

Contents

1. Хамрах хүрээ.....	4
2. Норматив ишлэл	4
3. Нэр томьёо ба тодорхойлолт	5
4. Товчилсон үгс.....	5
5. 5G Сүлжээний тойм	7
6. Бүтэц (Радио хандалтын сүлжээ (RAN)/Дамжуулах/Цөм)	7
7. Спектр ба RF дохионы шаардлага.....	7
8. RAN байршуулалтын зарчмууд.....	7
9. gNB/AAU-ийн сайтын шаардлагууд	7
10. RF төлөвлөлт ба оновчлол	9
11. Дамжуулах сүлжээний шаардлага.....	10
12. 5G Цөм сүлжээ.....	10
13. QoS болон KPI шаардлагууд	10
14. Acceptance Test Procedures	10
15. Safety Requirements.....	11
Annex A – Tables.....	11
Annex B – Figures	11
Annex C – Checklists.....	11
НЭГ. 5G СҮЛЖЭЭНД ТАВИГДАХ ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА БА ХАМРАХ ХҮРЭЭ	12
15.1.....	Радио хандалтын сүлжээ (RAN) — 5G NR техникийн шалгуур
	12
15.2.....	Дамжуулах сүлжээ (Front-haul, Mid-haul, Backhaul)
	12
15.3.....	Шинээр суурилуулсан 4G/5G NSA сүлжээг хүлээн авах шалгуур
	16
1.4. Core Network Integration Acceptance	16
1.5. OSS/BSS Integration Acceptance	17

1.6. Drive Test Acceptance (DT / Walk Test)	17
1.7. Сүлжээний аюулгүй байдал (Security Acceptance).....	17
1.8. Баримт бичиг, протоколын шалгалт	17
1.9. Төгсгөлийн хүлээн зөвшөөрөх шийдвэр (Final Acceptance Certificate – FAC)	18
1.10 KPI болон гүйцэтгэлийн шалгуур	18
1.11 Хүлээн авах туршилт ба нийцэл (Acceptance & Compliance)	18
ХОЁР. ҮНДСЭН ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА (ITU-R M.2410 / 3GPP 38.xxx суурь).....	20
ГУРАВ. 5G РАДИО СҮЛЖЭЭНИЙ БАЙРШУУЛАЛТЫН ШААРДЛАГА.....	21
ДӨРӨВ. Шаардлагатай дэд бүтэц (Transport, Power, Site)	21
ТАВ. 5G CORE NETWORK (5GC) ШААРДЛАГА.....	22
ЗУРГАА. АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ШААРДЛАГА	22
ДОЛОО. МОНГОЛД ХЭРЭГЖҮҮЛЭХ ОНЦЛОГ ШААРДЛАГА	22
НАЙМ. ТЕХНИКИЙН ЕРӨНХИЙ ШААРДЛАГА.....	23
ХОЁР. 5G СҮЛЖЭЭНИЙ БААЗ СТАНЦЫН СУУРИЛУУЛАЛТЫН ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА	24
Хамрах хүрээ	25
2.1. Техникийн ерөнхий шаардлага.....	25
2.2. Байршлын шаардлага	25
2.3. Цамхаг, барилгын бүтцийн шаардлага	26
2.4. Антен ба радионы долгионы (AAU/RRU) шаардлага	26
2.6. Дамжуулах сүлжээ (Transport / Backhaul)	27
2.7. Цахилгаан хангамж.....	27
2.8. Аюулгүй ажиллагааны шаардлага	27
2.9. Суурилуулалтын дараалал (Flowchart)	28
2.10. Шалгах ба хүлээн авах шалгуур	29
2.11. Монгол Улсын нөхцөлд онцгой шаардлага.....	30
3. 5G СҮЛЖЭЭНИЙ РАДИО ДАВТАМЖИЙН АШИГЛАЛТЫГ ҮНЭЛЭХ.....	30

3.1. Үнэлэх гол үзүүлэлтүүд (KPIs)	30
3.2 Давтамжийн блок ашиглалт (BUR)	31
3.3 5G NR ашиглалтын нягтаршил	31
ГУРАВ. 5G СҮЛЖЭЭНИЙ RF ДОХИОНЫ ХАМРАХ ХҮРЭЭНИЙ ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА БА ҮНЭЛГЭЭНИЙ ПРОЦЕДУР	32
3.1. Хамрах хүрээ	32
3.2. RF дохионы хамрах хүрээний техникийн шаардлага (kpi thresholds) ..	32
A.5. Үнэлгээний тооцоолол	36
A.6. Нийцлийн шалгуур.....	36
A.7. Тайлагнах бүтэц.....	37
A.8. Үнэлгээний тайлангийн формат	37
3.3 . 5G RF ДОХИОНЫ ХАМРАХ ХҮРЭЭНИЙ ТЕХНИКИЙН ҮНДСЭН ҮЗҮҮЛЭЛТ.....	37
3.5. Үнэлгээний алхам.....	38
A.8. Үнэлгээний тайлангийн формат	47
Reference.....	48

МОНГОЛ УЛСЫН СТАНДАРТ

Ангилалтын код

5G сүлжээний техникийн шаардлага	MNS 202x
5G Networks technical requirements	MNS 202x

Стандарт, хэмжил зүйн газрын даргын 202x оны.. дүгээр сарын -ний өдрийн С/ дүгээр тушаалаар батлав.

Энэ стандарт нь 202x оны дүгээр сарын ... -ний өдрөөс эхлэн хүчинтэй.

1. Хамрах хүрээ

5G сүлжээний техникийн шаардлага стандарт нь 5G радио хандалтын сүлжээ, дамжуулах сүлжээ, 5G цөм сүлжээ, RF дохионы төлөвлөлт, үзүүлэлтүүд (KPI), хүлээн авах туршилт, аюулгүй байдлын шаардлага зэрэг бүх үндсэн бүрдлүүдийг хамарсан.

2. Норматив ишлэл

Энэхүү баримт бичигт дараах олон улсын болон үндэсний норматив баримт бичгүүдийг ишлэн ашиглана:

- **ITU-R M.2150** — IMT-2020 радио интерфэйсийн техникийн тодорхойлолт
- **ITU-R M.2410** — IMT-2020-ийн техникийн гүйцэтгэлийн минимум шаардлага
- **3GPP TS 38.xx цуврал** — 5G NR радио хандалтын сүлжээний техникийн үзүүлэлтүүд
- **ITU-T K.52** — Радио давтамжийн аюулгүй байдлын үнэлгээний удирдамж
- **IEC 62305** — Аянга болон хэт хүчдэлийн хамгаалалтын стандарт
- **TIA-222-H** — Цамхаг болон антен байгууламжийн бүтцийн шаардлага
- **MNS 5884:2020** — Холбооны цамхаг, антены суурийн ерөнхий шаардлага
- **CRC-ийн үндэсний зохицуулалтын стандартууд**
(радио давтамжийн ашиглалт, тоног төхөөрөмжийн нийцэл, аюулгүй байдлын норм гэх мэт)

5G сүлжээний радио давтамжийн ашиглалтыг үнэлэх:

- ITU-R SM.329 – *Spectrum Monitoring Requirements*
- ITU-R M.2101 – *Spectrum Sharing in 5G*

- ITU-R M.2410 – *5G Performance Requirements*
- ITU-T K.100 – *Measurement Techniques*
- 3GPP TS 38.104 – *NR Base Station RF Requirements*
- 3GPP TS 38.133 – *NR UE & BS Radio Resource Management*
- CRC техник ашиглалтын журам
- MNS 5884:2020 – Цамхаг ба антен суурь байгууламж
- ITU-R M.2410 — Minimum technical performance requirements for IMT-2020
- ITU-R M.2412 — Evaluation methodology for IMT-2020
- 3GPP TS 38.104 — Base Station (gNB) Radio Requirements
- 3GPP TS 38.133 — UE Radio Resource Management Requirements
- ETSI TR 138 901 — NR radio propagation & channel modeling

3. Нэр томъёо ба тодорхойлолт

Энэхүү стандарт нь дараах нэр томъёог ашиглана:

- **gNB** — 5G NR бааз станц
- **AAU** — Идэвхтэй антен нэгж (Active Antenna Unit)
- **RRU** — Алсын радио нэгж (Remote Radio Unit)
- **Massive MIMO** — Олон сувагт оролт-гаралт бүхий олон антеннт систем
- **Beamforming** — Дохио чиглүүлэлт, туяа үүсгэх технологи
- **eCPRI** — Өргөтгөсөн CPRI интерфэйс (fronthaul)
- **Network Slicing** — Сүлжээний логик сегментчлэл
- **Latency** — Хариу өгөх/саатлын хугацаа
- **Reliability** — Холболтын найдвартай байдал
- **RSRP** — Хүлээн авсан лавлах дохионы хүч
- **SINR** — Харьцаа: дохио-оролтын шуугиан ба интерференц
- **CQI** — Сувгийн чанарын индикатор
- **HO** — Гар дамжуулалт (handover)
- **KPI** — Гол гүйцэтгэлийн үзүүлэлт

- **Spectrum Utilization Efficiency (SUE)** – Радио давтамжийн ашиглалтыг тоон утгаар илэрхийлэх коэффициент
- **Occupancy** – Тухайн давтамжийн сувгийн бодит дүүргэлт
- **Block Utilization Ratio (BUR)** – Нэг операторт олгосон блокийн ашиглалт
- **Channel Quality Indicator (CQI)** – Радио сувгийн чанар
- **gNB** – 5G NR бааз станц
- **EIRP** – Effective Isotropic Radiated Power (дээд туяаны хүч)

4. Товчилсон үгс

Энэхүү баримт бичигт дараах товчлолууд ашиглагдана:

- **NR** — New Radio
- **RSRP** — Reference Signal Received Power
- **SINR** — Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio
- **UPF** — User Plane Function
- **SMF** — Session Management Function
- **AMF** — Access and Mobility Management Function
- **RAN** — Radio Access Network
- **MEC** — Multi-access Edge Computing
- **PCI** — Physical Cell ID
- **TDD** — Time Division Duplex

НЭГ. 5G СҮЛЖЭЭНД ТАВИГДАХ ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА БА ХАМРАХ ХҮРЭЭ 4-10

ХОЁР. 5G СҮЛЖЭЭНИЙ БААЗ СТАНЦЫН СУУРИЛУУЛАЛТЫН ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА 19-25

ГУРАВ. 5G СҮЛЖЭЭНИЙ RF ДОХИОНЫ ХАМРАХ ХҮРЭЭНИЙ ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА БА ҮНЭЛГЭЭНИЙ ПРОЦЕДУР 28-

Хавсралт А — Tables

Хавсралт В — Figures

Хавсралт С – Checklists

5. 5G Сүлжээний тойм

5G SA/NSA архитектур, хэрэглээний тохиолдлууд, байршуулалтын загварууд, хамрах давхаргууд (700 МГц, 3.5 ГГц, 26 ГГц) болон сүлжээний хувьслын замын талаарх дэлгэрэнгүй тойм.

