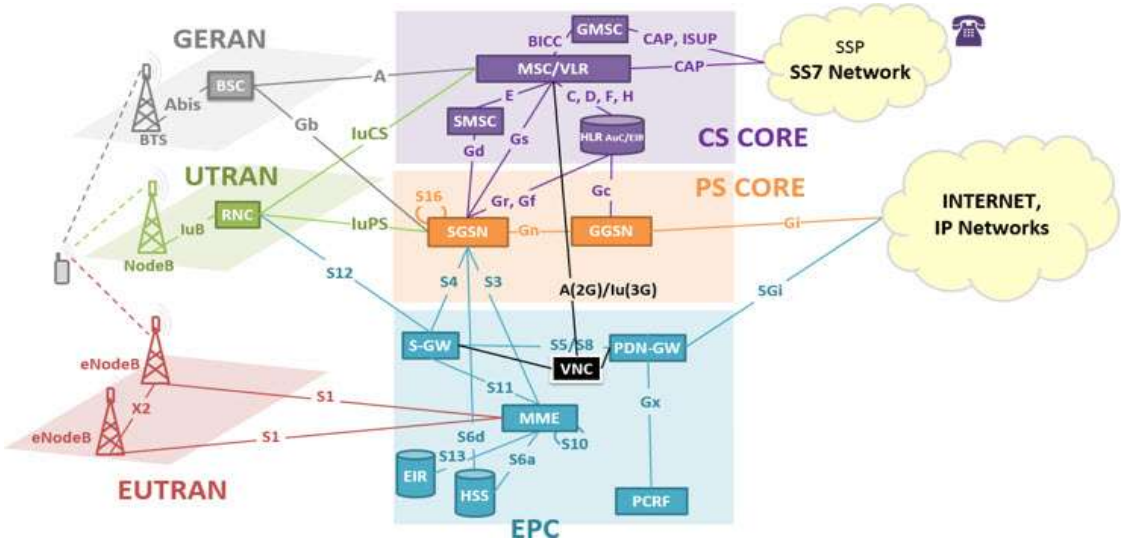
Komunikácia v mobilných sieťach 1
Vytvorenie 5G Core (5GC)



KIS FRI UNIZA

Vytvorené v rámci projektu **KEGA 026TUKE-04/2021**

Agenda

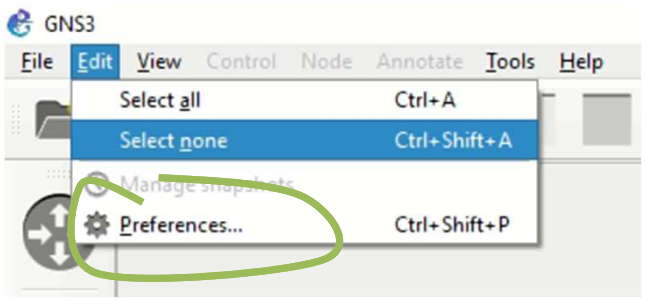
- Vytvorenie projektu s virtualizovanou 5G topológiou a kontrola nastavenia
- Konfigurácia uzlov virtuálnej mobilnej siete
- Aktivácia jednotlivých funkčných prvkov
- Konfigurácia UPF inštancie na zabezpečenie internetovej konektivity
- Úlohy

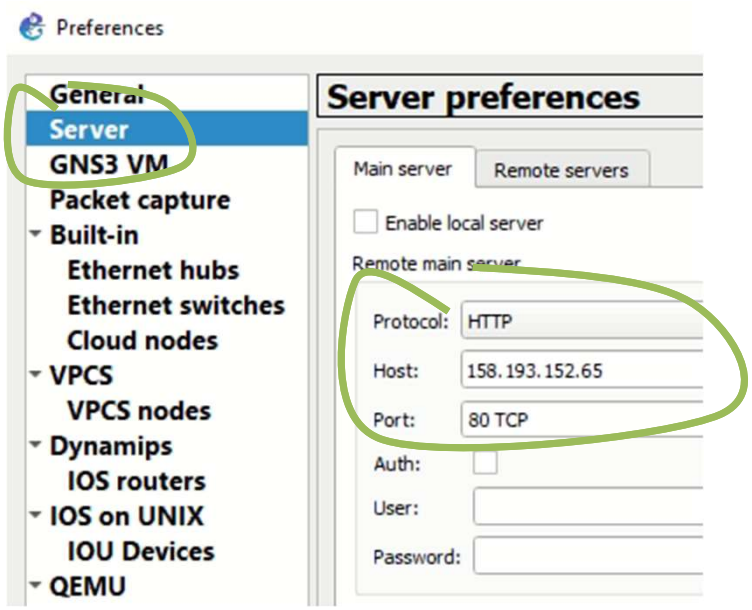
Vytvorenie projektu s virtualizovanou topológiou a kontrola nastavenia

GNS3 - Graphical Network Simulator-3

- SW simulátor sietí, vytvorený v roku 2008. Umožňuje kombinovať virtuálne sieťové prvky s reálnym SW sieťovým operačným systémom od rôznych výrobcov a rôznych typov. Rovnako aj poskytuje prostredie pre koncové zariadenia (s OS Windows, Linux a iné)
- Funguje v klient – server móde. SW klient sa pripája na lokálny alebo vzdialený server. Klient poskytuje grafické prostredie ku existujúcim projektom na serveri.

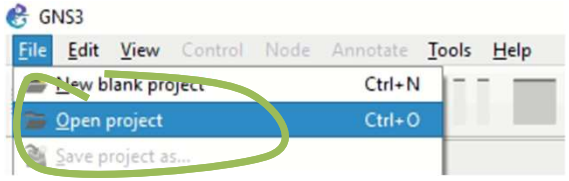
- Skontrolovať nastavenie:

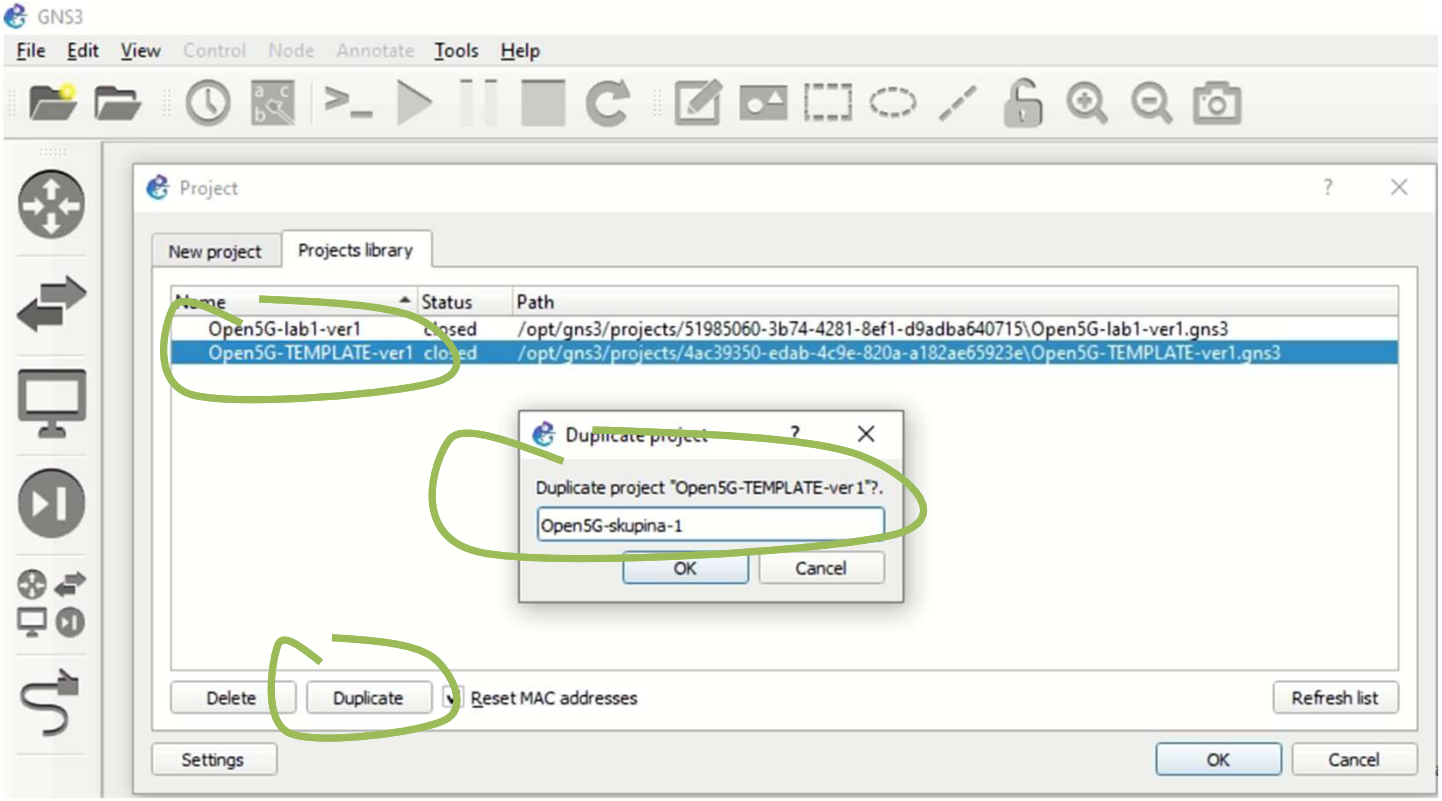




GNS3 – Nový projekt

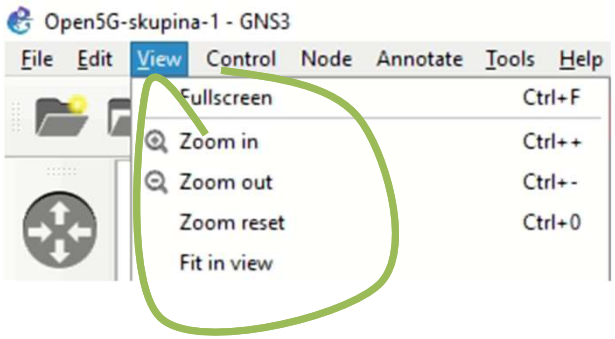
- Vytvorenie si vlastného projektu, použite číslovanie vašej skupiny



