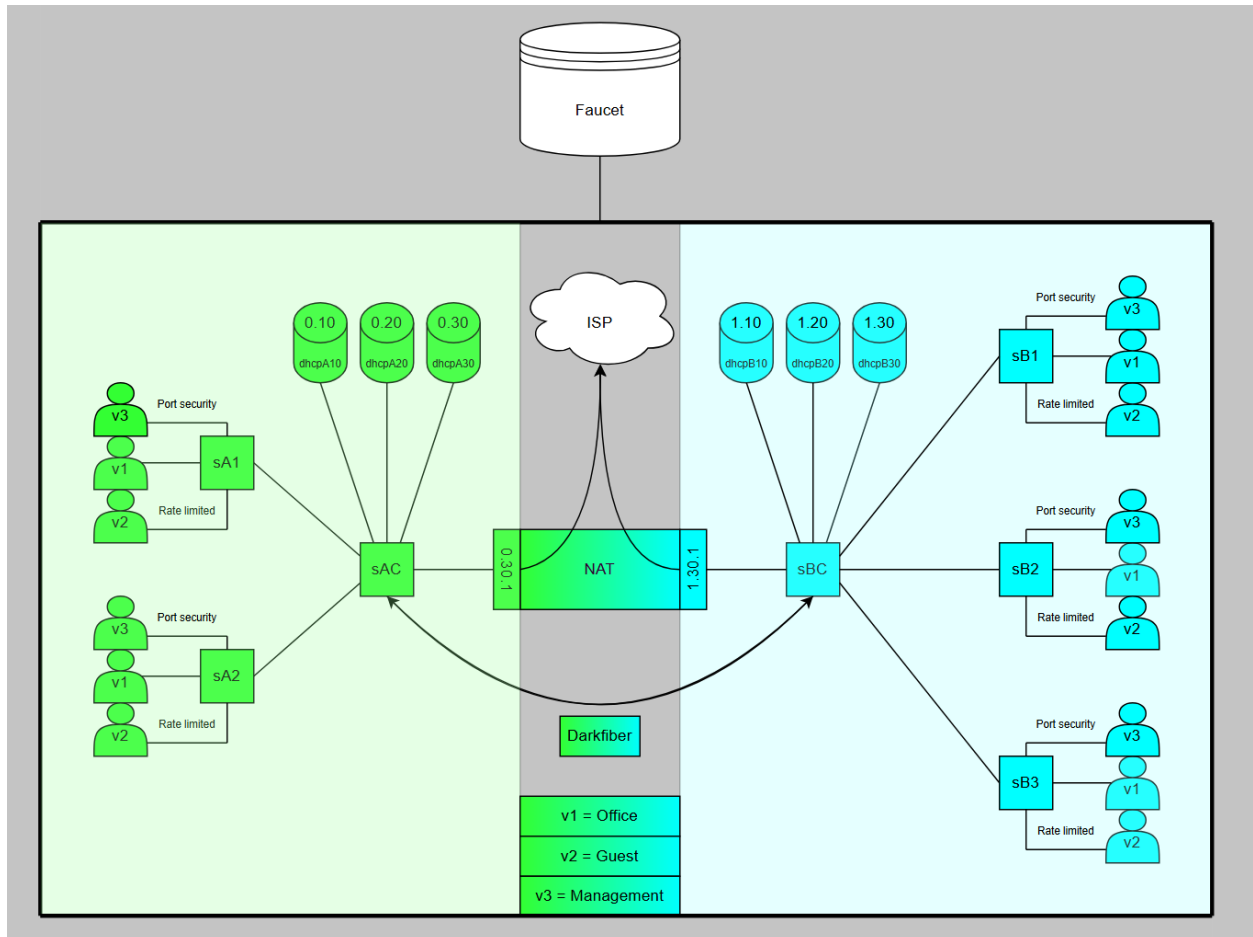
Faucet is een OpenFlow controller die controleert hoe het dataplane verkeer verwerkt wordt mede door het centraal beheren en configureren van de switches in een netwerk. Deze switches worden configureerd d.m.v. YAML files. (Yet Another Markup Language)

Elke switch krijgt een logische naam en interfaces worden toegewezen aan specifieke VLAN's of policies. Vervolgens leest de Faucet controller elke YAML en zet het om naar flow entries. Voor elke switch wordt er bepaald welke flows er nodig zijn om packetmatching en bepaalde acties uit te voeren en hoe deze switch bepaalde NFV-functies moet doen.

Faucet verbind via OpenFlow met de switches en de switches voegen de regels toe aan hun flow table. Switches volgen de flow entries voor elk pakket wat er binnenkomt, als er een pakket binnenkomt waarvoor geen flow entry bestaat dan stuurt de switch dit naar de controller. De controller bepaald dan wat er moet gebeuren.

3. Eindproduct

3.1. Schematische netwerktekening



3.2. Flow entries

Na verder onderzoek is geconstateerd dat faucet hybride, pro-actief te werk gaat. Dat houdt in dat faucet zelf bepaalde flows installeert voordat er überhaupt verkeer op het netwerk is. Dit gedrag komt voort uit het idee dat het mogelijk is dat een bepaalde flow nodig kan zijn, dus dan wordt die flow aangemaakt. Denk bijvoorbeeld aan routing en vlans. Daarnaast installeert faucet L2 flows als er verkeer in het netwerk is. Denk hierbij aan het leren van MAC-adressen.

Het feit dat faucet pro-actief flows installeert zorgt ervoor dat er veel flows aanwezig zijn die nooit gehit worden. Ze bestaan omdat er een mogelijkheid is dat ze nodig zijn, maar in het mininet script worden ze nooit gehit. Daarom worden alleen de flows die hits hebben in het netwerk behandeld.

Bijlage 1 [Flow dumps] laat de dump van alle switches zien, hier wordt bovenstaande uitleg visueel onderbouwd. Omdat er ontzettend veel flows zijn, worden deze niet allemaal benoemd.

```
cookie=0x5adc15c0, duration=8692.488s, table=0, n_packets=0, n_bytes=0,  
priority=20477,ip,in_port="sA1-eth2",nw_dst=10.0.20.0/24  
actions=meter:1,goto_table:1
```

Dit is een rate limiting regel, die zegt dat als verkeer op sA1 binnenkomt van vlan 20, dat dit doorgezet moet worden naar de meter.

```
cookie=0x5adc15c0, duration=8683s, table=2, n_packets=0, n_bytes=0,  
priority=8191,in_port="sA1-eth3",dl_vlan=300,dl_src=00:00:0a:01:01:01  
actions=goto_table:5
```

Dit is een port security regel op sA1. Op sA1 poort 3 in vlan 300, als je dit MAC adres hebt, goto table 5. Als deze regel niet matched (iemand sluit zijn eigen laptop aan en krijgt dus een ander MAC) dan wordt het gedropt.

