



**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita  
Polska**

**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



**Oznaczenie sprawy (numer referencyjny):**

**CRZP/204/009/D/23, ZP/46/WETI/23**

**Załącznik nr 4 do SWZ Opis przedmiotu zamówienia**

**Dostawa urządzeń transmisji danych typu 5G OpenRAN**

**dla projektu PL-5G**

## 1. Urządzenie transmisji danych cyfrowych typu 5G OpenRAN typu A z osprzętem – 1 szt.

Urządzenie transmisji danych typu 5G OpenRAN gNodeB umożliwiające integrację z rdzeniem sieci 5G (wg standaryzacji 3GPP) i obsługę urządzeń klienckich pracujących co najmniej w trybie 5G SA.

Urządzenie transmisji danych musi być w stanie pełnić funkcję 3GPP 5G New Radio gNodeB i musi składać się z następujących **elementów funkcjonalnych**: ORAN Centralized Unit (**CU, 1 sztuka**), ORAN Distributed Unit (**DU, 3 sztuki**). Powyższe elementy muszą być możliwe do uruchomienia na **platformie sprzętowej**, w postaci pojedynczego **elementu obliczeniowego** lub ich grupy, połączonych siecią komputerową.

Działanie w środowisku pozbawionym dostępu do sieci zewnętrznych (w tym sieci Internet) nie może powodować ograniczenia w funkcjonalności urządzenia (brak konieczności aktywacji z użyciem serwerów zewnętrznych).

Urządzenie transmisji danych musi być zgodne z następującymi standardami, w wersjach podanych poniżej lub późniejszych:

- Management and Orchestration; Generic Management Services (OAM FM) – 3GPP TS 28.532 v16.3.0
- Management and Orchestration; 5G Network Resource Model (NRM) (OAM CM) – 3GPP TS 28.541 v16.8.0
- Management and Orchestration; Performance assurance – 3GPP TS 28.550 v16.2.0
- Management and Orchestration; 5G Performance Measurements (OAM PM) – 3GPP TS 28.552 v16.5.0
- Telecommunication management; Generic Network Resource Model (NRM); Integration Reference Point (IRP); Solution Set (SS) definitions – 3GPP TS 28.623 v16.3.2
- General Packet Radio System (GPRS) Tunneling Protocol User Plane (GTPv1-U) – 3GPP TS 29.281 v15.7.0
- X2AP – 3GPP TS 36.423 v16.3.0
- SDAP – 3GPP TS 37.324 v16.1.0
- Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) and NR Multi-connectivity – 3GPP TS 37.340 v16.3.0
- PHY – 3GPP TS 38.211 v15.3.0, 3GPP TS 38.212 v15.3.0, 3GPP TS 38.213 v15.3.0, 3GPP TS 38.214 v15.3.0
- BAP – 3GPP TS 38.340 v16.5.0
- MAC – 3GPP TS 38.321 v15.3.0
- RLC – 3GPP TS 38.322 v15.5.0
- PDCP – 3GPP TS 38.323 v15.3.0
- RRC – 3GPP TS 38.331 v16.2.0
- NGAP – 3GPP TS 38.413 v16.3.0
- PDU Session User Plane Protocol – 3GPP TS 38.415 v15.2.0
- XnAP – 3GPP TS 38.423 v16.3.0
- NRUP – 3GPP TS 38.425 v15.3.0
- E1AP – 3GPP TS 38.463 v16.3.0
- F1AP – 3GPP TS 38.473 v16.3.1
- E2AP – ORAN-WG3.E2AP-v01.01, ORAN-WG3.E2SM-KPM-v02.0.3
- FAPI – SCF222.3.0
- nFAPI – SCF225.2.0

**Elementy funkcjonalne** urządzenia muszą ponadto spełniać następujące wymagania techniczne:

- Elementy funkcjonalne muszą być dostarczone w postaci binarnej, uruchamianej na platformie sprzętowej stanowiącej część urządzenia lub na innej platformie spełniającej niezbędne wymagania techniczne.
- Przeniesienie elementów funkcjonalnych na inną platformę sprzętową o analogicznej konfiguracji musi być możliwe (brak powiązania licencyjnego z określoną platformą sprzętową). Proces ten nie może wymagać kontaktu ze wsparciem technicznym lub dostępu do sieci Internet.
- Do urządzenia musi być dołączony kod źródłowy elementów funkcjonalnych umożliwiający uzyskanie na jego podstawie ich wersji binarnej, możliwej do uruchomienia.
- Dostęp do kodu źródłowego mogą uzyskiwać wszyscy członkowie konsorcjum (w ramach specyfikowanego urządzenia).
- Urządzenie może być wykorzystywane do realizacji prac badawczo-rozwojowych (w tym prac wykorzystujących wersje binarne elementów funkcjonalnych uzyskane na podstawie kodu źródłowego), w których uczestniczą podmioty zewnętrzne.
- Elementy CU i DU muszą komunikować się zgodnie z wymaganiami interfejsu F1 Application Protocol (F1AP).
- Elementy CU i DU muszą oferować interfejs służący obsłudze błędów (Fault Management - FM) oraz zarządzaniu wydajnością (Performance Management - PM) zgodny ze standardem ConfD, obsługujący protokół NETCONF i wykorzystujący model danych YANG.
  - W przypadku elementu CU powyższy interfejs musi umożliwiać co najmniej: reset oraz blokowanie komórek w ramach mechanizmu Automatic Neighbor Relation; ręczną obsługę listy sąsiedztwa Xn; zarządzanie konfiguracją, FM i PM z użyciem modelu danych bazującym na specyfikacji 3GPP.
  - W przypadku elementu DU powyższy interfejs musi umożliwiać co najmniej: zarządzanie Physical Cell ID, udostępnianie interfejsów API umożliwiających realizację procedur Spectrum Access System (SAS)/Citizens Broadband Radio Service Device (CBSD); zarządzanie konfiguracją, FM i PM z użyciem modelu danych bazującym na specyfikacji 3GPP.
- **Element CU** musi realizować funkcje co najmniej następujących elementów systemu 5G RAN: gNB Manager, User Equipment (UE) Connection Manager, Resource Manager.
- Elementy płaszczyzny sterowania i płaszczyzny danych CU, muszą komunikować się zgodnie z wymaganiami interfejsu E1 Application Protocol (E1AP).
- Element CU musi obsługiwać co najmniej następujące interfejsy i protokoły:
  - Radio Resource Control (RRC),
  - Service Data Adaptation Protocol (SDAP),
  - PDU Session User Plane Protocol (PSUP),
  - Packet Data Convergence Protocol (PDCP),
  - F1 Application Protocol (F1AP),
  - X2 Application Protocol (X2AP)—E-UTRAN New Radio-Dual Connectivity (EN-DC),
  - E1 Application Protocol (E1AP),
  - E2 Application Protocol (E2AP),
  - Next Generation Application Protocol (NGAP),
  - F1/X2 User Plane Protocol (NRUP),
  - Xn Application Protocol (XnAP),
  - F1/X2 User Plane Transport Protocol—Evolved GTP - User Plane (eGTPU).
- Funkcjonalność Resource Manager zaimplementowana w elemencie CU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
  - Access and Mobility Management Function (AMF) Selection,
  - EPS Fallback,
  - Emergency Fallback,
  - gNB CU-UP Selection (na podstawie wartości S-NSSAI otrzymanych od UE),



- lokalne zarządzanie zasobami (admission control i alokacja/zwalnianie eGTPU TEID na podstawie stanu zasobów lokalnych),
  - bezstratne przełączanie (loseless handover) w trybie SA: Xn, NG, Intra DU, Inter DU,
  - przekazywanie danych w celu realizacji bezstratnego przełączania w trybie NSA: SgNB Addition, SN Initiated SgNB Release, MN Initiated SgNB Release, MN Initiated SN Change,
  - wybór preferowanej komórki do przełączenia UE na podstawie przesłanych przez nie pomiarów,
  - możliwość monitorowania zdarzeń (A1, A2, A3, A4, A5, B1 i B2) i zbierania metryk,
  - możliwość obsługi wielu sieci PLMN w trybach SA i NSA, za pośrednictwem jednego lub wielu elementów DU,
  - możliwość obsługi trybu SA i NSA jednocześnie,
  - możliwość monitorowania styków elementu CU z następującymi elementami: AMF (interfejs NG), CU-UP (interfejs E1), DU (interfejs F1), eNB (interfejs X2),
  - realizacja co najmniej następujących funkcji Quality of Seervice (QoS): QoS-based bearers - Guaranteed Bit Rate (GBR) i non-GBR, Delay Critical (DC) Class 5G QoS Identifier (5QI) dla QoS Flow ID (QFI),
  - obsługa procedury UE Radio Capability Check w sposób wymagany przez usługi VoNR.
- **Element DU** musi realizować funkcje co najmniej następujących elementów systemu 5G RAN: DU manager, Radio Resource Manager (RRM), Radio Resource Control (RRC), 5G NR Convergence Layer (CL) for Physical layer (PHY) lub Physical Abstraction Layer (PAL), 5G NR scheduler.
  - Element DU musi obsługiwać co najmniej następujące protokoły:
    - Backhaul Adaptation Protocol (BAP),
    - Radio Link Control (RLC),
    - Medium Access Control (MAC),
    - E2 Application Protocol (E2AP),
    - F1 User Plane Transport Protocol—eGTPU,
    - F1 User Plane Protocol (NRUP).
  - Funkcjonalność Radio Resource Manager (RRM) zaimplementowana w elemencie DU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
    - zarządzanie Bandwidth Part (BWP): cell common resources, initial common BWP, additional BWP based on the BWP size and frequency,
    - konfigurowalny układ slotów,
    - redukcja czasów K1 i K2 w celu realizacji komunikacji URLLC,
    - Measurement Gap w trybach SA i NSA,
    - zarządzanie zasobami dla PDCCH: Common Resource Set (CORESET) definition for DL and UL PDCCH (CORESET 0, dodatkowy common CORESET i dedykowany UE CORESET), przydział Search Space dla DL i UL—Common Search Space (CSS) i UE Specific Search Space (USS), wybór poziomu agregacji PDCCH dla CSS i Dedicated Search Space (DSS),
    - zarządzanie zasobami dla PDSCH: agregacja slotów, Channel State Information-Interference Measurement (CSI-IM), Channel State Information-Reference Signal (CSI-RS),
    - zarządzanie zasobami dla PUCCH: alokacja Scheduling Request (SR), resource sets oraz zasobów dla UL BWP,
    - zarządzanie zasobami dla PUSCH,
    - uwzględnianie funkcjonalności UE w zarządzaniu zasobami: obsługiwanych kombinacji pasm przy dodaniu CA SCell, określanie zasobów Sounding Reference Signal (SRS) dla

UE na podstawie jego funkcjonalności SRS, określanie parametrów non-codebook based PUSCH dla UE.

- Implementacja protokołu E1AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące procedury/wiadomości:
  - BEARER CONTEXT INACTIVITY NOTIFICATION,
  - BEARER CONTEXT MODIFICATION REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
  - BEARER CONTEXT SETUP REQUEST/RESPONSE,
  - DATA USAGE REPORT,
  - DL DATA NOTIFICATION,
  - GNB-CU-UP E1 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
  - BEARER CONTEXT RELEASE COMMAND/COMPLETE.
- Implementacja protokołu E2AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
  - możliwość współpracy z Near-RT RIC,
  - obsługa procedur: E2 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE, RIC SUBSCRIPTION REQUEST (w tym wiele żądań tego typu od RIC)/RESPONSE/FAILURE, RIC INDICATION,
  - obsługę zdarzenia utraty połączenia SCTP.
- Implementacja protokołu F1AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące procedury:
  - znakowanie IPv4 DSCP per 5QI dla QFI przy komunikacji DL w trybie SA,
  - DL RRC MESSAGE TRANSFER,
  - obsługa dynamicznej konfiguracji komórek, komunikaty: F1 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
  - aktualizacji konfiguracji CU (gNB CU Configuration Update) z aktualizacją SIB3,
  - aktualizacji konfiguracji DU (gNB DU Configuration Update),
  - uzgadniania zasobów DU (gNB DU Resource Coordination),
  - przełączania (handover) typu Inter-RAT (LTE).
  - Paging (CN initiated idle mode paging oraz RNA paging),
  - Write-Replace Warning,
  - PWS Failure Indication (CU),
  - PWS Cancel,
  - DU Reset,
  - obsługa zdarzenia SCTP Link Down,
  - UE Context Release (CU initiated),
  - UE Context Modification (CU initiated),
  - UE Context Setup,
  - UL RRC Message Transfer.
- Obsługa procedur koegzystencji LTE-NR: LTE-NR Coexistence z wykorzystaniem mechanizmu Slot Mute Pattern.
- Obsługa mechanizmów Data Plane Development Kit (DPDK) przez elementy funkcjonalne CU i DU, co najmniej dla następujących interfejsów:
  - w trybie SA: CU-DU, DU-UE, CU-UPF,
  - w trybie NSA: CU-DU, DU-UE, CU-SGW.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji elementu MAC Scheduler:
  - obsługi trybu TDD i FDD,
  - BWP Switching: RRC and DCI-based,
  - NSA FR1 Beam Management – obsługa co najmniej 4 wiązek (każda zdolna do obsługi minimum 4 UE),