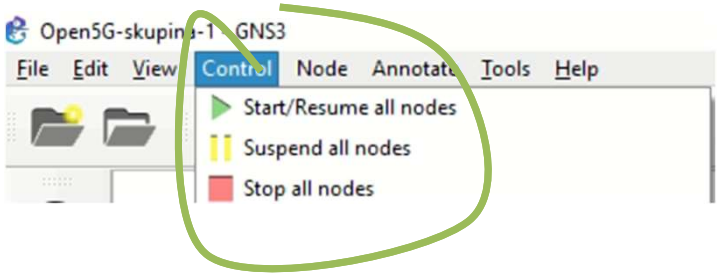


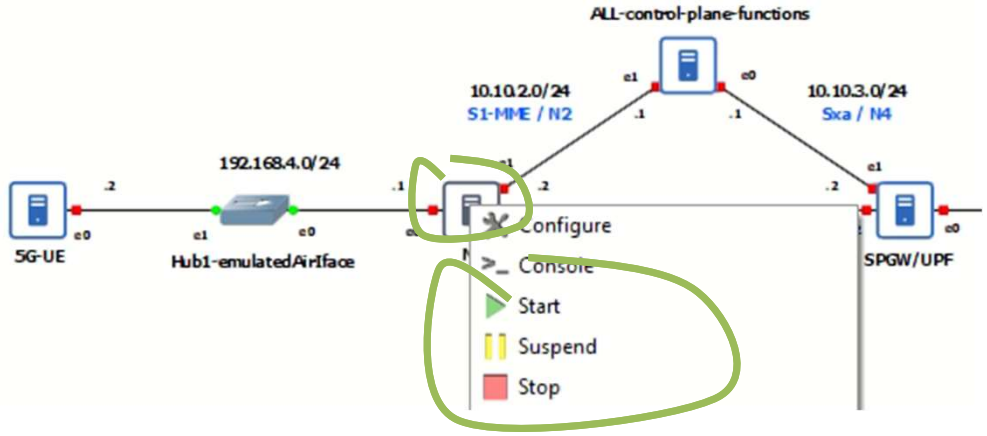
GNS3 – Zobrazenie a spustenie predkonfigurovaných uzlov v projekte

- Možnosť si prispôsobiť grafické zobrazenie topológie



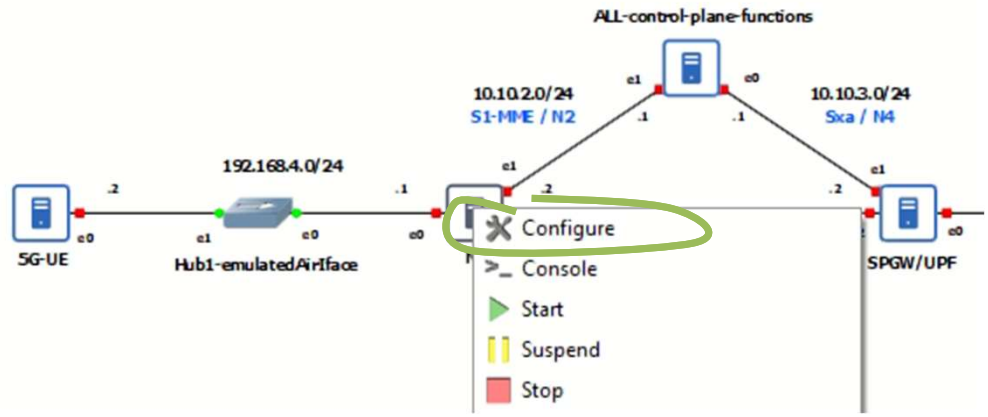
- Spustenie alebo zastavenie všetkých prvkov v topológii (jeden uzol je možné spustiť cez right-click)

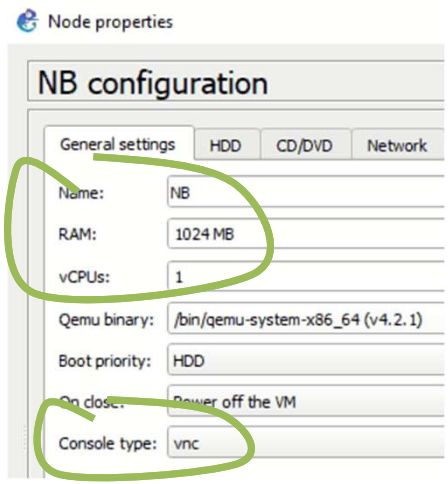


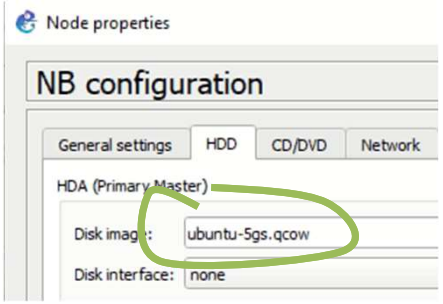


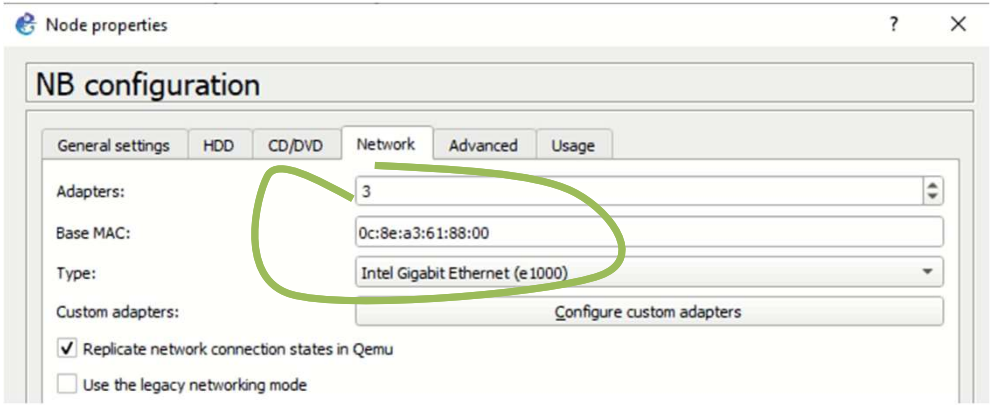
GNS3 – Kontrola nastavenia virtuálnych inštancií

- Počet vCPU, pridelenej RAM, typ komunikácie s inštanciou (grafické rozhranie VNC), OS (Linux Ubuntu (R20 LTS 64bit) a sieťových rozhraní



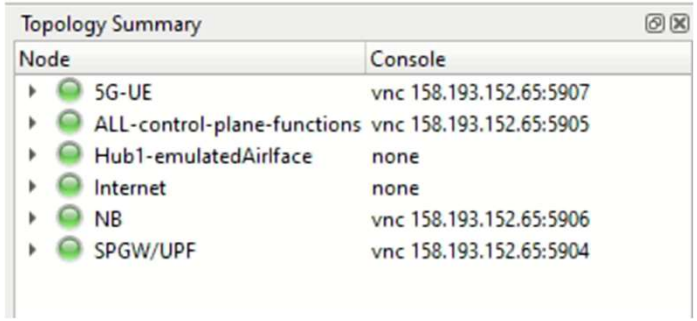




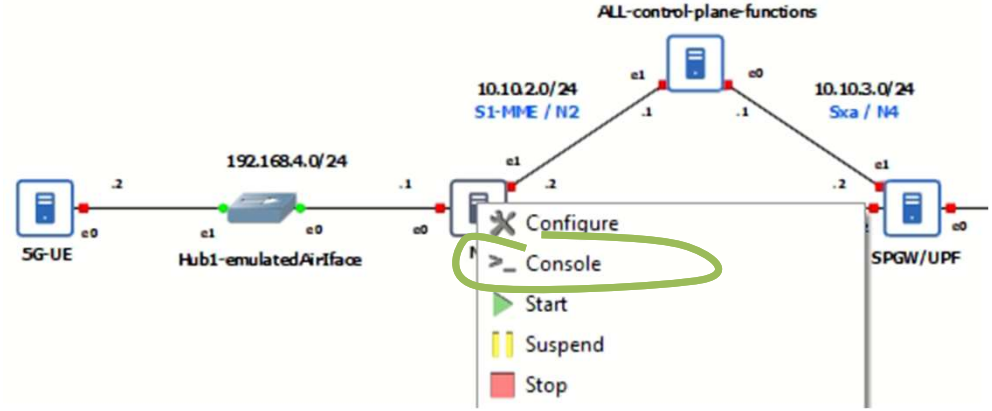


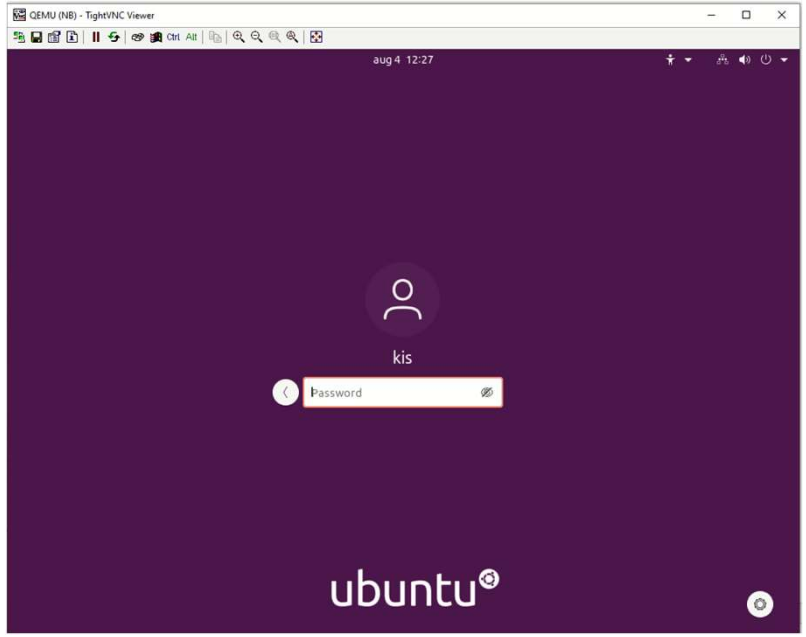
Spustenie virtuálnych inštancií

- Spustenie, viď predchádzajúce snímky
- Kontrola spustených inštancií



- Prihlásenie sa na konkrétnu inštanciu
  - Vytvorí sa nové okno s grafickým rozhraním
  - Login/Pass kis/kis123