6. Бүтэц (Радио хандалтын сүлжээ (RAN)/Дамжуулах сүлжээ болон/Цөм сүлжээ)

- RAN архитектур: gNB-CU/DU хуваалт, TDD синхрончлол, массив MIMO.
- Дамжуулах: Front-haul (eCPRI 7.2x), Midhaul, Backhaul MPLS.
- Цөм: Cloud-native 5GC with UPF (User Plane Function) болон MEC интегралчлал. 5G-ийн зорилтот бага хоцролт, өндөр дамжуулах чадамж, сүлжээний хуваалт, MEC integration тул UPF-ийг тархмал байдлаар байрлуулах буюу UPF-ийг нэг төв серверт байрлуулахын оронд Төв дата төвд (Central DC), Бүсийн дата төвд (Regional DC) болон Edge / MEC түвшин (Far Edge UPF) байрлуулна.
- RAN архитектур: gNB-CU/DU хуваалт, TDD синхрончлол, массив MIMO.
- Дамжуулалт: Урд дамжуулалт (eCPRI 7.2x), Midhaul, Backhaul MPLS.
- Цөм: UPF тархалт болон MEC интеграцчилалтай үүлэн суурьтай 5GC.

7. Спектр ба RF дохионы шаардлага

Давтамжийн зурвасууд: 700 МГц, 1800 МГц, 2100 МГц, 3500 МГц, 26 ГГц.

Сувгийн зурвасын өргөн: 20–100 МГц.

Антенн–AAU шаардлага: 32T32R / 64T64R massive MIMO, beamforming, TDD config 2/4/7, Tx power 40–100W.

Нэвтрүүлэх чадал, EIRP хязгаарлалт, хамгаалалтын зурвасууд, хуучин системүүдтэй зэрэгцэн орших.

8. RAN байршуулалтын зарчмууд

Хамрах хүрээний төлөвлөлтийн зарчим, Хэсэгчлэл, доош чиглэсэн стратеги, интерференцийг бууруулах, PCI төлөвлөлт, TDD хүрээний тохируулга, антенны байршлын дүрэм.

9. gNB/AAU-ийн сайтын шаардлагууд

gNB Сайт

- Суурилуулах орчны шаардлага: $-40^{\circ}\text{C} - +50^{\circ}\text{C}$, салхины даац $\geq 30-40$ м/с. Цамхагийн даац $\geq 300-500$ kg.
- Grounding $\leq 5 \Omega$, lightning protection IEC 62305.
- Антенн хоорондын зай $\geq 2-3$ м.

- Цамхагийн өндөр: 30–50 м хөдөө, хот дээвэр.

Ачааллын үзүүлэлт, газардуулга $\leq 5 \Omega$, аянга цахилгаан хамгаалалт, цахилгаан систем, хүрээлэн буй орчны нөхцөл байдал (-40°C -аас $+50^{\circ}\text{C}$ хүртэл).

10. RF төлөвлөлт ба оновчлол

RF төлөвлөлтийн шаардлага

RF төлөвлөлтийн шалгуур үзүүлэлтүүд

- **RSRP ≥ -95 dBm**
Бааз станцын хамрах хүрээ хангалттай түвшинд байх ба хэрэглэгчийн төхөөрөмж тогтвортой дохио хүлээн авах хамгийн бага түвшин.
- **SINR ≥ 10 dB**
Оролтын дохио–шуугианы харьцаа хангалттай байх бөгөөд өндөр өгөгдөл дамжуулалт, чанартай үйлчилгээний суурь нөхцөл.

Шугамын тооцоо (Link Budget)

- Алдагдал, өргөлт, антенны ашиг, замын алдагдал, замхралт зэргийг багтаасан тооцооллыг хийж:
 - Суурь станцын гаралтын чадал
 - Хүлээн авах мэдрэмж
 - Үйлчилгээний радиус
 - Indoor/outdoor нөхцөл зэрэгт үндэслэн оновчтой төлөвлөлт хийнэ.

Секторчлал (3-sector configuration)

- Бааз станц бүрийг 120° –ийн өнцөгтэй 3 сектор болгон төлөвлөх.
- Сектор хоорондын давхцах сувгийн интерференцийг багасгаж:
 - Антенны доош хазайлт
 - Цацрагийн өргөн
 - Нэвтрүүлэх чадал
 - Хамрах хүрээний давхцалын харьцаа зэргийг оновчлох.

Цацрагийн оновчлол

- Цацраг үүсгэх/цацраг удирдах замаар тохиргоог дараах үзүүлэлтүүдэд тулгуурлан оновчлох:

- o Хамрах хүрээ
- o Халуун цэгийн талбай
- o Өндрийн/азимутын хазайлт
- o Үүр хоорондын интерференц

Массив MIMO (32T/64T/128T)-ийн цацрагуудын динамик оновчлол.

Интерференцийн удирдлага

- **PCI Planning**
Cell хооронд PCI давхцах (collision), ойролцоо PCI (confusion)-г зайлсхийж PCI-ийн бүлэглэл (PCI group)-ийн төлөвлөлт хийх.
- **TDD Synchronization**
TDD горим ашиглаж буй бүх бааз станцуудыг:
 - o Хүрээний тохируулга
 - o DL/UL зурвасын тохиргоо
 - o Хамгаалалтын хугацаа зэрэг параметрийн дагуу бүрэн синхрончлох

Үүний үр дүнд UL/DL cross-link интерференцийг багасгах.

5G Цөм сүлжээний шаардлага

SA/NSA architecture.
AMF, SMF, UPF, NSSF, PCF, AUSF, UDM.
Slice requirements: throughput, latency, isolation.
MEC integration.

Integration & Commissioning

VSWR < 1.5, PIM test, fiber OTDR.
Synchronization check (PTP/NTP), throughput test.
Drive test: RSRP/SINR/CQI/Throughput шалгалт.

Acceptance Test Plan

Call setup success $\geq 98\%$, HO success $\geq 95\%$.
DL $\geq 150\text{--}300$ Mbps, UL $\geq 50\text{--}100$ Mbps.
Latency ≤ 10 ms field measurement.

Safety Requirements

RF exposure – ITU-T K.52.
Electrical safety – -48 V DC, lock-out/tag-out.
Tower climbing PPE, fall protection kit.

Дүгнэлт

Эдгээр техникийн шаардлагууд нь Монгол Улсад 5G сүлжээний оновчтой төлөвлөлт, суурилуулалт болон ашиглалтыг хангах үндэсний хэмжээнд ашиглагдах операторын техникийн суурь баримт болно.

Шугамын тооцоо, тархалтын загварууд, клаттер ангилал, цацрагийн менежмент, хамрах хүрээ/багтаамжийн тэнцвэржүүлэлт, ачааллын урьдчилсан тооцоо, KPI-д суурилсан оновчлол.

11. Дамжуулах сүлжээний шаардлага

Урд талын холболтын хоцрогдол $\leq 100 \mu s$, 10–25 Gbps холбоосууд.

Арын холболт: MPLS-TP, IPsec, QoS профайлууд.

Шилэн кабелийн үзүүлэлтүүд: G.652D, OTDR босго, микро долгион 18/23/38/80 ГГц нөөцлөлт.

12. 5G Цөм сүлжээ

AMF/SMF/UPF архитектур, сүлжээний зүсэлтийн шаардлага, MEC захын тооцоолол, бодлогын хяналт, цэнэглэх архитектур, хууль ёсны оролцооны нийцэл.

13. QoS болон KPI шаардлагууд

RSRP ≥ -95 дБм, SINR ≥ 10 дБ, DL нэвтрүүлэх чадвар $\geq 150\text{--}300$ Мбпс, UL $\geq 50\text{--}100$ Мбпс, хоцрогдол $\leq 1\text{--}10$ мс, найдвартай байдал $\geq 99.999\%$.

eMBB, URLLC, mMTC-ийн зүсмэлийн KPI-ууд.

3. Key Performance Indicators (KPIs)

Гол техникийн үзүүлэлтүүд:

- DL throughput $\geq 100\text{--}300$ Mbps
- UL throughput $\geq 50\text{--}100$ Mbps
- Latency $\leq 1\text{--}4$ ms
- Reliability $\geq 99.999\%$
- Connection density $\geq 1\text{M devices/km}^2$
- Spectrum efficiency $\geq 30/15$ bit/s/Hz

14. Acceptance Test Procedures

Жолоодлогын туршилтын арга зүй, хээрийн хэмжилт, НО-ийн амжилтын түвшин $\geq 95\%$, дуудлагын тохиргоо $\geq 98\%$.

VSWR, PIM, шилэн кабелийн OTDR, синхрончлолын туршилт, хэрэглээний түвшний нэвтрүүлэх чадварын туршилт.

15. Safety Requirements

RF exposure per ITU-T K.52, electrical safety, tower climbing rules, PPE usage, lock-out/tag-out, site hazard identification.

Annex A – Tables

Tables for KPI thresholds, RF specifications, site requirements, and frequency allocations.

Annex B – Figures

Architecture diagrams, flowcharts, RF planning figures.

Annex C – Checklists

Checklists for site survey, installation, commissioning, and acceptance tests.

НЭГ. 5G СҮЛЖЭЭНД ТАВИГДАХ ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА БА ХАМРАХ ХҮРЭЭ

Энэхүү баримт нь 5G хөдөлгөөнт холбооны сүлжээний гол техникийн шаардлага, шалгуур үзүүлэлтүүд болон Монгол Улсын операторын түвшний (RAN/Transport/Core) хэрэгжилтийн зайлшгүй нөхцөлийг тодорхойлно. 5G нь дараах үндсэн 3 ангиллын үйлчилгээний хангана: eMBB, URLLC, mMTC. eMBB – өндөр хурд; URLLC — хамгийн бага саатал; mMTC — IoT, d2D

5G хөдөлгөөнт харилцаа холбооны сүлжээ нь IMT-2020–ийн үзэл баримтлалын дагуу радио хандалтын сүлжээ (RAN), дамжуулах (Transport), үндсэн (цөм) сүлжээ (5GC), радио төлөвлөлт (RF planning), KPI үзүүлэлтүүд, хүлээн авах туршилт (acceptance testing) болон аюулгүй ажиллагааны шаардлага гэсэн хэд хэдэн түвшинд техникийн тодорхой босго тавьдаг. Эдгээр шаардлага нь зөвхөн анхны суурилуулалт төдийгүй сүлжээний ашиглалт, өргөтгөл, оновчлолын бүх үе шатанд мөрдөгдөнө.