- możliwości rozszerzenia licencji produktu o obsługę NSA FR2 Beam Management i SA FR2 Beam Management,
- komunikacji w trybie Broadcast oraz Multicast,
- Carrier Aggregation (UL i DL, w tym asymmetric CA),
- obsługiwanej szerokości kanału RF, co najmniej: 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 i 100 MHz,
- Channel State Information: aperiodyczne raportowanie co najmniej: CQI, PMI, RI, RSRP,
- Channel State Information Reference Signal: NZP-CSI RS,
- Discontinuous Reception (DRX),
- HARQ – możliwość obsługi do minimum 16 procesów dla DL i do minimum 16 procesów dla UL,
- Link Adaptation:
  - dla co najmniej PDSCH, PDCCH i PUSCH,
  - dla PDSCH i PUSCH – obsługa funkcji Outer Loop Link Adaptation,
- konfigurowalnych parametrów STEP UP i STEP DOWN (mechanizmu MCS wykorzystującego wartość BLER) dla każdego UE osobno,
- mechanizmu Measurement Gap z obsługą pomiarów Inter-RAT w trybie SA,
- możliwość obsługi SU-MIMO w konfiguracji do co najmniej 32T32R,
- konfiguracji Non-Zero Power CSI-RS na podstawie konfiguracji anteny,
- mechanizmu MU-MIMO obsługujący co najmniej: 2 UE i 4 warstwy MIMO dla pary,
- algorytmu Proportional Fair Scheduling,
- scheduler uwzględniający wymagania QoS,
- priorytyzacji dla MAC CE, DL CCCH i MSG4,
- Supplementary Uplink Scheduling,
- Extended UL Grants z obsługą TDD duplexing mode,
- UL Configured Grants,
- zarządzania energią (UL Power Control) dla kanałów PUSCH i PUCCH,
- wykrywania utraty i odzyskiwania synchronizacji UE w trybach single/multi-cell i CA.
- Obsługa mechanizmów network Functional Application Platform Interface (nFAPI), co najmniej: Dedicated messages, P5 Combined Messages, P5/P7 Transparent Messages, P5 SCTP Link Handling.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu NG Application Protocol:
  - znakowania IPv4 DSCP per 5QI dla QFI przy komunikacji UL,
  - 5GCN AMF Initiated Initial Context Setup dla sesji PDU,
  - Obsługi przełączania (handover), obejmująca co najmniej:
    - Inter-RAT Handover z możliwością podejmowania decyzji o przełączeniu Inter-RAT na podstawie wydarzenia B2,
    - Handover Preparation/Cancellation/Resource Allocation,
  - NG Reset / NG Reset Initiated by AMF,
  - NG Setup,
  - AMF Configuration Update,
  - Uplink/Downlink NAS Transport,
  - Flow Level QoS Parameters,
  - Paging,
  - Path Switch Request,
  - PDU Session: Resource Setup, Resource Setup Information, Resource Setup Response Information, Resource Modify, Resource Release,
  - Write-Replace Warning,
  - PWS Failure Indication (CU), PWS Cancel,
  - RAN Configuration Update,
  - obsługi zdarzenia SCTP Link Down,
  - SN Status Transfer,

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*



- UE: Context Release Request, Radio Capability Check, Radio Capability Information Indication, Context Release.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu Packet Data Convergence Protocol:
  - Data transfer: sequence numbering/reordering,
  - Integrity protection and verification,
  - User Plane Overload Control,
  - PDCP Count Wraparound, Duplication for split bearers, Flow Control (w tym: lost packet report/retransmission), PDU Routing for Split Bearers,
  - PDCP Entity Handling (Establishment, Re-establishment, Release),
  - PDU z 12 I 18 bitowym PDCP SN,
  - Timber-based SDU discard w trybach SA i NSA,
  - obsługa nieaktywności UE: MeNB-triggered Inactivity Notification, SgNB-triggered direct release,
  - priorytetyzacja ruchu: obsługa VLAN na interfejsie NG-U (przy wykorzystaniu DPDK), obsługa DSCP na interfejsach NG-U, F1-U, XnU, X2-U, S1U w trybach SA i NSA (bez i przy wykorzystaniu DPDK).
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji elementu Radio Resource Control:
  - DL/UL Information Transfer
  - Initial Security Activation (Command/Complete/Failure)
  - konfiguracji i obsługi raportowania, co najmniej dla zdarzeń A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2,
  - Paging,
  - Blind Redirection to LTE,
  - RRC Connection Establishment (Setup, Setup Complete, Setup Request – including emergency call, Reject – w przypadku przekroczenia dozwolonej liczby UE, Capability Query, Capability Information)/Re-establishment, Connection Resume, Reconfiguration
  - RRC States: Connected, Inactive, Idle
  - ochrona integralności i poufności, co najmniej: NIA0, NIA1, NIA2, NIA3, NEA0, NEA1, NEA2, NEA3 oraz funkcja Security Algorithm Negotiation,
  - konfigurowalnych parametrów SRB1 i SRB2,
  - obsługi: SIB1, SIB2, SIB3, SIB4, SIB5, SIB6, SIB7, SIB8.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu X2AP:
  - E-UTRA-NR Dual Connectivity:
    - Setup Request/Response/Failure
    - Configuration Update/Update Ack/Update Failure
    - Configuration Transfer dla en-gNB X2 Transport Network Layer address discovery w trybie NSA,
  - E-UTRA–NR Cell Resource Coordination,
  - MeNB Initiated SgNB Modification Preparation,
  - NSA EUTRA QoS Enforcement for Non-GBR Bearers: UE AMBR, MBR, GBR
  - Reset and EN-DC Partial Reset (MeNB/SgNB initiated)
  - RRC Transfer (SN Initiated NSA Mobility for PSCell Change)
  - Secondary RAT Data Usage Report,
  - obsługi co najmniej następujących mechanizmów bezpieczeństwa dla Opcji 3a i 3x: NIA0, NIA1, NIA2, NIA3, NEA0, NEA1, NEA2, NEA3,
  - SgNB Activity Notification/Preparation (Request, Request Ack, Reject),
  - SgNB Initiated SgNB Modification (SgNB Modification Required/Confirm/Refuse),
  - SgNB Reconfiguration Completion,
  - MeNB and SgNB Initiated SgNB Release,
  - SN Status Transfer,
  - UE Context Modification/Release.

- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu XnAP:
  - Xn Setup,
  - Xn Neighbor Addition/Modification/Deletion (through OAM),
  - Automatic Neighbor Relation (ANR),
  - Handover Preparation/Cancel,
  - NG-RAN Node Configuration Update,
  - Physical Cell ID (PCI) z obsługą wydarzeń: PCI confusion/collision/reselection/change through F1 interface,
  - obsługi wydarzenia SCTP Link Down,
  - SN Status Transfer,
  - UE Context Release.

Elementy funkcjonalne muszą być w stanie wykorzystać karty akceleracji sprzętowej, wyspecyfikowane w ramach platformy sprzętowej urządzenia. Jednocześnie elementy funkcjonalne muszą być w stanie działać bez powyższych kart akceleracji sprzętowej.

Urządzenie musi być możliwe do wykorzystania w celach demonstracyjnych oraz dla potrzeb działalności badawczo-rozwojowej, w tym świadczenia usług badawczo-rozwojowych podmiotom zewnętrznym.

Każdy z elementów DU musi być w stanie obsługiwać co najmniej 3 głowice radiowe (Remote Radio Head – RRH), stanowiące część platformy fizycznej.

Element CU musi być w stanie obsługiwać:

- co najmniej 3 RRH podłączone za pośrednictwem elementów DU,
- nieograniczoną licencją liczbę elementów DU.

**Platforma sprzętowa** musi składać się, co najmniej, z następujących elementów:

- Serwera wyposażonego w:
  - co najmniej 2 procesory o przeznaczeniu do wykorzystania w urządzeniach serwerowych oferujące co najmniej 20 rdzeni fizycznych i 40 wątków każdy,
  - co najmniej 192 GB pamięci RAM,
  - co najmniej 480 GB pamięci dyskowej SSD,
  - 2 karty sprzętowej akceleracji obliczeń dedykowane do obsługi funkcji vRAN w sieciach 4G i 5G, spełniające co najmniej następujące wymagania techniczne:
    - przetwarzanie LDPC FEC dla sieci 5G: LDPC encoder/decoder, Code block CRC generation/checking, Rate matching/de-matching, HARQ buffer management
    - mechanizmy sprzętowej obsługi kolejek z funkcjami load balancer'a.
  - Co najmniej 2 karty sieciowe oferujące co najmniej 4 interfejsy 10GigabitEthernet, w postaci gniazd SFP(+) wyposażonych w odpowiedni moduł, każda.
  - kartę sieciową z co najmniej 4 interfejsami GigabitEthernet (RJ45).
  - kartę sprzętowej akceleracji funkcji kryptograficznych, spełniającą następujące wymagania techniczne:
    - obsługa SR-IOV z możliwością wykorzystania maksymalnie: co najmniej 48 funkcji wirtualnych i 3 funkcji fizycznych,
    - obsługa co najmniej następujących funkcji kryptograficznych: AES, 3DES/DES, RC4, KASUMI, ZUC, Snow 3G, MD5, SHA-1, SHA-2, SHA-3, HMAC, AES-XCBC, ES-GCM, AES-CCM, AES-XTS, DH, RSA key generation, encryption/decryption and digital signature generation/verification, DSA parameter generation and digital signature generation/verification; Elliptic Curve Cryptography: ECDSA, ECDHE, Curve25519,



- obsługa co najmniej następujących mechanizmów bezpieczeństwa 5G: KASUMI, Snow 3G oraz ZUC w następujących trybach szyfrowania i uwierzytelniania: ZUC/128-EEA3 Cipher, ZUC/128-EIA3 Wireless MAC, SHA3-256,
- wydajność AES128-CBC AES-XCBC: co najmniej 100 Gbps@4KB,
- wydajność RSA2K Key Decrypts: co najmniej 100K Ops/s.
- Elementu oferującego precyzyjny sygnał zegarowy na potrzeby pozostałych elementów urządzenia. Element musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standardem IEEE 1588-2008 (PTP) Grand Master,
  - zgodność ze standardami G.8262 Synchronous Ethernet, ITU-T G.8265.1 Frequency, ITU-T, G.8275.1 & G.8275.2 Time & Phase Profiles, ITU-T G.8272 and G.8273.2 (T-BC),
  - zgodność ze standardem IEEE PC37.238 Power profile,
  - zdalne zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów CLI, HTTP i SNMP,
  - co najmniej dwa interfejsy sieciowe zapewniające synchronizację wyposażone złącza RJ45 i SFP każdy,
  - złącze systemu GPS i odpowiednia z antena zewnętrzna.
- Przełącznika lub routera sieciowego, spełniającego co najmniej następujące wymagania techniczne:
  - dostępne co najmniej 8 interfejsów GigabitEthernet (copper) i co najmniej 4 interfejsy GigabitEthernet (combo),
  - obsługa co najmniej następujących mechanizmów synchronizacji czasu: BITS/1pps/10MHz, 1588v2 BC, 1588v2 over IP, 1588v2 over Ethernet, Synchronous Ethernet, Hybrid Mode, Embedded GM,
  - obsługa co najmniej następujących standardów i mechanizmów L2: IEEE 802.3, IEEE 802.1q, IEEE 802.1ad (Q-in-Q), RSTP, VSTP, MSTP, LACP, LLDP, operacje swap/pop/push na znacznikach VLAN,
  - obsługa co najmniej następujących standardów i mechanizmów L3: IPv4, IPv6, ECMP, OSPF, IS-IS, BGP,
  - obsługa co najmniej następujących mechanizmów MPLS: RSVP, LDP, PCEP, RSVP-TE, BGP-LU, LDP-RSVP, RSVP FRR,
  - zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów: CLI, NETCONF, YANG, NMP v2 i v3.
- Serwera wyposażonego w:
  - co najmniej 1 procesor o przeznaczeniu do wykorzystania w urządzeniach serwerowych, oferujący co najmniej 24 rdzenie fizyczne i 48 wątków,
  - co najmniej 128 GB pamięci RAM,
  - co najmniej 480 GB pamięci dyskowej SSD,
  - co najmniej 1 kartę sieciową oferującą co najmniej 4 interfejsy 10GigabitEthernet, w postaci gniazd SFP(+) wyposażonych w odpowiedni moduł, każda. Zastosowane moduły powinny pozwolić na światłowodowe połączenie z drugim z serwerów (opisanym powyżej) stanowiących część platformy sprzętowej,
  - kartę sieciową z co najmniej 4 interfejsami GigabitEthernet (RJ45).

Urządzenie musi ponadto być wyposażone w elementy pozwalające na komunikację radiową, spełniające następujące wymagania techniczne:

- 2 elementów nadawczo-odbiorczych sygnałów radiowych, zintegrowanych z pozostałymi elementami platformy sprzętowej i współpracujących z elementami funkcjonalnymi urządzenia w sposób pozwalający im na realizację pełnej funkcjonalności. Każdy z elementów nadawczo-odbiorczych musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standaryzacją 3GPP 5G NR Rel 15 i O-RAN WG4 split 7.2,
  - praca co najmniej w trybie TDD,
  - możliwość pracy na częstotliwości w paśmie 3800-4200 GHz,
  - obsługiwana szerokość pasma:

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*



**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita  
Polska**

**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



- oBW: min. 100 MHz,
  - obsługa trybu MIMO 4T4R,
  - możliwość podłączenia 4 anten zewnętrznych,
  - interfejs sieci fronthaul zgodny ze standaryzacją O-RAN WG4 10 Gbps
  - wymiary nieprzekraczające 50 cm x 50 cm x 20 cm,
  - waga nieprzekraczająca 15 kg,
- 1 elementu nadawczo-odbiorczego sygnałów radiowych, zintegrowanego z pozostałymi elementami platformy sprzętowej i współpracującego z elementami funkcjonalnymi urządzenia w sposób pozwalający im na realizację pełnej funkcjonalności. Powyższy element nadawczo-odbiorczych musi spełniać następujące wymagania techniczne:
    - zgodność ze standaryzacją 3GPP 5G NR Rel 15 i O-RAN WG4 split 7.2,
    - praca co najmniej w trybie TDD,
    - możliwość pracy na częstotliwości w paśmie 3800-4200 GHz,
    - obsługiwana szerokość pasma:
      - oBW: min. 100 MHz,
    - obsługa trybu MIMO co najmniej 4T4R
    - interfejs sieci fronthaul zgodny ze standaryzacją O-RAN WG4 10 Gbps,
    - wymiary nieprzekraczające 50 cm x 50 cm x 20 cm,
    - waga nieprzekraczająca 20 kg,
    - dostosowanie do pracy w warunkach zewnętrznych.