3.3. Onderbouwing ontwerpkeuzes

De topologie is voor het meerendeel opgezet volgens de opdracht.

- Twee gebouwen
- A heeft 2 switches en B heeft 3 switches (1 per verdieping)
- De switches in een gebouw gaan naar de centrale patchkast (sAC, sBC)
- De centrale patchkast is verbonden via darkfiber met het andere gebouw
- Beide gebouwen hebben een link naar een isp
- Beide gebouwen maken onderscheid tussen 3 vlans

Om dit te realiseren hebben wij twee gebouwen gedefinieerd met 3 vlans met 1 DHCP server per vlan. Vervolgens is er gekozen om een NAT host te simuleren om de uplink van de gebouwen naar de ISP op te zetten. In een eerder stadium van de ontwikkeling had gebouw A zijn eigen nat en gebouw B ook. Daarbij heeft gebouw B 3 eigen vlans gekregen met 3 eigen DHCP servers. De reden hiervoor is dat er aangegeven stond dat “Gebouw B heeft net als Gebouw A een eigen verbinding met een ISP. Deze lijnen kunnen redundantie bieden of gebruikt worden voor load balancing of segmentatie op netwerkniveau.”

Om ervoor te zorgen dat beide gebouwen een eigen uplink hadden was totale segmentatie van de gebouwen logisch, zodat gebouw A als gateway 10.0.30.1 kon gebruiken voor de nat en gebouw B 10.1.30.1. (Bij de DHCP lease wordt een gateway meegegeven, dus daarom moesten de twee gebouwen aparte vlans en DHCP servers hebben.)

Na een veel testen is het ons niet gelukt om 2 NAT nodes te implementeren. Daarom is ervoor gekozen om 1 shared NAT te gebruiken voor beide gebouwen. Hierbij zijn wel de 3 vlans in A en 3 vlans in B gebleven, tevens als de 3 DHCP servers per gebouw. Dit zorgt voor een betere segmentatie, een logischere indeling per gebouw en meer plek in het netwerk. Ook houdt dit de deur open voor toekomstige uitbreiding waarbij een tweede NAT toegevoegd moet worden.

Het gebruik van 1 NAT heeft ook een onderhoudsvoordeel, aangezien je niet twee instanties hoeft te overzien. Het verkeer tussen de gebouwen gaat niet door de NAT, hiervoor wordt expliciet de darkfiber gebruikt. Zoals ook te zien in de netwerktekening, heeft de NAT één interface in beide gebouwen en gebruiken zij deze alleen om de ISP te kunnen bereiken.

Er is gekozen voor het gebruik van DHCP-servers i.p.v. hardcoded IP adressen om voor schaalbaarheid en praktische implementatie te zorgen. Binnen de huidige implementatie is het mogelijk om meer dan 1200 hosts toe te voegen die allemaal direct een IP krijgen via DHCP.

3.4. Functioneel bewijs

Zie hoofdstuk 6 Bijlage.

4. Reflectie en evaluatie

- Zijn de doelstellingen bereikt?

Los van de twee independent NAT links zijn alle doelstellingen bereikt. Er is wel NAT aanwezig met de link naar de ISP waardoor er wel internet access is. Dus alle doelstellingen zijn behaald maar niet helemaal op de gewenste manier.

- Wat ging goed en wat ging lastig?

In principe ging de opdracht in zijn geheel vrij voorspoedig. De grootste problemen waar wij tegen aan zijn gelopen is dat er maar beperkte documentatie te vinden is omtrent het gebruik van mininet samen met faucet. Daarnaast vonden wij de lesindeling ook wel lastig. Iedereen was net begonnen met de opdracht en toen werd er eigenlijk al aangegeven dat dit de laatste les was voor de oplevering. Wij zijn gaandeweg de opdracht dus ook wel tegen dingen aangelopen waar wij eigenlijk wel ondersteuning bij hadden willen hebben.

- Was de aanpak effectief?

De aanpak hebben wij als effectief ervaren. Eigenlijk zijn wij altijd met z'n tweeën bezig geweest met de opdracht, deze manier heeft ervoor gezorgd dat wij allebei wisten waar we mee bezig waren en wat de logische volgende stap is.

- Wat zou je de volgende keer anders doen?

Puur iets anders doen zit er volgens ons niet echt in. Wij zijn van mening dat wij de opdracht in volledigheid hebben volbracht.

- Wat heb je geleerd en toegepast?

Wij hebben geleerd wat mininet en faucet is, hoe deze werken en hoe je een SDN netwerk opzet en onderhoud. Daarnaast heeft deze opdracht ons een beter inzicht gegeven in gecentraliseerde controle.

- Welke uitbreiding zou je met meer tijd/middelen doen?

Met meer tijd en middelen zouden wij toch een mogelijkheid willen vinden om 2 NATs werkend te krijgen, tevens als een tweede faucet controller zodat daar ook redundantie in zit.