1.1 Радио хандалтын сүлжээ (RAN) – 5G NR техникийн шалгуур

5G NR радио хандалтын сүлжээ нь 700 МГц, 1800 МГц, 2100 МГц, 3500 МГц болон 26 ГГц зэрэг давтамжийн зурвасуудыг ашиглан хамрах хүрээ, багтаамж, чанарын шаардлагыг хангах ёстой. Үүнд:

- 5G NR бааз станц (gNB) нь 3GPP TS 38.104-д заасан өндөр давтамжийн RF үзүүлэлт (нэвтрүүлэх чадал, EIRP, зурвасын өргөн, маск, интерференцийн хязгаар)-ийг хангах;
- Massive MIMO ба beamforming ашиглан спектрийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх, өндөр давтамжийн (3.5 ГГц, 26 ГГц) богино долгионы сул талыг нөхөх;
- RSRP, SINR, CQI зэрэг радио параметруудийн доод босгыг хот, хот-орчим, хөдөө бүсээр ангилан тогтоох (жишээлбэл: RSRP ≥ -95 дБмВт, SINR $\geq 5-10$ дБ).

1.2 Дамжуулах сүлжээ (Front-haul, Mid-haul, Backhaul)

Хөдөлгөөнт холбооны (4G LTE/5G) сүлжээнд радио станцуудаас төв цөм сүлжээ хүртэлх өгөгдлийг дамжуулах бүх хэсгийг дамжуулах сүлжээ гэнэ.

Үүнийг 3 түвшинд хуваана:

- Front-haul
- Mid-haul
- Backhaul

Эдгээр нь 5G-ийн C-RAN архитектур, ORAN, 3GPP TS 38.300/208-тай шууд холбоотой. Front-haul нь Антеннтай холбогдсон хэсэг (RU — Radio Unit) ба үндсэн зурвасын хэсэг (DU — Distributed Unit) хоорондын өндөр хурдтай, маш бага хоцролттой холбоос юм.

Хүснэгт 1.1 Дамжуулах сүлжээний техникийн шаардлага

Параметр	Backhaul	Ашиглагдах хэсэг
Хурд	10G ~ 400G Ethernet / IP/MPLS	• 5G AAU (Active Antenna Unit) • C-RAN архитектур (Centralized / Cloud RAN) • ORAN 7.2x интерфэйс
Хоцролт	10–50 мсек (Ачааллын төрлөөс хамаарна)	
Технологи	Fiber, Microwave (E-band), MPLS, Segment Routing	
Сүлжээ	IP/MPLS backbone, SDN	

Backhaul-р дамжих ачаалал:

- Хэрэглэгчийн өгөгдөл (User Plane)
- Удирдлагын дохио (Control Plane; N2→AMF, N3→UPF)
- Операторын OSS системүүд
- Давхаргын ачааллын замчлал

Хүснэгт 1.2 Гурван түвшин хоорондын ялгаа

Шинж	Front-haul	Mid-haul	Backhaul
Холбогдох элемент	RU ↔ DU	DU ↔ CU	CU/DU ↔ Core
Хоцролт	Маш бага ($\leq 100 \mu s$)	дунд ($\leq 20 ms$)	их ($\leq 50 ms$)
Хурд	10–100G	1–25G	10–400G
Протокол	CPRI/eCPRI/O-RAN	F1	NG, S1, N2/N3 (5G Core)

Ашиглалт	AAU, C-RAN	Cloud RAN	Үндсэн дамжуулах backbone
Шаардлага	Цагийн нарийн sync	Slice/QoS удирдлага	IP/MPLS, SDN

Mid-haul

“Mid-haul” дамжуулах сүлжээ нь тархмал (DU) болон төвлөрсөн (CU) хэсгүүдийг хоорондын холбоос юм.

- Бааз станцын доод түвшний нэгжээс (DU) төвлөрсөн удирдлагын нэгж (CU) руу өгөгдөл дамжуулах дунд давхаргын зам
- Фронт-хоолоос хамаагүй сул хоцролттой.
- Үүлэн-RAN (төвлөрсөн сүлжээ) архитектурт гол үүрэгтэй.

Mid-haul үзүүлэлт

- Хоцролт: 5–20 миллисекунд
- Протокол: 3GPP F1 интерфейс
- Хурд: 1G/10G/25G Ethernet
- CU дээр RRC/PDCP удирдлага, давхаргын (slice) менежмент хийгддэг.

Backhaul

Энэ нь бааз станцын DU/CU хэсгээс, цөм сүлжээ рүү холбодог үндсэн дамжуулах сүлжээ.

- Бааз станцаас операторын үндсэн сүлжээ (5GC/EPC) хоорондын гол зам
- Хэрэглэгчийн өгөгдөл, удирдлагын дохио, бүх ачаалал дамждаг.
- Операторын үндсэн IP/MPLS backbone сүлжээ

Backhaul үзүүлэлт

- Хоцролт: 10–50 миллисекунд
- Хурд: 10G–400G Ethernet
- Технологи: Fiber, Microwave (E-band), IP/MPLS, SDN
- Control plane (N2), User plane (N3) траффик дамжина

5G-ийн өндөр хурд, бага саатлыг дэмжихийн тулд дамжуулах сүлжээ дараах шаардлагыг хангана:

- Front-haul (eCPRI): 10–25 Gbps-ийн шугам, Саатал $\leq 100 \mu\text{s}$;
- Backhaul: MPLS-TP/IP, QoS ангилал, багцын саатал, jitter-д тодорхой босго тогтоох;
- Fiber optic (G.652D гэх мэт) ашиглах, эсвэл microwave link (18/23/38/80 ГГц)–ээр нөөцөн холболт хийх;
- Дамжуулах сүлжээ нь 5G-ийн давхарга (slice) бүрийн үйлчилгээний чанарын шаардлагыг (QoS) хангахуйц найдвартай, өргөтгөх боломжтой бүтэцтэй байх.

1.3 Шинээр суурилуулсан 4G/5G NSA сүлжээг хүлээн авах шалгуур

(Acceptance Test & Verification Requirements)

1.3.1 Бааз станц (BBU/AAU/RRU) суурилуулалт

- Тоног төхөөрөмж үйлдвэрлэгчийн зааврын дагуу байршуулалт
- Бүх бэхэлгээ, тулгуур, антены чиглэл зөв
- Антены сектор бүрийн доош хазайлт / азимут хэмжилт
- Камер, нэвтрэлт хязгаарлалтын системийн ажиллагаа

Кабелийн холболт

- RF кабель, optic шөрмөс кабель стандартын дагуу
- OTDR тест: splice loss $\leq 0.1 \text{ dB}$, нийт алдагдал $\leq 0.3 \text{ dB}$
- DC/AC тэжээлийн газардуулга

Радио давтамжийн хэмжилт (RF Acceptance)

Antenna & RF параметр

- VSWR: ≤ 1.5
- Антены өсгөлт болон sector identity зөв тохирсон
- PCI conflict/PCI collision байхгүй
- TAC/LAC тохиргоо зөв

Хүснэгт 1.3 Хамрах хүрээний ба түвшний шалгуур

Үзүүлэлт	Шаардлага
RSRP	$\geq -100 \text{ dBm}$ (гадаад), $\geq -95 \text{ dBm}$ (дотор)
RSRQ	$\geq -12 \text{ dB}$
SINR	$\geq 5 \text{ dB}$ (минимум)

5G SS-RSRP	≥ -105 dBm
5G SS-SINR	$\geq 0 \dots 5$ dB

1.3.2. 5G/4G дуудлагын болон өгөгдлийн шалгалт (QoS Acceptance)

Voice/Call Test

- 4G VoLTE call setup time ≤ 2.5 секунд
- Дуудлага алдагдах хугацаа $\leq 1\%$
- Гардвар амжилттай гүйцэтгэх хувь $\geq 98\%$
- Paging delay ≤ 300 мс

Хүснэгт 1.4 Data тест

Үзүүлэлт	5G	4G
DL Throughput	$\geq 300\text{--}800$ Mbps	$\geq 30\text{--}80$ Mbps
UL Throughput	$\geq 50\text{--}150$ Mbps	$\geq 5\text{--}20$ Mbps
Ping latency	$\leq 10\text{--}20$ ms	$\leq 30\text{--}50$ ms

1.3.3 Дамжуулах сүлжээг хүлээн зөвшөөрөх (Transport Network Acceptance (Front-/Mid-/Backhaul))

Fronthaul (RU $\leftrightarrow$ DU)

- Хоцролт ≤ 100 μ s
- Jitter ≤ 10 μ s
- Хугацааны синхрончлол (PTP 1588v2): TE ≤ 30 ns

Midhaul (DU $\leftrightarrow$ CU)

- F1 Хоцролт ≤ 20 ms
- Frame loss $\leq 0.1\%$

Backhaul (CU $\leftrightarrow$ Core)

- Төгсгөлөөс төгсгөлийн саатал ≤ 50 ms
- Багцын алдагдал $\leq 0.1\%$
- IP/MPLS routing stable
- QoS slice configuration баталгаажсан

1.4. Core Network Integration Acceptance

Тохиргоо

- 5GC/ EPC–тэй бүрэн холболт
- AMF/SMF/UPF route & interface N2/N3 OK
- Slice профайл: eMBB / URLLC / mMTC тохируулагдсан
- Default/ dedicated bearer тохиргоо зөв
- DNS, NTP, PCRF/PCF холболт баталгаажсан

Security

- IPsec туннел амжилттай
- User-plane integrity test OK

1.5.OSS/BSS Integration Acceptance

- Huawei/U2000, ZTE/NMS, Ericsson/ENM системд бүртгэл орсон
- Alarm management – бүх дуудлага/төхөөрөмж OK
- Performance counter-үүд зөв ирж байгаа
- KPI dashboard тохирсон

1.6. Drive Test Acceptance (DT / Walk Test)

Үндсэн шалгуур

- Бүрхэлтийн зураглал хийгдсэн (бөглөгдсөн)
- RSRP, SINR heat map нормд багтсан
- Гардвар – ping-pong 0–1%
- VoLTE дуудлагын тасралтгүй байдал $\geq 98\%$
- 5G NSA anchor LTE үүр үнэн зөв холбогдсон

Хэрэглэгдэх систем

- TEMS / NEMO / Keysight / Rohde & Schwarz

1.7. Сүлжээний аюулгүй байдал (Security Acceptance)

- Төхөөрөмжийн нууцлалын түвшин: SSH/https/TLS идэвхтэй
- Default credential устгасан
- Firewall ACL бүх порт дээр шалгасан
- Physical security OK

1.8. Баримт бичиг, протоколын шалгалт

- Станцын паспорт, тоног төхөөрөмжийн жагсаалт

- Fiber & RF test report
- Acceptance checklist
- Drive Test log
- As-built drawings
- Засварын төлөвлөгөө

1.9. Төгсгөлийн хүлээн зөвшөөрөх шийдвэр (Final Acceptance Certificate – FAC)

Доорх нөхцөл биелсэн тохиолдолд операторын сүлжээг хүлээн зөвшөөрнө:

1. Бүх радио хэмжилт нормын $\geq 95\%$ хангалттай
2. Drive test-ийн KPI $\geq 90\%$ нормд нийцсэн
3. Fronthaul/Midhaul/Backhaul-ын latency/jitter стандартад нийцсэн
4. VoLTE/5G дуудлага ба өгөгдлийн шалгуур – амжилттай
5. Alarm, NMS бүртгэл – бүрэн
6. Баримт бичиг – бүгд гүйцсэн

1.10 KPI болон гүйцэтгэлийн шалгуур

5G сүлжээний техникийн гүйцэтгэлийг дараах үндсэн KPI-уудаар үнэлнэ:

- **User experienced throughput:** DL $\geq 50\text{--}100$ Mbps, UL $\geq 10\text{--}20$ Mbps (хотын бүсийн $\geq 80\%$ талбайд);
- **Latency:** эцсийн хэрэглэгчийн түвшинд 1–10 ms (үйлчилгээний төрөлтэй уялдуулна);
- **Coverage:** RSRP, SINR дээр суурилсан географи ба хүн амын хамрах хувийг тодорхойлох (Urban $\geq 95\%$, Suburban $\geq 90\%$, Rural $\geq 85\%$ жишээ босго);
- **Reliability & Availability:** Холболтын найдвартай байдал, сүлжээний ашиглалтын хугацаа (availability $\geq 99.9\text{--}99.999\%$);
- **Spectral efficiency:** bit/s/Hz/cell түвшний үзүүлэлт, spectrum utilization (PRB utilization, occupancy).