Platforma sprzętowa musi stanowić zintegrowaną całość, złożoną ze skonfigurowanych elementów zdolnych do obsługi elementów funkcjonalnych urządzenia. Elementy urządzenia transmisji danych muszą być połączone odpowiednim okablowaniem (światłowodowym lub miedzianym w zależności od wymagań elementów platformy sprzętowej urządzenia).

Urządzenie musi być objęte co najmniej roczną opieką serwisową, obejmującą aktualizacje wszystkich elementów funkcjonalnych urządzenia, co najmniej 100 godzin wsparcia technicznego na rok opieki serwisowej oraz co najmniej 3 dni szkolenia (dopuszczalne jest szkolenie w trybie zdalnym). Szkolenie i wsparcie musi obejmować tematykę integracji urządzenia z rdzeniem sieci 5G zewnętrznych producentów.

Urządzenie musi zostać zintegrowane z przykładową aplikacją działającą na platformie Near-RT RIC przy użyciu interfejsu E2AP.

Urządzenie musi być objęte co najmniej roczną gwarancją.

## 2. Urządzenie transmisji danych cyfrowych typu 5G OpenRAN typu B z osprzętem

Urządzenie transmisji danych typu 5G OpenRAN gNodeB umożliwiające integrację z rdzeniem sieci 5G (wg standaryzacji 3GPP) i obsługę urządzeń klienckich pracujących co najmniej w trybie 5G SA.

Urządzenie transmisji danych musi być w stanie pełnić funkcję 3GPP 5G New Radio gNodeB i musi składać się z następujących **elementów funkcjonalnych**: ORAN Centralized Unit (**CU, 1 sztuka**), ORAN Distributed Unit (**DU, 3 sztuki**). Powyższe elementy muszą być możliwe do uruchomienia na **platformie sprzętowej**, w postaci pojedynczego **elementu obliczeniowego** lub ich grupy, połączonych siecią komputerową.

Działanie w środowisku pozbawionym dostępu do sieci zewnętrznych (w tym sieci Internet) nie może powodować ograniczenia w funkcjonalności urządzenia (brak konieczności aktywacji z użyciem serwerów zewnętrznych).

Urządzenie transmisji danych musi być zgodne z następującymi standardami, w wersjach podanych poniżej lub późniejszych:

- Management and Orchestration; Generic Management Services (OAM FM) – 3GPP TS 28.532 v16.3.0
- Management and Orchestration; 5G Network Resource Model (NRM) (OAM CM) – 3GPP TS 28.541 v16.8.0
- Management and Orchestration; Performance assurance – 3GPP TS 28.550 v16.2.0
- Management and Orchestration; 5G Performance Measurements (OAM PM) – 3GPP TS 28.552 v16.5.0
- Telecommunication management; Generic Network Resource Model (NRM); Integration Reference Point (IRP); Solution Set (SS) definitions – 3GPP TS 28.623 v16.3.2
- General Packet Radio System (GPRS) Tunneling Protocol User Plane (GTPv1-U) – 3GPP TS 29.281 v15.7.0
- X2AP – 3GPP TS 36.423 v16.3.0
- SDAP – 3GPP TS 37.324 v16.1.0
- Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) and NR Multi-connectivity – 3GPP TS 37.340 v16.3.0
- PHY – 3GPP TS 38.211 v15.3.0, 3GPP TS 38.212 v15.3.0, 3GPP TS 38.213 v15.3.0, 3GPP TS 38.214 v15.3.0
- BAP – 3GPP TS 38.340 v16.5.0
- MAC – 3GPP TS 38.321 v15.3.0
- RLC – 3GPP TS 38.322 v15.5.0
- PDCP – 3GPP TS 38.323 v15.3.0
- RRC – 3GPP TS 38.331 v16.2.0
- NGAP – 3GPP TS 38.413 v16.3.0
- PDU Session User Plane Protocol – 3GPP TS 38.415 v15.2.0
- XnAP – 3GPP TS 38.423 v16.3.0
- NRUP – 3GPP TS 38.425 v15.3.0
- E1AP – 3GPP TS 38.463 v16.3.0
- F1AP – 3GPP TS 38.473 v16.3.1
- E2AP – ORAN-WG3.E2AP-v01.01, ORAN-WG3.E2SM-KPM-v02.0.3
- FAPI – SCF222.3.0
- nFAPI – SCF225.2.0

**Elementy funkcjonalne** urządzenia muszą ponadto spełniać następujące wymagania techniczne:

- Elementy funkcjonalne muszą być dostarczone w postaci binarnej, uruchamianej na platformie sprzętowej stanowiącej część urządzenia lub na innej platformie spełniającej niezbędne wymagania techniczne.
- Przeniesienie elementów funkcjonalnych na inną platformę sprzętową o analogicznej konfiguracji musi być możliwe (brak powiązania licencyjnego z określoną platformą sprzętową). Proces ten nie może wymagać kontaktu ze wsparciem technicznym lub dostępu do sieci Internet.
- Urządzenie może być wykorzystywane do realizacji prac badawczo-rozwojowych, w których uczestniczą podmioty zewnętrzne.
- Elementy CU i DU muszą komunikować się zgodnie z wymaganiami interfejsu F1 Application Protocol (F1AP).
- Elementy CU i DU muszą oferować interfejs służący obsłudze błędów (Fault Management - FM) oraz zarządzaniu wydajnością (Performance Management - PM) zgodny ze standardem ConfD, obsługujący protokół NETCONF i wykorzystujący model danych YANG.
  - W przypadku elementu CU powyższy interfejs musi umożliwiać co najmniej: reset oraz blokowanie komórek w ramach mechanizmu Automatic Neighbor Relation; ręczną obsługę listy sąsiedztwa Xn; zarządzanie konfiguracją, FM i PM z użyciem modelu danych bazującym na specyfikacji 3GPP.
  - W przypadku elementu DU powyższy interfejs musi umożliwiać co najmniej: zarządzanie Physical Cell ID, udostępnianie interfejsów API umożliwiających realizację procedur Spectrum Access System (SAS)/Citizens Broadband Radio Service Device (CBSD); zarządzanie konfiguracją, FM i PM z użyciem modelu danych bazującym na specyfikacji 3GPP.
- **Element CU** musi realizować funkcje co najmniej następujących elementów systemu 5G RAN: gNB Manager, User Equipment (UE) Connection Manager, Resource Manager.
- Elementy płaszczyzny sterowania i płaszczyzny danych CU, muszą komunikować się zgodnie z wymaganiami interfejsu E1 Application Protocol (E1AP).
- Element CU musi obsługiwać co najmniej następujące interfejsy i protokoły:
  - Radio Resource Control (RRC),
  - Service Data Adaptation Protocol (SDAP),
  - PDU Session User Plane Protocol (PSUP),
  - Packet Data Convergence Protocol (PDCP),
  - F1 Application Protocol (F1AP),
  - X2 Application Protocol (X2AP)—E-UTRAN New Radio-Dual Connectivity (EN-DC),
  - E1 Application Protocol (E1AP),
  - E2 Application Protocol (E2AP),
  - Next Generation Application Protocol (NGAP),
  - F1/X2 User Plane Protocol (NRUP),
  - Xn Application Protocol (XnAP),
  - F1/X2 User Plane Transport Protocol—Evolved GTP - User Plane (eGTPU).
- Funkcjonalność Resource Manager zaimplementowana w elemencie CU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
  - Access and Mobility Management Function (AMF) Selection,
  - EPS Fallback,
  - Emergency Fallback,
  - gNB CU-UP Selection (na podstawie wartości S-NSSAI otrzymanych od UE),
  - lokalne zarządzanie zasobami (admission control i alokacja/zwalnianie eGTPU TEID na podstawie stanu zasobów lokalnych),
  - bezstratne przełączanie (loseless handover) w trybie SA: Xn, NG, Intra DU, Inter DU,
  - przekazywanie danych w celu realizacji bezstratnego przełączania w trybie NSA: SgNB Addition, SN Initiated SgNB Release, MN Initiated SgNB Release, MN Initiated SN Change,

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*

- wybór preferowanej komórki do przełączenia UE na podstawie przesłanych przez nie pomiarów,
  - możliwość monitorowania zdarzeń (A1, A2, A3, A4, A5, B1 i B2) i zbierania metryk,
  - możliwość obsługi wielu sieci PLMN w trybach SA i NSA, za pośrednictwem jednego lub wielu elementów DU,
  - możliwość obsługi trybu SA i NSA jednocześnie,
  - możliwość monitorowania styków elementu CU z następującymi elementami: AMF (interfejs NG), CU-UP (interfejs E1), DU (interfejs F1), eNB (interfejs X2),
  - realizacja co najmniej następujących funkcji Quality of Seervice (QoS): QoS-based bearers - Guaranteed Bit Rate (GBR) i non-GBR, Delay Critical (DC) Class 5G QoS Identifier (5QI) dla QoS Flow ID (QFI),
  - obsługa procedury UE Radio Capability Check w sposób wymagany przez usługi VoNR.
- **Element DU** musi realizować funkcje co najmniej następujących elementów systemu 5G RAN: DU manager, Radio Resource Manager (RRM), Radio Resource Control (RRC), 5G NR Convergence Layer (CL) for Physical layer (PHY) lub Physical Abstraction Layer (PAL), 5G NR scheduler.
  - Element DU musi obsługiwać co najmniej następujące protokoły:
    - Backhaul Adaptation Protocol (BAP),
    - Radio Link Control (RLC),
    - Medium Access Control (MAC),
    - E2 Application Protocol (E2AP),
    - F1 User Plane Transport Protocol—eGTPU,
    - F1 User Plane Protocol (NRUP).
  - Funkcjonalność Radio Resource Manager (RRM) zaimplementowana w elemencie DU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
    - zarządzanie Bandwidth Part (BWP): cell common resources, initial common BWP, additional BWP based on the BWP size and frequency,
    - konfigurowalny układ slotów,
    - redukcja czasów K1 i K2 w celu realizacji komunikacji URLLC,
    - Measurement Gap w trybach SA i NSA,
    - zarządzanie zasobami dla PDCCH: Common Resource Set (CORESET) definition for DL and UL PDCCH (CORESET 0, dodatkowy common CORESET i dedykowany UE CORESET), przydział Search Space dla DL i UL—Common Search Space (CSS) i UE Specific Search Space (USS), wybór poziomu agregacji PDCCH dla CSS i Dedicated Search Space (DSS),
    - zarządzanie zasobami dla PDSCH: agregacja slotów, Channel State Information-Interference Measurement (CSI-IM), Channel State Information-Reference Signal (CSI-RS),
    - zarządzanie zasobami dla PUCCH: alokacja Scheduling Request (SR), resource sets oraz zasobów dla UL BWP,
    - zarządzanie zasobami dla PUSCH,
    - uwzględnianie funkcjonalności UE w zarządzaniu zasobami: obsługiwanych kombinacji pasm przy dodaniu CA SCell, określanie zasobów Sounding Reference Signal (SRS) dla UE na podstawie jego funkcjonalności SRS, określanie parametrów non-codebook based PUSCH dla UE.
  - Implementacja protokołu E1AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące procedury/wiadomości:
    - BEARER CONTEXT INACTIVITY NOTIFICATION,
    - BEARER CONTEXT MODIFICATION REQUEST/RESPONSE/FAILURE,

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*



- BEARER CONTEXT SETUP REQUEST/RESPONSE,
- DATA USAGE REPORT,
- DL DATA NOTIFICATION,
- GNB-CU-UP E1 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
- BEARER CONTEXT RELEASE COMMAND/COMPLETE.
- Implementacja protokołu E2AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
  - możliwość współpracy z Near-RT RIC,
  - obsługa procedur: E2 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE, RIC SUBSCRIPTION REQUEST (w tym wiele żądań tego typu od RIC)/RESPONSE/FAILURE, RIC INDICATION,
  - obsługę zdarzenia utraty połączenia SCTP.
- Implementacja protokołu F1AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące procedury:
  - znakowanie IPv4 DSCP per 5QI dla QFI przy komunikacji DL w trybie SA,
  - DL RRC MESSAGE TRANSFER,
  - obsługa dynamicznej konfiguracji komórek, komunikaty: F1 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
  - aktualizacji konfiguracji CU (gNB CU Configuration Update) z aktualizacją SIB3,
  - aktualizacji konfiguracji DU (gNB DU Configuration Update),
  - uzgadniania zasobów DU (gNB DU Resource Coordination),
  - przełączania (handover) typu Inter-RAT (LTE).
  - Paging (CN initiated idle mode paging oraz RNA paging),
  - Write-Replace Warning,
  - PWS Failure Indication (CU),
  - PWS Cancel,
  - DU Reset,
  - obsługa zdarzenia SCTP Link Down,
  - UE Context Release (CU initiated),
  - UE Context Modification (CU initiated),
  - UE Context Setup,
  - UL RRC Message Transfer.
- Obsługa procedur koegzystencji LTE-NR: LTE-NR Coexistence z wykorzystaniem mechanizmu Slot Mute Pattern.
- Obsługa mechanizmów Data Plane Development Kit (DPDK) przez elementy funkcjonalne CU i DU, co najmniej dla następujących interfejsów:
  - w trybie SA: CU-DU, DU-UE, CU-UPF,
  - w trybie NSA: CU-DU, DU-UE, CU-SGW.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji elementu MAC Scheduler:
  - obsługi trybu TDD i FDD,
  - BWP Switching: RRC and DCI-based,
  - NSA FR1 Beam Management – obsługa co najmniej 4 wiązek (każda zdolna do obsługi minimum 4 UE),
  - możliwości rozszerzenia licencji produktu o obsługę NSA FR2 Beam Management i SA FR2 Beam Management,
  - komunikacji w trybie Broadcast oraz Multicast,
  - Carrier Aggregation (UL i DL, w tym asymmetric CA),
  - obsługiwanej szerokości kanału RF, co najmniej: 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 i 100 MHz,
  - Channel State Information: aperiodyczne raportowanie co najmniej: CQI, PMI, RI, RSRP,
  - Channel State Information Reference Signal: NZP-CSI RS,