5. Literatuurlijst

5.1 Configuration — *Faucet documentation*. (z.d.).

<https://docs.faucet.nz/en/latest/configuration.html>

5.2 Contributors, M. P. (z.d.-b). *Mininet Walkthrough* - Mininet.

<https://mininet.org/walkthrough/>

5.3 Serban, C. (2017, 7 maart). *SDN Lesson #2 – Introducing Faucet as an OpenFlow Controller* - CostiSer.Ro. <https://costiser.ro/2017/03/07/sdn-lesson-2-introducing-faucet-as-an-openflow-controller/>

6.1. Bijlage 1 [Flow dump]

```

mininet> dpctl dump-flows -O OpenFlow13
*** sA1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets-288, n_bytes-133366, priority-20480, in port="SA1-eth25" actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets-1921, n_bytes-11882, priority-20480, arp, in port="SA1-eth2" actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets-282, n_bytes-11844, priority-20480, arp, in port="SA1-eth3" actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets-280, n_bytes-11760, priority-20480, arp, in port="SA1-eth1" actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20471, ip, in port="SA1-eth2" actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4565, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20471, ip, in port="SA1-eth1" actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4565, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20469, ip, in port="SA1-eth3" actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=2, n_bytes-684, priority-20479, udp, in port="SA1-eth2", tp_src=68, tp_dst=67 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=2, n_bytes-684, priority-20479, udp, in port="SA1-eth3", tp_src=68, tp_dst=67 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=2, n_bytes-684, priority-20479, udp, in port="SA1-eth1", tp_src=68, tp_dst=67 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20478, udp, in port="SA1-eth2", tp_src=67, tp_dst=68 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20478, udp, in port="SA1-eth3", tp_src=67, tp_dst=68 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20478, udp, in port="SA1-eth1", tp_src=67, tp_dst=68 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20477, ip, in port="SA1-eth2", nw_dst=10.0.20.0/24 actions-meter:1, goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20477, ip, in port="SA1-eth3", nw_dst=10.0.30.0/24 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20477, ip, in port="SA1-eth1", nw_dst=10.0.10.0/24 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20476, ip, in port="SA1-eth2", nw_dst=10.1.20.0/24 actions-meter:1, goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20476, ip, in port="SA1-eth3", nw_dst=10.1.30.0/24 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20476, ip, in port="SA1-eth1", nw_dst=10.1.10.0/24 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20475, ip, in port="SA1-eth2", nw_dst=10.0.30.0/24 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20475, ip, in port="SA1-eth1", nw_dst=10.0.30.0/24 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20474, ip, in port="SA1-eth2", nw_dst=10.1.30.0/24 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20474, ip, in port="SA1-eth1", nw_dst=10.1.30.0/24 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20473, ip, in port="SA1-eth2", nw_dst=10.0.10.0/24 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20473, ip, in port="SA1-eth3", nw_dst=10.0.10.0/24 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20473, ip, in port="SA1-eth1", nw_dst=10.0.20.0/24 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20472, ip, in port="SA1-eth2", nw_dst=10.1.10.0/24 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20472, ip, in port="SA1-eth3", nw_dst=10.1.10.0/24 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20472, ip, in port="SA1-eth1", nw_dst=10.1.20.0/24 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20471, ip, in port="SA1-eth3", nw_dst=10.0.20.0/24 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4565, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20470, ip, in port="SA1-eth3", nw_dst=10.1.20.0/24 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20475, ip, in port="SA1-eth3", nw_dst=10.0.30.254 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4875, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20474, ip, in port="SA1-eth3", nw_dst=10.1.30.254 actions-goto table:1
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4565, table=0, n_packets=0, n_bytes=0, priority=0 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4895, table=1, n_packets-1447, n_bytes-86820, priority-9999, in port="SA1-eth25", dl_dst=01:80:c2:00:00:00/fff:fff:fff:ff:0, dl_type=0x88cc actions-CONTROLLER:128
cookie->SdSd15c0, duration=0.7555, table=1, n_packets=0, n_bytes=0, hard timeout=281, priority-8191, dl_vlan=310, dl_src=0e:00:00:00:31:01, dl_dst=9a:95:70:28:85:cc actions-goto table:4
cookie->SdSd15c0, duration=0.7395, table=1, n_packets=0, n_bytes=0, hard timeout=286, priority-8191, dl_vlan=110, dl_src=0e:00:00:00:11:01, dl_dst=00:00:00:00:00:00 actions-goto table:4
cookie->SdSd15c0, duration=0.7395, table=1, n_packets=0, n_bytes=0, hard timeout=255, priority-8191, dl_vlan=210, dl_src=0e:00:00:00:21:01, dl_dst=00:00:00:00:00:00 actions-goto table:4
cookie->SdSd15c0, duration=0.7395, table=1, n_packets=0, n_bytes=0, hard timeout=281, priority-8191, dl_vlan=310, dl_src=0e:00:00:00:31:01, dl_dst=00:00:00:00:00:00 actions-goto table:4
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4895, table=1, n_packets-213, n_bytes-12790, priority-4896, in port="SA1-eth25", vlan_tci=0x0000/0xffff actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4895, table=1, n_packets-283, n_bytes-12486, priority-4896, in port="SA1-eth2", vlan_tci=0x0000/0xffff actions-push vlan:0x8100, set_field:4296->vlan_vid, goto table:2
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4895, table=1, n_packets-284, n_bytes-12578, priority-4896, in port="SA1-eth3", vlan_tci=0x0000/0xffff actions-push vlan:0x8100, set_field:4396->vlan_vid, goto table:2
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4885, table=1, n_packets-282, n_bytes-12444, priority-4896, in port="SA1-eth1", vlan_tci=0x0000/0xffff actions-push vlan:0x8100, set_field:4196->vlan_vid, goto table:2
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4895, table=1, n_packets-268, n_bytes-33766, priority-4896, in port="SA1-eth25" actions-goto table:2
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4895, table=1, n_packets=0, n_bytes=0, priority=0 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4955, table=2, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20480, dl_type=0x0000 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4955, table=2, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20480, dl_src=ff:ff:ff:ff:ff:ff actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4955, table=2, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20480, in port="SA1-eth1", dl_src=0e:00:00:00:10:01 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4955, table=2, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20480, in port="SA1-eth2", dl_src=0e:00:00:00:10:01 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4945, table=2, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20480, in port="SA1-eth3", dl_src=0e:00:00:00:10:01 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4945, table=2, n_packets=0, n_bytes=0, priority-20480, in port="SA1-eth1", dl_src=0e:00:00:00:11:01 actions-drop
cookie->SdSd15c0, duration-8692.4945, table=2, n_packets=0, n_bytes=0, priority-204
```

