

УНИВЕРЗИТЕТ “СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ” - СКОПЈЕ ФАКУЛТЕТ ЗА  
ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИСКИ ТЕХНОЛОГИИ

- СЕМИНАРСКА РАБОТА -  
по предметот  
ДИЗАЈН И МОДЕЛИРАЊЕ НА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ МРЕЖИ

Тема  
5G Мрежен слајсинг

Ментор:  
Проф. д-р Тони Јаневски

Изработил:  
Ѓорѓи Котларовски 195/2021  
gjorgji.kotlarovski@gmail.com

Скопје, јануари 2025

## Содржина

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Содржина</b>                                   | <b>1</b>  |
| <b>Листа на акроними</b>                          | <b>1</b>  |
| <b>Вовед</b>                                      | <b>3</b>  |
| <b>Што е мрежен слајсинг</b>                      | <b>4</b>  |
| <b>Придобивки од мрежен слајсинг</b>              | <b>5</b>  |
| Изолација на ресурси и безбедност                 | 6         |
| Можност за обезбедување на различни видови на SLA | 7         |
| Екстремно висока сигурност                        | 7         |
| Автоматизиран менаџмент на слајс                  | 7         |
| <b>Како работи мрежен слајсинг</b>                | <b>8</b>  |
| Архитектура на мрежен слајсинг                    | 8         |
| Мрежен простор во мрежниот слајсинг               | 9         |
| <b>Менаџирање на мрежни слајсови</b>              | <b>9</b>  |
| <b>Примени на мрежен слајсинг</b>                 | <b>10</b> |
| Радио-дифузија                                    | 10        |
| <b>Заклучок</b>                                   | <b>12</b> |
| <b>Листа на референци</b>                         | <b>12</b> |

## Листа на акроними

| Термин | Опис                                     |
|--------|--|
| 3GPP   | 3rd Generation Partnership Project       |
| 5G     | 5-та генерација мобилни системи          |
| 5G NSA | 5G Not Stand Alone                       |
| 5G SA  | 5G Stand Alone                           |
| AMF    | Access and Mobility Management Function  |
| AR     | Artificial Reality                       |
| E2E    | End to End                               |
| eMBB   | Enhanced Mobile Broadband                |
| EPC    | Evolved Packet Core                      |
| IoT    | Интернет на нештата (Internet of Things) |

| <b>Термин</b> | <b>Опис</b>                                |
|---------------|--|
| IP            | Internet Protocol                          |
| IP VPN        | IP - Virtual Private Network               |
| ITN           | Independent Television News                |
| mMTC          | Massive Machine Type Communication         |
| O&M           | Operation and Maintenance                  |
| PCF           | Policy Control Function                    |
| PTT           | Push To Talk                               |
| QoS           | Quality of Service                         |
| RAN           | Radio Access Network                       |
| SIM           | Subscriber Identity Module                 |
| SLA           | Service Level Agreement                    |
| SMF           | Session Management Function                |
| TILFA         | Topology-Independent Loop-Free Alternative |
| UDM           | Unified Data Management                    |
| UDR           | Unified Data Repository                    |
| UPF           | User Plane Function                        |
| URLLC         | Ultra Reliable Low Latency Communication   |
| VLAN          | Virtual Local Area Network                 |
| VNF           | Virtual Network Function                   |
| VPN           | Virtual Private Network                    |
| VR            | Virtual Reality                            |
| XR            | eXtended Reality                           |

## Вовед

Прогресивниот развој на технологијата води до употреба на се поширок мрежен опсег од страна на крајните корисници за разни потреби, како на пример стриминг на видео во ултра висока резолуција, брзо растечкиот број на мали IoT уреди кои се приклучуваат на мрежата како резултат на зголемената дигитализација на општеството, појавата на нови технологии како AR/XR/VR и нивна употреба во критични системи како телемедицина и национална безбедност. Меѓу другото, и телекомунистичките оператори се стремат да го прошират можниот пазар на своите услуги кон нови клиенти, што доведува до тоа да мрежата да станува се покомплицирана и да треба да поддржува сервиси кој имаат фундаментално најразлични QoS потреби кој не би може да се задоволат ако се опслужуваат на иста мрежа.

За таа цел, во 5G како една од најважните технологии е употребен мрежен слајсинг кој овозможува креирање на посебни мрежни слајсови при што се обезбедуваат различни ресурси за различни видови на апликации и корисници, при што истите се одделени виртуелно, а не физички. Притоа, може да обезбеди различен мрежен опсег за секој слајс, и високо ниво на сигурност и изолација.