- Discontinuous Reception (DRX),
- HARQ – możliwość obsługi do minimum 16 procesów dla DL i do minimum 16 procesów dla UL,
- Link Adaptation:
  - dla co najmniej PDSCH, PDCCH i PUSCH,
  - dla PDSCH i PUSCH – obsługa funkcji Outer Loop Link Adaptation,
- konfigurowalnych parametrów STEP UP i STEP DOWN (mechanizmu MCS wykorzystującego wartość BLER) dla każdego UE osobno,
- mechanizmu Measurement Gap z obsługą pomiarów Inter-RAT w trybie SA,
- możliwość obsługi SU-MIMO w konfiguracji do co najmniej 32T32R,
- konfiguracji Non-Zero Power CSI-RS na podstawie konfiguracji anteny,
- mechanizmu MU-MIMO obsługujący co najmniej: 2 UE i 4 warstwy MIMO dla pary,
- algorytmu Proportional Fair Scheduling,
- scheduler uwzględniający wymagania QoS,
- priorytyzacji dla MAC CE, DL CCCH i MSG4,
- Supplementary Uplink Scheduling,
- Extended UL Grants z obsługą TDD duplexing mode,
- UL Configured Grants,
- zarządzania energią (UL Power Control) dla kanałów PUSCH i PUCCH,
- wykrywania utraty i odzyskiwania synchronizacji UE w trybach single/multi-cell i CA.
- Obsługa mechanizmów network Functional Application Platform Interface (nFAPI), co najmniej: Dedicated messages, P5 Combined Messages, P5/P7 Transparent Messages, P5 SCTP Link Handling.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu NG Application Protocol:
  - znakowania IPv4 DSCP per 5QI dla QFI przy komunikacji UL,
  - 5GCN AMF Initiated Initial Context Setup dla sesji PDU,
  - Obsługi przełączania (handover), obejmująca co najmniej:
    - Inter-RAT Handover z możliwością podejmowania decyzji o przełączeniu Inter-RAT na podstawie wydarzenia B2,
    - Handover Preparation/Cancellation/Resource Allocation,
  - NG Reset / NG Reset Initiated by AMF,
  - NG Setup,
  - AMF Configuration Update,
  - Uplink/Downlink NAS Transport,
  - Flow Level QoS Parameters,
  - Paging,
  - Path Switch Request,
  - PDU Session: Resource Setup, Resource Setup Information, Resource Setup Response Information, Resource Modify, Resource Release,
  - Write-Replace Warning,
  - PWS Failure Indication (CU), PWS Cancel,
  - RAN Configuration Update,
  - obsługi zdarzenia SCTP Link Down,
  - SN Status Transfer,
  - UE: Context Release Request, Radio Capability Check, Radio Capability Information Indication, Context Release.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu Packet Data Convergence Protocol:
  - Data transfer: sequence numbering/reordering,
  - Integrity protection and verification,
  - User Plane Overload Control,

- PDCP Count Wraparound, Duplication for split bearers, Flow Control (w tym: lost packet report/retransmission), PDU Routing for Split Bearers,
- PDCP Entity Handling (Establishment, Re-establishment, Release),
- PDU z 12 i 18 bitowym PDCP SN,
- Timber-based SDU discard w trybach SA i NSA,
- obsługa nieaktywności UE: MeNB-triggered Inactivity Notification, SgNB-triggered direct release,
- priorytetyzacja ruchu: obsługa VLAN na interfejsie NG-U (przy wykorzystaniu DPDK), obsługa DSCP na interfejsach NG-U, F1-U, XnU, X2-U, S1U w trybach SA i NSA (bez i przy wykorzystaniu DPDK).
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji elementu Radio Resource Control:
  - DL/UL Information Transfer
  - Initial Security Activation (Command/Complete/Failure)
  - konfiguracji i obsługi raportowania, co najmniej dla zdarzeń A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2,
  - Paging,
  - Blind Redirection to LTE,
  - RRC Connection Establishment (Setup, Setup Complete, Setup Request – including emergency call, Reject – w przypadku przekroczenia dozwolonej liczby UE, Capability Query, Capability Information)/Re-establishment, Connection Resume, Reconfiguration
  - RRC States: Connected, Inactive, Idle
  - ochrona integralności i poufności, co najmniej: NIA0, NIA1, NIA2, NIA3, NEA0, NEA1, NEA2, NEA3 oraz funkcja Security Algorithm Negotiation,
  - konfigurowalnych parametrów SRB1 i SRB2,
  - obsługi: SIB1, SIB2, SIB3, SIB4, SIB5, SIB6, SIB7, SIB8.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu X2AP:
  - E-UTRA-NR Dual Connectivity:
    - Setup Request/Response/Failure
    - Configuration Update/Update Ack/Update Failure
    - Configuration Transfer dla en-gNB X2 Transport Network Layer address discovery w trybie NSA,
  - E-UTRA–NR Cell Resource Coordination,
  - MeNB Initiated SgNB Modification Preparation,
  - NSA EUTRA QoS Enforcement for Non-GBR Bearers: UE AMBR, MBR, GBR
  - Reset and EN-DC Partial Reset (MeNB/SgNB initiated)
  - RRC Transfer (SN Initiated NSA Mobility for PSCell Change)
  - Secondary RAT Data Usage Report,
  - obsługi co najmniej następujących mechanizmów bezpieczeństwa dla Opcji 3a i 3x: NIA0, NIA1, NIA2, NIA3, NEA0, NEA1, NEA2, NEA3,
  - SgNB Activity Notification/Preparation (Request, Request Ack, Reject),
  - SgNB Initiated SgNB Modification (SgNB Modification Required/Confirm/Refuse),
  - SgNB Reconfiguration Completion,
  - MeNB and SgNB Initiated SgNB Release,
  - SN Status Transfer,
  - UE Context Modification/Release.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu XnAP:
  - Xn Setup,
  - Xn Neighbor Addition/Modification/Deletion (through OAM),
  - Automatic Neighbor Relation (ANR),
  - Handover Preparation/Cancel,
  - NG-RAN Node Configuration Update,



- Physical Cell ID (PCI) z obsługą wydarzeń: PCI confusion/collision/reselection/change through F1 interface,
- obsługi wydarzenia SCTP Link Down,
- SN Status Transfer,
- UE Context Release.

Elementy funkcjonalne muszą być w stanie wykorzystać karty akceleracji sprzętowej, wyspecyfikowane w ramach platformy sprzętowej urządzenia. Jednocześnie elementy funkcjonalne muszą być w stanie działać bez powyższych kart akceleracji sprzętowej.

Urządzenie musi być możliwe do wykorzystania w celach demonstracyjnych oraz dla potrzeb działalności badawczo-rozwojowej, w tym świadczenia usług badawczo-rozwojowych podmiotom zewnętrznym.

Każdy z elementów DU musi być w stanie obsługiwać co najmniej 3 głowice radiowe (Remote Radio Head – RRH), stanowiące część platformy fizycznej.

Element CU musi być w stanie obsługiwać:

- co najmniej 3 RRH podłączone za pośrednictwem elementów DU,
- nieograniczoną licencją liczbę elementów DU.

**Platforma sprzętowa** musi składać się, co najmniej, z następujących elementów:

- Serwera wyposażonego w:
  - co najmniej 2 procesory o przeznaczeniu do wykorzystania w urządzeniach serwerowych oferujące co najmniej 20 rdzeni fizycznych i 40 wątków każdy,
  - co najmniej 192 GB pamięci RAM,
  - co najmniej 480 GB pamięci dyskowej SSD,
  - 2 karty sprzętowej akceleracji obliczeń dedykowane do obsługi funkcji vRAN w sieciach 4G i 5G, spełniające co najmniej następujące wymagania techniczne:
    - przetwarzanie LDPC FEC dla sieci 5G: LDPC encoder/decoder, Code block CRC generation/checking, Rate matching/de-matching, HARQ buffer management
    - mechanizmy sprzętowej obsługi kolejek z funkcjami load balancer'a.
  - Co najmniej 2 karty sieciowe oferujące co najmniej 4 interfejsy 10GigabitEthernet, w postaci gniazd SFP(+) wyposażonych w odpowiedni moduł, każda.
  - kartę sieciową z co najmniej 4 interfejsami GigabitEthernet (RJ45).
  - kartę sprzętowej akceleracji funkcji kryptograficznych, spełniającą następujące wymagania techniczne:
    - obsługa SR-IOV z możliwością wykorzystania maksymalnie: co najmniej 48 funkcji wirtualnych i 3 funkcji fizycznych,
    - obsługa co najmniej następujących funkcji kryptograficznych: AES, 3DES/DES, RC4, KASUMI, ZUC, Snow 3G, MD5, SHA-1, SHA-2, SHA-3, HMAC, AES-XCBC, ES-GCM, AES-CCM, AES-XTS, DH, RSA key generation, encryption/decryption and digital signature generation/verification, DSA parameter generation and digital signature generation/verification; Elliptic Curve Cryptography: ECDSA, ECDHE, Curve25519,
    - obsługa co najmniej następujących mechanizmów bezpieczeństwa 5G: KASUMI, Snow 3G oraz ZUC w następujących trybach szyfrowania i uwierzytelniania: ZUC/128-EEA3 Cipher, ZUC/128-EIA3 Wireless MAC, SHA3-256,
    - wydajność AES128-CBC AES-XCBC: co najmniej 100 Gbps@4KB,
    - wydajność RSA2K Key Decrypts: co najmniej 100K Ops/s.
- Elementu oferującego precyzyjny sygnał zegarowy na potrzeby pozostałych elementów urządzenia. Element musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standardem IEEE 1588-2008 (PTP) Grand Master,

**Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*

- zgodność ze standardami G.8262 Synchronous Ethernet, ITU-T G.8265.1 Frequency, ITU-T, G.8275.1 & G.8275.2 Time & Phase Profiles, ITU-T G.8272 and G.8273.2 (T-BC),
- zgodność ze standardem IEEE PC37.238 Power profile,
- zdalne zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów CLI, HTTP i SNMP,
- co najmniej dwa interfejsy sieciowe zapewniające synchronizację wyposażone złącza RJ45 i SFP każdy,
- złącze systemu GPS i odpowiednia z antena zewnętrzna.
- Przełącznika lub routera sieciowego, spełniającego co najmniej następujące wymagania techniczne:
  - dostępne co najmniej 8 interfejsów GigabitEthernet (copper) i co najmniej 4 interfejsy GigabitEthernet (combo),
  - obsługa co najmniej następujących mechanizmów synchronizacji czasu: BITS/1pps/10MHz, 1588v2 BC, 1588v2 over IP, 1588v2 over Ethernet, Synchronous Ethernet, Hybrid Mode, Embedded GM,
  - obsługa co najmniej następujących standardów i mechanizmów L2: IEEE 802.3, IEEE 802.1q, IEEE 802.1ad (Q-in-Q), RSTP, VSTP, MSTP, LACP, LLDP, operacje swap/pop/push na znacznikach VLAN,
  - obsługa co najmniej następujących standardów i mechanizmów L3: IPv4, IPv6, ECMP, OSPF, IS-IS, BGP,
  - obsługa co najmniej następujących mechanizmów MPLS: RSVP, LDP, PCEP, RSVP-TE, BGP-LU, LDP-RSVP, RSVP FRR,
  - zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów: CLI, NETCONF, YANG, NMP v2 i v3.
- Serwera wyposażonego w:
  - co najmniej 1 procesor o przeznaczeniu do wykorzystania w urządzeniach serwerowych, oferujący co najmniej 24 rdzenie fizyczne i 48 wątków,
  - co najmniej 128 GB pamięci RAM,
  - co najmniej 480 GB pamięci dyskowej SSD,
  - co najmniej 1 kartę sieciową oferującą co najmniej 4 interfejsy 10GigabitEthernet, w postaci gniazd SFP(+) wyposażonych w odpowiedni moduł, każda. Zastosowane moduły powinny pozwolić na światłowodowe połączenie z drugim z serwerów (opisanym powyżej) stanowiących część platformy sprzętowej,
  - kartę sieciową z co najmniej 4 interfejsami GigabitEthernet (RJ45).

Urządzenie musi ponadto być wyposażone w elementy pozwalające na komunikację radiową, spełniające następujące wymagania techniczne:

- 2 elementów nadawczo-odbiorczych sygnałów radiowych, zintegrowanych z pozostałymi elementami platformy sprzętowej i współpracujących z elementami funkcjonalnymi urządzenia w sposób pozwalający im na realizację pełnej funkcjonalności. Każdy z elementów nadawczo-odbiorczych musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standaryzacją 3GPP 5G NR Rel 15 i O-RAN WG4 split 7.2,
  - praca co najmniej w trybie TDD,
  - możliwość pracy na częstotliwości w paśmie 3800-4200 GHz,
  - obsługiwana szerokość pasma:
    - oBW: min. 100 MHz,
  - obsługa trybu MIMO 4T4R,
  - możliwość podłączenia 4 anten zewnętrznych,
  - interfejs sieci fronthaul zgodny ze standaryzacją O-RAN WG4 10 Gbps
  - wymiary nieprzekraczające 50 cm x 50 cm x 20 cm,
  - waga nieprzekraczająca 15 kg.

- 1 elementu nadawczo-odbiorczego sygnałów radiowych, zintegrowanego z pozostałymi elementami platformy sprzętowej i współpracującego z elementami funkcjonalnymi urządzenia w sposób pozwalający im na realizację pełnej funkcjonalności. Powyższy element nadawczo-odbiorczy musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standaryzacją 3GPP 5G NR Rel 15 i O-RAN WG4 split 7.2,
  - praca co najmniej w trybie TDD,
  - możliwość pracy na częstotliwości w paśmie 3800-4200 GHz,
  - obsługiwana szerokość pasma:
    - oBW: min. 100 MHz,
  - obsługa trybu MIMO co najmniej 4T4R
  - interfejs sieci fronthaul zgodny ze standaryzacją O-RAN WG4 10
  - wymiary nieprzekraczające 50 cm x 50 cm x 20 cm,
  - waga nieprzekraczająca 20 kg,
  - dostosowanie do pracy w warunkach zewnętrznych.