6.2. Bijlage 2 [Net command]

```
mininet> net
dhcp10 dhcp10-eth1:sAC-eth100
dhcp10b dhcp10b-eth1:sBC-eth100
dhcp20 dhcp20-eth1:sAC-eth200
dhcp20b dhcp20b-eth1:sBC-eth200
dhcp30 dhcp30-eth1:sAC-eth300
dhcp30b dhcp30b-eth1:sBC-eth300
hA1v1 hA1v1-eth1:sA1-eth1
hA1v2 hA1v2-eth1:sA1-eth2
hA1v3 hA1v3-eth1:sA1-eth3
hA2v1 hA2v1-eth1:sA2-eth1
hA2v2 hA2v2-eth1:sA2-eth2
hA2v3 hA2v3-eth1:sA2-eth3
hB1v1 hB1v1-eth1:sB1-eth1
hB1v2 hB1v2-eth1:sB1-eth2
hB1v3 hB1v3-eth1:sB1-eth3
hB2v1 hB2v1-eth1:sB2-eth1
hB2v2 hB2v2-eth1:sB2-eth2
hB2v3 hB2v3-eth1:sB2-eth3
hB3v1 hB3v1-eth1:sB3-eth1
hB3v2 hB3v2-eth1:sB3-eth2
hB3v3 hB3v3-eth1:sB3-eth3
isp isp-eth1:nat-eth3
nat nat-eth1:sAC-eth50 nat-eth2:sBC-eth50 nat-eth3:isp-eth1
sA1 lo: sA1-eth1:hA1v1-eth1 sA1-eth2:hA1v2-eth1 sA1-eth3:hA1v3-eth1 sA1-eth25:sAC-eth2
sA2 lo: sA2-eth1:hA2v1-eth1 sA2-eth2:hA2v2-eth1 sA2-eth3:hA2v3-eth1 sA2-eth25:sAC-eth3
sAC lo: sAC-eth1:sBC-eth1 sAC-eth2:sA1-eth25 sAC-eth3:sA2-eth25 sAC-eth50:nat-eth1 sAC-eth100:dhcp10-eth1 sAC-eth200:dhcp20-eth1 sAC-eth300:dhcp30-eth1
sB1 lo: sB1-eth1:hB1v1-eth1 sB1-eth2:hB1v2-eth1 sB1-eth3:hB1v3-eth1 sB1-eth25:sBC-eth2
sB2 lo: sB2-eth1:hB2v1-eth1 sB2-eth2:hB2v2-eth1 sB2-eth3:hB2v3-eth1 sB2-eth25:sBC-eth3
sB3 lo: sB3-eth1:hB3v1-eth1 sB3-eth2:hB3v2-eth1 sB3-eth3:hB3v3-eth1 sB3-eth25:sBC-eth4
sBC lo: sBC-eth1:sAC-eth1 sBC-eth2:sB1-eth25 sBC-eth3:sB2-eth25 sBC-eth4:sB3-eth25 sBC-eth50:nat-eth2 sBC-eth100:dhcp10b-eth1 sBC-eth200:dhcp20b-eth1 sBC-eth300:dhcp30b-eth1
c0
```

6.3. Bijlage 3 [Links command]

```
mininet> links
nat-eth3<->isp-eth1 (OK OK)
nat-eth1<->sAC-eth50 (OK OK)
nat-eth2<->sBC-eth50 (OK OK)
sA1-eth1<->hA1v1-eth1 (OK OK)
sA1-eth2<->hA1v2-eth1 (OK OK)
sA1-eth3<->hA1v3-eth1 (OK OK)
sA2-eth1<->hA2v1-eth1 (OK OK)
sA2-eth2<->hA2v2-eth1 (OK OK)
sA2-eth3<->hA2v3-eth1 (OK OK)
sAC-eth100<->dhcp10-eth1 (OK OK)
sAC-eth200<->dhcp20-eth1 (OK OK)
sAC-eth300<->dhcp30-eth1 (OK OK)
sAC-eth2<->sA1-eth25 (OK OK)
sAC-eth3<->sA2-eth25 (OK OK)
sAC-eth1<->sBC-eth1 (OK OK)
sB1-eth1<->hB1v1-eth1 (OK OK)
sB1-eth2<->hB1v2-eth1 (OK OK)
sB1-eth3<->hB1v3-eth1 (OK OK)
sB2-eth1<->hB2v1-eth1 (OK OK)
sB2-eth2<->hB2v2-eth1 (OK OK)
sB2-eth3<->hB2v3-eth1 (OK OK)
sB3-eth1<->hB3v1-eth1 (OK OK)
sB3-eth2<->hB3v2-eth1 (OK OK)
sB3-eth3<->hB3v3-eth1 (OK OK)
sBC-eth100<->dhcp10b-eth1 (OK OK)
sBC-eth200<->dhcp20b-eth1 (OK OK)
sBC-eth300<->dhcp30b-eth1 (OK OK)
sBC-eth2<->sB1-eth25 (OK OK)
sBC-eth3<->sB2-eth25 (OK OK)
sBC-eth4<->sB3-eth25 (OK OK)
```

6.4. Bijlage 4 [Port security]

```
mininet> hA1v3 ifconfig
hA1v3-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.30.130 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.30.255
    ether 00:00:0a:01:01:01 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 99 bytes 9884 (9.8 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 75 bytes 4666 (4.6 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 5 bytes 560 (560.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 5 bytes 560 (560.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

mininet> hA1v3 ping -c2 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.564 ms
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.084 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1016ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.084/0.324/0.564/0.240 ms
mininet> hA1v3 ip link set dev hA1v3-eth1 address 00:00:0a:01:01:10
mininet> hA1v3 ifconfig
hA1v3-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.30.130 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.30.255
    ether 00:00:0a:01:01:10 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 103 bytes 10182 (10.1 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 79 bytes 4946 (4.9 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 5 bytes 560 (560.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 5 bytes 560 (560.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

mininet> hA1v3 ping isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
From 10.0.30.130 icmp_seq=1 Destination Host Unreachable
From 10.0.30.130 icmp_seq=2 Destination Host Unreachable
From 10.0.30.130 icmp_seq=3 Destination Host Unreachable
^C
--- 221.1.1.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 0 received, +3 errors, 100% packet loss, time 5100ms
pipe 4
mininet> hA1v3 ip link set dev hA1v3-eth1 address 00:00:0a:01:01:01
mininet> hA1v3 ifconfig
hA1v3-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.30.130 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.30.255
    ether 00:00:0a:01:01:01 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 120 bytes 11146 (11.1 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 101 bytes 5870 (5.8 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 11 bytes 1232 (1.2 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 11 bytes 1232 (1.2 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

mininet> hA1v3 ping isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.476 ms
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.069 ms
```

Zodra het MAC adres van hA1v3 (h – Host, A – gebouw A, 1 – Switch 1, v3 – vlan300) verandert, verlies deze host connectie met het netwerk. Oftewel port security.