Можни се најразлични слајсови, како на пример eMBB network slice, mMTC network slice, URLLC network slice, во зависност од типот на сообраќај, или пак посебени слајсови кој ќе се издаваат на друг бизнис според определен SLA, пример државни тела, виртуелени оператори, радиодифузни компании итн. Притоа, овие слајсови се креираат во период на неколку часа, а самата мрежа е лесно конфигурабилна. Ова е овозможено поради т.н. „софтверизацијата“ на мрежите, каде што мрежните функции стануваат виртуелни и програмабилни, додека уредите се „глупави“ препраќачи кои се централно контролирани. На тој начин различните слајсови имаат различни VNF, и слајсот има различни мрежни карактеристики. Сето тоа доведува до квалитетни, брзи и сигурни мобилни сервиси кој ги опслужуваат постоечките сервиси, а притоа се спремни за да дефинираат и нови сервиси врз постоечката инфраструктура.

## Што е мрежен слајсинг

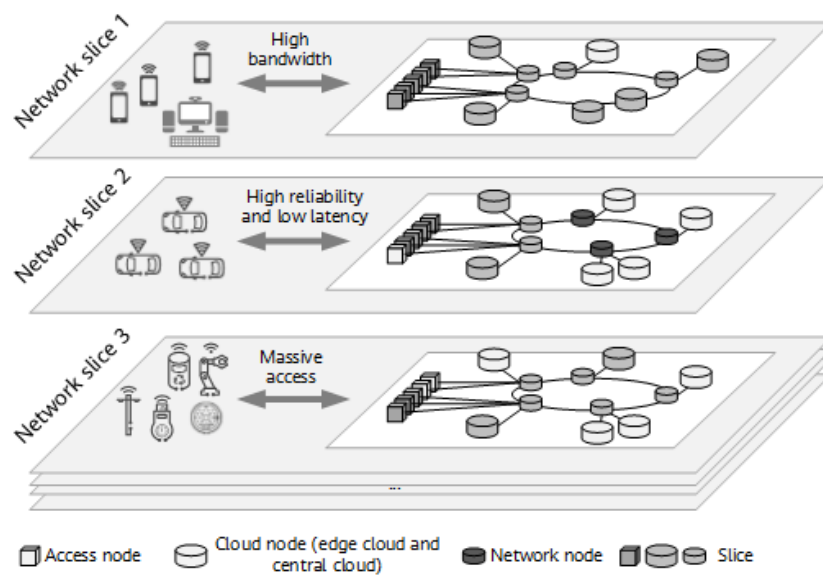
Мрежен слајс е логичка, односно виртуелна мрежа направена со цел да ги задоволи потребите на определен клиент, или пак за некоја определена услуга, која се состои од збирот на сите крај до крај различни мрежни ресурси кои се потребни за да ги задоволат перформансите и економските потреби за таа сервисна класа, или пак корисничка апликација.<sup>[1]</sup> Во основа, идеите кој воделе до креирањето на концептот за мрежни слајсови не се нови, туку влечат паралели од слични концепти на предходни мрежни архитектури, вклучувајќи IP/Ethernet (VLAN, IP VPN), и притоа го шири нивниот опсег и вклучува разни VNF.

Мрежниот слајсинг овозможува концептуален начин на разгледување и реализирање на мрежите на операторите со градење на логички мрежи врз постојаниот и делен инфраструктурен слој. Тие се создаваат, менуваат, одржуваат и бришат преку функции за менаџмент и оркестрација, при што се овозможува високо ниво на прилагодување на мрежата и реискористување на мрежни функции низ слајсовите, а притоа истите се одделени. Мрежниот слајсинг претставува основен концепт на 5G и се користи на многу начини и на различни нивоа кои може да ги разгледуваме и како фази на присвојување:

- Во рамките на мрежата на мрежниот оператор, при што се користи за обезбедување на различни карактеристики и ресурси за различните сервисни класи (Слика 1.). Пример, да направи посебен слајс за критични системи кој ќе биде тврдо одделен од нормалниот сообраќај со цел да во случај на конгестија на мрежата да може нормално да функционира. Истиот може да се користи за PPT за итни сервиси (полиција, амбуланта, пожарна).
- Може да се користи од сервис провајдер кој сака да воспостави виртуелна сервис провајдерска мрежа врз инфраструктурата на физички мрежен оператор. Ова би било корисно за виртуелните мобилни сервис провајдери во македонија (Телекабел и Гринмобиле) или пак за роаминг услуги каде што може сервис провајдерите да користат слајс на туѓа мрежа, а корисникот да ги има истите услуги како во неговата локална мрежа.
- Овозможува индивидуални крајни корисници (претпријатија) да ја модифицират виртуелната мрежата за нивните операции и да ги користат мрежните ресурси на подинамични начини.
- Може да овозможи делење на сообраќај низ различни мрежи (5G, 4G, Wi-Fi, хибридни коаксиални кабли инт)

Мрежниот слајс е комплетна логичка мрежа која вклучува и RAN и CN, при што телекомуникациските сервиси може но не мора да се различни од слајс до слајс. Различни RAN и CN може да се вклучени во еден слајс, а исто така и еден уред може да пристапи кон повеќе мрежни слајсови низ еден RAN. Истите се правени да подржуваат различни

QoS параметри, при што еден слајс би бил оптимизиран за eMBB, кој би се користел за поврзување со интернет и за мобилна телефонија. Друг би бил оптимизиран за URLLC за флота на паменти возила, каде што високата сигурност и ниското доцнење се од исклучителна важност со цел да може навремено да се реагира. Додека пак трет може да биде оптимизиран за mMTC, при што многу уреди би биле поврзани на истата мрежа и би генерирале многу пакети со мали големини. Овде спаѓаат сензори и поврзувања со машините во фабрики. Пример за такво огранизирање има на Слика 1.



Слика 1. Пример на мрежен слајсинг [2]

## Придобивки од мрежен слајсинг

Врз основа на мрежниот слајсинг, операторите можат да допрат до предходно неискористен пазар, односно да нудат network as a service до различни типови на претпријатија кои предходно или сами си ги граделе своите приватни мрежи, или пак цената на имплементација им била превисока за да се дигитализираат. Со цел да може да допре до ваков тип на клиенти, мрежниот слајсинг нуди изолација на мрежни ресурси, диференцирани SLAs, висока сигурност, флексибилно топографско приспособување, и автоматизација, кои овозможуваат претпријатијата да доживеат дигитална трансформација<sup>[3]</sup>.

## Изолација на ресурси и безбедност

Во зависност на типот на сообраќај кој може да биде од различни индустрии, сервиси и корисници кој се носи врз истата мрежа, а низ различни слајсови, потребно е да понудиме различни нивоа на изолација во според потребите на клиентите и на сервисите.

Во однос на квалитетот на сервисот, целта на мрежниот слајсинг е да го заштитиме сервисот од бурст или невообичаен сообраќај. На тој начин се гарантира дека ако еден слајс е загушен, истото нема да се одрази на другите слајсови или пак целата мрежа. Ова е од исклучителна важност за вертикалните индустрии како на пример паметен дом, паметно здравство, паметна мрежа, паметно пристаниште, паметен град и други кој имаат строги побарувања во однос на доцнење, цитер. Дополнително е потребно да е обезбедено високо ниво на безбедност, во случај на приватни слајсови како на пример на паметно пристаниште или пак банкарство во никој случај не би требало нивните податоци да бидат достапни кон другите слајсови, бидејќи тоа би довело до потенцијални кражби, загрозување на лични информации на клиенти итн. Во зависност од степонот на изолација мрежните слајсови нудат 3 нивоа на изолација: на сервис, на ресурси и на O&M.

- Изолација на сервис: Пакетите во еден слајс нема да бидат препраќани кон мрежни јазли во друг слајс и обратно. Со други зборови конекциите со сервисот се изолирани помеѓу различни мрежните слајсови, на тој начин сервиси на различни корисници се невидливи меѓусебно на истата мрежа. Но ова не значи дека тие меѓусебно не влијаат едни на други. Во случај каде што еден мрежен сервис ги користи сите ресурси на мрежата другите ќе бидат загушени. Ова е погодно за традиционални сервиси за кој не е потребен стриктен SLA.
- Изолација на ресурси: Мрежните ресурси се дефинирани исклучиво по слајс, или се делени помеѓу повеќе слајсови. Ова е особено битно за URLLC сервиси кој обично имаат стриктен SLA кој не толерира интерференција од други сервиси. Постојат два начини на изолација и тие со користат комбинирани со цел да се постигне некој идеална комбинација во која се задоволени различните SLA на сервисите и цена. Имено тие се:
  - Тврда изолација: Осигурува дека секој слајс има свој мрежни ресурси. Што оневозможува интерференција помеѓу слајсови
  - Мека изолација: Овозможува слајсот да ги користи своите дедицирани ресурси, дополнително и да користи некој заеднички ресурси кој ги дели со други слајсови. На тој начин може слајсовите да се изолирани до определен степен но сепак да можа да се користат определени статистички мултиплексирање