Platforma sprzętowa musi stanowić zintegrowaną całość, złożoną ze skonfigurowanych elementów zdolnych do obsługi elementów funkcjonalnych urządzenia. Elementy urządzenia transmisji danych muszą być połączone odpowiednim okablowaniem (światłowodowym lub miedzianym w zależności od wymagań elementów platformy sprzętowej urządzenia).

Urządzenie musi być objęte co najmniej roczną opieką serwisową, obejmującą aktualizacje wszystkich elementów funkcjonalnych urządzenia, co najmniej 100 godzin wsparcia technicznego na rok opieki serwisowej oraz co najmniej 3 dni szkolenia (dopuszczalne jest szkolenie w trybie zdalnym). Szkolenie i wsparcie musi obejmować tematykę integracji urządzenia z rdzeniem sieci 5G zewnętrznych producentów.

Urządzenie musi zostać zintegrowane z przykładową aplikacją działającą na platformie Near-RT RIC przy użyciu interfejsu E2AP.

Urządzenie musi być objęte co najmniej roczną gwarancją.

### 3. Urządzenie transmisji danych cyfrowych typu 5G OpenRAN typu C z osprzętem

Urządzenie transmisji danych typu 5G OpenRAN gNodeB umożliwiające integrację z rdzeniem sieci 5G (wg standaryzacji 3GPP) i obsługę urządzeń klienckich pracujących co najmniej w trybie 5G SA.

Urządzenie transmisji danych musi być w stanie pełnić funkcję 3GPP 5G New Radio gNodeB i musi składać się z następujących **elementów funkcjonalnych**: ORAN Centralized Unit (**CU, 1 sztuka**), ORAN Distributed Unit (**DU, 3 sztuki**). Powyższe elementy muszą być możliwe do uruchomienia na **platformie sprzętowej**, w postaci pojedynczego **elementu obliczeniowego** lub ich grupy, połączonych siecią komputerową.

Działanie w środowisku pozbawionym dostępu do sieci zewnętrznych (w tym sieci Internet) nie może powodować ograniczenia w funkcjonalności urządzenia (brak konieczności aktywacji z użyciem serwerów zewnętrznych).

Urządzenie transmisji danych musi być zgodne z następującymi standardami, w wersjach podanych poniżej lub późniejszych:

- Management and Orchestration; Generic Management Services (OAM FM) – 3GPP TS 28.532 v16.3.0
- Management and Orchestration; 5G Network Resource Model (NRM) (OAM CM) – 3GPP TS 28.541 v16.8.0
- Management and Orchestration; Performance assurance – 3GPP TS 28.550 v16.2.0
- Management and Orchestration; 5G Performance Measurements (OAM PM) – 3GPP TS 28.552 v16.5.0
- Telecommunication management; Generic Network Resource Model (NRM); Integration Reference Point (IRP); Solution Set (SS) definitions – 3GPP TS 28.623 v16.3.2
- General Packet Radio System (GPRS) Tunneling Protocol User Plane (GTPv1-U) – 3GPP TS 29.281 v15.7.0
- X2AP – 3GPP TS 36.423 v16.3.0
- SDAP – 3GPP TS 37.324 v16.1.0
- Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) and NR Multi-connectivity – 3GPP TS 37.340 v16.3.0
- PHY – 3GPP TS 38.211 v15.3.0, 3GPP TS 38.212 v15.3.0, 3GPP TS 38.213 v15.3.0, 3GPP TS 38.214 v15.3.0
- BAP – 3GPP TS 38.340 v16.5.0
- MAC – 3GPP TS 38.321 v15.3.0
- RLC – 3GPP TS 38.322 v15.5.0
- PDCP – 3GPP TS 38.323 v15.3.0
- RRC – 3GPP TS 38.331 v16.2.0
- NGAP – 3GPP TS 38.413 v16.3.0
- PDU Session User Plane Protocol – 3GPP TS 38.415 v15.2.0
- XnAP – 3GPP TS 38.423 v16.3.0
- NRUP – 3GPP TS 38.425 v15.3.0
- E1AP – 3GPP TS 38.463 v16.3.0
- F1AP – 3GPP TS 38.473 v16.3.1
- E2AP – ORAN-WG3.E2AP-v01.01, ORAN-WG3.E2SM-KPM-v02.0.3
- FAPI – SCF222.3.0
- nFAPI – SCF225.2.0

**Elementy funkcjonalne** urządzenia muszą ponadto spełniać następujące wymagania techniczne:

**Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**  
*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*

- Elementy funkcjonalne muszą być dostarczone w postaci binarnej, uruchamianej na platformie sprzętowej stanowiącej część urządzenia lub na innej platformie spełniającej niezbędne wymagania techniczne.
- Przeniesienie elementów funkcjonalnych na inną platformę sprzętową o analogicznej konfiguracji musi być możliwe (brak powiązania licencyjnego z określoną platformą sprzętową). Proces ten nie może wymagać kontaktu ze wsparciem technicznym lub dostępu do sieci Internet.
- Urządzenie może być wykorzystywane do realizacji prac badawczo-rozwojowych, w których uczestniczą podmioty zewnętrzne.
- Elementy CU i DU muszą komunikować się zgodnie z wymaganiami interfejsu F1 Application Protocol (F1AP).
- Elementy CU i DU muszą oferować interfejs służący obsłudze błędów (Fault Management - FM) oraz zarządzaniu wydajnością (Performance Management - PM) zgodny ze standardem ConfD, obsługujący protokół NETCONF i wykorzystujący model danych YANG.
  - W przypadku elementu CU powyższy interfejs musi umożliwiać co najmniej: reset oraz blokowanie komórek w ramach mechanizmu Automatic Neighbor Relation; ręczną obsługę listy sąsiedztwa Xn; zarządzanie konfiguracją, FM i PM z użyciem modelu danych bazującym na specyfikacji 3GPP.
  - W przypadku elementu DU powyższy interfejs musi umożliwiać co najmniej: zarządzanie Physical Cell ID, udostępnianie interfejsów API umożliwiających realizację procedur Spectrum Access System (SAS)/Citizens Broadband Radio Service Device (CBSD); zarządzanie konfiguracją, FM i PM z użyciem modelu danych bazującym na specyfikacji 3GPP.
- **Element CU** musi realizować funkcje co najmniej następujących elementów systemu 5G RAN: gNB Manager, User Equipment (UE) Connection Manager, Resource Manager.
- Elementy płaszczyzny sterowania i płaszczyzny danych CU, muszą komunikować się zgodnie z wymaganiami interfejsu E1 Application Protocol (E1AP).
- Element CU musi obsługiwać co najmniej następujące interfejsy i protokoły:
  - Radio Resource Control (RRC),
  - Service Data Adaptation Protocol (SDAP),
  - PDU Session User Plane Protocol (PSUP),
  - Packet Data Convergence Protocol (PDCP),
  - F1 Application Protocol (F1AP),
  - X2 Application Protocol (X2AP)—E-UTRAN New Radio-Dual Connectivity (EN-DC),
  - E1 Application Protocol (E1AP),
  - E2 Application Protocol (E2AP),
  - Next Generation Application Protocol (NGAP),
  - F1/X2 User Plane Protocol (NRUP),
  - Xn Application Protocol (XnAP),
  - F1/X2 User Plane Transport Protocol—Evolved GTP - User Plane (eGTPU).
- Funkcjonalność Resource Manager zaimplementowana w elemencie CU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
  - Access and Mobility Management Function (AMF) Selection,
  - EPS Fallback,
  - Emergency Fallback,
  - gNB CU-UP Selection (na podstawie wartości S-NSSAI otrzymanych od UE),
  - lokalne zarządzanie zasobami (admission control i alokacja/zwalnianie eGTPU TEID na podstawie stanu zasobów lokalnych),
  - bezstratne przełączanie (loseless handover) w trybie SA: Xn, NG, Intra DU, Inter DU,
  - przekazywanie danych w celu realizacji bezstratnego przełączania w trybie NSA: SgNB Addition, SN Initiated SgNB Release, MN Initiated SgNB Release, MN Initiated SN Change,

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*



- wybór preferowanej komórki do przełączenia UE na podstawie przesłanych przez nie pomiarów,
  - możliwość monitorowania zdarzeń (A1, A2, A3, A4, A5, B1 i B2) i zbierania metryk,
  - możliwość obsługi wielu sieci PLMN w trybach SA i NSA, za pośrednictwem jednego lub wielu elementów DU,
  - możliwość obsługi trybu SA i NSA jednocześnie,
  - możliwość monitorowania styków elementu CU z następującymi elementami: AMF (interfejs NG), CU-UP (interfejs E1), DU (interfejs F1), eNB (interfejs X2),
  - realizacja co najmniej następujących funkcji Quality of Seervice (QoS): QoS-based bearers - Guaranteed Bit Rate (GBR) i non-GBR, Delay Critical (DC) Class 5G QoS Identifier (5QI) dla QoS Flow ID (QFI),
  - obsługa procedury UE Radio Capability Check w sposób wymagany przez usługi VoNR.
- **Element DU** musi realizować funkcje co najmniej następujących elementów systemu 5G RAN: DU manager, Radio Resource Manager (RRM), Radio Resource Control (RRC), 5G NR Convergence Layer (CL) for Physical layer (PHY) lub Physical Abstraction Layer (PAL), 5G NR scheduler.
  - Element DU musi obsługiwać co najmniej następujące protokoły:
    - Backhaul Adaptation Protocol (BAP),
    - Radio Link Control (RLC),
    - Medium Access Control (MAC),
    - E2 Application Protocol (E2AP),
    - F1 User Plane Transport Protocol—eGTPU,
    - F1 User Plane Protocol (NRUP).
  - Funkcjonalność Radio Resource Manager (RRM) zaimplementowana w elemencie DU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
    - zarządzanie Bandwidth Part (BWP): cell common resources, initial common BWP, additional BWP based on the BWP size and frequency,
    - konfigurowalny układ slotów,
    - redukcja czasów K1 i K2 w celu realizacji komunikacji URLLC,
    - Measurement Gap w trybach SA i NSA,
    - zarządzanie zasobami dla PDCCH: Common Resource Set (CORESET) definition for DL and UL PDCCH (CORESET 0, dodatkowy common CORESET i dedykowany UE CORESET), przydział Search Space dla DL i UL—Common Search Space (CSS) i UE Specific Search Space (USS), wybór poziomu agregacji PDCCH dla CSS i Dedicated Search Space (DSS),
    - zarządzanie zasobami dla PDSCH: agregacja slotów, Channel State Information-Interference Measurement (CSI-IM), Channel State Information-Reference Signal (CSI-RS),
    - zarządzanie zasobami dla PUCCH: alokacja Scheduling Request (SR), resource sets oraz zasobów dla UL BWP,
    - zarządzanie zasobami dla PUSCH,
    - uwzględnianie funkcjonalności UE w zarządzaniu zasobami: obsługiwanych kombinacji pasm przy dodaniu CA SCell, określanie zasobów Sounding Reference Signal (SRS) dla UE na podstawie jego funkcjonalności SRS, określanie parametrów non-codebook based PUSCH dla UE.
  - Implementacja protokołu E1AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące procedury/wiadomości:
    - BEARER CONTEXT INACTIVITY NOTIFICATION,
    - BEARER CONTEXT MODIFICATION REQUEST/RESPONSE/FAILURE,

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*



- BEARER CONTEXT SETUP REQUEST/RESPONSE,
- DATA USAGE REPORT,
- DL DATA NOTIFICATION,
- GNB-CU-UP E1 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
- BEARER CONTEXT RELEASE COMMAND/COMPLETE.
- Implementacja protokołu E2AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
  - możliwość współpracy z Near-RT RIC,
  - obsługa procedur: E2 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE, RIC SUBSCRIPTION REQUEST (w tym wiele żądań tego typu od RIC)/RESPONSE/FAILURE, RIC INDICATION,
  - obsługę zdarzenia utraty połączenia SCTP.
- Implementacja protokołu F1AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące procedury:
  - znakowanie IPv4 DSCP per 5QI dla QFI przy komunikacji DL w trybie SA,
  - DL RRC MESSAGE TRANSFER,
  - obsługa dynamicznej konfiguracji komórek, komunikaty: F1 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
  - aktualizacji konfiguracji CU (gNB CU Configuration Update) z aktualizacją SIB3,
  - aktualizacji konfiguracji DU (gNB DU Configuration Update),
  - uzgadniania zasobów DU (gNB DU Resource Coordination),
  - przełączania (handover) typu Inter-RAT (LTE).
  - Paging (CN initiated idle mode paging oraz RNA paging),
  - Write-Replace Warning,
  - PWS Failure Indication (CU),
  - PWS Cancel,
  - DU Reset,
  - obsługa zdarzenia SCTP Link Down,
  - UE Context Release (CU initiated),
  - UE Context Modification (CU initiated),
  - UE Context Setup,
  - UL RRC Message Transfer.
- Obsługa procedur koegzystencji LTE-NR: LTE-NR Coexistence z wykorzystaniem mechanizmu Slot Mute Pattern.
- Obsługa mechanizmów Data Plane Development Kit (DPDK) przez elementy funkcjonalne CU i DU, co najmniej dla następujących interfejsów:
  - w trybie SA: CU-DU, DU-UE, CU-UPF,
  - w trybie NSA: CU-DU, DU-UE, CU-SGW.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji elementu MAC Scheduler:
  - obsługi trybu TDD i FDD,
  - BWP Switching: RRC and DCI-based,
  - NSA FR1 Beam Management – obsługa co najmniej 4 wiązek (każda zdolna do obsługi minimum 4 UE),
  - możliwości rozszerzenia licencji produktu o obsługę NSA FR2 Beam Management i SA FR2 Beam Management,
  - komunikacji w trybie Broadcast oraz Multicast,
  - Carrier Aggregation (UL i DL, w tym asymmetric CA),
  - obsługiwanej szerokości kanału RF, co najmniej: 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 i 100 MHz,
  - Channel State Information: aperiodyczne raportowanie co najmniej: CQI, PMI, RI, RSRP,
  - Channel State Information Reference Signal: NZP-CSI RS,