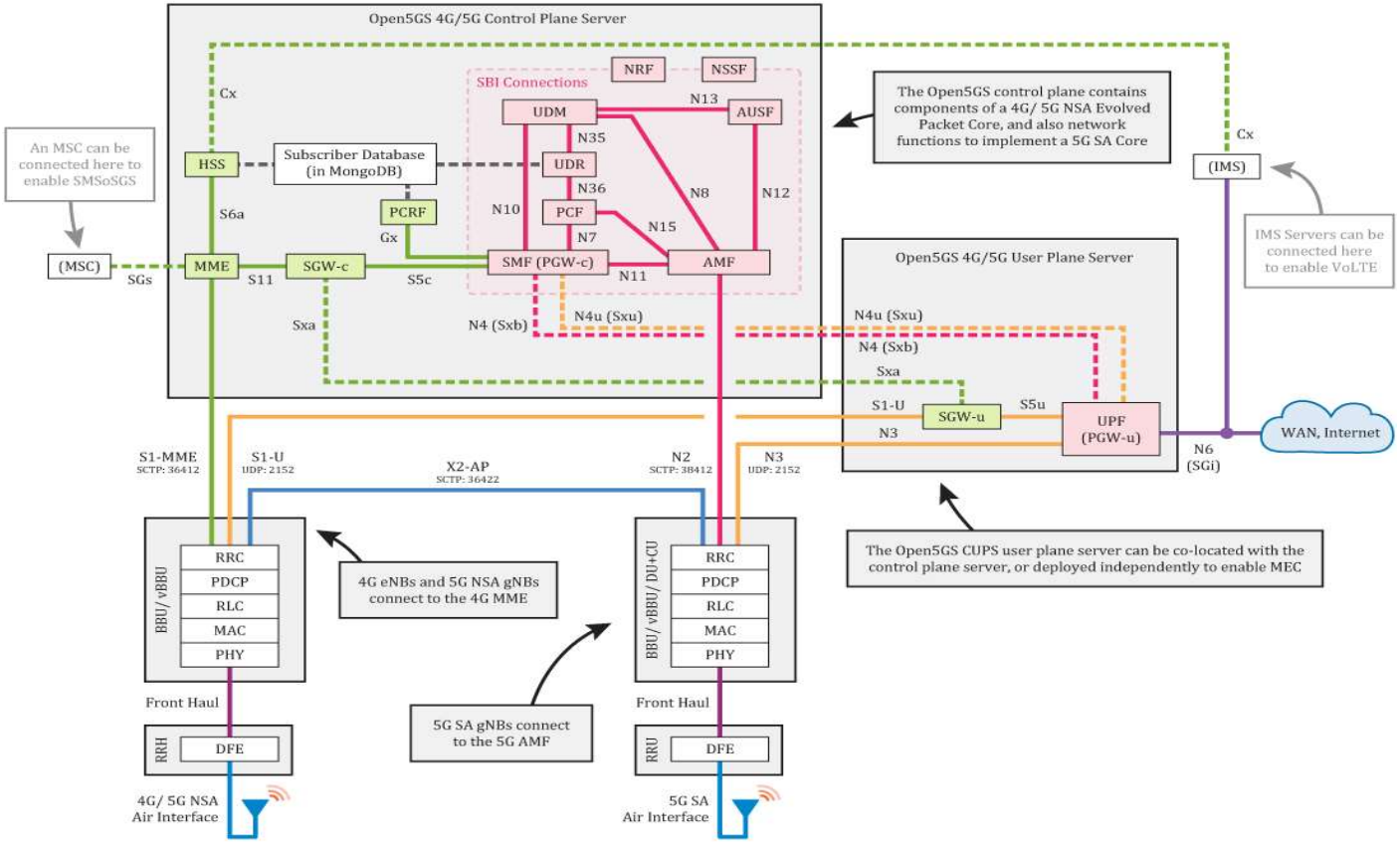


Konfigurácia uzlov virtuálnej mobilnej siete

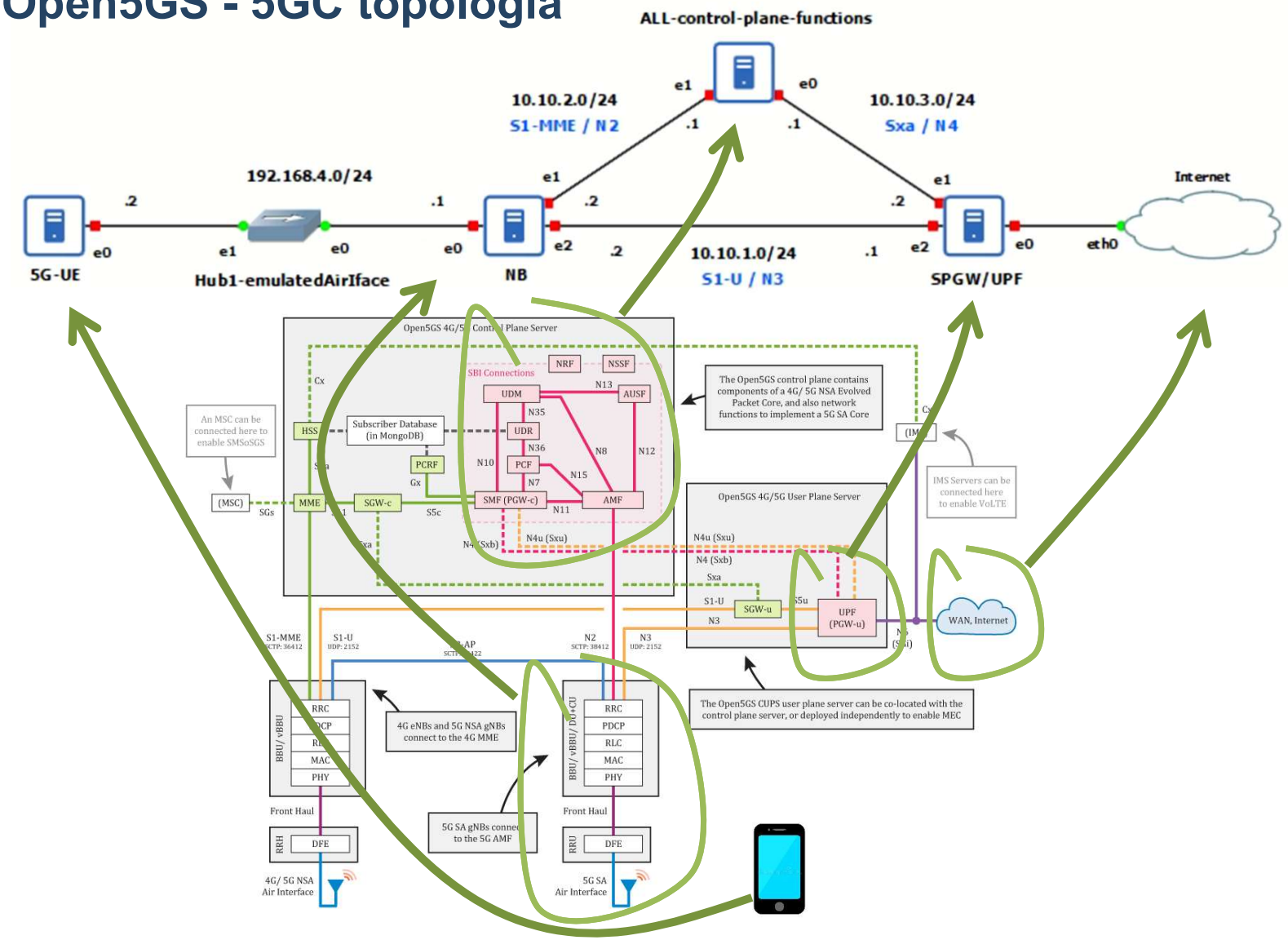
Open source projekt Open5GS

- Tento projekt umožňuje si vybudovať vlastnú virtualizovanú NR/LTE infraštruktúru https://open5gs.org/
- Implementované v jazyku C

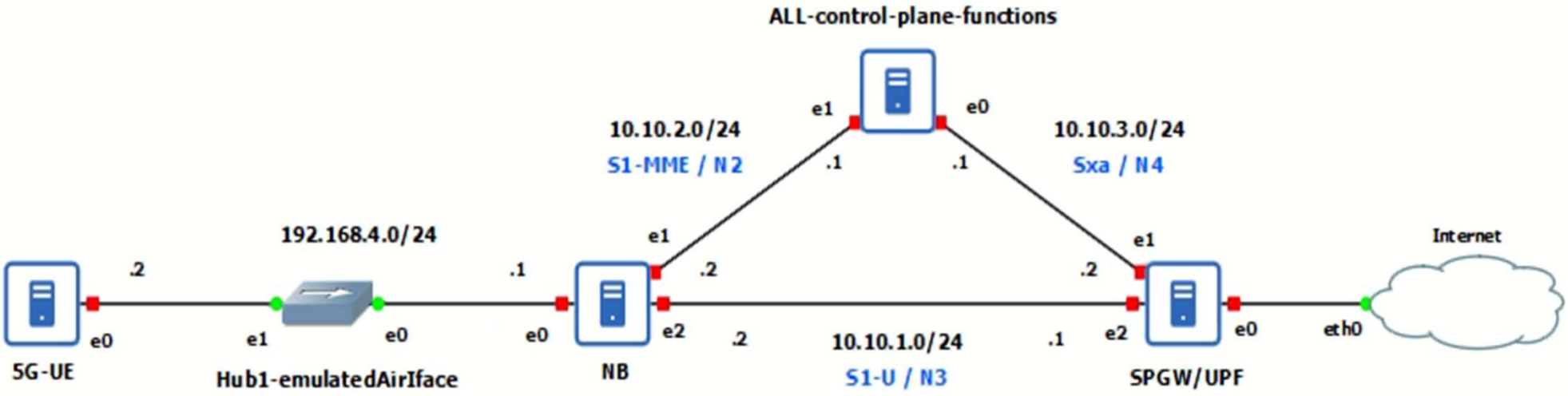
- Jednotlivé uzly v GNS3 projekte už majú predinštalovaný Open5GS software a knižnice.