- O&M изолација: На некој корисници вклучително на изолација на ресурси и сервиси им е потреба и можност сами да ја администрираат и одржуваат мрежата. На тој начин слајсот наликува на приватна мрежа. Ова може да биде погодно за притпријатија кој веќе имаат сопствена мрежа и сакаат дополнително да ја прошират со јавната мрежа.

## Можност за обезбедување на различни видови на SLA

Со растечката количина на мрежен сообраќај и развојот на нови сервиси, растат и мрежните барања. Различни индустрии имаат различни барања за опсег, доцнење, цитер. Мрежната инфраструктура треба да исполнува различни SLA за различни сервисни сценарија. На една заедничка инфраструктура со помош на мрежен слајсинг може да се обезбедат различни SLA за различни корисници, сервиси и индустрии. На тој начин операторите можат да ги трансформираат и прошират услугите кои ги нудат за истите да бидат приспособени за корисникот и on-demand.

## Екстремно висока сигурност

Во IP мрежи, URLLC сервисите бараат висока достапност и опоравувањето од грешки да е од редот на неколку милисекунди. Со мрежниот слајсинг може да се направат процедури за како да се опорават мрежните конекции во случај на грешка на линк, и на кој начин сообраќајот да се пренасочи, а притоа и да не влијае врз други слајсови. Дополнително постојат технологии како TILFA и “midpoint protection” кој значително ја зголемуваат мрежната достапност и заштита.

## Автоматизиран менаџмент на слајс

Како што расте големината на сервисите и нивната разноликост, така расте и комплексноста за нивно управување, што значи дека мануелното менаџирање на мрежи станува невозможно за операторите. Тоа значи дека истите треба да се управувани автоматски со технологии за мрежен менаџмент. Менаџерот на мрежниот слајс обезбедува менаџирање низ целиот животен век на мрежниот слајс, поддржува планирање и имплементација на мрежни слајсови, флексибилно мапирање од сервиси во слајсови, визуелизација на SLA и на сервиси во слајсот, динамичко менување и оптимизирање на слајсови итн. Со развитокот на автоматизацијата, веројатно би се имплементирале и паментни технологии во секоја фаза од менаџирањето на мрежните слајсови со цел да се оптимизира користењето на мрежните ресурси и намалат трошоците за одржување.

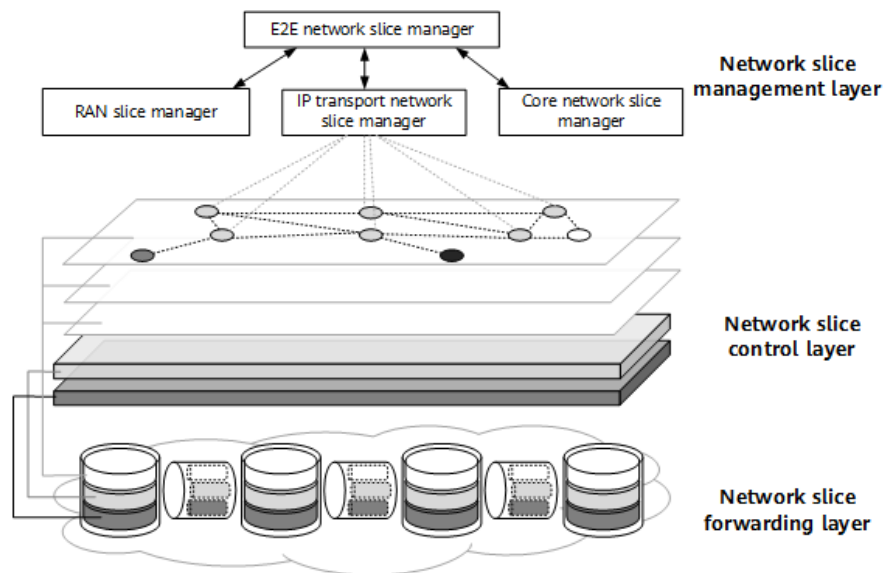


## Како работи мрежен слајсинг

Со цел подобро да разбереме како работи мрежниот слајсинг, би било погодно да ја разгледаме архитектурата и нејзините компоненти и да обратиме внимание на тоа што се случува во мрежните свичеви.