- Discontinuous Reception (DRX),
- HARQ – możliwość obsługi do minimum 16 procesów dla DL i do minimum 16 procesów dla UL,
- Link Adaptation:
  - dla co najmniej PDSCH, PDCCH i PUSCH,
  - dla PDSCH i PUSCH – obsługa funkcji Outer Loop Link Adaptation,
- konfigurowalnych parametrów STEP UP i STEP DOWN (mechanizmu MCS wykorzystującego wartość BLER) dla każdego UE osobno,
- mechanizmu Measurement Gap z obsługą pomiarów Inter-RAT w trybie SA,
- możliwość obsługi SU-MIMO w konfiguracji do co najmniej 32T32R,
- konfiguracji Non-Zero Power CSI-RS na podstawie konfiguracji anteny,
- mechanizmu MU-MIMO obsługujący co najmniej: 2 UE i 4 warstwy MIMO dla pary,
- algorytmu Proportional Fair Scheduling,
- scheduler uwzględniający wymagania QoS,
- priorytyzacji dla MAC CE, DL CCCH i MSG4,
- Supplementary Uplink Scheduling,
- Extended UL Grants z obsługą TDD duplexing mode,
- UL Configured Grants,
- zarządzania energią (UL Power Control) dla kanałów PUSCH i PUCCH,
- wykrywania utraty i odzyskiwania synchronizacji UE w trybach single/multi-cell i CA.
- Obsługa mechanizmów network Functional Application Platform Interface (nFAPI), co najmniej: Dedicated messages, P5 Combined Messages, P5/P7 Transparent Messages, P5 SCTP Link Handling.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu NG Application Protocol:
  - znakowania IPv4 DSCP per 5QI dla QFI przy komunikacji UL,
  - 5GCN AMF Initiated Initial Context Setup dla sesji PDU,
  - Obsługi przełączania (handover), obejmująca co najmniej:
    - Inter-RAT Handover z możliwością podejmowania decyzji o przełączeniu Inter-RAT na podstawie wydarzenia B2,
    - Handover Preparation/Cancellation/Resource Allocation,
  - NG Reset / NG Reset Initiated by AMF,
  - NG Setup,
  - AMF Configuration Update,
  - Uplink/Downlink NAS Transport,
  - Flow Level QoS Parameters,
  - Paging,
  - Path Switch Request,
  - PDU Session: Resource Setup, Resource Setup Information, Resource Setup Response Information, Resource Modify, Resource Release,
  - Write-Replace Warning,
  - PWS Failure Indication (CU), PWS Cancel,
  - RAN Configuration Update,
  - obsługi zdarzenia SCTP Link Down,
  - SN Status Transfer,
  - UE: Context Release Request, Radio Capability Check, Radio Capability Information Indication, Context Release.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu Packet Data Convergence Protocol:
  - Data transfer: sequence numbering/reordering,
  - Integrity protection and verification,
  - User Plane Overload Control,





- PDCP Count Wraparound, Duplication for split bearers, Flow Control (w tym: lost packet report/retransmission), PDU Routing for Split Bearers,
- PDCP Entity Handling (Establishment, Re-establishment, Release),
- PDU z 12 i 18 bitowym PDCP SN,
- Timber-based SDU discard w trybach SA i NSA,
- obsługa nieaktywności UE: MeNB-triggered Inactivity Notification, SgNB-triggered direct release,
- priorytetyzacja ruchu: obsługa VLAN na interfejsie NG-U (przy wykorzystaniu DPDK), obsługa DSCP na interfejsach NG-U, F1-U, XnU, X2-U, S1U w trybach SA i NSA (bez i przy wykorzystaniu DPDK).
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji elementu Radio Resource Control:
  - DL/UL Information Transfer
  - Initial Security Activation (Command/Complete/Failure)
  - konfiguracji i obsługi raportowania, co najmniej dla zdarzeń A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2,
  - Paging,
  - Blind Redirection to LTE,
  - RRC Connection Establishment (Setup, Setup Complete, Setup Request – including emergency call, Reject – w przypadku przekroczenia dozwolonej liczby UE, Capability Query, Capability Information)/Re-establishment, Connection Resume, Reconfiguration
  - RRC States: Connected, Inactive, Idle
  - ochrona integralności i poufności, co najmniej: NIA0, NIA1, NIA2, NIA3, NEA0, NEA1, NEA2, NEA3 oraz funkcja Security Algorithm Negotiation,
  - konfigurowalnych parametrów SRB1 i SRB2,
  - obsługi: SIB1, SIB2, SIB3, SIB4, SIB5, SIB6, SIB7, SIB8.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu X2AP:
  - E-UTRA-NR Dual Connectivity:
    - Setup Request/Response/Failure
    - Configuration Update/Update Ack/Update Failure
    - Configuration Transfer dla en-gNB X2 Transport Network Layer address discovery w trybie NSA,
  - E-UTRA–NR Cell Resource Coordination,
  - MeNB Initiated SgNB Modification Preparation,
  - NSA EUTRA QoS Enforcement for Non-GBR Bearers: UE AMBR, MBR, GBR
  - Reset and EN-DC Partial Reset (MeNB/SgNB initiated)
  - RRC Transfer (SN Initiated NSA Mobility for PSCell Change)
  - Secondary RAT Data Usage Report,
  - obsługi co najmniej następujących mechanizmów bezpieczeństwa dla Opcji 3a i 3x: NIA0, NIA1, NIA2, NIA3, NEA0, NEA1, NEA2, NEA3,
  - SgNB Activity Notification/Preparation (Request, Request Ack, Reject),
  - SgNB Initiated SgNB Modification (SgNB Modification Required/Confirm/Refuse),
  - SgNB Reconfiguration Completion,
  - MeNB and SgNB Initiated SgNB Release,
  - SN Status Transfer,
  - UE Context Modification/Release.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu XnAP:
  - Xn Setup,
  - Xn Neighbor Addition/Modification/Deletion (through OAM),
  - Automatic Neighbor Relation (ANR),
  - Handover Preparation/Cancel,
  - NG-RAN Node Configuration Update,



**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita  
Polska**

**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



- Physical Cell ID (PCI) z obsługą wydarzeń: PCI confusion/collision/reselection/change through F1 interface,
- obsługi wydarzenia SCTP Link Down,
- SN Status Transfer,
- UE Context Release.

Elementy funkcjonalne muszą być w stanie wykorzystać karty akceleracji sprzętowej, wyspecyfikowane w ramach platformy sprzętowej urządzenia. Jednocześnie elementy funkcjonalne muszą być w stanie działać bez powyższych kart akceleracji sprzętowej.

Urządzenie musi być możliwe do wykorzystania w celach demonstracyjnych oraz dla potrzeb działalności badawczo-rozwojowej, w tym świadczenia usług badawczo-rozwojowych podmiotom zewnętrznym.

Każdy z elementów DU musi być w stanie obsługiwać co najmniej 3 głowice radiowe (Remote Radio Head – RRH), stanowiące część platformy fizycznej.

Element CU musi być w stanie obsługiwać:

- co najmniej 3 RRH połączone za pośrednictwem elementów DU,
- nieograniczoną licencją liczbę elementów DU.

**Platforma sprzętowa** musi składać się, co najmniej, z następujących elementów:

- Serwera wyposażonego w:
  - co najmniej 2 procesory o przeznaczeniu do wykorzystania w urządzeniach serwerowych oferujące co najmniej 20 rdzeni fizycznych i 40 wątków każdy,
  - co najmniej 192 GB pamięci RAM,
  - co najmniej 480 GB pamięci dyskowej SSD,
  - 2 karty sprzętowej akceleracji obliczeń dedykowane do obsługi funkcji vRAN w sieciach 4G i 5G, spełniające co najmniej następujące wymagania techniczne:
    - przetwarzanie LDPC FEC dla sieci 5G: LDPC encoder/decoder, Code block CRC generation/checking, Rate matching/de-matching, HARQ buffer management
    - mechanizmy sprzętowej obsługi kolejek z funkcjami load balancer'a.
  - Co najmniej 2 karty sieciowe oferujące co najmniej 4 interfejsy 10GigabitEthernet, w postaci gniazd SFP(+) wyposażonych w odpowiedni moduł, każda.
  - kartę sieciową z co najmniej 4 interfejsami GigabitEthernet (RJ45).
  - kartę sprzętowej akceleracji funkcji kryptograficznych, spełniającą następujące wymagania techniczne:
    - obsługa SR-IOV z możliwością wykorzystania maksymalnie: co najmniej 48 funkcji wirtualnych i 3 funkcji fizycznych,
    - obsługa co najmniej następujących funkcji kryptograficznych: AES, 3DES/DES, RC4, KASUMI, ZUC, Snow 3G, MD5, SHA-1, SHA-2, SHA-3, HMAC, AES-XCBC, ES-GCM, AES-CCM, AES-XTS, DH, RSA key generation, encryption/decryption and digital signature generation/verification, DSA parameter generation and digital signature generation/verification; Elliptic Curve Cryptography: ECDSA, ECDHE, Curve25519,
    - obsługa co najmniej następujących mechanizmów bezpieczeństwa 5G: KASUMI, Snow 3G oraz ZUC w następujących trybach szyfrowania i uwierzytelniania: ZUC/128-EEA3 Cipher, ZUC/128-EIA3 Wireless MAC, SHA3-256,
    - wydajność AES128-CBC AES-XCBC: co najmniej 100 Gbps@4KB,
    - wydajność RSA2K Key Decrypts: co najmniej 100K Ops/s.

**Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*

- Elementu oferującego precyzyjny sygnał zegarowy na potrzeby pozostałych elementów urządzenia. Element musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standardem IEEE 1588-2008 (PTP) Grand Master,
  - zgodność ze standardami G.8262 Synchronous Ethernet, ITU-T G.8265.1 Frequency, ITU-T, G.8275.1 & G.8275.2 Time & Phase Profiles, ITU-T G.8272 and G.8273.2 (T-BC),
  - zgodność ze standardem IEEE PC37.238 Power profile,
  - zdalne zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów CLI, HTTP i SNMP,
  - co najmniej dwa interfejsy sieciowe zapewniające synchronizację wyposażone złącza RJ45 i SFP każdy,
  - złącze systemu GPS i odpowiednia z antena zewnętrzna.
- Przełącznika lub routera sieciowego, spełniającego co najmniej następujące wymagania techniczne:
  - dostępne co najmniej 8 interfejsów GigabitEthernet (copper) i co najmniej 4 interfejsy GigabitEthernet (combo),
  - obsługa co najmniej następujących mechanizmów synchronizacji czasu: BITS/1pps/10MHz, 1588v2 BC, 1588v2 over IP, 1588v2 over Ethernet, Synchronous Ethernet, Hybrid Mode, Embedded GM,
  - obsługa co najmniej następujących standardów i mechanizmów L2: IEEE 802.3, IEEE 802.1q, IEEE 802.1ad (Q-in-Q), RSTP, VSTP, MSTP, LACP, LLDP, operacje swap/pop/push na znacznikach VLAN,
  - obsługa co najmniej następujących standardów i mechanizmów L3: IPv4, IPv6, ECMP, OSPF, IS-IS, BGP,
  - obsługa co najmniej następujących mechanizmów MPLS: RSVP, LDP, PCEP, RSVP-TE, BGP-LU, LDP-RSVP, RSVP FRR,
  - zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów: CLI, NETCONF, YANG, NMP v2 i v3.
- Serwera wyposażonego w:
  - co najmniej 1 procesor o przeznaczeniu do wykorzystania w urządzeniach serwerowych, oferujący co najmniej 24 rdzenie fizyczne i 48 wątków,
  - co najmniej 128 GB pamięci RAM,
  - co najmniej 480 GB pamięci dyskowej SSD,
  - co najmniej 1 kartę sieciową oferującą co najmniej 4 interfejsy 10GigabitEthernet, w postaci gniazd SFP(+) wyposażonych w odpowiedni moduł, każda. Zastosowane moduły powinny pozwolić na światłowodowe połączenie z drugim z serwerów (opisanym powyżej) stanowiących część platformy sprzętowej,
  - kartę sieciową z co najmniej 4 interfejsami GigabitEthernet (RJ45).

Urządzenie musi ponadto być wyposażone w elementy pozwalające na komunikację radiową, spełniające następujące wymagania techniczne:

- 2 elementów nadawczo-odbiorczych sygnałów radiowych, zintegrowanych z pozostałymi elementami platformy sprzętowej i współpracujących z elementami funkcjonalnymi urządzenia w sposób pozwalający im na realizację pełnej funkcjonalności. Każdy z elementów nadawczo-odbiorczych musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standaryzacją 3GPP 5G NR Rel 15 i O-RAN WG4 split 7.2,
  - praca co najmniej w trybie TDD,
  - możliwość pracy na częstotliwości w paśmie 3800-4200 GHz,
  - obsługiwana szerokość pasma:
    - oBW: min. 100 MHz,
  - obsługa trybu MIMO 4T4R,
  - interfejs sieci fronthaul zgodny ze standaryzacją O-RAN WG4 10 Gbps
  - wymiary nieprzekraczające 50 cm x 50 cm x 20 cm,
  - waga nieprzekraczająca 15 kg.

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*

Platforma sprzętowa musi stanowić zintegrowaną całość, złożoną ze skonfigurowanych elementów zdolnych do obsługi elementów funkcjonalnych urządzenia. Elementy urządzenia transmisji danych muszą być połączone odpowiednim okablowaniem (światłowodowym lub miedzianym w zależności od wymagań elementów platformy sprzętowej urządzenia).