GNS3 - Open5GS - 5GC topológia



Topológia a adresácia

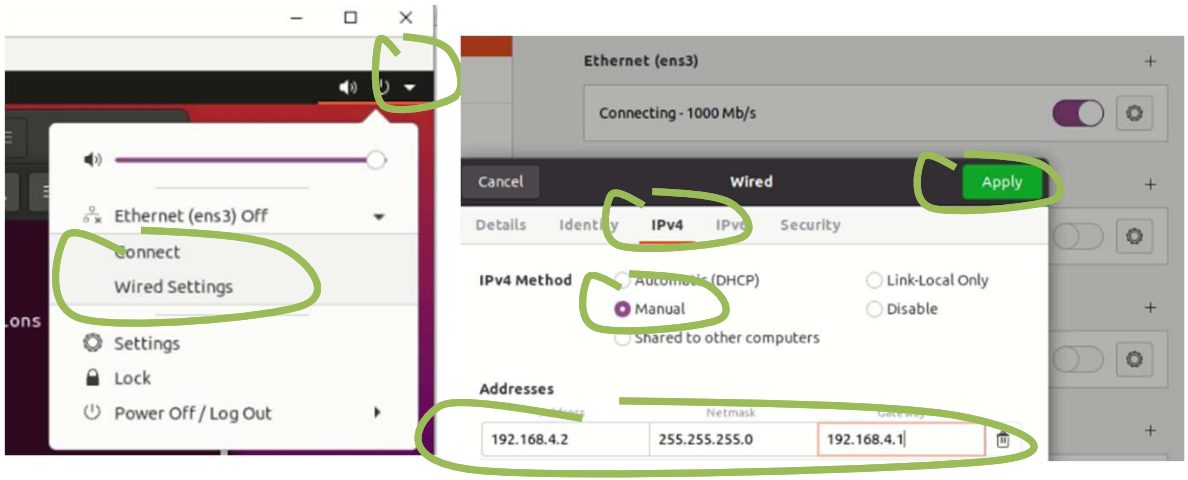


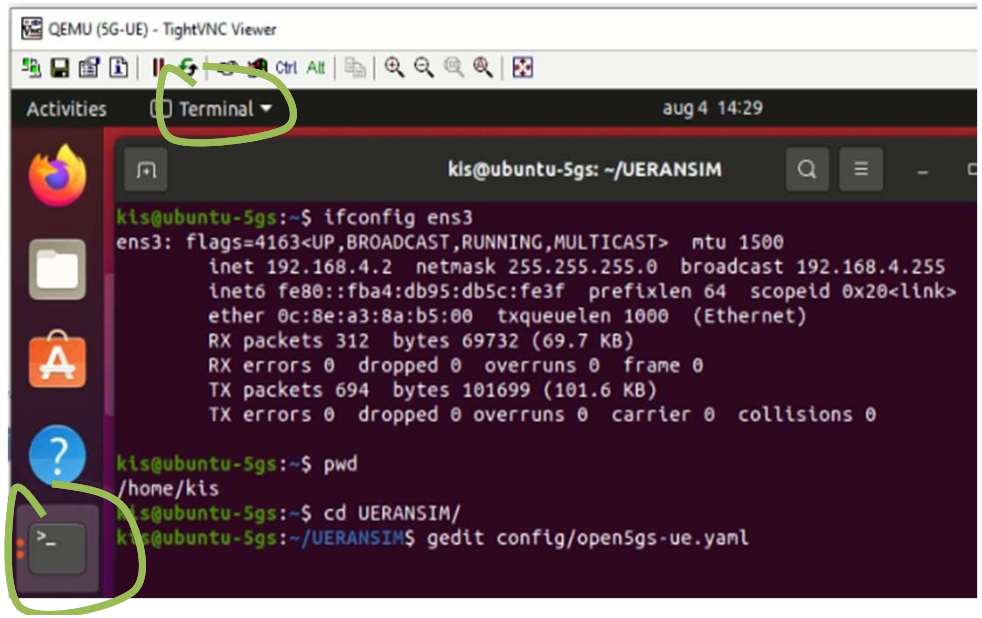
UE inštancia - konfigurácia

Nastaviť IP adresu na rozhranie ens3
použiť grafické rozhranie
192.168.4.2 netmask 255.255.255.0 gw 192.168.4.1

Overenie nastavenia rozhrania cez CLI
ifconfig ens3

cd ~/UERANSIM
gedit config/open5gs-ue.yaml # config file for UE
gnbSearchList: # IP of gNB
- 192.168.4.1

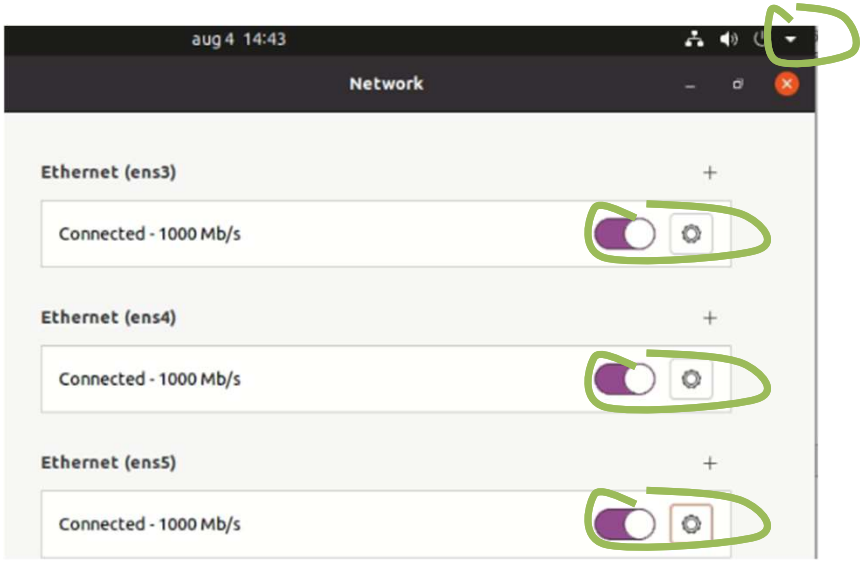





```
1 # IMSI number of the UE. IMSI = [MCC|MNC|MSISDN] (In total 15 or 16 digits)
2 supi: 'imsi-901700000000001'
3 # Mobile Country Code value of HPLMN
4 mcc: '901'
5 # Mobile Network Code value of HPLMN (2 or 3 digits)
6 mnc: '70'
7
8 # Permanent subscription key
9 key: '465B5CE8B199B49FAA5F0A2EE238A6BC'
10 # Operator code (OP or OPC) of the UE
11 op: 'E8ED289DEBA952E4283B54E88E6183CA'
12 # This value specifies the OP type and it can be either 'OP' or 'OPC'
13 opType: 'OPC'
14 # Authentication Management Field (AMF) value
15 amf: '8000'
16 # IMEI number of the device. It is used if no SUPI is provided
17 imei: '356938035643803'
18 # IMEISV number of the device. It is used if no SUPI and IMEI is provided
19 imeiSv: '4370816125816151'
20
21 # List of gNB IP addresses for Radio Link Simulation
22 gnbSearchList:
23   - 192.168.4.1
```

gNB inštancia - konfigurácia

Nastaviť IP adresu na rozhranie ens3, ens4 a ens5
  použiť grafické rozhranie
  ens3: 192.168.4.1 netmask 255.255.255.0 #smer UE
  ens4: 10.10.2.2 netmask 255.255.255.0 #smer all CTRL plane functions
  ens5: 10.10.1.2 netmask 255.255.255.0 #smer UPF



Overenie nastavenia rozhraní cez CLI a konektivity na UE
ifconfig
ping 192.168.4.2

cd ~/UERANSIM
gedit config/open5gs-gnb.yaml # config file for gNB
  linkIp: 192.168.4.1 # local IP to UE over air
  ngapIp: 10.10.2.2 # local IP to all ctrl functions
  gtpIp: 10.10.1.2 # local IP to UPF

amfConfigs:
  - address: 10.10.2.1 # IP of AMF

```
kis@ubuntu-5gs:~$ ping 192.168.4.2
PING 192.168.4.2 (192.168.4.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.4.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.777 ms
64 bytes from 192.168.4.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.791 ms
^C
--- 192.168.4.2 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1023ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.777/0.784/0.791/0.007 ms
kis@ubuntu-5gs:~$
```

```
1 mcc: '901'          # Mobile Country Code value
2 mnc: '70'           # Mobile Network Code value (2 or 3 digits
3
4 nci: '0x000000010'  # NR Cell Identity (36-bit)
5 idLength: 32        # NR gNB ID length in bits [22...32]
6 tac: 1              # Tracking Area Code
7
8 linkIp: 192.168.4.1   # gNB's local IP address for Radio Link
9 ngapIp: 10.10.2.2     # gNB's local IP address for N2 Interface
10 gtpIp: 10.10.1.2     # gNB's local IP address for N3 Interface
11
12 # List of AMF address information
13 amfConfigs:
14   - address: 10.10.2.1
15     port: 38412
```