6.5. Bijlage 5 [Rate limiting]

```
mininet> hA1v1 ifconfig
hA1v1-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.10.18 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.10.255
    ether 00:00:00:00:00:07 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 12 bytes 3512 (3.5 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 3 bytes 726 (726.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

mininet> hA2v1 ifconfig
hA2v1-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.10.21 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.10.255
    ether 00:00:00:00:00:0a txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 11 bytes 3470 (3.4 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 4 bytes 1068 (1.0 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

mininet> hA1v1 iperf -s &
mininet> hA2v1 iperf -c 10.0.10.18 -t 30

-----
Client connecting to 10.0.10.18, TCP port 5001
TCP window size: 680 KByte (default)
-----
[ 3] local 10.0.10.21 port 43236 connected with 10.0.10.18 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 3] 0.0-30.0 sec  147 GBytes  42.2 Gbits/sec

mininet> hA1v2 ifconfig
hA1v2-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.20.19 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.20.255
    ether 00:00:00:00:00:08 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 7280 bytes 24795372 (24.7 MB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 3517 bytes 249936 (249.9 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

mininet> hA2v2 ifconfig
hA2v2-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.20.22 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.20.255
    ether 00:00:00:00:00:0b txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 3522 bytes 252044 (252.0 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 7722 bytes 29033074 (29.0 MB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

mininet> hA1v2 iperf -s &
mininet> hA2v2 iperf -c 10.0.20.19 -t 30

-----
Client connecting to 10.0.20.19, TCP port 5001
TCP window size: 230 KByte (default)
-----
[ 3] local 10.0.20.22 port 37888 connected with 10.0.20.19 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 3] 0.0-30.1 sec  19.1 MBytes  5.33 Mbits/sec

mininet> hB2v2 iperf -c 10.0.20.19 -t 30
Internet Systems Consortium DHCP Client 4.4.1
Copyright 2004-2018 Internet Systems Consortium.
All rights reserved.
For info, please visit https://www.isc.org/software/dhcp/

Listening on LPF/hB2v2-eth1/00:00:00:00:00:11
Sending on LPF/hB2v2-eth1/00:00:00:00:00:11
Sending on Socket/fallback
DHCPDISCOVER on hB2v2-eth1 to 255.255.255.255 port 67 interval 3 (xid=0xc14471300)
DHCPOFFER of 10.1.20.28 from 10.1.20.10
DHCPREQUEST for 10.1.20.28 on hB2v2-eth1 to 255.255.255.255 port 67 (xid=0xc14471300)
DHCPACK of 10.1.20.28 from 10.1.20.10 (xid=0xc14471300)
bound to 10.1.20.28 -- renewal in 18332 seconds.

-----
Client connecting to 10.0.20.19, TCP port 5001
TCP window size: 1.19 MByte (default)
-----
[ 3] local 10.1.20.28 port 43412 connected with 10.0.20.19 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 3] 0.0-30.4 sec  13.1 MBytes  3.62 Mbits/sec
```

.10 Subnet, niet limited

.20 subnet (guest)
wel limited

hA1v1, een host op vlan Office, heeft een ongelimiteerde bandbreedte. De afbeelding daarnaast laat zien dat hA1v2, een host op vlan Guest, gelimiteerd is tot 5 Mbits/s. Oftwel rate limiting voor de Guest vlan.

6.6. Bijlage 6 [VLAN segmentatie]

| | |
|--|-----------------------|
| <pre>mininet> hA1v1 ifconfig hA1v1-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500 inet 10.0.10.18 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.10.255 ether 00:00:00:00:00:07 txqueuelen 1000 (Ethernet) RX packets 406 bytes 26780 (26.7 KB) RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0 TX packets 390 bytes 18492 (18.4 KB) TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0 lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536 inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0 loop txqueuelen 1000 (Local Loopback) RX packets 0 bytes 0 (0.0 B) RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0 TX packets 0 bytes 0 (0.0 B) TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0</pre> | |
| <pre>mininet> hA1v1 ping -c2 hA1v2 PING 10.0.20.19 (10.0.20.19) 56(84) bytes of data. --- 10.0.20.19 ping statistics --- 2 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 1013ms</pre> | VLAN 10 - VLAN 20 X |
| <pre>mininet> hA1v1 ping -c2 hA1v3 PING 10.0.30.130 (10.0.30.130) 56(84) bytes of data. --- 10.0.30.130 ping statistics --- 2 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 1017ms</pre> | VLAN 10 - VLAN 30 X |
| <pre>mininet> hA1v1 ping -c2 hA2v1 PING 10.0.10.21 (10.0.10.21) 56(84) bytes of data. 64 bytes from 10.0.10.21: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.15 ms 64 bytes from 10.0.10.21: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.052 ms --- 10.0.10.21 ping statistics --- 2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1003ms rtt min/avg/max/mdev = 0.052/0.600/1.148/0.548 ms</pre> | VLAN 10 - VLAN 10 V |
| <pre>mininet> hA1v1 ping -c2 hA2v2 PING 10.0.20.22 (10.0.20.22) 56(84) bytes of data. --- 10.0.20.22 ping statistics --- 2 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 1025ms</pre> | VLAN 10 - VLAN 20 X |
| <pre>mininet> hA1v1 ping -c2 hA2v3 PING 10.0.30.131 (10.0.30.131) 56(84) bytes of data. --- 10.0.30.131 ping statistics --- 2 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 1025ms</pre> | VLAN 10 - VLAN 30 X |
| <pre>mininet> hA1v1 ping -c2 hB1v1 PING 10.1.10.24 (10.1.10.24) 56(84) bytes of data. 64 bytes from 10.1.10.24: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.393 ms 64 bytes from 10.1.10.24: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.136 ms --- 10.1.10.24 ping statistics --- 2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1010ms rtt min/avg/max/mdev = 0.136/0.264/0.393/0.128 ms</pre> | VLAN 10 - VLAN 10 V |
| <pre>mininet> hA1v1 ping -c2 hB1v2 PING 10.1.20.25 (10.1.20.25) 56(84) bytes of data. --- 10.1.20.25 ping statistics --- 2 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 1019ms</pre> | VLAN 10 - VLAN 20 B X |
| <pre>mininet> hA1v1 ping -c2 isp PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data. 64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=1.40 ms 64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.224 ms --- 221.1.1.1 ping statistics --- 2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1003ms rtt min/avg/max/mdev = 0.224/0.813/1.401/0.589 ms</pre> | VLAN 10 - ISP V |

VLANs kunnen geen andere VLANs bereiken, behalve de mirror VLAN in het andere gebouw. Alle VLANs kunnen wel de isp bereiken.