### Архитектура на мрежен слајсинг

На слика 2 е прикажана архитектурата на IP мрежен слајсинг. Таа се состои од 3 слоеви: менаџерски слој, контролен слој и препраќачки слој.



Слика 2. Архитектура на IP мрежен слајсинг [2]

- Менаџерскиот слој обезбедува функции кои се поврзани со животниот век на мрежниот слајс, влучувајќи планирање на мрежни слајсови, нивно имплементирање, одржување и оптимизација
- Контролниот слој ја мапира логичката изведба на мрежните слајсови со физичката мрежа и дополнително ги поврзува логичните топологии со мрежните ресурси кои се доделени за слајсовите. На тој начин, формираните слајсови ги поддржуваат потребите на различните сервиси кои се поврзани со нив. Дополнително, контролниот слој може да се подели на два подделови: контролна рамнина и податочна рамнина.
  - Контролната рамнина во главно собира, пресметува и ги дистрибуира информациите на мрежниот слајс.
  - Податочната рамнина ги идентификува и препраќа ресурсите на мрежниот слајс.

- Препраќачкиот слој треба да има флексибилни и прецизни можности за резервација на ресурси, и да е способен да ги подели ресурсите на физичката мрежа во поголем број на изолирани подгрупи, кој се подоцна алоцирани на слајсовите. Ваквата изолација може да се постигне со методи како FlexE под-интерфејси, каналски под-интерфејси и HQoS.

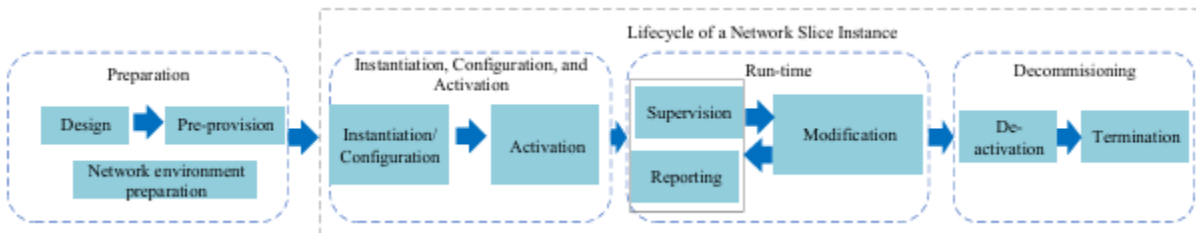
## Мрежен простор во мрежниот слајсинг

Меѓу најзначајните промени од традиционалните мрежи во мрежниот слајсинг е тоа што мрежата сега станува тридимензионална. Во класичните дводимензионални мрежи, секој мрежен јазел има сопствена IP адреса со која истиот се идентификува и се користи при препраќање на пакети. Овој пристап може да се покаже како голем предизвик во тридимензионалните мрежи каде еден мрежен јазел може да припаѓа во повеќе слајсови. Секој слајс има различна побарувачка за ресурси, и може да има различни препраќачки патеки, па би требало да се дефинираат повеќе различни IP адреси за секој јазел во зависност од бројот на слајсови во кој што тој е вклучен. Овој пристап има негативни влијанија врз мрежните перформанси и комплексноста. Со цел да се реши проблемот, може да се воведат дводимензионални адресни идентификатори за пакетите, каде што се чуваат информации за адресата на јазелот кон која што тој е насочен, и во кој слајс припаѓа. На тој начин може да имплементираме слајс без да има дополнително планирање за мрежно адресирање и конфигурација, значително намалувајќи ги можните рути во мрежата овозможува да се поддржат голем број на мрежни слајсови.

Во ваквата мрежа, јазлите треба да чуваат две препраќачки табели. Една рутирачка табела со која се одредува на кој интерфејс ќе го препрати пакетот во зависност од дестинацијата на пакетот и некои други дополнителни информации, и друга која ќе идентификува на кој слајс припаѓа и кои му се резервираните ресурси кои можат да видат канали или пак под-интерфејси на интерфејсот.