1.11 Хүлээн авах туршилт ба нийцэл (Acceptance & Compliance)

Шинэ суурилуулсан 5G сайт, кластер, эсвэл nationwide rollout-ыг ашиглалтад өгөхөөс өмнө:

- Site-level шалгалт (VSWR, PIM, fiber OTDR, power/grounding);
- Drive test / walk test–ээр газар дээрх RSRP, SINR, throughput-ын хэмжилт хийх;
- KPI-ийг тодорхой маршрутын дагуу, CRC-ээс баталсан аргачлалаар тооцоолон лицензийн техникийн үүргийн биелэлтийг үнэлэх;
- Нийцээгүй тохиолдолд сайжруулалтын төлөвлөгөө (coverage optimization, additional sites, tilt/azimuth өөрчлөлт гэх мэт) боловсруулж, дахин үнэлгээ хийх.

1.12 Аюулгүй ажиллагаа ба цахилгаан соронзон цацаргалт (RF exposure, safety)

5G сүлжээ нь:

- ITU-T K.52, ICNIRP-ийн удирдамжид нийцсэн цахилгаан соронзон цацаргалтын дээд хэмжээг дагаж мөрдөх;
- Газардуулга, аянга хамгаалалт (IEC 62305, MNS 5884:2020), цамхаг, дээврийн бүтцийн бүтээлэг, салхины ачааллын шаардлагыг хангах;
- Maintenance болон tower climbing–ийн үед персоналын хамгаалах хэрэгсэл, LOTO (lock-out/tag-out) журамтай байх;

зэрэг аюулгүй ажиллагааны техникийн стандартуудтай уялдсан байх ёстой.

Энэхүү техникийн шаардлага дараах сүлжээний бүрэлдэхүүн хэсгүүдэд хамаарна:

Радио интерфэйс (NR – New Radio)

- 450 MHz – 6 ГГц (FR1),
 - 24.25 – 52.6 ГГц (FR2; ммWave)
- зуравст 5G NR системийн **байршуулалт, тохиргоо, чанарын үзүүлэлтүүд.**

Бааз станц (gNB) болон RRU / AAU

- Massive MIMO ($\geq 16\text{T}16\text{R}$ / $32\text{T}32\text{R}$ / $64\text{T}64\text{R}$)
- Beamforming / Beam-tracking
- Carrier Aggregation (NR-NR, NR-LTE)

5G Core Network (5GC)

- Standalone (SA)

- Non-Standalone (NSA)
- Network slicing
- Virtualization (NFV), cloud-native architecture

Дамжуулах сүлжээ / Backhaul / Transport

- Fiber / Microwave (18–80 ГГц)
- eCPRI / F1 / N2 / N3 интерфэйсийн шаардлага

Үйлчилгээний чанарын шалгуур (QoS / KPI)

- eMBB
- URLLC
- mMTC

5G Хэрэглэгчийн төхөөрөмж (UE)

- Ухаалаг утас
- FWA CPE
- IoT/IIoT терминал

ХОЁР. ҮНДСЭН ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА (ITU-R M.2410 / 3GPP 38.xxx суурь)

Нэвтрүүлэх хамгийн их хурд

- Уруудах шугам ≥ 20 Гбит/сек
- Өгсөх шугам ≥ 10 Гбит/сек

Жинхэнэ хэрэглэгчийн хурд (User experienced throughput)

- Уруудах шугам ≥ 100 Мбит/сек
- Өгсөх шугам ≥ 50 Мбит/сек

Үйлчилгээний төрлөөс хамаарсан саатлын шаардлага:

- eMBB ≤ 4 мсек
- URLLC ≤ 1 мсек (төгсгөлөөс төгсгөл)

Холболтын нягтрал (Connection Density)

- 1 км²-т 1 000 000 төхөөрөмж

Найдваржилт (Reliability)

- 99.999% (URLLC)

Энергийн үр ашиг

- EE $\geq 2 \times$ LTE-гээс илүү

- Massive MIMO sleep mode

Спектрийн үр ашиг (SE)

- ≥ 30 bit/s/Hz (Уруудах шугам)
- ≥ 15 bit/s/Hz (Өгсөх шугам)

ГУРАВ. 5G РАДИО СҮЛЖЭЭНИЙ БАЙРШУУЛАЛТЫН ШААРДЛАГА

5G NR сайтын техникийн шалгуур

- Нэвтрүүлэх чадал: 100Вт AAU ((Active Antenna Unit)), 40Вт RRU
- Зурвасын өргөн: 40–100 МГц (3.5 ГГц), 400 МГц (ммWave)
- TDD Configu 2/3/4/7
- Синхрончлол: GPS/NTP/PTP

Massive MIMO

- Цацрагийн тоо ≥ 8 цацраг
- 3D Цацраг хэлбэржүүлэлт
- CSI-RS хэмжилт, SRS reporting

Бүрхэлтийн шаардлага

Хотын бүс:

- Гадна бүрхэлт $\geq 98\%$
- Дотоод орчин $\geq 85\%$

Хөдөө орон нутаг:

- Гадна $\geq 90\%$

ДӨРӨВ. Шаардлагатай дэд бүтэц (Transport, Power, Site)

Transport / Backhaul

- 10–25 Gbps eCPRI front-haul
- L2/L3 MPLS-TP
- Fiber availability $\geq 90\%$

Site Requirements

- Tower height ≥ 25 –40 м (rural)
- Pole / rooftop (urban)
- Grounding, lightning protection per MNS 5884:2020, IEC 62305
- RRU/AAU load compliance per TIA-222-H / EN 1993

Цахилгаан тэжээл

- -48 V DC
- Battery ≥ 4 цаг backup
- Renewable integration (optional)

TAB. 5G CORE NETWORK (5GC) ШААРДЛАГА

SA (Standalone) шаардлага:

- AMF, SMF, UPF, AUSF, NRF, NSSF
- Network slicing capability
- MEC edge integration
- SBA (Service-Based Architecture)

NSA шаардлага:

- EPC interworking
- EN-DC (E-UTRA NR Dual Connectivity)

ЗУРГАА. АЮУЛГҮЙ БАЙДЛЫН ШААРДЛАГА

- 5G AKA authentication
- Unified Data Management (UDM) security
- Signalling security (N1/N2/N3 encryption)
- O-RAN security baseline
- Slice-level security policies
- Zero-trust architecture support

ДОЛОО. МОНГОЛД ХЭРЭГЖҮҮЛЭХ ОНЦЛОГ ШААРДЛАГА

Монгол Улсын нөхцөлд зохицуулалт дараах үндсэн шаардлагад тулгуурлах боломжтой:

3.5 ГГц (C-band) — үндсэн 5G coverage ба capacity бүс

- Bandwidth: 100 MHz per operator
- Massive MIMO 32T32R / 64T64R
- Coverage $\geq 95\%$ (urban), $\geq 85\%$ (rural)

700 MHz — nationwide coverage & rural broadband

- Coverage $\geq 98\%$ nationwide
- QoS ≥ 10 Mbps UL/DL

ммWave (26 ГГц) — hotspot capacity

- Stadium
- Airport
- Industrial automation

FWA (Fixed Wireless Access)

- Rural broadband solution
- 5G CPE requirement: 4×4 MIMO, ≥ 60 Mbps guaranteed

НАЙМ. ТЕХНИКИЙН ЕРӨНХИЙ ШААРДЛАГА

Хүснэгт 1.1 Техникийн ерөнхий шаардлага

Үзүүлэлт	Шаардлага
Peak rate	20/10 Gbps
User rate	100/50 Mbps
Latency	1–4 ms
Reliability	99.999%
Density	1M devices/km ²
SE	30/15 bit/s/Hz
Coverage (urban)	≥ 98%
Coverage (rural)	≥ 90%
Spectrum	700 MHz, 3.5 ГГц, 26 ГГц
Peak rate	20/10 Gbps

ХОЁР. 5G СҮЛЖЭЭНИЙ БААЗ СТАНЦЫН СУУРИЛУУЛАЛТЫН ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА

Хамрах хүрээ

Энэхүү стандарт нь 5G NR бааз станц (gNB), AAU/RRU, антенн, дамжуулах сүлжээ, газардуулга, цахилгаан тэжээл, суурилуулалт болон аюулгүй ажиллагааны техникийн шаардлагыг тогтооно.

Энэхүү шаардлага нь Монгол Улсад ашиглагдах:

- 5G NR бааз станц (gNB)
- Алсын радио нэгж (RRU/AAU)
- Massive MIMO ба Beamforming станц
- 5G NR SA/NSA радио нэвтрүүлэх төхөөрөмжүүд

зэрэг радио станцын байршил, суурилуулалт, аюулгүй байдал, эрчим хүч, газардуулга, антенны өндөр болон цамхгийн шаардлагыг тодорхойлно.