6.7. Bijlage 7 [Hosts naar ISP]

```
--- 221.1.1.1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1017ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.165/0.341/0.517/0.176 ms
mininet> hA1v1 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.197 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.197/0.197/0.197/0.000 ms
mininet> hA1v2 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=1.26 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.261/1.261/1.261/0.000 ms
mininet> hA1v3 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.800 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.800/0.800/0.800/0.000 ms
mininet> hA2v1 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.988 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.988/0.988/0.988/0.000 ms
mininet> hA2v2 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.680 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.680/0.680/0.680/0.000 ms
mininet> hA2v3 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.796 ms
```

Alle hosts in gebouw A hebben toegang tot de ISP

```
--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.796/0.796/0.796/0.000 ms
mininet> hB1v1 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=1.30 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.301/1.301/1.301/0.000 ms
mininet> hB1v2 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.691 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.691/0.691/0.691/0.000 ms
mininet> hB1v3 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.703 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.703/0.703/0.703/0.000 ms
mininet> hB2v1 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.882 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.882/0.882/0.882/0.000 ms
mininet> hB2v2 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=1.11 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.112/1.112/1.112/0.000 ms
mininet> hB2v3 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=63 time=1.01 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.012/1.012/1.012/0.000 ms
mininet> hB3v1 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.918 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.918/0.918/0.918/0.000 ms
mininet> hB3v2 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.615 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.615/0.615/0.615/0.000 ms
mininet> hB3v3 ping -c1 isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=63 time=0.872 ms

--- 221.1.1.1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.872/0.872/0.872/0.000 ms
```

Alle hosts in gebouw B hebben toegang tot de ISP

6.8. Bijlage 8 [Logboek]

| Datum | Activiteit | Beschrijving |
|-------|--------------------------|---|
| 16-09 | Mininet & Faucet install | Opzet mininet VM en Faucet controller. |
| 18-09 | Topologie | Test topologie gemaakt om mininet te leren. |
| 23-09 | Topologie met Faucet | Remote Faucet controller toegevoegd en basis config geïmplementeerd. |
| 26-09 | DHCP | DHCP host opgezet en geconfigureerd. |
| 29-09 | DHCP | DHCP hosts voor elke VLAN, werkend. |
| 02-10 | NAT | Basis NAT topologie zonder Faucet test. |
| 03-10 | NAT met controller | Remote Faucet controller in NAT topologie. |
| 06-10 | 2 NATS met DHCP | NAT topologie gecombineerd met DHCP configs, 2 NATs werken niet samen. |
| 07-10 | 2 NATS met DHCP | Elke keer werkt maar 1 van de 2 NATs, conclusie, wij weten niet hoe je 2 NATs moet gebruiken. |
| 08-10 | Faucet met STACKS | Faucet config omgezet naar Stacked i.p.v. trunks. 2 NATs werkt nog steeds niet. |
| 9-10 | 1 NAT met DHCP | Terug naar 1 NAT. Werkt wel, DHCP toegevoegd. |
| 11-10 | ACLS en VLAN segmentatie | Staande topologie uitgebreid met VLAN segmentatie. |
| 14-10 | NFV | Rate limiting voor Guest VLAN en port security voor Management VLAN toegevoegd. |

7. Github & Video

Google drive link voor video netwerk:

https://drive.google.com/file/d/10Pib1i7qIZgDRUAnfnP4PtgKmWuYxT_O/view?usp=sharing

Github link voor scripts:

<https://github.com/basboelens/SDNhugo.git>

8. Opdracht 3

Deze opdracht is een voortbording op Opdracht 2. Bij opdracht 3 moet er IPv6 functionaliteit geïmplementeerd worden, samen met een stateful firewall.

Bijna alle eisen van deze opdracht zijn behaald, behalve de IPv6 routing naar de ISP. Intern hebben alle hosts een IPv4 en IPv6 adres en alle hosts kunnen met elkaar communiceren via beide protocollen. (Indien allowed, vlan/host-isolation)

Daarnaast bevat de NAT-node een stateful firewall. De regels zorgen ervoor dat elke verbinding die opgezet is door een host binnen het netwerk, permitted return traffic heeft. “ESTABLISHED,RELATED”. Daarbij wordt unsolicited traffic (bijvoorbeeld een SYN packet van de ISP die niet bij een bestaande sessie hoort) gedropt, omdat er geen generieke “ACCEPT” rule is om verkeer van de WAN naar de LAN te verplaatsen.

De configuratiefiles zijn te vinden op de Github onder het mapje “Opdracht 3”. Belangrijk om op te merken is dat het netwerk inhoudelijk een kleine verandering is ondergaan t.o.v. opdracht 2. Bij opdracht 2 hadden wij namelijk 3 vlans en 3 dhcp servers per gebouw. Tijdens het opzetten en configureren van IPv6 bleek al snel dat er veel routeringsproblemen voorkwamen. Daarom hebben wij ervoor gekozen om de complexiteit van 3 vlans per gebouw te elimineren en te kiezen voor 3 vlans over beide gebouwen. Dit zorgt er effectief voor dat het intern één groot L2 netwerk is geworden.

Concreet de pijnpunten van de opdracht:

- IPv6 is lastig in te stellen
- IPv6 (met mininet) heeft veel routeringsproblemen
- Mininet als systeem werkt soms niet goed (Op het ene moment werkt iets wel en daarna niet meer.)
- Het is onduidelijk waar de fout zit met de configuratie van IPv6. Wij zijn in de veronderstelling dat onze configuratie klopt, al helemaal t.o.v. IPv4. Dit duidt dus of op een probleem met mininet/faucet, of op het feit dat het voor ons dus niet duidelijk genoeg is hoe dit werkt.