Urządzenie musi być objęte co najmniej roczną opieką serwisową, obejmującą aktualizacje wszystkich elementów funkcjonalnych urządzenia, co najmniej 100 godzin wsparcia technicznego na rok opieki serwisowej oraz co najmniej 3 dni szkolenia (dopuszczalne jest szkolenie w trybie zdalnym). Szkolenie i wsparcie musi obejmować tematykę integracji urządzenia z rdzeniem sieci 5G zewnętrznych producentów.

Urządzenie musi zostać zintegrowane z przykładową aplikacją działającą na platformie Near-RT RIC przy użyciu interfejsu E2AP.

Urządzenie musi być objęte co najmniej roczną gwarancją.

#### 4. Urządzenie transmisji danych cyfrowych typu 5G OpenRAN typu D z osprzętem

Urządzenie transmisji danych typu 5G OpenRAN gNodeB umożliwiające integrację z rdzeniem sieci 5G (wg standaryzacji 3GPP) i obsługę urządzeń klienckich pracujących co najmniej w trybie 5G SA.

Urządzenie transmisji danych musi być w stanie pełnić funkcję 3GPP 5G New Radio gNodeB i musi składać się z następujących **elementów funkcjonalnych**: ORAN Centralized Unit (**CU, 1 sztuka**), ORAN Distributed Unit (**DU, 3 sztuki**). Powyższe elementy muszą być możliwe do uruchomienia na **platformie sprzętowej**, w postaci pojedynczego **elementu obliczeniowego** lub ich grupy, połączonych siecią komputerową.

Działanie w środowisku pozbawionym dostępu do sieci zewnętrznych (w tym sieci Internet) nie może powodować ograniczenia w funkcjonalności urządzenia (brak konieczności aktywacji z użyciem serwerów zewnętrznych).

Urządzenie transmisji danych musi być zgodne z następującymi standardami, w wersjach podanych poniżej lub późniejszych:

- Management and Orchestration; Generic Management Services (OAM FM) – 3GPP TS 28.532 v16.3.0
- Management and Orchestration; 5G Network Resource Model (NRM) (OAM CM) – 3GPP TS 28.541 v16.8.0
- Management and Orchestration; Performance assurance – 3GPP TS 28.550 v16.2.0
- Management and Orchestration; 5G Performance Measurements (OAM PM) – 3GPP TS 28.552 v16.5.0
- Telecommunication management; Generic Network Resource Model (NRM); Integration Reference Point (IRP); Solution Set (SS) definitions – 3GPP TS 28.623 v16.3.2
- General Packet Radio System (GPRS) Tunneling Protocol User Plane (GTPv1-U) – 3GPP TS 29.281 v15.7.0
- X2AP – 3GPP TS 36.423 v16.3.0
- SDAP – 3GPP TS 37.324 v16.1.0
- Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) and NR Multi-connectivity – 3GPP TS 37.340 v16.3.0
- PHY – 3GPP TS 38.211 v15.3.0, 3GPP TS 38.212 v15.3.0, 3GPP TS 38.213 v15.3.0, 3GPP TS 38.214 v15.3.0
- BAP – 3GPP TS 38.340 v16.5.0
- MAC – 3GPP TS 38.321 v15.3.0
- RLC – 3GPP TS 38.322 v15.5.0
- PDCP – 3GPP TS 38.323 v15.3.0
- RRC – 3GPP TS 38.331 v16.2.0
- NGAP – 3GPP TS 38.413 v16.3.0
- PDU Session User Plane Protocol – 3GPP TS 38.415 v15.2.0
- XnAP – 3GPP TS 38.423 v16.3.0
- NRUP – 3GPP TS 38.425 v15.3.0
- E1AP – 3GPP TS 38.463 v16.3.0
- F1AP – 3GPP TS 38.473 v16.3.1
- E2AP – ORAN-WG3.E2AP-v01.01, ORAN-WG3.E2SM-KPM-v02.0.3
- FAPI – SCF222.3.0
- nFAPI – SCF225.2.0

**Elementy funkcjonalne** urządzenia muszą ponadto spełniać następujące wymagania techniczne:

**Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**  
*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*

- Elementy funkcjonalne muszą być dostarczone w postaci binarnej, uruchamianej na platformie sprzętowej stanowiącej część urządzenia lub na innej platformie spełniającej niezbędne wymagania techniczne.
- Przeniesienie elementów funkcjonalnych na inną platformę sprzętową o analogicznej konfiguracji musi być możliwe (brak powiązania licencyjnego z określoną platformą sprzętową). Proces ten nie może wymagać kontaktu ze wsparciem technicznym lub dostępu do sieci Internet.
- Urządzenie może być wykorzystywane do realizacji prac badawczo-rozwojowych, w których uczestniczą podmioty zewnętrzne.
- Elementy CU i DU muszą komunikować się zgodnie z wymaganiami interfejsu F1 Application Protocol (F1AP).
- Elementy CU i DU muszą oferować interfejs służący obsłudze błędów (Fault Management - FM) oraz zarządzaniu wydajnością (Performance Management - PM) zgodny ze standardem ConfD, obsługujący protokół NETCONF i wykorzystujący model danych YANG.
  - W przypadku elementu CU powyższy interfejs musi umożliwiać co najmniej: reset oraz blokowanie komórek w ramach mechanizmu Automatic Neighbor Relation; ręczną obsługę listy sąsiedztwa Xn; zarządzanie konfiguracją, FM i PM z użyciem modelu danych bazującym na specyfikacji 3GPP.
  - W przypadku elementu DU powyższy interfejs musi umożliwiać co najmniej: zarządzanie Physical Cell ID, udostępnianie interfejsów API umożliwiających realizację procedur Spectrum Access System (SAS)/Citizens Broadband Radio Service Device (CBSD); zarządzanie konfiguracją, FM i PM z użyciem modelu danych bazującym na specyfikacji 3GPP.
- **Element CU** musi realizować funkcje co najmniej następujących elementów systemu 5G RAN: gNB Manager, User Equipment (UE) Connection Manager, Resource Manager.
- Elementy płaszczyzny sterowania i płaszczyzny danych CU, muszą komunikować się zgodnie z wymaganiami interfejsu E1 Application Protocol (E1AP).
- Element CU musi obsługiwać co najmniej następujące interfejsy i protokoły:
  - Radio Resource Control (RRC),
  - Service Data Adaptation Protocol (SDAP),
  - PDU Session User Plane Protocol (PSUP),
  - Packet Data Convergence Protocol (PDCP),
  - F1 Application Protocol (F1AP),
  - X2 Application Protocol (X2AP)—E-UTRAN New Radio-Dual Connectivity (EN-DC),
  - E1 Application Protocol (E1AP),
  - E2 Application Protocol (E2AP),
  - Next Generation Application Protocol (NGAP),
  - F1/X2 User Plane Protocol (NRUP),
  - Xn Application Protocol (XnAP),
  - F1/X2 User Plane Transport Protocol—Evolved GTP - User Plane (eGTPU).
- Funkcjonalność Resource Manager zaimplementowana w elemencie CU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
  - Access and Mobility Management Function (AMF) Selection,
  - EPS Fallback,
  - Emergency Fallback,
  - gNB CU-UP Selection (na podstawie wartości S-NSSAI otrzymanych od UE),
  - lokalne zarządzanie zasobami (admission control i alokacja/zwalnianie eGTPU TEID na podstawie stanu zasobów lokalnych),
  - bezstratne przełączanie (loseless handover) w trybie SA: Xn, NG, Intra DU, Inter DU,
  - przekazywanie danych w celu realizacji bezstratnego przełączania w trybie NSA: SgNB Addition, SN Initiated SgNB Release, MN Initiated SgNB Release, MN Initiated SN Change,

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*

- wybór preferowanej komórki do przełączenia UE na podstawie przesłanych przez nie pomiarów,
  - możliwość monitorowania zdarzeń (A1, A2, A3, A4, A5, B1 i B2) i zbierania metryk,
  - możliwość obsługi wielu sieci PLMN w trybach SA i NSA, za pośrednictwem jednego lub wielu elementów DU,
  - możliwość obsługi trybu SA i NSA jednocześnie,
  - możliwość monitorowania styków elementu CU z następującymi elementami: AMF (interfejs NG), CU-UP (interfejs E1), DU (interfejs F1), eNB (interfejs X2),
  - realizacja co najmniej następujących funkcji Quality of Seervice (QoS): QoS-based bearers - Guaranteed Bit Rate (GBR) i non-GBR, Delay Critical (DC) Class 5G QoS Identifier (5QI) dla QoS Flow ID (QFI),
  - obsługa procedury UE Radio Capability Check w sposób wymagany przez usługi VoNR.
- **Element DU** musi realizować funkcje co najmniej następujących elementów systemu 5G RAN: DU manager, Radio Resource Manager (RRM), Radio Resource Control (RRC), 5G NR Convergence Layer (CL) for Physical layer (PHY) lub Physical Abstraction Layer (PAL), 5G NR scheduler.
  - Element DU musi obsługiwać co najmniej następujące protokoły:
    - Backhaul Adaptation Protocol (BAP),
    - Radio Link Control (RLC),
    - Medium Access Control (MAC),
    - E2 Application Protocol (E2AP),
    - F1 User Plane Transport Protocol—eGTPU,
    - F1 User Plane Protocol (NRUP).
  - Funkcjonalność Radio Resource Manager (RRM) zaimplementowana w elemencie DU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
    - zarządzanie Bandwidth Part (BWP): cell common resources, initial common BWP, additional BWP based on the BWP size and frequency,
    - konfigurowalny układ slotów,
    - redukcja czasów K1 i K2 w celu realizacji komunikacji URLLC,
    - Measurement Gap w trybach SA i NSA,
    - zarządzanie zasobami dla PDCCH: Common Resource Set (CORESET) definition for DL and UL PDCCH (CORESET 0, dodatkowy common CORESET i dedykowany UE CORESET), przydział Search Space dla DL i UL—Common Search Space (CSS) i UE Specific Search Space (USS), wybór poziomu agregacji PDCCH dla CSS i Dedicated Search Space (DSS),
    - zarządzanie zasobami dla PDSCH: agregacja slotów, Channel State Information-Interference Measurement (CSI-IM), Channel State Information-Reference Signal (CSI-RS),
    - zarządzanie zasobami dla PUCCH: alokacja Scheduling Request (SR), resource sets oraz zasobów dla UL BWP,
    - zarządzanie zasobami dla PUSCH,
    - uwzględnianie funkcjonalności UE w zarządzaniu zasobami: obsługiwanych kombinacji pasm przy dodaniu CA SCell, określanie zasobów Sounding Reference Signal (SRS) dla UE na podstawie jego funkcjonalności SRS, określanie parametrów non-codebook based PUSCH dla UE.
  - Implementacja protokołu E1AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące procedury/wiadomości:
    - BEARER CONTEXT INACTIVITY NOTIFICATION,
    - BEARER CONTEXT MODIFICATION REQUEST/RESPONSE/FAILURE,

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*



- BEARER CONTEXT SETUP REQUEST/RESPONSE,
- DATA USAGE REPORT,
- DL DATA NOTIFICATION,
- GNB-CU-UP E1 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
- BEARER CONTEXT RELEASE COMMAND/COMPLETE.
- Implementacja protokołu E2AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące funkcje:
  - możliwość współpracy z Near-RT RIC,
  - obsługa procedur: E2 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE, RIC SUBSCRIPTION REQUEST (w tym wiele żądań tego typu od RIC)/RESPONSE/FAILURE, RIC INDICATION,
  - obsługę wydarzenia utraty połączenia SCTP.
- Implementacja protokołu F1AP w elementach CU i DU musi obejmować co najmniej następujące procedury:
  - znakowanie IPv4 DSCP per 5QI dla QFI przy komunikacji DL w trybie SA,
  - DL RRC MESSAGE TRANSFER,
  - obsługa dynamicznej konfiguracji komórek, komunikaty: F1 SETUP REQUEST/RESPONSE/FAILURE,
  - aktualizacji konfiguracji CU (gNB CU Configuration Update) z aktualizacją SIB3,
  - aktualizacji konfiguracji DU (gNB DU Configuration Update),
  - uzgadniania zasobów DU (gNB DU Resource Coordination),
  - przełączania (handover) typu Inter-RAT (LTE).
  - Paging (CN initiated idle mode paging oraz RNA paging),
  - Write-Replace Warning,
  - PWS Failure Indication (CU),
  - PWS Cancel,
  - DU Reset,
  - obsługa zdarzenia SCTP Link Down,
  - UE Context Release (CU initiated),
  - UE Context Modification (CU initiated),
  - UE Context Setup,
  - UL RRC Message Transfer.
- Obsługa procedur koegzystencji LTE-NR: LTE-NR Coexistence z wykorzystaniem mechanizmu Slot Mute Pattern.
- Obsługa mechanizmów Data Plane Development Kit (DPDK) przez elementy funkcjonalne CU i DU, co najmniej dla następujących interfejsów:
  - w trybie SA: CU-DU, DU-UE, CU-UPF,
  - w trybie NSA: CU-DU, DU-UE, CU-SGW.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji elementu MAC Scheduler:
  - obsługi trybu TDD i FDD,
  - BWP Switching: RRC and DCI-based,
  - NSA FR1 Beam Management – obsługa co najmniej 4 wiązek (każda zdolna do obsługi minimum 4 UE),
  - możliwości rozszerzenia licencji produktu o obsługę NSA FR2 Beam Management i SA FR2 Beam Management,
  - komunikacji w trybie Broadcast oraz Multicast,
  - Carrier Aggregation (UL i DL, w tym asymmetric CA),
  - obsługiwanej szerokości kanału RF, co najmniej: 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 i 100 MHz,
  - Channel State Information: aperiodyczne raportowanie co najmniej: CQI, PMI, RI, RSRP,
  - Channel State Information Reference Signal: NZP-CSI RS,