2.1. Техникийн ерөнхий шаардлага

Стандартууд

- ITU-T K.52 (Human exposure to RF field)
- ITU-R M.2410, M.2150 (5G NR performance)
- IEC 62305 (Lightning protection)
- TIA-222-H (Tower structural standard)
- EN 1992/1993 (Eurocode: бетон/ган хийц)
- MNS 5884:2020 (Антенн/цацрагийн суурь байгууламж)

2.2. Байршлын шаардлага

Хотын бүс (Urban)

- Байршил: rooftop, tower, pole
- Хамрах хүрээ $\geq 98\%$
- 3.5 ГГц болон 700 MHz coverage optimization
- mmWave hotspot-т: өндөр нягтаршилтай бүс (стадион, Төв талбай, ТҮЦ төвүүд)

Хөдөө орон нутаг

- Цамхгийн өндөр: 30–50 м
- Coverage $\geq 90\%$
- Fresnel zone clearance $\geq 60\%$

Зай барих шаардлага

- Антенн хоорондын босоо зай: ≥ 3 м
- Хөндлөн чиглэлийн зай: ≥ 2 м
- Ар араасаа дараалсан антенны зай: ≥ 1.5 м
- RF-ийн өртөлтийн хязгаар тус бүр ITU K.52 хангах

2.3. Цамхаг, барилгын бүтцийн шаардлага

Цамхаг (TIA-222-H стандарт)

- Салхины хурд $\geq 30\text{--}40$ м/с
- Мөсний ачааллын шаардлага хангасан байдал
- Structural load (AAU + RRU + Бичил долгион + Кабедь) $\geq 300\text{--}500$ кг
- Газардуулгын эсэргүүцэл $\leq 5 \Omega$

Дээвэр дээрх угсралт (Rooftop installation)

- Бетон хийцийн даац $\geq 450\text{--}800$ кг
- Чичиргээ хянах (резинэн амортизатор)
- Антенны уналтын бүс (≥ 3 м аюулгүй байдлын периметр)

2.4. Антенн ба радионы долгионы (AAU/RRU) шаардлага

Massive MIMO AAU

- 32T32R / 64T64R цацраг хэлбэржүүлэлт
- Гаралтын чадал: 40–100 W
- Сонгогдох зурвас:
 - NR n28 (700 MHz)
 - NR n78 (3.5 ГГц)
 - ммWave n258 (26 ГГц)

Антенны хазайлт

- Механик хазайлт: 0–8°
- Цахилгаан хазайлт: 0–15°

- Remote electrical tilt (RET) capability – шаардлагатай

RF кабель

- ½" / ⅞" фидер
- VSWR < 1.5
- Цаг агаарын хамгаалалт IP67

2.6. Дамжуулах сүлжээ (Transport / Backhaul)

Шилэн шөрмөс

- SM fiber (ITU-T G.652D)
- ODF төгсгөл + шошгололт
- Шилэн кабелийн унтралт ≤ 0.35 дБ/км

. Бичил долгион

- 18–23–38–80 ГГц
- Багтаамж ≥ 1 –10 Gbps
- XPIС/2+0/4+0 шугамын тохиргоо

Front-haul

- eCPRI Option 7.2x
- Зурвасын өргөн ≥ 10 –25 Gbps
- Нэг талын саатал ≤ 100 μ s

2.7. Цахилгаан хангамж

- Оролтын тэжээл: -48 V DC
- AC -DC Шулуутгагч (үр ашиг $\geq 90\%$)
- Батерейны нөөцлөлт ≥ 4 цаг
- Газардуулга/Газардуулалт ≤ 5 Ω
- Хэт хүчдэлийн хамгаалалт: Төрөл I + Төрөл II

2.8. Аюулгүй ажиллагааны шаардлага

Радио давтамжийн өртөлт (RF Exposure):

- ITU-T K.52 / ДЭМБ-ын хязгаарлалтууд
- Нийтийн өртөлтийн бүсийн тэмдэглэгээ

- Аюулгүйн зайнаас хамаарна EIRP ($\geq 4-12$ м)

Цахилгааны аюулгүй байдал:

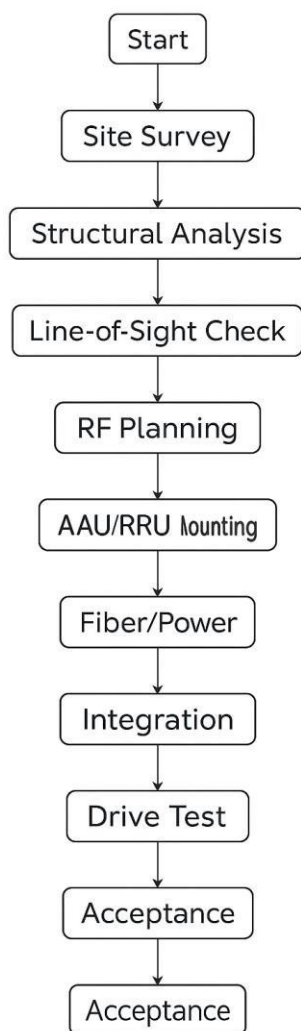
- Хэлхээ таслагч
- Газардуулгын тулгуур
- IEC 62305 стандартын дагуу аянга цахилгаан шингээгч

Эрсдэлийн шалгалт:

- Цамхагт авирах хувийн хамгаалалтын хэрэгсэл
- Уналтаас хамгаалах хэрэгсэл
- Түгжих/шошго гаргах журам

2.9. Суурилуулалтын дараалал (Flowchart)

1. Site Survey (*Талбайн урьдчилсан үзлэг, техник нөхцөл шалгах*)
2. Structural Analysis (*Каркас, цамхаг, дээврийн бүтцийн даацын тооцоо*)
3. Line-of-Sight check (*Шугаман харагдац шалгалт (Microwave/Backhaul)*)
4. RF Planning (*Радио төлөвлөлт (Coverage, Capacity, Tilt, Azimuth)*)
5. Civil work (*Иргэний ажил (суурь, шатанц, хоолой, хавтан, бэхэлгээ)*)
6. Mounting (AAU, RRU, Microwave) (*Төхөөрөмж суурилуулалт (AAU, RRU, Microwave антенн)*)
7. Power/grounding (*Цахилгаан тэжээл, газардуулгын угсралт*)
8. Connectivity (Fiber, Ethernet) (*Холболт (Шилэн кабелийн холболт)*)
9. Integration (*Интеграци*)
10. Drive test
11. Acceptance (*Хүлээн зөвшөөрөх*)



Зураг 2.1 Бааз станцын суурилуулалтын дараалал

2.10. Шалгах ба хүлээн авах шалгуур

Ажиллагааг шалгах хуудас (Commissioning checklist):

- W хувилбар
- SFP, шилэн кабелийн гэрлийн түвшин VSWR
- PIM тест
- Нэвтрүүлэх чадлын баталгаажуулалт
- Синхрончлолын шалгалт (PTP/NTP)

Хүлээн зөвшөөрөх KPI :

- RSRP $\geq$ -95 дбм
- SINR $\geq$ 10 дб

- Уруудах шугамын дамжуулах чадамж $\geq 150\text{--}300\text{ Mbps}$
- Дуудлагын тохиргоо амжилттай болсон $\geq 98\%$
- Амжилттай гардвар $\geq 95\%$

2.11. Монгол Улсын нөхцөлд онцгой шаардлага

- Давтамжийн муж: 700 MHz / 1800 MHz / 2100 MHz / 3.5 ГГц / 26 ГГц
- Улаанбаатар хотод Massive MIMO заавал
- Хөдөөгийн бүсэд 700 MHz үндсэн сүлжээ
- mmWave $\rightarrow$ hotspot + enterprise slicing
- Цаг агаарын нөхцөл: $-40^{\circ}\text{C} \rightarrow +40^{\circ}\text{C}$
- Монголын салхины хүч: 30–40 м/с цамхгийн загварт
- Эрчим хүчний давхар нөөц

3. 5G СҮЛЖЭЭНИЙ РАДИО ДАВТАМЖИЙН АШИГЛАЛТЫГ ҮНЭЛЭХ

Хамрах хүрээ

Энэхүү стандарт нь Монгол Улсад суурилуулсан 5G хөдөлгөөнт холбооны сүлжээнд ашиглагдаж буй радио давтамжийн нөөцийн:

- ашиглалтын үр ашиг,
- спектрийн эзлэх хувь,
- технологийн нийцэлт,
- чанарын шалгуур,
- үйлчилгээний бүсийн гүйцэтгэл

зэрэг параметруудийг үнэлэх аргачлал, үзүүлэлт, хэмжилтийн журам, хүлээн авах шалгуурыг тодорхойлно.

3.1. Үнэлэх гол үзүүлэлтүүд (KPIs)

5G радио давтамжийн ашиглалтыг дараах үндсэн шалгуураар үнэлнэ:

Спектрийн ашиглалтын үр ашиг (SUE)

$$SUE = \frac{\text{Бодит хэрэглэсэн өргөн (MHz \cdot \text{цаг})}{\text{Олгосон өргөн (MHz \cdot \text{цаг})}$$

Энд:

- SUE – Спектрийн ашиглалтын үр ашиг (Spectrum Utilization Efficiency);
- Бодит хэрэглэсэн өргөн – тухайн зурваст бодитоор ашигласан хурдны багтаамж (МГц·цаг);
- Олгосон өргөн – операторт олгосон нийт давтамжийн нөөцийн хугацааны үржвэр (МГц·цаг).

Шаардлага:

- $SUE \geq 45\%$ хотын бүс
- $SUE \geq 25\%$ хөдөө бүс

3.2 Давтамжийн блок ашиглалт (BUR)

$$BUR = \frac{\text{Ашиглагдсан RB}}{\text{Нийт RB}}$$

3GPP 38.214 дагуу Resource Block хэмжилт.

Хүснэгт 3.1 Радио сувгийн чанар (CQI / SINR / RSRP)

Үзүүлэлт	Шаардлага
RSRP	≥ -95 дбм
SINR	≥ 10 дб
CQI	≥ 8

3.3 5G NR ашиглалтын нягтаршил

- Хэрэглэгчийн нягтрал (users/km²)
- Cell traffic (Mbps/sector)
- PRB utilization (%)
- Scheduling efficiency

ГУРАВ. 5G СҮЛЖЭЭНИЙ RF ДОХИОНЫ ХАМРАХ ХҮРЭЭНИЙ ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГА БА ҮНЭЛГЭЭНИЙ ПРОЦЕДУР

3.1. Хамрах хүрээ

Энэхүү стандарт нь 5G (IMT-2020) хөдөлгөөнт холбооны нийтийн үйлчилгээний:

- дохионы хамрах хүрээ (RSRP),
- сувгийн чанар (SINR),
- дамжуулах чадамж (throughput),
- газар дээрх хэмжилт (Drive Test, Walk Test),

зэрэг үзүүлэлтүүдийг үнэлэх аргачлал, босго шалгуур, тайлагналын шаардлагыг тогтооно.

5G сүлжээний RF дохионы хамрах хүрээ нь тодорхой газар нутагт, тодорхой давтамжийн зурваст, тодорхой үйлчилгээний түвшний дохио (RSRP/SINR/дамжуулах чадамж) байж байгаа эсэхийг хэмжсэн үзүүлэлт болно.