All control plane functions – AMF, SMF, PCF, UDR, UDM, AUSF, NRF, NSSF inštancia – konfiguracia

Nastaviť IP adresu na rozhranie ens3, ens4
použiť grafické rozhranie
ens3: 10.10.3.1 netmask 255.255.255.0 #smer UPF
ens4: 10.10.2.1 netmask 255.255.255.0 #smer gNB

Overenie nastavenia rozhraní cez CLI a konektivity na gNB
ifconfig ens3
ifconfig ens4
ping 10.10.2.2

Meniť len tie rozhrania, ktoré sú mimo virtuálnu inštanciu:
sudo gedit /etc/open5gs/smf.yaml # config file for SMF

```
smf:
  pfcp:
    10.10.3.1
```

```
upf:
  pfcp:
    10.10.3.2
```

sudo gedit /etc/open5gs/amf.yaml # config file for AMF

```
amf:
  ngap:
    10.10.2.1
```

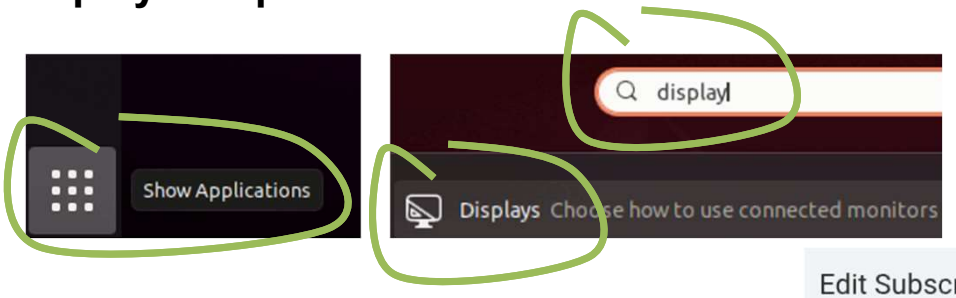
```
319 smf:
320     sbi:
321       - addr: 127.0.0.4
322         port: 7777
323     pfcp:
324       - addr: 10.10.3.1
```

```
428 upf:
429     pfcp:
430       - addr: 10.10.3.2
```

```
178 amf:
179     sbi:
180       - addr: 127.0.0.5
181         port: 7777
182     ngap:
183       - addr: 10.10.2.1
```

All control plane functions - vytvorenie 5G používateľa v UDR (MongoDB databáza)

Display setup:



Web UI pre UDR:

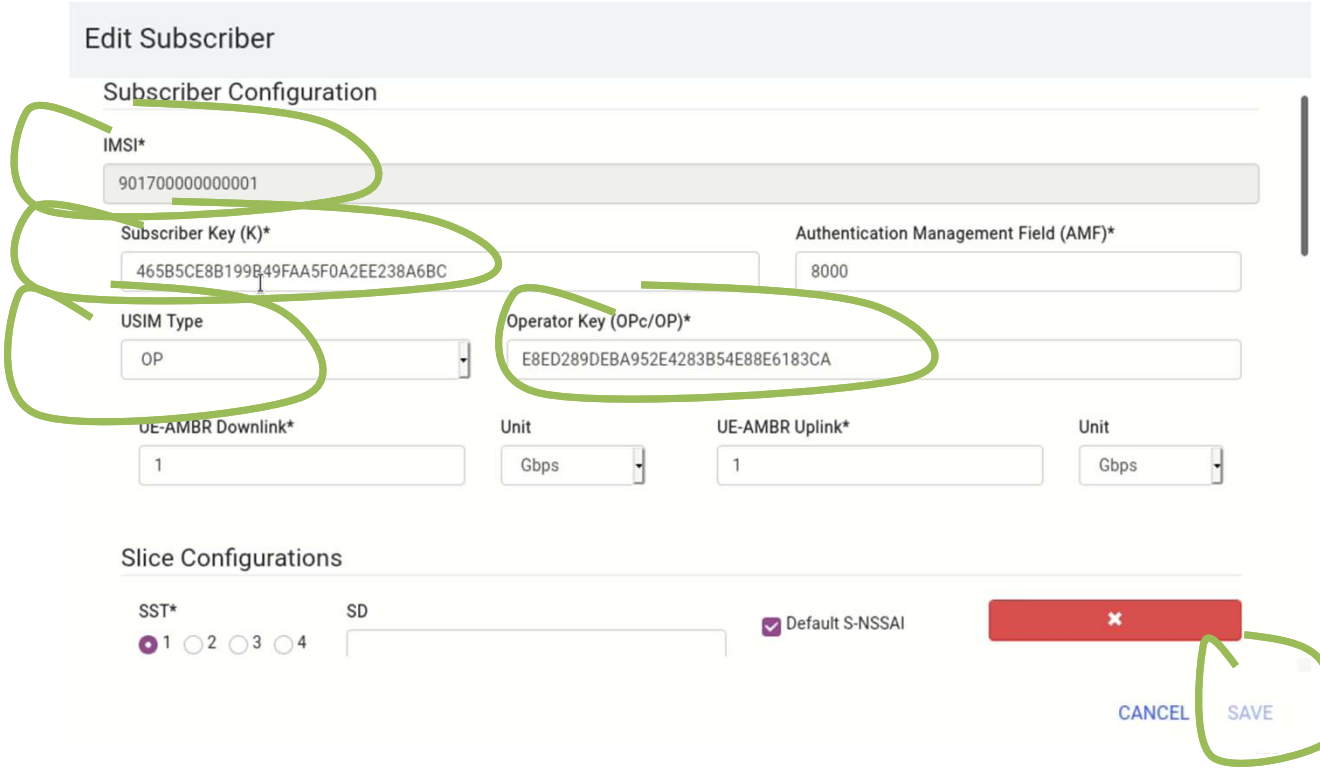
http://localhost:3000

Login/Pass: admin/1423

Novy subscriber:

Nakopírovať hodnoty

- IMSI
- K key
- OP key (alebo OPc)



Poznámka:

Info z UERANSIM/config/open5gs-ue.yaml

UE inštancia; SIM informácie

UPF inštancia - konfigurácia

Nastaviť IP adresu na rozhranie ens3, ens4
  použiť grafické rozhranie
  ens3: DHCP (default) #smer Internet
  ens4: 10.10.3.2 netmask 255.255.255.0 #smer ctrl_plane
  ens5: 10.10.1.1 netmask 255.255.255.0 #smer gNB

Overenie nastavenia rozhraní cez CLI a konektivity na gNB a ctrl plane
ifconfig ens4
ifconfig ens5
ping 8.8.8.8
ping 10.10.3.1
ping 10.10.1.2

Meniť len tie rozhrania, ktoré sú mimo virtuálnu inštanciu:
sudo gedit /etc/open5gs/upf.yaml # config file for UPF

```
upf:
  pfcp:
    - addr: 10.10.3.2
gtpu:
  pfcp:
    - addr: 10.10.1.1
```

Aktivácia jednotlivých funkčných prvkov

UPF inštancia

sudo -s

~~systemctl list-units --no-legend | grep open5gs| awk '{print$1}' | xargs -I % sh -c 'echo "%: $(systemctl disable --now %)" '~~ # zakázanie všetkých Open5GS procesov

systemctl restart --now open5gs-upfd # restart/spustenie relevantných procesov a načítanie konfiguračných súborov

ps –ef | grep open5gs* # overenie spustených procesov

exit

Poznámka: vhodné vytvoriť si súbor v domovskom adresári, kde sa uloží vyššie uvedený zoznam príkazov. Neskôr použiť copy&paste funkciu

All control plane functions

sudo -s

~~systemctl list-units --no-legend | grep open5gs| awk '{print$1}' | xargs -I % sh -c 'echo "%: $(systemctl disable --now %)" '~~ # zakázanie všetkých Open5GS procesov

systemctl restart --now open5gs-smfd open5gs-amfd open5gs-udmd open5gs-udrd open5gs-ausfd open5gs-pcfd open5gs-nrfd open5gs-nssfd # restart/spustenie relevantných procesov a načítanie konfiguračných súborov

ps –ef | grep open5gs* # overenie spustených procesov

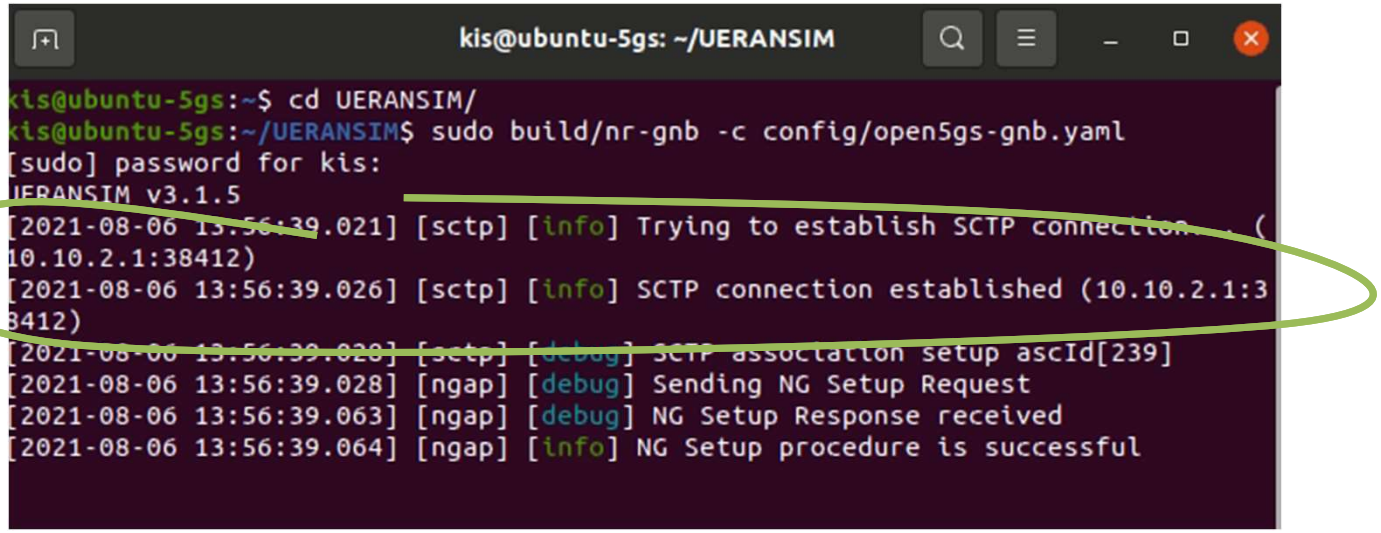
exit

Poznámka: vhodné vytvoriť si súbor v domovskom adresári, kde sa uloží vyššie uvedený zoznam príkazov. Neskôr použiť copy&paste funkciu.