## Менаџирање на мрежни слајсови

Како што е прикажано на слика 3, мрежните слајсови се менаџирани во 4 фази: планирање, извршување, одржување и деактивација.



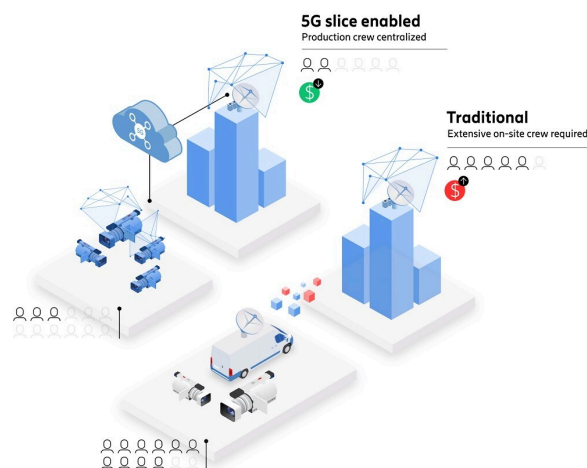
Слика 3. Животен тек на иснтанца на мрежен слајс [1]

- Слајсовите се планираат врз основа на барањата за SLA на сервисите за кој ќе се користат. Тоа вклучува планирање на доцнење, мрежен опсег со кој располага слајсот и просторниот опсег, односно дали слајсот ќе ја покрива целата мрежа или пак дел од неа. Ова е важно за да се решат проблеми со интерференција меѓу различни слајсови и за балансирање на мрежни ресурси.
- При извршување на слајсот се користи контролер. Со него може да се конфигурира мрежниот опсег кој е предвиден за слајсот, тунели, виртуелни приватни мрежи итн. Контролерот потоа при активација ја преуредува мрежата со цел оптимално да ги искористи нејзините ресурси.
- При оджувањето на мрежата, контролерот ја набљудува нејзината состојба и разгледува параметри како доцнење и губење на пакети. Со користење на телеметрија, мрежните јазли го информираат контролерот за состојбата на линковите, загушеноста и квалитетот на сервис. Притоа, сите овие информации се добиваат во реално време и се визуализират. Ова е особено погодно кога ќе настане некаква грешка во мрежата, бидејќи го ослеснува прецесот за нејзино санирање. Дополнително, користи автоматски методи за поправање на грешки, како промена на патеки и оптимизација во случај на загушеност на мрежата или пак при пад на линк.
- Со деактивацијата на слајсот, контролерот ги ослободува мрежните ресурси кои се зафатени од него. Потоа истиот автоматски треба да ги преконфигурира рутите и самата мрежа, со цел да има оптимално искористување на нејзините ресурси.