Los van de routeringsproblemen met IPv6 en dus de ISP connectiviteit op dit vlak, hebben wij wel voldaan aan de rest van de eisen van zowel opdracht 2 als opdracht 3.

```

mininet> hA2v2 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 1118ms

mininet> hA2v3 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.52 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.208 ms
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1006ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.208/0.861/1.515/0.653 ms
mininet> hB1v1 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.579 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=3 ttl=63 time=0.206 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=4 ttl=63 time=0.123 ms
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
4 packets transmitted, 3 received, 25% packet loss, time 3243ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.123/0.302/0.579/0.198 ms
mininet> hB1v2 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
From 2042:200::254 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=2 ttl=63 time=2.03 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=3 ttl=63 time=0.928 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=4 ttl=63 time=0.161 ms
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
4 packets transmitted, 3 received, +1 errors, 25% packet loss, time 3605ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.161/1.038/2.026/0.765 ms
mininet> hB1v3 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.42 ms
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
1 packets transmitted, 1 received, 0% packet loss, time 0ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.417/1.417/1.417/0.000 ms
mininet> hB2v1 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
From 2042:100::254 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=2 ttl=63 time=1.07 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=3 ttl=63 time=4.20 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=4 ttl=63 time=0.167 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=5 ttl=63 time=0.291 ms^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
5 packets transmitted, 4 received, +1 errors, 20% packet loss, time 4447ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.167/1.433/4.201/1.635 ms
mininet> hB2v2 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
From 2042:200::254 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.517 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=3 ttl=63 time=0.415 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=4 ttl=63 time=1.68 ms
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
4 packets transmitted, 3 received, +1 errors, 25% packet loss, time 3129ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.415/0.871/1.681/0.574 ms
mininet> hB2v3 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.25 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=2 ttl=64 time=1.01 ms
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1276ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.011/1.128/1.245/0.117 ms
mininet> hB3v1 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
From 2042:100::254 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=2 ttl=63 time=2.14 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=3 ttl=63 time=0.436 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=4 ttl=63 time=0.599 ms
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
4 packets transmitted, 3 received, +1 errors, 25% packet loss, time 3235ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.436/1.058/2.140/0.767 ms
mininet> hB3v2 ping6 2042:300::1
PING 2042:300::1(2042:300::1) 56 data bytes
From 2042:200::254 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=2 ttl=63 time=0.626 ms
64 bytes from 2042:300::1: icmp_seq=3 ttl=63 time=1.30 ms
^C
--- 2042:300::1 ping statistics ---
3 packets transmitted, 2 received, +1 errors, 33.3333% packet loss, time 2264ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.626/0.964/1.302/0.338 ms

```

Ping van hosts naar NAT (Dit heeft 1x gewerkt tijdens een test, daarna nooit weer. De configuratie is niet veranderd tussen tests door.)

```

mininet> nat ifconfig
lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
    inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
    loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
    RX packets 3 bytes 456 (456.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 3 bytes 456 (456.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

nat-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.30.1 netmask 255.255.255.0 broadcast 0.0.0.0
    inet6 2042:300::1 prefixlen 64 scopeid 0x0<global>
    ether 00:00:00:00:00:14 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 1605 bytes 151312 (151.3 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 724 bytes 66716 (66.7 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

nat-eth2: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.1.30.1 netmask 255.255.255.0 broadcast 0.0.0.0
    inet6 2042:300::2 prefixlen 64 scopeid 0x0<global>
    ether 7a:f6:d5:64:5b:20 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 1834 bytes 164952 (164.9 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 18 bytes 1308 (1.3 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

nat-eth3: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 221.1.1.2 netmask 255.255.255.252 broadcast 0.0.0.0
    inet6 2001:db8::2 prefixlen 64 scopeid 0x0<global>
    inet6 fe80::f8fb:7dff:fed5:b223 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    ether fa:fb:7d:d5:b2:23 txqueuelen 1000 (Ethernet)
    RX packets 17 bytes 1922 (1.9 KB)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 28 bytes 2980 (2.9 KB)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

mininet> hA1v3 ping6 2001:db8::2
PING 2001:db8::2(2001:db8::2) 56 data bytes
From 2042:300::254 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
From 2042:300::254 icmp_seq=2 Destination unreachable: No route
From 2042:300::254 icmp_seq=3 Destination unreachable: No route
From 2042:300::254 icmp_seq=4 Destination unreachable: No route
From 2042:300::254 icmp_seq=5 Destination unreachable: No route
^C
--- 2001:db8::2 ping statistics ---
5 packets transmitted, 0 received, +5 errors, 100% packet loss, time 4089ms

```

Ping van host naar NAT WAN via v6 (werkt niet)

```

mininet> nat ip -6 route show
2001:db8::/64 dev nat-eth3 proto kernel metric 256 pref medium
2042:100::/64 via 2042:300::254 dev nat-eth1 metric 1024 pref medium
2042:200::/64 via 2042:300::254 dev nat-eth1 metric 1024 pref medium
2042:300::/64 dev nat-eth1 proto kernel metric 256 pref medium
2042:300::/64 dev nat-eth2 proto kernel metric 256 pref medium
fe80::/64 dev nat-eth3 proto kernel metric 256 pref medium
default via 2001:db8::1 dev nat-eth3 metric 1024 pref medium
mininet> hA1v3 ip -6 route show
2042:300::/64 dev hA1v3-eth1 proto kernel metric 256 pref medium
fe80::/64 dev hA1v3-eth1 proto kernel metric 256 pref medium
default via 2042:300::254 dev hA1v3-eth1 metric 1024 pref medium
mininet> hA1v3 ip route show
default via 10.0.30.254 dev hA1v3-eth1
10.0.30.0/24 dev hA1v3-eth1 proto kernel scope link src 10.0.30.11
mininet> hA1v3 ping isp
PING 221.1.1.1 (221.1.1.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=1 ttl=63 time=15.6 ms
64 bytes from 221.1.1.1: icmp_seq=2 ttl=63 time=11.7 ms
^C
--- 221.1.1.1 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1054ms
rtt min/avg/max/mdev = 11.656/13.637/15.619/1.981 ms
mininet> hA1v3 ping6 2001:db8::1
PING 2001:db8::1(2001:db8::1) 56 data bytes
From 2042:300::254 icmp_seq=1 Destination unreachable: No route
^C
--- 2001:db8::1 ping statistics ---
3 packets transmitted, 0 received, +1 errors, 100% packet loss, time 2024ms