gNB inštancia

cd UERANSIM/

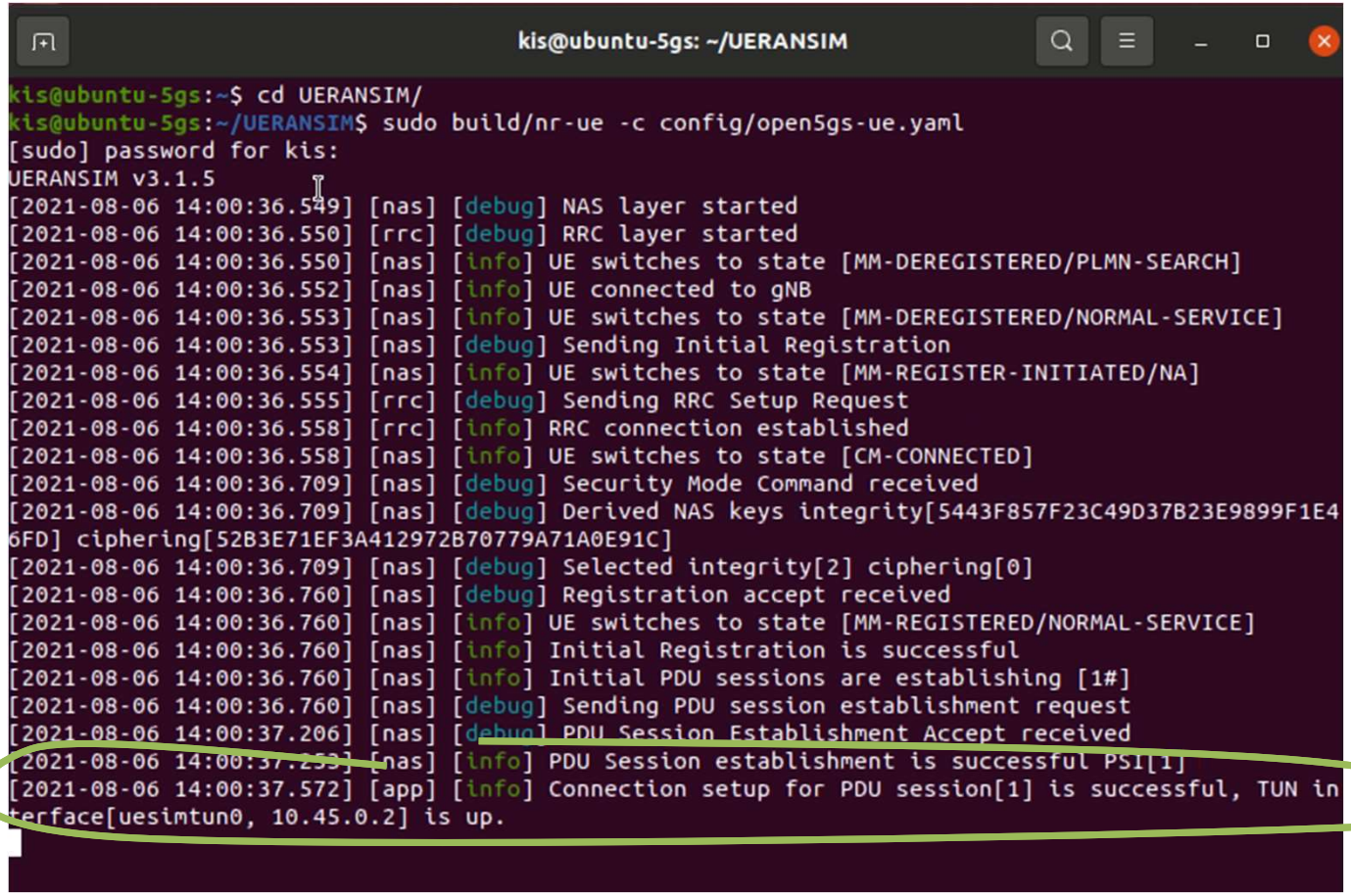
sudo build/nr-gnb -c config/open5gs-gnb.yaml



UE inštancia – registrácia UE zariadenia a vytvorenie priamej konektivity (GTP tunel) na UPF; pridelenie IP adresy pre koncové zariadenie

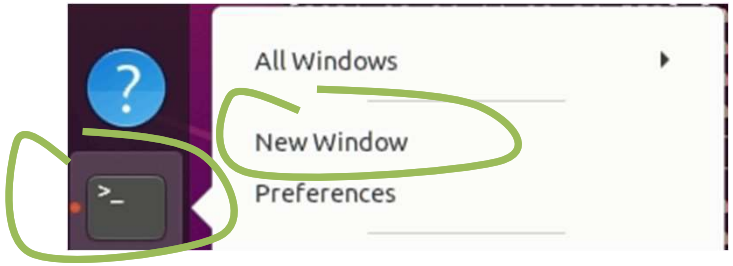
cd UERANSIM/

sudo build/nr-ue -c config/open5gs-ue.yaml



UE inštancia – kontrola tunelového rozhrania a konektivity na UPF

1. Otvoriť nové terminálové okno (right-click)



2. Overenie nového tunelového rozhrania smerom na UPF inštanciu; CLI príkaz
   ifconfig [uesimtun0] # optional iface argument

```
uesimtun0: flags=369<UP,POINTOPOINT,NOTRAILERS,RUNNING,PROMISC>  mtu 1400
        inet 10.45.0.2  netmask 255.255.255.255  destination 10.45.0.2
        inet6 fe80::b03c:94ab:841d:2836  prefixlen 64  scopeid 0x20<link>
        unspec 00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00  txqueuelen 500
```

3. Overenie používateľovej konektivity na UPF inštanciu cez vytvorený tunel
   ping 10.45.0.1 –I uesimtun0

```
kis@ubuntu-5gs:~$ ping 10.45.0.1 -I uesimtun0
PING 10.45.0.1 (10.45.0.1) from 10.45.0.2 uesimtun0: 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.45.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=3.55 ms
64 bytes from 10.45.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=2.76 ms
```

UPF inštancia – kontrola tunelového rozhrania a konektivity na UPF

1. Overiť v logovacom súbore aktivitu ohľadne vytvorenia dátového spojenia s UE:
   sudo tail /var/log/open5gs/upf.log

```
08/06 12:44:20.426: [upf] INFO: [Added] Number of UPF-Sessions is now 1 (../src/upf/context.c:157)
08/06 12:44:20.449: [gtp] INFO: gtp_connect() [127.0.0.4]:2152 (../lib/gtp/path.c:58)
08/06 12:44:20.449: [upf] INFO: UE F-SEID[CP:0x1 UP:0x1] APN[internet] PDN-Type[1] IPv4[10.45.0.2] IPv
6[] (../src/upf/context.c:334)
08/06 12:44:20.484: [gtp] INFO: gtp_connect() [10.10.1.2]:2152 (../lib/gtp/path.c:58)
```

2. Overenie nového tunelového rozhrania smerom na UPF inštanciu; CLI príkaz
   ifconfig [ogstun] # optional iface argument

```
ogstun: flags=4305<UP,POINTOPOINT,RUNNING,NOARP,MULTICAST>  mtu 1500
        inet 10.45.0.1  netmask 255.255.0.0  destination 10.45.0.1
        inet6 2001:230:cafe::1  prefixlen 48  scopeid 0x0<global>
        inet6 fe80::5e3e:ae3b:d5ac:e79f  prefixlen 64  scopeid 0x20<link>
```

3. Overenie konektivity na UP cez vytvorený tunel
   ping 10.45.0.1 –I uesimtun0

```
kis@ubuntu-5gs:~$ ping 10.45.0.2 -I ogstun
PING 10.45.0.2 (10.45.0.2) from 10.45.0.1 ogstun: 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.45.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.79 ms
64 bytes from 10.45.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=2.11 ms
```

Konfigurácia UPF inštancie na zabezpečenie internetovej konektivity

UPF inštancia - Internet konektivita pre UE GTP tunely pre koncových zákazníkov

NAT konfigurácia smerom do Internetu:

sudo sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1
sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -s 10.45.0.0/16 ! -o ogstun -j MASQUERADE

```
kis@ubuntu-5gs:~$ sudo sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1
net.ipv4.ip_forward = 1
kis@ubuntu-5gs:~$ sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -s 10.45.0.0/16 ! -o ogstun -j MASQUERADE
```

Notes:

Enable IP forwarding in Linux: net.ipv4.ip_forward=1

iptables - administration tool for IPv4 packet filtering and NAT.