3.2. RF дохионы хамрах хүрээний техникийн шаардлага (kpi thresholds)

Техникийн шаардлагын доод босгын утгыг дараах байдлаар тогтооно. Хүснэгт 3.1.

Хүснэгт 3.1 Техникийн шаардлагын босго утга

Үзүүлэлт	Утга
RSRP	≥ -95 дБм
SINR	≥ 5 дБ
Уруудах шугамын дамжуулах чадамж	≥ 50 Mbps
Өгсөх шугамын дамжуулах чадамж	≥ 10 Mbps
Газар зүйн бүрхэлт (Хот)	$\geq 95\%$
Газар зүйн (Хотын зах)	$\geq 90\%$
Газар зүйн бүрхэлт (Хөдөө, хурдны зам)	$\geq 85\%$

Техникийн түвшинд:

- Газар зүйн хамрах хүрээний эзлэх хувь нь тухайн бүсийн талбайн техникийн босгоос дээш дохиотой бүсийн хувийг харуулна.

- Хүн амын хамрах хүрээний эзлэх хувь – тухайн бүсийн хүн амын хэдэн хувь нь 5G RF дохионд хамрагдаж байгааг тодорхойлно.

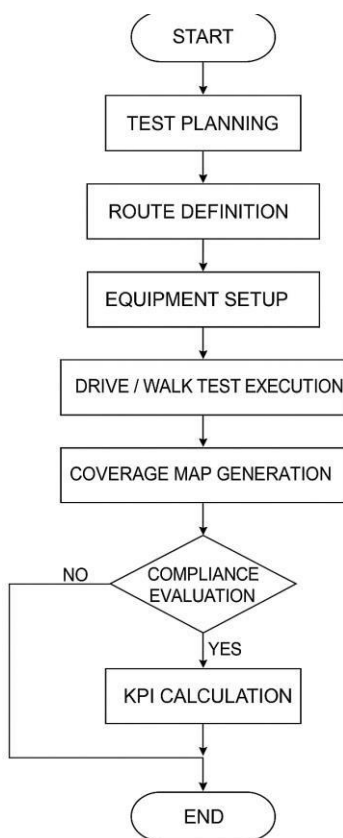
3.2.1. Үнэлгээний ерөнхий зарчим

5G сүлжээний хамрах хүрээг үнэлэхдээ заавал 3 төрлийн эх үүсвэр ашиглана:

1. RF төлөвлөлтийн загвар (Таамаглал)
2. Сүлжээний төлөвлөлт ба OSS/MDT лог
3. Газрын хэмжилт (Drive test / Walk test)

Хэмжилтийн үр дүнд суурилсан үнэлгээ нь техникийн шаардлага хэрхэн хангаж байгааг оператор бүрийн хувьд баталгаажуулна.

3.2.2. Хэмжилтийн дараалал



Зураг 3.1 5G “Drive Test” хамрах хүрээний бүрхэлтийг үнэлэх дараалал

Зураг 3.1-д 5G сүлжээний хамрах хүрээний техникийн шаардлагыг үнэлэх дарааллыг харуулсан. Үүнд:

1. ҮНЭЛГЭЭНИЙ ҮЙЛ ЯВЦ ЭХЛЭХ (START)

5G үйлчилгээний операторуудын чанарын хяналтын баг үнэлгээний ажлыг эхлүүлнэ. Энэ нь ихэвчлэн:

- шинэ сайт ашиглалтад оруулах,
- жил тутмын улсын хэмжээнд хамрах хүрээний бүрхэлтийн үнэлгээ хийх,
- лицензийн үүрэг биелэлт шалгах үед хийгдэнэ.

2. ТУРШИЛТЫН ТӨЛӨВЛӨЛТ (TEST PLANNING)

Энэ алхамд:

- Бүсийг сонгох (Urban / Suburban / Rural)
- Тестийн зорилтыг тодорхойлох: RSRP, SINR болон дамжуулах чадамжийн алин болохыг тодорхойлох
- Давтамжийн зурвасыг тодорхойлох: 700 / 1800 / 2100 / 3500 / 26000 МГц
- Тест хийх операторыг тодорхойлох

Төлөвлөлтөд үнэлгээний нарийвчлалд хамгийн чухал.

3. МАРШРУТ ТОДОРХОЙЛОХ (ROUTE DEFINITION)

Drive test хийх тодорхой маршрут сонгоно:

- Хотын төвийн тойрог
- Хотын захын гудамжнууд
- Аймаг, сум болон авто зам (Хурдны зам)
- Халуун цэг бүс (их сургууль, худалдааны төв гэх мэт)

Маршрут нь бүрхэлтийг шууд хэмжихүйц байх ёстой.

4. ТОНОГ ТӨХӨӨРӨМЖИЙН ТОХИРГОО (EQUIPMENT SETUP)

Тестийн төхөөрөмжүүдийг бэлтгэх:

- Drive test box (TEMS / Nemo / R&S)
- NR-capable test UE
- Scanner (spectrum + RF)
- GPS unit
- Laptop / logging software

Мөн дараах тохиргоо хийнэ:

- Sample interval = 1 sec
- Band selection = NR bands
- Technology lock (NR-SA/NSA)

5. ГАЗАР ДЭЭРХ ХЭМЖИЛТ (DRIVE / WALK TEST EXECUTION)

Бодит гудамж, авто зам дээр:

- Машинаар явах (*Drive Test*)
- Дотор орчин шалгах (*Walk Test*)

Хэмжилт бүр GPS координаттай log үүсгэнэ:

- RSRP
- SINR
- CQI
- DL/UL throughput
- Serving cell ID

6. ДОХИОНЫ ТҮВШНИЙ ГАЗРЫН ЗУРАГЛАЛ ҮҮСГЭХ (COVERAGE MAP GENERATION)

Drive test логиыг дараах аргаар зураг болгоно:

- RSRP газрын зураг (Бүрхэлт)
- SINR газрын зураг (Чанар)
- Дамжуулах чадамжийн газрын зураг (Өгөгдлийн үзүүлэлт)

Үүний дараа:

- Сайн
- Дунд
- Муу
- Бүрхэлтгүй

бүсүүд тодорхойлогдоно.

7. ТЕХНИКИЙН ШААРДЛАГЫН НИЙЦЛИЙН ҮНЭЛГЭЭ (COMPLIANCE EVALUATION)

Бүрхэлтийн зураглалыг ХХЗХ-ны техникийн босго утгатай харьцуулна:

Жишээ:

- $RSRP \geq -95$ дБм нь $\geq 95\%$ Бүрхэлтийн зураглал энэ нөхцөл хангаж байгаа эсэх
- $SINR \geq 10$ дБ нь $\geq 80\%$ Бүрхэлтийн зураглал энэ нөхцөл хангаж байгаа эсэх
- $DL \geq 50$ Mbps нь $\geq 80\%$ т Бүрхэлтийн зураглал энэ нөхцөл хангаж байгаа эсэх

Нөхцөл хангагдаж байвал “ТИЙМ”

Нөхцөл хангагдаагүй бол “ҮГҮЙ”

8. КРІ ТООЦООЛОХ

“ТИЙМ” гэсэн тохиолдолд:

- Газар зүйн хамрах хүрээний хувь (%)
- Хүн амын хамрах хүрээний хувь (%)
- Нийлмэл бүрхэлт (Composite coverage)

$$KPI = 0.5(RSRP) + 0.3(SINR) + 0.2(Throughput)$$

Эцсийн техникийн үнэлгээг гаргана.

9. ҮЙЛ ЯВЦ ДУУСГАХ (END)

Хамрах хүрээний бүрхэлтийн үнэлгээний тайланг илгээхэд бэлэн болно.

A.5. Үнэлгээний тооцоолол

Үнэлгээ дараах алхмуудаар хийгдэнэ.

A.5.1 RSRP Coverage Calculation

1. Drive test өгөгдлөөс $RSRP \geq -95$ дБмВт цэгүүдийн тоог тоолно.
2. Бүх хэмжилтийн цэгүүд дээрх $RSRP \geq -95$ дБм хувь:

$$Coverage_{RSRP} = \frac{RSRP \geq -95 \text{ dBm цэг}}{\text{Нийт хэмжилтийн цэг}} \times 100\%$$

A.5.2 SINR Coverage Calculation

$$Coverage_{SINR} = \frac{SINR \geq 5 \text{ dB цэг}}{\text{Нийт цэг}} \times 100\%$$

A.5.3 Уруудах/ Өгсөх шугамын дамжуулах чадамжийн хамрах хүрээ (DL/UL Throughput Coverage)

$$Coverage_{DL} = \frac{DL \geq 50 \text{ Mbps цэг}}{\text{Нийт цэг}} \times 100\%$$

A.5.4 Газар зүйн хамрах хүрээний нийлмэл KPI

Оператор нь нэгтгэсэн нэг индексээр тайлагнана:

$$Coverage_{Composite} = 0.5 \cdot Coverage_{RSRP} + 0.3 \cdot Coverage_{SINR} + 0.2 \cdot Coverage_{DL}$$

A.6. Нийцлийн шалгуур

Хүснэгт

Бүс	Техникийн үзүүлэлт
-----	--------------------

Хотын бүс	Бүрхэлт $\geq 95\%$
Хот орчим захын бүс	Бүрхэлт $\geq 90\%$
Хурдны зам/ хөдөө	Бүрхэлт $\geq 85\%$

Босгын үзүүлэлтийг хангаагүй оператор -“ Хамрах хүрээг сайжруулах үйл ажиллагааны төлөвлөгөө” гаргаж CRC-д ирүүлэх.

A.7. Тайлагнах бүтэц

Оператор ХХЗХ-д дараах мэдээллийг ирүүлнэ:

1. Бүрхэлтийн зураглал (RSRP, SINR, DL дамжуулах чадамж)
2. “Drive test” (raw data)
3. MDT үндэслэлтэй статистик
4. Сайтын жагсаалт + configuration (хазайлт, чадал, антенн, цацрагийн тоо)
5. Нийлмэл хамрах хүрээний (Composite Coverage) KPI тайлан

A.8. Үнэлгээний тайлангийн формат

Тайлан 5 бүлэгтэй байна:

1. Хамрах хүрээ ба аргачлал
2. Хэмжилтийн тохиргоо KPI үр дүнгүүд (RSRP, SINR, DL/UL, composite KPI)
3. Хамрах хүрээний газрын зураг, дулааны зураг
4. Дүгнэлт ба нийцлийн үнэлгээ

3.3 . 5G RF ДОХИОНЫ ХАМРАХ ХҮРЭЭНИЙ ТЕХНИКИЙН ҮНДСЭН ҮЗҮҮЛЭЛТ

3.3.1. RSRP (Reference Signal Received Power)

Хүснэгт 3.2 5G NR-ийн хамрах хүрээний үндсэн үзүүлэлт

Ангилал	RSRP (дбм)	Тайлбар
Very good	≥ -85 дбм	Маш сайн дохио
Good	-85 — -95 дбм	Ашиглахад хангалттай
Fair / Edge	-95 — -105 дбм	Захын бүс, хурд буурна
Poor / No service	≤ -105 дбм	Үйлчилгээ бараг боломжгүй
Ангилал	RSRP (дбм)	Тайлбар

Хүснэгт 3.3 Бүрхэлтийн бүсийн KPI-уудын жишээ

KPI	Шалгуур (жишээ)
Газар зүйн бүс (RSRP)	$\geq 95\%$ (хотын төв $\geq 90\%$ (хотын зах), $\geq 85\%$ (хөдөөл)
Хүн амын тархалт	$\geq 99\%$ (Ulaanbaatar), $\geq 90-95\%$ үндэсний хэмжээнд
RSRP босго	≥ -95 дБмВт (хотын зорилтот)
SINR босго	≥ 10 дБ (Зорилтотт)
Уруудах шугамын босго	$\geq 50-100$ Мбит/сек ($\geq 80\%$ талбайд)

3.5. Үнэлгээний алхам

1. Бүс тодорхойлох:

- Жишээ: Улаанбаатар хотын захиргааны хил, аймгийн төв, үндсэн авто зам.