```

Routes NAT en Host. (IPv6 is een mirror van IPv4, maar werkt niet)

```

vlangs:

  office:
    vid: 100
    faucet_mac: "0e:00:00:00:10:01"
    faucet_vips: ["10.0.10.254/24", "2042:100::254/64"]
    routes:
      - route: { ip_dst: "0.0.0.0/0", ip_gw: "10.0.30.1" }
      - route: { ip_dst: "::/0", ip_gw: "2042:300::1" }

  guest:
    vid: 200
    faucet_mac: "0e:00:00:00:20:01"
    faucet_vips: ["10.0.20.254/24", "2042:200::254/64"]
    routes:
      - route: { ip_dst: "0.0.0.0/0", ip_gw: "10.0.30.1" }
      - route: { ip_dst: "::/0", ip_gw: "2042:300::1" }

  management:
    vid: 300
    faucet_mac: "0e:00:00:00:30:01"
    faucet_vips: ["10.0.30.254/24", "2042:300::254/64"]
    routes:
      - route: { ip_dst: "0.0.0.0/0", ip_gw: "10.0.30.1" }
      - route: { ip_dst: "::/0", ip_gw: "2042:300::1" }

```

```

# IPtables
nat_node.cmd('iptables -t nat -F POSTROUTING')
nat_node.cmd('iptables -F FORWARD')
nat_node.cmd(f'iptables -t nat -A POSTROUTING -o {nat_wan} -j MASQUERADE')
nat_node.cmd(f'iptables -A FORWARD -i {nat_wan} -o {natA_lan} -m state --state ESTABLISHED,RELATED -j ACCEPT')
nat_node.cmd(f'iptables -A FORWARD -i {natA_lan} -o {nat_wan} -j ACCEPT')

nat_node.cmd('ip6tables -t nat -F POSTROUTING')
nat_node.cmd('ip6tables -F FORWARD')
nat_node.cmd(f'ip6tables -A FORWARD -i {nat_wan} -o {natA_lan} -m state --state ESTABLISHED,RELATED -j ACCEPT')
nat_node.cmd(f'ip6tables -A FORWARD -i {natA_lan} -o {nat_wan} -j ACCEPT')

```

Nogmaals, IPv6 is een mirror van IPv4 maar werkt niet goed.

```

mininet> nat iptables -L -v -n
Chain INPUT (policy ACCEPT 0 packets, 0 bytes)
 pkts bytes target    prot opt in     out     source                 destination
Chain FORWARD (policy ACCEPT 0 packets, 0 bytes)
 pkts bytes target    prot opt in     out     source                 destination
  5    420 ACCEPT    all  --  nat-eth3 nat-eth1 0.0.0.0/0             0.0.0.0/0             state RELATED,ESTABLISHED
  5    420 ACCEPT    all  --  nat-eth1 nat-eth3 0.0.0.0/0             0.0.0.0/0
Chain OUTPUT (policy ACCEPT 0 packets, 0 bytes)
 pkts bytes target    prot opt in     out     source                 destination
mininet> nat ip6tables -L -v -n
Chain INPUT (policy ACCEPT 0 packets, 0 bytes)
 pkts bytes target    prot opt in     out     source                 destination
Chain FORWARD (policy ACCEPT 0 packets, 0 bytes)
 pkts bytes target    prot opt in     out     source                 destination
  0      0 ACCEPT    all  --  nat-eth3 nat-eth1 ::/0                  ::/0                  state RELATED,ESTABLISHED
  2    208 ACCEPT    all  --  nat-eth1 nat-eth3 ::/0                  ::/0
Chain OUTPUT (policy ACCEPT 0 packets, 0 bytes)
 pkts bytes target    prot opt in     out     source                 destination

```

NAT IPtables voor v4 en v6

```

mininet> hB1v1 ifconfig
hB1v1-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
inet 10.0.10.13 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.10.25
inet6 2042:100::14 prefixlen 64 scopeid 0x0<global>
ether fe80::200:ff:fe00:a prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
RX packets 866 bytes 92785 (92.7 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 43 bytes 5628 (5.6 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

```

```

mininet> hA1v1 ping6 2042:100::14
PING 2042:100::14(2042:100::14) 56 data bytes
64 bytes from 2042:100::14: icmp_seq=1 ttl=64 time=4.52 ms
64 bytes from 2042:100::14: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.088 ms
64 bytes from 2042:100::14: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.074 ms
64 bytes from 2042:100::14: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.486 ms
^C
--- 2042:100::14 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3092ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.074/1.292/4.520/1.871 ms

```

Vlan 100 -> vlan 100 V

```

mininet> hB1v2 ifconfig
hB1v2-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
inet 10.0.20.13 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.20.25
inet6 fe80::200:ff:fe00:b prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
inet6 2042:200::12 prefixlen 64 scopeid 0x0<global>
ether 00:00:00:00:00:0b txqueuelen 1000 (Ethernet)
RX packets 218 bytes 36094 (36.0 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 32 bytes 4414 (4.4 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

```

```

mininet> hA1v2 ping6 2042:200::12
ping6: connect: Network is unreachable

```

Guest -> guest X

```

mininet> hB1v3 ifconfig
hB1v3-eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
inet 10.0.30.13 netmask 255.255.255.0 broadcast 10.0.30.25
inet6 fe80::200:bff:fe01:101 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
inet6 2042:300::15 prefixlen 64 scopeid 0x0<global>
ether 00:00:0b:01:01:01 txqueuelen 1000 (Ethernet)
RX packets 1373 bytes 135705 (135.7 KB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 38 bytes 5240 (5.2 KB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
inet6 ::1 prefixlen 128 scopeid 0x10<host>
loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

```

```

mininet> hA1v3 ping6 2042:300::15
PING 2042:300::15(2042:300::15) 56 data bytes
64 bytes from 2042:300::15: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.80 ms
64 bytes from 2042:300::15: icmp_seq=2 ttl=64 time=9.26 ms
^C
--- 2042:300::15 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1345ms
rtt min/avg/max/mdev = 2.797/6.028/9.260/3.231 ms

```

Vlan 300 -> vlan 300 V

IPv6 functionaliteit binnen het netwerk. IPv6 heeft dezelfde regels als IPv4, met vlan isolation en host isolation op de guest vlan. Het enige wat dus mist in het netwerk is de connectiviteit van de hosts naar de isp m.b.v. IPv6.