- -t [table] This option specifies the packet matching table which the command should operate on
- POSTROUTING rule for packets which are about to go out
- ! –o [outgoing interface] name of an interface via which a packet is going to be sent; "!" argument before the interface name inverts the sense
- Masquerading is equivalent to specifying a mapping to the IP address of the interface the packet is going out

UE inštancia - Internet konektivita pre UE GTP tunely pre koncových zákazníkov

nastavenie default GW:

sudo route add default dev uesimtun0
netstat -rn
ping 8.8.8.8

```
kis@ubuntu-5gs:~$ sudo route add default dev uesimtun0
kis@ubuntu-5gs:~$ sudo netstat -rn
Kernel IP routing table
Destination     Gateway         Genmask         Flags   MSS Window  irtt Iface
0.0.0.0         0.0.0.0         0.0.0.0         U         0 0          0 uesimtu
n0
0.0.0.0         192.168.4.1     0.0.0.0         UG        0 0          0 ens3
169.254.0.0     0.0.0.0         255.255.0.0     U         0 0          0 ens3
192.168.4.0     0.0.0.0         255.255.255.0   U         0 0          0 ens3
kis@ubuntu-5gs:~$ ping 8.8.8.8
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=55 time=12.3 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=55 time=11.8 ms
```

UE DNS resolving

Možnosť A)

Dočasné nastavenie po najbližší reštart VM inštancie

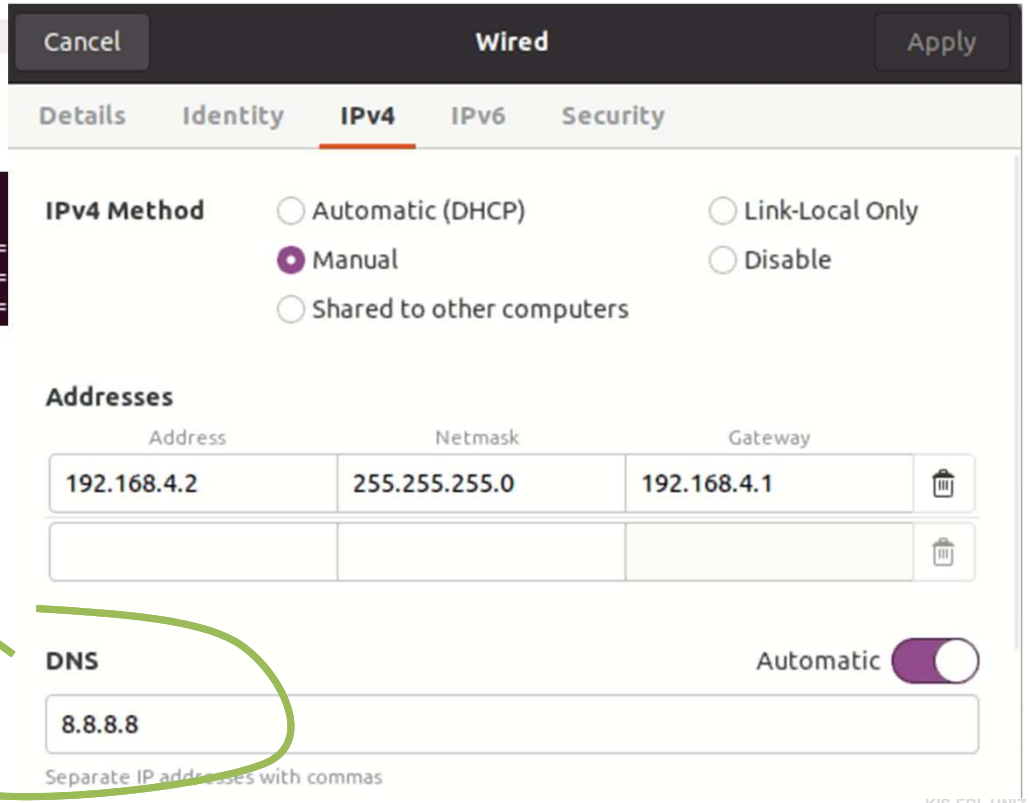
sudo gedit /etc/resolv.conf

```
14 # See man:systemd-resolved.service(8) for details about the supported modes of
15 # operation for /etc/resolv.conf.
16
17 nameserver 8.8.8.8
18 nameserver 127.0.0.53
19 options edns0 trust-ad
```

```
kis@ubuntu-5gs:~$ ping www.six.sk
PING pmc.cvt.stuba.sk (147.175.1.70) 56(84) bytes of data.
64 bytes from pmc.cvt.stuba.sk (147.175.1.70): icmp_seq=1 ttl=58 time=
64 bytes from pmc.cvt.stuba.sk (147.175.1.70): icmp_seq=2 ttl=58 time=
64 bytes from pmc.cvt.stuba.sk (147.175.1.70): icmp_seq=3 ttl=58 time=
```

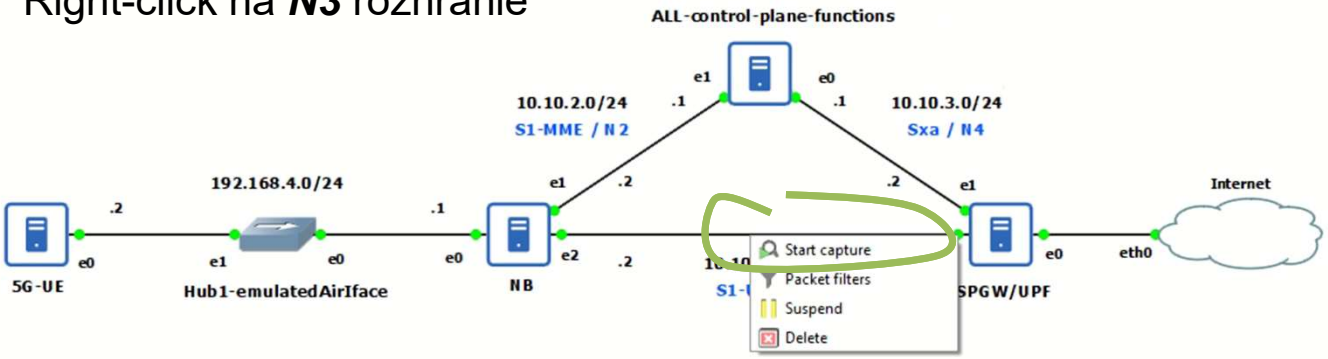
Možnosť B)

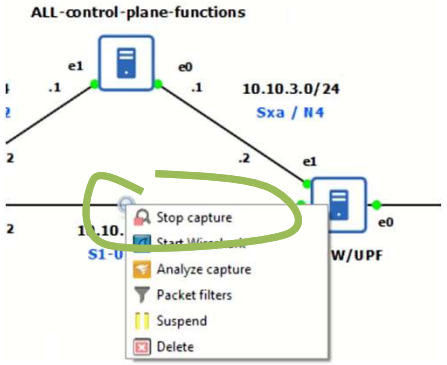
- Prostredníctvom GUI NetworkManager

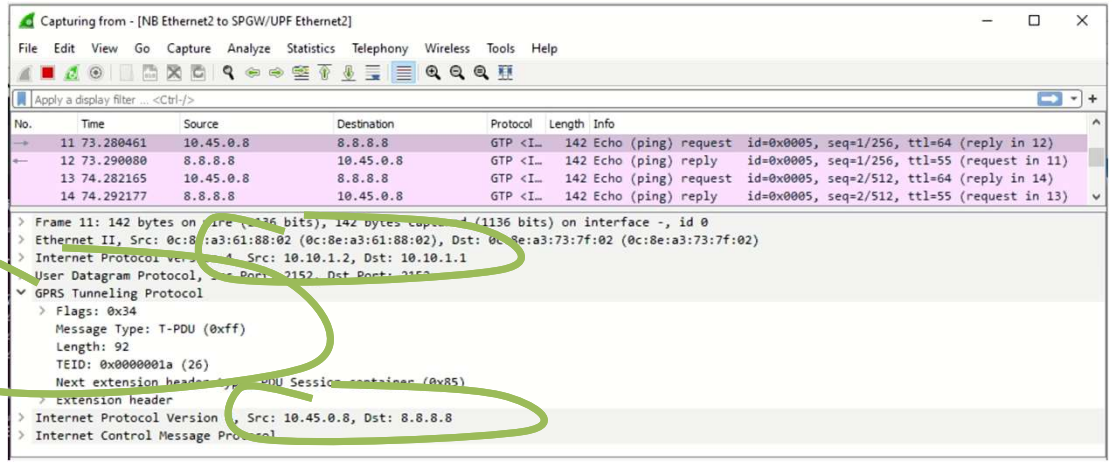


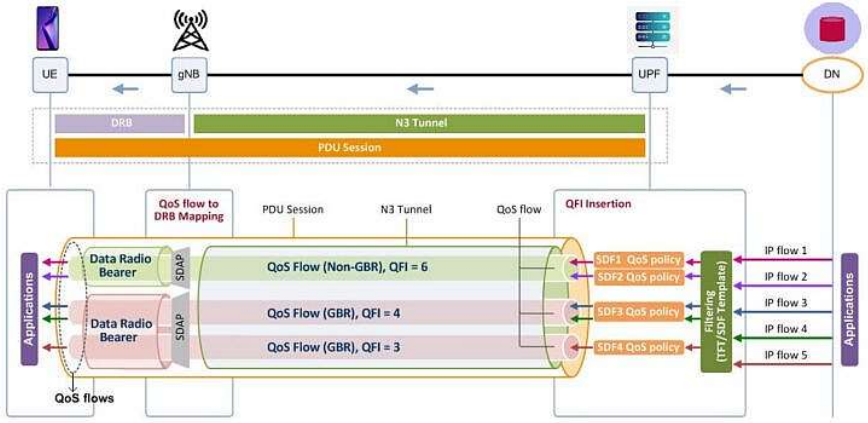
Záchyt dátových paketov prostredníctvom programu Wireshark na *N3* rozhraní