2. Техникийн босго тогтоох:

- RSRP ≥ -95 дБм, SINR $\geq 5-10$ дБ, DL ≥ 50 Mbps гэх мэт.

3. Өгөгдөл цуглуулах:

- Төлөвлөлтийн загвар - төлөвлөсөн бүрхэлт
- OSS/MDT - сүлжээний түвшний хамрах хүрээний статистик
- Drive test / walk test ашиглан орны бүрхэлт гаргах

4. Бүрхэлтийн зураглал гаргах:

- RSRP давхарга, SINR давхарга, дамжуулах чадамжийн давхарга
- “Good / Fair / Poor / No service” гэсэн ангилалтай.

5. KPI тооцох:

- Газар зүйн хэдэн хувь нь босгыг хангаж байна вэ?
- Хүн амын хэдэн хувь нь хангаж байна вэ?

6. Дүгнэлт ба compliance:

- Лицензийн нөхцөлд заасан зорилт (жишээ нь 95%)—ыг хангаж байна уу?
- Хангагдаагүй бол хаана coverage hole байна, ямар арга хэмжээ авах вэ? (шийдлийн санал — нэмэлт site, антенн tilt өөрчлөх, beam optimization, carrier нэмэх г.м.)

Drive Test хэмжилтийн үзүүлэлтүүд

- RSRP, SINR, CQI, дамжуулах чадамж
- 700 МГц / 3.5 ГГц / 26 ГГц зурвас тус бүрээр
- Min 80% газарзүйн бүсийг хамруулах

Spectrum Scan (Monitoring)

- Spectrum analyzer (100 kHz – 40 ГГц)
- Occupancy threshold ≥ -90 дбм
- Channel occupancy ratio хэмжилт

Network internal logs

- gNB PRB logs
- Scheduler data
- Traffic matrix (per cell)
- UL/DL utilization

Beam-level utilization

Массив MIMO цацрагийн идэвхжилийн индекс:

$$BI = \frac{\text{Идэвхтэй beam}}{\text{Нийт beam}}$$

Хүснэгт 3.4 Хүлээн авах шалгуур

Ангилал	Шалгуур	Доод босго
Спектр ашиглалт	SUE	$\geq 45\%$
PRB ашиглалт	PRB-Avg	$\geq 35\%$
Бүрхэлт	RSRP	≥ -95 дбмВт
Чанар	SINR	≥ 10 дб
Багтаамж	Уруудах шугамын дамжуулах чадамж	≥ 100 Мбит/сек

4. Тайлангийн бүтэц

Оператор дараах мэдээллийг сар бүр, улсын хэмжээнд нэгтгэн ХХЗХ-д хүргүүлнэ:

- Ашигласан MHz-цаг
- Спектрийн эзлэмжийн график
- Үүр/секторын ашиглалт
- Физик нөөцийн блокийн PRB (Physical Resource Block) ашиглалтын heat map
- Traffic load
- Frequency block usage
- KPI compliance matrix

Тайлбар: LTE/5G суурь станцын (eNB/gNB) сектор бүр дээр PRB ашиглалтыг цаг хугацааны огтлолцоогоор өнгөөр дүрслэн харуулдаг график юм.

- Хэвтээ (Х-тэнхлэг): Цаг (минут/цаг/өдөр)
- Босоо (Ү- тэнхлэг): БС-ын сектор / Үүр
- Өнгө: PRB ашиглалтын хувь
 - **Гороон** = бага ашиглалт (0–40%)
 - **Шар** = дунд (40–70%)
 - **Улаан** = өндөр ачаалал (70–100%)

Энэ нь **capacity bottleneck, congestion, hotspot** болон **RRC drop / Throughput drop**-ийн үндсэн шалтгааныг шууд илрүүлэхэд ашиглагддаг.

4.1. Annex A — Формула ба тооцоолол

(A.1) Spectrum Efficiency

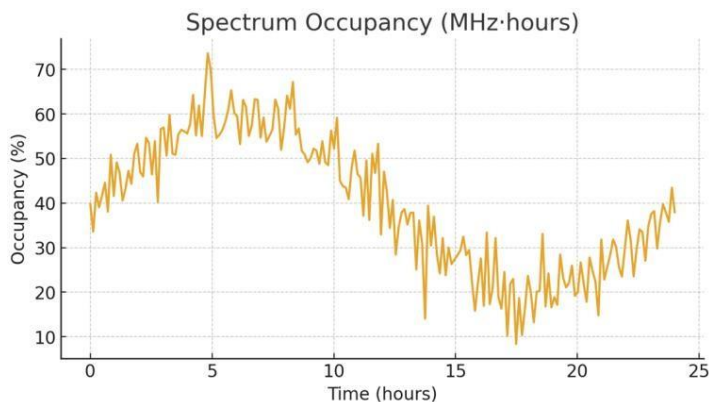
(A.2) PRB / RB mapping

(A.3) 700 MHz – 3.5 ГГц propagation difference correction

(A.4) Massive MIMO Beam Activity Calculation

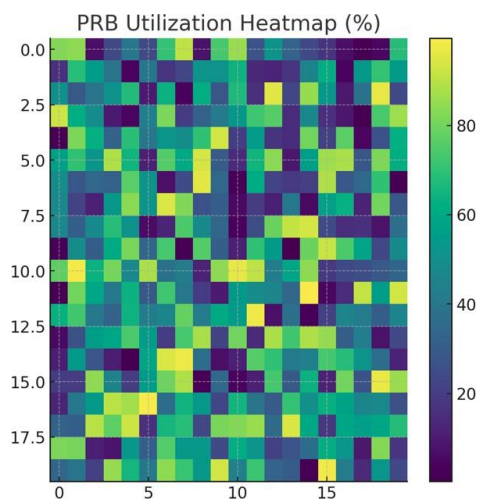
4.2 Spectrum Occupancy (MHz·hours)

Хугацааны явц дахь спектрийн эзлэх хувь (placeholder real-like simulation).



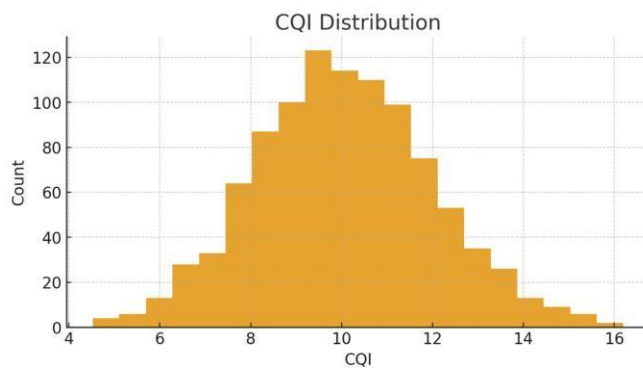
4.3. PRB Utilization Heatmap (%)

Санах ойд суурилсан PRB ашиглалтын 20×20 heatmap.



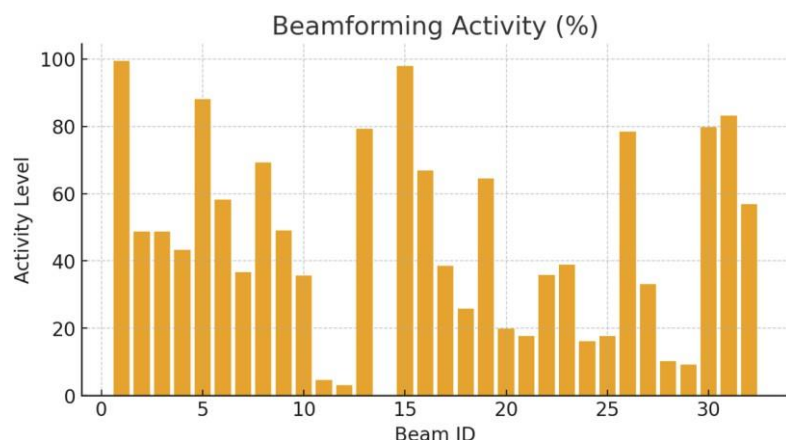
3, CQI Distribution Histogram

5G CQI утгуудын тархалтын график (Gaussian-based synthetic modeling).



4, Beamforming Activity (%)

32 beam-ийн идэвхжилийн инженерийн түвшний бар график.



5G сүлжээний радио давтамжийн ашиглалт, гүйцэтгэлийг бодитоор үнэлэхэд PRB Utilization Heatmap (%), CQI Distribution Histogram болон Beamforming Activity Diagram (%) нь хамгийн чухал шалгуурууд болно.

1. PRB Utilization Heatmap (%) — Сүлжээний ачаалал ба спектрийн ашиглалт

PRB = Physical Resource Block

NR (5G) сүлжээний үндсэн нөөц нэгж.

- PRB ашиглалт нь сүлжээний бодит ачаалал, capacity constraint, секторт үүсч буй саатал/бууралт-ыг шууд илтгэнэ.

Хэрэглээ:

- Cell overload илрүүлэх
- Spectrum under-utilization (ашиглалт муу) илрүүлэх
- 3.5 ГГц болон 26 ГГц зурвасын utilization харьцуулах
- Станц хоорондын imbalance илрүүлэх
- Beamforming scheduling efficiency

Стандарт утга:

PRB Util > 70% → overloaded

PRB Util < 20% → spectrum waste

PRB Util 30–60% → optimal

2. CQI Distribution Histogram — Радио сувгийн чанарын түвшин

CQI = Channel Quality Indicator (0–15)

UE-ийн мэдээлж буй радиосигналын чанарын индекс.

- 5G сүлжээг үнэлэхэд CQI нь SINR, модуляци, кодлолын хурдны шууд илэрхийлэл.