## Примени на мрежен слајсинг

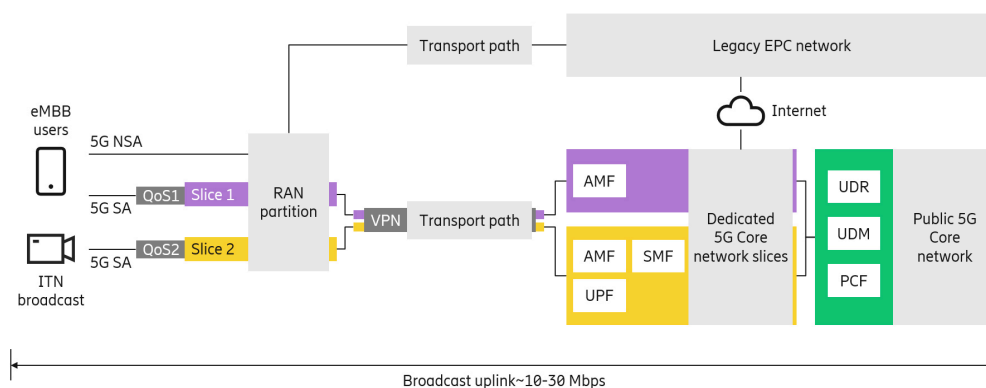
### Радио-дифузија

Развојот на 5G целуларната технологија им овозможува на радио-дифузните куќи да емитураат програми во живо со висок квалитет и со помали трошоци. Со негово користење може да се намали големината на теренската екипа и се елиминира радио-дифузিনিот перосонал кој би бил задолжен за трансмитирање на содржината до зградата каде што истата би се обработувала, како што е прикажано на слика 4. Со тоа, на радио-дифузиите им е поедноставно и поевтино да произведуваат содржина. Ова претставува големо подобрување во споредба со досегашните сателитски, радио и 4G решенија, поради тоа што нуди брзина, флексибилност и гарантирани мрежни перформанси за привлечна цена. Дополнително, отвора можности за да се рашири пазарот на радиодифузија, со тоа што значително ја намалува иницијалната инвестиција која е потребна за да се произведе содржина. Тоа се должи на фактот дека операторот може да им понуди на клиентите гарантиран проток со мрежениот слајс на кој што може да се приклучат преку SIM картички, како и нови можност да се снима содржина во затворени простори и со нови уреди како дронави, а самите камери може да бидат помали и полесни.<sup>[4]</sup>



Слика 4. Мрежниот слајсинг ги заменува традиционалните врски со дел од целураната мрежа [4]

Меѓу најпознатите употреби на мрежен слајсинг за оваа намена е крунисувањето на крал Чарлс во Англија, каде што наместо со подигнување на традиционална приватна мрежа, овој настан се о mreжи со користење на мрежни слајсови врз целуларната мрежа на Водафон користејќи ја опремата од Ериксон. Имплементацијата се изврши со користење на 5G SA јадро и 2 мрежни слајсови, еден eMBB слајс за корисниците да можат да ја конзумираат содржината, и еден upstream слајс за камерите, при што се осигура дека нема да има интерференција помеѓу двата слајсови, односно да нема можност eMBB слајсот да го загуши другиот слајс<sup>[5]</sup>. На слика 5 може да се види архитектурата на мрежниот слајсинг за оваа пригода.



Слика 5. Архитектура на мрежниот слајсинг на мрежата на Водафон во Англија [5]

## Заклучок

За разлика од досегашните телекомуникациски сервиси каде што корисниците се адаптираат врз база на понудата од операторите, со вклучување на нови корисници како индустрии и претпријатија, доведува до тоа операторите да треба да ги адаптираат своите сервиси кон потребите на новите клиенти и потребите на апликациите кој тие ги нудат. Мрежниот слајсинг е една од најбитните технологии која овозможува да се достигнат SLA барањата и ги прави мрежите пофлексибилни, безбедни и менаџабилни. Мрежниот слајсинг отвара нови можности за соработка помеѓу телекомуникациските оператори и разни нови полиња како електродистрибуција, радио-дифузија, здравство, безбедност, транспорт, гејминг и многу други. На овој начин се развиваат нови бизнис модели каде операторите може флексибилно и по потреба да продаваат дел од сопствената мрежа. Овозможуваат поддршка за специфични QoS параметри. Се отвараат нови меѓуоператорски бизнис можности за виртуелни оператори и за меѓуоператорски роаминг. Се овозможува поддршка за критични сервиси како телемедицина и паметни мрежи. Но сепак мрежниот слајсинг има можност да се соочи со разни видови на регулаторни предизвици. Поради што истиот може да ја доведи мрежната неутралност во прашање, еден тип на корисник би бил приоритизиран за разлика од друг во зависност од типот на пакет кој го користи итн. Сепак несомнено е дека мрежниот слајсинг ќе има голема примена и дека е начинот на кој што ќе еволуира мрежата во блиската иднина тоа може да се увиди од интузијазмот на поголемите играчи во телекомуникациите за оваа технологија како Ericson, Huawei, Vodafone, T-Mobile како и на бизнис здруженија како 3GPP.

## Листа на референци

- [1] Kevin Sparks, Marvin Sirbu, Jack Nasielski, Lynn Merrill, Kevin Leddy, Padma Krishnaswamy, Walter Johnston, Russ Gyurek, Brian Daly, Mark Bayliss, John Barnhill, Kumar Balachandran, [5G NETWORK SLICING WHITEPAPER](#), FCC Technological Advisory Council, 5G IoT Working Group, САД, 2018
- [2] Liu Xiaoyang, What is Network Slicing? How Does It Work?, Ноември 2024, Huawei IP Encyclopedia
- [3] Jian Wang, Zhibo Hu, Jie Dong, IP Network Slicing, Септември 2021, Huawei Technologies Co
- [4] Mats Johansson J, Remote live broadcast capture - an early use case for 5G network slicing, Октомври 2022, Ериксон
- [5] Rohit Sengupta, A slice fit for a King; how the British King's Coronation was broadcast using 5G and network slicing, Јуни 2023, Ериксон