- Right-click na ***N3*** rozhranie





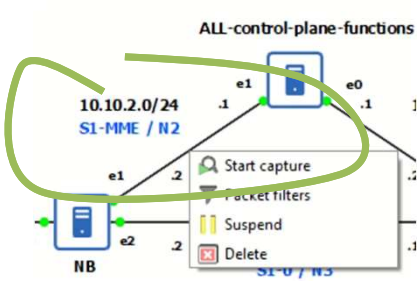


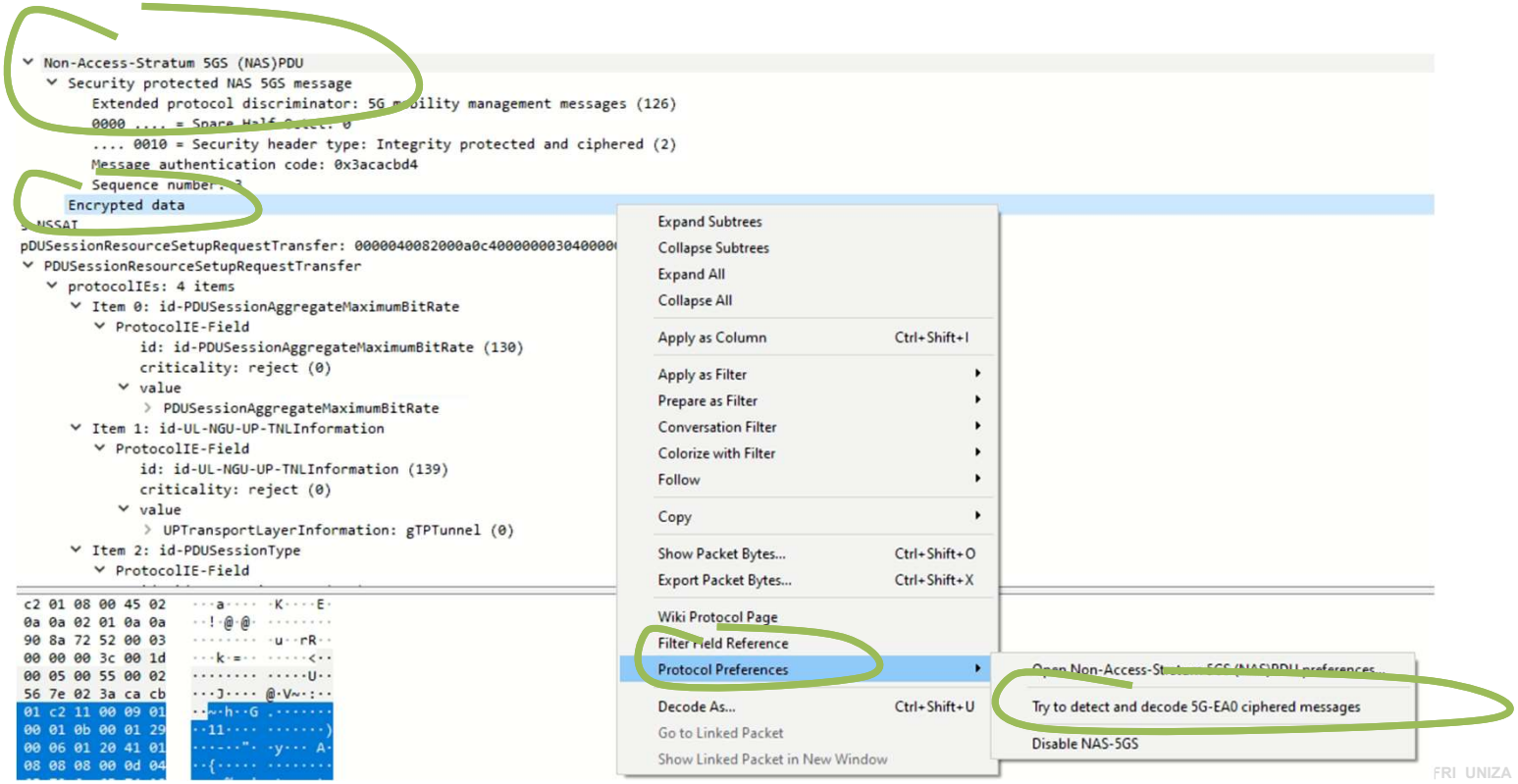



```
kis@ubuntu-5gs:~$ ping 8.8.8.8
PING 8.8.8.8 (8.8.8.8) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=1 ttl=55 time=12.3 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=2 ttl=55 time=11.9 ms
64 bytes from 8.8.8.8: icmp_seq=3 ttl=55 time=11.2 ms
```

Záchyt signalizácie na *N2* rozhraní

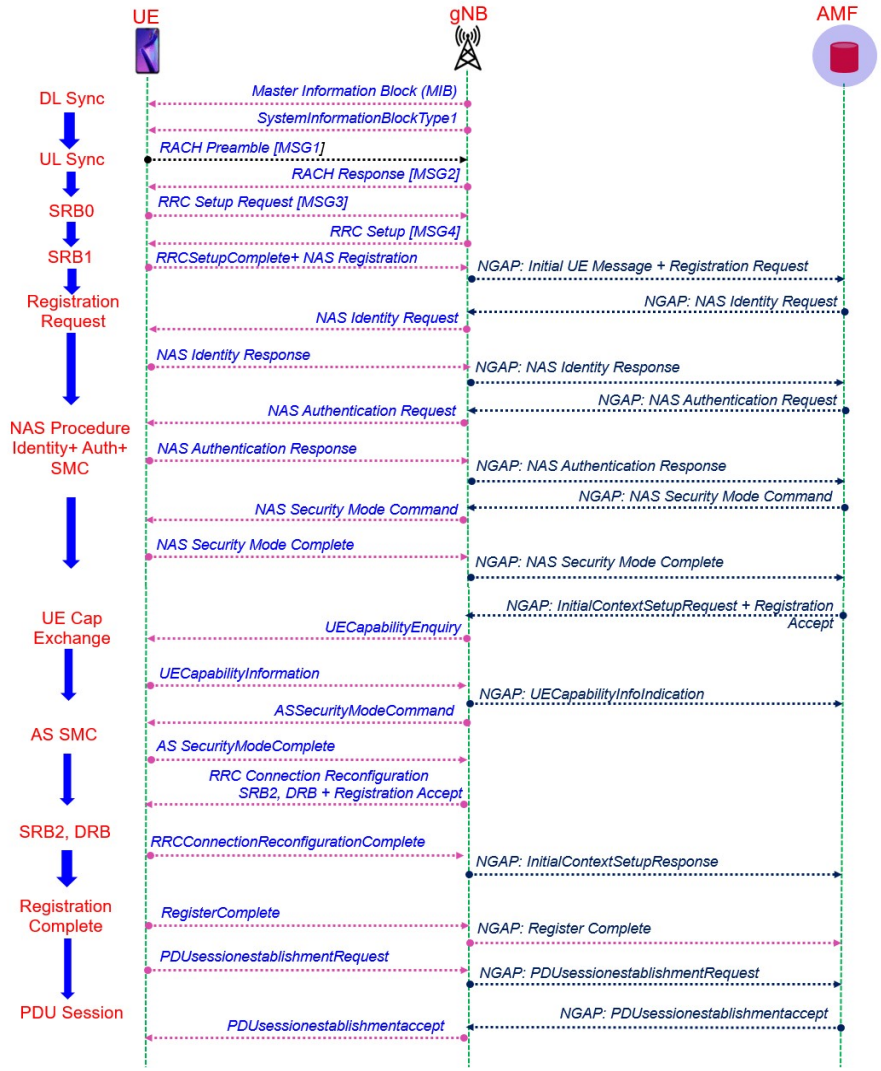
- Right-click na ***N2*** rozhranie
- The Non-Access Stratum (NAS) is **a set of protocols in LTE and 5G**. The NAS is used to convey non-radio signalling between the User Equipment (UE) and the MME or AMF
- NAS messages are transported using NGAP and SCTP protocols
- Some data in NAS message could be encrypted therefore Wireshark needs to be properly setup to decode it





N2 signalizačné rozhranie – vytvorenie 5G UE PDU spojenia

- Registration request
  - The gNB sends the Initial UE Message to the selected AMF. The message carries the "Registration Request" message that was received from the UE in the RRC Setup Complete message.
- Authentication request, response and security mode and capabilities exchange
  - The AMF requests UE authentication vectors and algorithm information from the AUSF - Authentication Server Function. The response returns the master key which is used by AMF to derive NAS security keys. Initiate the authentication procedure with the UE. AMF sends the key selector, RAND and AUTN to the UE. The AMF signals the selected NAS security algorithm to the UE.
- Registration request and Registration accept
- Access and Mobility Subscription data exchange
- Setup the User Plane Function (UPF)
  - Initial Context setup Request and Response
  - PDU Session Resource Setup Request and Response
  - The AMF initiates a session setup with the gNB. The gNB signals the successful setup of PDU sessions. Messages include uplink and downlink TEID



Úlohy

Úloha č. 1

1. Prostredníctvom programu Wireshark odchytiť DNS request a response na doménu www.six.sk a príslušný ping na www.six.sk

   a) Zachytiť ping komunikáciu na N3 rozhraní medzi gNB a UPF (screenshot a stručný popis)
   b) Aká bola pridelená IPv4 adresa UE zariadeniu
   c) Aký typ tunelového protokolu je použitý pre enkapsuláciu IP paketov koncového používateľa
   d) Aká je hodnota uplink a downlink TEID identifikátoru tunelov (“adresy” GTP tunelu)

Úloha č. 2

Prostredníctvom programu Wireshark odchytiť signalizáciu na N2 rozhraní

1. Aktivovať Wireshark a spustiť registráciu UE v príslušnej virtuálnej inštancii

2. Zistiť a spraviť screenshot nasledujúcich parametrov:

   a) Registration Request message
      - MCC a MNC a MSIN (IMSI)
      - čas registrácie a Tracking Area ID

   b) Authentication response
      - Hodnota RES tokenu, ktorý bol vypočítaný UE zariadením a preposlaný na porovnanie do AMF

   c) PDU Session Setup Request a Response
      - Pridelená IP adresa UE zariadeniu
      - Pridelená IP adresa gNB pre GTP tunel
      - Uplink a Downlink TEID

Ďakujem za pozornosť.

Vytvorené v rámci projektu KEGA 026TUKE-4/2021