CQI өндөр байх тусам дамжуулах чадамж өндөр, цацраг хэлбэржүүлэлт сайн, интерференц бага, TT lхуваарилалт үр ашигтай CQI тархалт нь 5G үүрийн байдлыг бүрэн харуулдаг.

CRC KPI босгын утга:

- $CQI \geq 8$ ($\geq 60\%$ хэрэглэгч) — сайн
- $CQI \leq 5$ ($\geq 20\%$ хэрэглэгч) — сайжруулалт шаардлагатай

3. Цацраг хэлбэржүүлэлтийн идэвхтэй байдлын диаграм (%) — Massive MIMO цацраг ашиглалт

5G 3.5 ГГц болон 26 ГГц дээр цацраг хэлбэржүүлэлт бол үндсэн технологи.

Цацраг хэлбэржүүлэлтийн идэвхтэй байдал нь радио нөөц хэр оновчтой ажиллаж байгааг шалгана:

- GNB хэдэн цацраг идэвхтэй ашиглаж байна?
- Beam switching & tracking хэр сайн?
- UE-г beam-үүд зөв дагаж чадаж байгаа юу?
- Beam-based scheduling үр ашигтай юу?
- Hotspot beam load тэнцвэртэй юу?

Шалгуур: Цацраг

Beam activity distribution uniform байх нь сайн

1–2 beam дээр overload нь оновчлол шаардлагатай

mmWave (26 ГГц) дээр мм долгионы эффектив бүрхэлт нь цацрагийн оновчлолоос 90% шалтгаална.

Хүснэгт 3.5 Гурван графикийн харьцуулалт

График	Үнэлэх үзүүлэлт	Шаардлага
--------	-----------------	-----------

PRB Heatmap	Спектр ашиглалтын үр ашиг	5G spectrum ашиглалт хангалттай эсэхийг тодорхойлох
CQI Distribution	Радио сувгийн чанар	Бүрхэлт, интерференц, хуваарилалт
Beam Activity	Массив MIMO үзүүлэлт	Цацраг хэлбэржүүлэлтийн оновчлол, мм долгионы үзүүлэлт

Эдгээр гурван үзүүлэлтүүдээс 5G спектрийн бодит ашиглалт болон чанарын үнэлгээ гарна. “5G спект ашиглалтын үнэлгээ” нь суурилуулсан 5G сүлжээний радио давтамжийг хэр үр ашигтай ашиглаж байгааг системтэйгээр хэмжиж, дүгнэнэ.

Үнэлгээний алхмууд:

1. Үнэлгээний зорилго

5G спектрийн ашиглалтыг үнэлэхдээ гурван үндсэн асуултад хариулна:

1. Олгосон зурвас (700, 3.5, 26 ГГц) хэт дутуу ашиглагдаж байна уу, хэт ачаалж байна уу?
2. Радио нөөцийн ашиглалт чанартай, тэнцвэртэй, оновчтой байна уу?
3. Спектрийн ашиглалт нь хэрэглэгчийн үйлчилгээний чанар (QoS/QoE)-тай нийцэж байна уу?

2. Гол KPI-ууд (5G Spectrum Utilization KPIs)

1. SUE – Spectrum Utilization Efficiency

$$SUE = \frac{\text{Хэрэглэсэн MHz} \cdot \text{цаг}}{\text{Олгосон MHz} \cdot \text{цаг}}$$

- Хот: SUE ≥ ~40–50%
- Хөдөө: SUE ≥ ~20–30%

2. PRB Utilization (Cell/sector level)

- PRB avg utilization (%) – цаг, өдөр, ачааллын оргил үеэр
- PRB > 70% байнга → overload

- PRB < 20% → under-utilized spectrum

3. BUR – Block Utilization Ratio

$$BUR = \frac{\text{Ашиглагдсан RB}}{\text{Нийт RB}}$$

Operator бүрийн давтамжийн блок бодитоор ашиглагдаж байгаа эсэх.

4. Spectrum Occupancy (%)

- Spectrum analyzer / monitoring → тухайн зурваст бодитоор сигнал байгаа хугацааны хувь

5. Radio Quality KPIs (CQI / SINR / RSRP)

- CQI distribution
- SINR ≥ 10 дБ, RSRP ≥ -95 дБм бүсүүдийн хувь

6. Cell Spectral Efficiency (bit/s/Hz/cell)

$$SE = \frac{\text{Cell throughput (bit/s)}}{\text{Bandwidth (Hz)}}$$

Хэрэглэгчийн нягтрал ба спектр

- хэрэглэгч/км² / МГц
- хэрэглэгч/ МГц

3. Өгөгдлийн эх сурвалж

- O&M / OSS: PRB utilization, throughput, CQI/SINR, SE
- Drive Test / MDT: field RSRP/SINR/CQI, throughput
- Spectrum Monitoring: occupancy by band
- Operator reporting: MHz·hour usage, traffic stats, user density

4. Үнэлгээний алхмууд

1. Score тодорхойлох

- Зурвас: 700МГц, 3.5 ГГц 26 ГГц
- Бүс: Улаанбаатар, аймаг, хил орчим гэх мэт

- Оператор(ууд)

2. Өгөгдөл цуглуулах

- 1–4 долоо хоногийн log (PRB, traffic, CQI, SE)
- Spectrum scan (occupancy)
- Drive test / MDT (field quality)

3. KPI тооцоолох

- SUE, BUR, PRB avg, occupancy, SE, CQI/SINR hist
- Band, operator, cell, time-of-day–ээр ангилж харах

4. Threshold-оор үнэлэх

Жишээ (policy жишээ, та CRC-д өөрөө тохируулж болно):

- If **PRB avg 30–60% & CQI OK** → spectrum utilization = *optimal*
- If **SUE < 20% & service QoS OK** → *under-utilized* (spectrum can be refarmed, shared)
- If **PRB > 75% & QoS муудсан** → *congested* (нэмэлт spectrum эсвэл optimization хэрэгтэй)

5. Visualization / график ашиглах

- PRB Utilization heatmap → spatial & temporal hotspots
- CQI distribution → coverage/quality
- Beamforming activity → massive MIMO зөв ажиллаж байгаа эсэх
- Spectrum occupancy → “хоосон” ба “шахсан” зурвас

6. Дүгнэлт & зөвлөмж

- Ямар зурвас, аль бүсэд spectrum under/over-used байна вэ
- Spectrum sharing / refarming / re-planning шаардлагатай эсэх
- Тодорхой KPI босго зөрчигдсөн cell/sector жагсаалт

5. Эдгээр нь:

- PRB heatmap -2 ба 3-р алхам (cell-level utilization)
- CQI histogram - радио quality + spectrum efficiency үнэлгээ

- Beam activity -3.5/26 ГГц дээр beamforming ашиглалтыг шалгах (Спектрыг орон зайн хувьд оновчтой ашиглаж байгаа эсэхийг тодорхойлно)

6. Нэгтгэсэн “гадаад туршлага” – 5G техникийн шаардлага үнэлэх нийтлэг загвар

6.1. Суурь стандарт

- ITU-R M.2410 – minimum technical performance
- ITU-R M.2150 / 3GPP 38.xxx – NR интерфэйсийн нарийвчилсан техникийн параметрууд [ITU+1](#)

6.2. Үндэсний техникийн KPI тогтоох

Төрийн зохицуулагч:

- Coverage (RSRP босго, % газар нутаг, % хүн ам)
- Quality (SINR, CQI distribution)
- Capacity (DL/UL throughput, cell spectral efficiency)
- Latency, reliability, connection density, slice-ийн шаардлага (URLLC, mMTC)

6.3. Үнэлгээний арга

1. Operator self-report + planning tools

- Predictive coverage map (Atoll, Planet гэх мэт) + operator’s network data [comreg.ie](#)

2. Drive test / crowdsource / controlled testing

- MSIT & Korea: Сөүл дотор гадаад лабораториор controlled test хийлгэх, coverage-ээ баталгаажуулах. [ookla.com+1](#)

3. Spectrum monitoring

- ITU-R SM цувралд тулгуурласан spectrum occupancy, interference monitoring. [ITU](#)

4. Лицензийн нөхцөлтэй холбож үнэлэх

- Солонгос – 28 ГГц лиценз цуцлах түвшинд хүртэл
- АНУ – 5G Fund дэмжлэгийг coverage/speed/latency-тай шууд холбох. [aglaw.psu.edu+1](#)

7. CRC / Монголд дасан зохицуулахад ашиглаж болох санаанууд

Гадаад туршлагаас CRC-д шууд хөрвүүлж болох хэдэн зүйл:

1. **ITU-R M.2410-д суурилсан “5G техникийн минимум шалгуур”** албан ёсоор зааж өгөх. [ITU+1](#)
2. **Coverage map + RSRP босготой үнэлгээ (ComReg загвар)** – хэрэглэгчдэд нээлттэй 5G coverage map, “Very good/Good/Fair/Fringe/No coverage” гэх ангилал. [comreg.ie](#)
3. **Лицензийн үүргийн биелэлтийг Солонгосын маягаар хатуу хянах** – тодорхой хугацаанд:
 - X тооны 5G site,
 - Y% coverage,
 - Z Mbps/latency шаардлага биелээгүй бол spectrum obligation evaluation → торгууль / лицензийн өөрчлөлт. [msit.go.kr+1](#)
4. **KPI + тестийн аргачлалыг АНУ-ын 5G Fund шиг formal болгох** –
 - оператор өгөгдөл + газрын хэмжилт + дэд бүтцийн data → 3 сувгаар баталгаажуулах. [aqlaw.psu.edu](#)

Оператор ХХЗХ-д дараах мэдээллийг ирүүлнэ:

6. Бүрхэлтийн зураглал (RSRP, SINR, DL дамжуулах чадамж)
7. “Drive test” (raw data)
8. MDT үндэслэлтэй статистик
9. Сайтын жагсаалт + configuration (хазайлт, чадал, антенн, цацрагийн тоо)
- 10.5. Нийлмэл хамрах хүрээний (Composite Coverage) KPI тайлан

А.8. Үнэлгээний тайлангийн формат

Тайлан 5 бүлэгтэй байна:

5. Хамрах хүрээ ба аргачлал
6. Хэмжилтийн тохиргоо KPI үр дүнгүүд (RSRP, SINR, DL/UL, composite KPI)
7. Хамрах хүрээний газрын зураг, дулааны зураг
8. Дүгнэлт ба нийцлийн үнэлгээ

Reference

[1] Consultative Document on the Framework for Fifth Generation (5G) Public Mobile Telecommunications Networks (Second of Two Rounds), Telecommunications Authority of Trinidad and Tobago TATT Ref: 2/17/36, January 2023.

[2] Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s), Report ITU-R M.2410-0 (11/2017), M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services.

Federal Communications Commission FCC 24-89 Before the Federal Communications Commission Washington, D.C. 20554