- Discontinuous Reception (DRX),
- HARQ – możliwość obsługi do minimum 16 procesów dla DL i do minimum 16 procesów dla UL,
- Link Adaptation:
  - dla co najmniej PDSCH, PDCCH i PUSCH,
  - dla PDSCH i PUSCH – obsługa funkcji Outer Loop Link Adaptation,
- konfigurowalnych parametrów STEP UP i STEP DOWN (mechanizmu MCS wykorzystującego wartość BLER) dla każdego UE osobno,
- mechanizmu Measurement Gap z obsługą pomiarów Inter-RAT w trybie SA,
- możliwość obsługi SU-MIMO w konfiguracji do co najmniej 32T32R,
- konfiguracji Non-Zero Power CSI-RS na podstawie konfiguracji anteny,
- mechanizmu MU-MIMO obsługujący co najmniej: 2 UE i 4 warstwy MIMO dla pary,
- algorytmu Proportional Fair Scheduling,
- scheduler uwzględniający wymagania QoS,
- priorytyzacji dla MAC CE, DL CCCH i MSG4,
- Supplementary Uplink Scheduling,
- Extended UL Grants z obsługą TDD duplexing mode,
- UL Configured Grants,
- zarządzania energią (UL Power Control) dla kanałów PUSCH i PUCCH,
- wykrywania utraty i odzyskiwania synchronizacji UE w trybach single/multi-cell i CA.
- Obsługa mechanizmów network Functional Application Platform Interface (nFAPI), co najmniej: Dedicated messages, P5 Combined Messages, P5/P7 Transparent Messages, P5 SCTP Link Handling.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu NG Application Protocol:
  - znakowania IPv4 DSCP per 5QI dla QFI przy komunikacji UL,
  - 5GCN AMF Initiated Initial Context Setup dla sesji PDU,
  - Obsługi przełączania (handover), obejmująca co najmniej:
    - Inter-RAT Handover z możliwością podejmowania decyzji o przełączeniu Inter-RAT na podstawie wydarzenia B2,
    - Handover Preparation/Cancellation/Resource Allocation,
  - NG Reset / NG Reset Initiated by AMF,
  - NG Setup,
  - AMF Configuration Update,
  - Uplink/Downlink NAS Transport,
  - Flow Level QoS Parameters,
  - Paging,
  - Path Switch Request,
  - PDU Session: Resource Setup, Resource Setup Information, Resource Setup Response Information, Resource Modify, Resource Release,
  - Write-Replace Warning,
  - PWS Failure Indication (CU), PWS Cancel,
  - RAN Configuration Update,
  - obsługi zdarzenia SCTP Link Down,
  - SN Status Transfer,
  - UE: Context Release Request, Radio Capability Check, Radio Capability Information Indication, Context Release.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu Packet Data Convergence Protocol:
  - Data transfer: sequence numbering/reordering,
  - Integrity protection and verification,
  - User Plane Overload Control,

- PDCP Count Wraparound, Duplication for split bearers, Flow Control (w tym: lost packet report/retransmission), PDU Routing for Split Bearers,
- PDCP Entity Handling (Establishment, Re-establishment, Release),
- PDU z 12 i 18 bitowym PDCP SN,
- Timber-based SDU discard w trybach SA i NSA,
- obsługa nieaktywności UE: MeNB-triggered Inactivity Notification, SgNB-triggered direct release,
- priorytetyzacja ruchu: obsługa VLAN na interfejsie NG-U (przy wykorzystaniu DPDK), obsługa DSCP na interfejsach NG-U, F1-U, XnU, X2-U, S1U w trybach SA i NSA (bez i przy wykorzystaniu DPDK).
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji elementu Radio Resource Control:
  - DL/UL Information Transfer
  - Initial Security Activation (Command/Complete/Failure)
  - konfiguracji i obsługi raportowania, co najmniej dla zdarzeń A1, A2, A3, A4, A5, B1, B2,
  - Paging,
  - Blind Redirection to LTE,
  - RRC Connection Establishment (Setup, Setup Complete, Setup Request – including emergency call, Reject – w przypadku przekroczenia dozwolonej liczby UE, Capability Query, Capability Information)/Re-establishment, Connection Resume, Reconfiguration
  - RRC States: Connected, Inactive, Idle
  - ochrona integralności i poufności, co najmniej: NIA0, NIA1, NIA2, NIA3, NEA0, NEA1, NEA2, NEA3 oraz funkcja Security Algorithm Negotiation,
  - konfigurowalnych parametrów SRB1 i SRB2,
  - obsługi: SIB1, SIB2, SIB3, SIB4, SIB5, SIB6, SIB7, SIB8.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu X2AP:
  - E-UTRA-NR Dual Connectivity:
    - Setup Request/Response/Failure
    - Configuration Update/Update Ack/Update Failure
    - Configuration Transfer dla en-gNB X2 Transport Network Layer address discovery w trybie NSA,
  - E-UTRA-NR Cell Resource Coordination,
  - MeNB Initiated SgNB Modification Preparation,
  - NSA EUTRA QoS Enforcement for Non-GBR Bearers: UE AMBR, MBR, GBR
  - Reset and EN-DC Partial Reset (MeNB/SgNB initiated)
  - RRC Transfer (SN Initiated NSA Mobility for PSCell Change)
  - Secondary RAT Data Usage Report,
  - obsługi co najmniej następujących mechanizmów bezpieczeństwa dla Opcji 3a i 3x: NIA0, NIA1, NIA2, NIA3, NEA0, NEA1, NEA2, NEA3,
  - SgNB Activity Notification/Preparation (Request, Request Ack, Reject),
  - SgNB Initiated SgNB Modification (SgNB Modification Required/Confirm/Refuse),
  - SgNB Reconfiguration Completion,
  - MeNB and SgNB Initiated SgNB Release,
  - SN Status Transfer,
  - UE Context Modification/Release.
- Obsługa co najmniej następujących procedur i funkcji protokołu XnAP:
  - Xn Setup,
  - Xn Neighbor Addition/Modification/Deletion (through OAM),
  - Automatic Neighbor Relation (ANR),
  - Handover Preparation/Cancel,
  - NG-RAN Node Configuration Update,



**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita  
Polska**

**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



- Physical Cell ID (PCI) z obsługą wydarzeń: PCI confusion/collision/reselection/change through F1 interface,
- obsługi wydarzenia SCTP Link Down,
- SN Status Transfer,
- UE Context Release.

Elementy funkcjonalne muszą być w stanie wykorzystać karty akceleracji sprzętowej, wyspecyfikowane w ramach platformy sprzętowej urządzenia. Jednocześnie elementy funkcjonalne muszą być w stanie działać bez powyższych kart akceleracji sprzętowej.

Urządzenie musi być możliwe do wykorzystania w celach demonstracyjnych oraz dla potrzeb działalności badawczo-rozwojowej, w tym świadczenia usług badawczo-rozwojowych podmiotom zewnętrznym.

Każdy z elementów DU musi być w stanie obsługiwać co najmniej 3 głowice radiowe (Remote Radio Head – RRH), stanowiące część platformy fizycznej.

Element CU musi być w stanie obsługiwać:

- co najmniej 3 RRH podłączone za pośrednictwem elementów DU,
- nieograniczoną licencją liczbę elementów DU.

**Platforma sprzętowa** musi składać się, co najmniej, z następujących elementów:

- Serwera wyposażonego w:
  - co najmniej 2 procesory o przeznaczeniu do wykorzystania w urządzeniach serwerowych oferujące co najmniej 20 rdzeni fizycznych i 40 wątków każdy,
  - co najmniej 192 GB pamięci RAM,
  - co najmniej 480 GB pamięci dyskowej SSD,
  - 2 karty sprzętowej akceleracji obliczeń dedykowane do obsługi funkcji vRAN w sieciach 4G i 5G, spełniające co najmniej następujące wymagania techniczne:
    - przetwarzanie LDPC FEC dla sieci 5G: LDPC encoder/decoder, Code block CRC generation/checking, Rate matching/de-matching, HARQ buffer management
    - mechanizmy sprzętowej obsługi kolejek z funkcjami load balancer'a.
  - Co najmniej 2 karty sieciowe oferujące co najmniej 4 interfejsy 10GigabitEthernet, w postaci gniazd SFP(+) wyposażonych w odpowiedni moduł, każda.
  - kartę sieciową z co najmniej 4 interfejsami GigabitEthernet (RJ45).
  - kartę sprzętowej akceleracji funkcji kryptograficznych, spełniającą następujące wymagania techniczne:
    - obsługa SR-IOV z możliwością wykorzystania maksymalnie: co najmniej 48 funkcji wirtualnych i 3 funkcji fizycznych,
    - obsługa co najmniej następujących funkcji kryptograficznych: AES, 3DES/DES, RC4, KASUMI, ZUC, Snow 3G, MD5, SHA-1, SHA-2, SHA-3, HMAC, AES-XCBC, ES-GCM, AES-CCM, AES-XTS, DH, RSA key generation, encryption/decryption and digital signature generation/verification, DSA parameter generation and digital signature generation/verification; Elliptic Curve Cryptography: ECDSA, ECDHE, Curve25519,
    - obsługa co najmniej następujących mechanizmów bezpieczeństwa 5G: KASUMI, Snow 3G oraz ZUC w następujących trybach szyfrowania i uwierzytelniania: ZUC/128-EEA3 Cipher, ZUC/128-EIA3 Wireless MAC, SHA3-256,
    - wydajność AES128-CBC AES-XCBC: co najmniej 100 Gbps@4KB,
    - wydajność RSA2K Key Decrypts: co najmniej 100K Ops/s.

### **Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem**

*Projekt współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego*

- Elementu oferującego precyzyjny sygnał zegarowy na potrzeby pozostałych elementów urządzenia. Element musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standardem IEEE 1588-2008 (PTP) Grand Master,
  - zgodność ze standardami G.8262 Synchronous Ethernet, ITU-T G.8265.1 Frequency, ITU-T, G.8275.1 & G.8275.2 Time & Phase Profiles, ITU-T G.8272 and G.8273.2 (T-BC),
  - zgodność ze standardem IEEE PC37.238 Power profile,
  - zdalne zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów CLI, HTTP i SNMP,
  - co najmniej dwa interfejsy sieciowe zapewniające synchronizację wyposażone złącza RJ45 i SFP każdy,
  - złącze systemu GPS i odpowiednia z antena zewnętrzna.
- Przełącznika lub routera sieciowego, spełniającego co najmniej następujące wymagania techniczne:
  - dostępne co najmniej 8 interfejsów GigabitEthernet (copper) i co najmniej 4 interfejsy GigabitEthernet (combo),
  - obsługa co najmniej następujących mechanizmów synchronizacji czasu: BITS/1pps/10MHz, 1588v2 BC, 1588v2 over IP, 1588v2 over Ethernet, Synchronous Ethernet, Hybrid Mode, Embedded GM,
  - obsługa co najmniej następujących standardów i mechanizmów L2: IEEE 802.3, IEEE 802.1q, IEEE 802.1ad (Q-in-Q), RSTP, VSTP, MSTP, LACP, LLDP, operacje swap/pop/push na znacznikach VLAN,
  - obsługa co najmniej następujących standardów i mechanizmów L3: IPv4, IPv6, ECMP, OSPF, IS-IS, BGP,
  - obsługa co najmniej następujących mechanizmów MPLS: RSVP, LDP, PCEP, RSVP-TE, BGP-LU, LDP-RSVP, RSVP FRR,
  - zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów: CLI, NETCONF, YANG, NMP v2 i v3.
- Serwera wyposażonego w:
  - co najmniej 1 procesor o przeznaczeniu do wykorzystania w urządzeniach serwerowych, oferujący co najmniej 24 rdzenie fizyczne i 48 wątków,
  - co najmniej 128 GB pamięci RAM,
  - co najmniej 480 GB pamięci dyskowej SSD,
  - co najmniej 1 kartę sieciową oferującą co najmniej 4 interfejsy 10GigabitEthernet, w postaci gniazd SFP(+) wyposażonych w odpowiedni moduł, każda. Zastosowane moduły powinny pozwolić na światłowodowe połączenie z drugim z serwerów (opisanym powyżej) stanowiących część platformy sprzętowej,
  - kartę sieciową z co najmniej 4 interfejsami GigabitEthernet (RJ45).

Urządzenie musi ponadto być wyposażone w elementy pozwalające na komunikację radiową, spełniające następujące wymagania techniczne:

- 1 element nadawczo-odbiorczy sygnałów radiowych, zintegrowany z pozostałymi elementami platformy sprzętowej i współpracujący z elementami funkcjonalnymi urządzenia w sposób pozwalający im na realizację pełnej funkcjonalności. Powyższy element nadawczo-odbiorczy musi spełniać następujące wymagania techniczne:
  - zgodność ze standaryzacją 3GPP 5G NR Rel 15 i O-RAN WG4 split 7.2,
  - praca co najmniej w trybie TDD,
  - możliwość pracy na częstotliwości w paśmie 3800-4200 GHz,
  - obsługiwana szerokość pasma:
    - oBW: min. 100 MHz,
  - obsługa trybu MIMO co najmniej 4T4R
  - interfejs sieci fronthaul zgodny ze standaryzacją O-RAN WG4 10 Gbps



- wymiary nieprzekraczające 50 cm x 50 cm x 20 cm,
- waga nieprzekraczająca 20 kg,
- dostosowanie do pracy w warunkach zewnętrznych.

Platforma sprzętowa musi stanowić zintegrowaną całość, złożoną ze skonfigurowanych elementów zdolnych do obsługi elementów funkcjonalnych urządzenia. Elementy urządzenia transmisji danych muszą być połączone odpowiednim okablowaniem (światłowodowym lub miedzianym w zależności od wymagań elementów platformy sprzętowej urządzenia).

Urządzenie musi być objęte co najmniej roczną opieką serwisową, obejmującą aktualizacje wszystkich elementów funkcjonalnych urządzenia, co najmniej 100 godzin wsparcia technicznego na rok opieki serwisowej oraz co najmniej 3 dni szkolenia (dopuszczalne jest szkolenie w trybie zdalnym). Szkolenie i wsparcie musi obejmować tematykę integracji urządzenia z rdzeniem sieci 5G zewnętrznych producentów.

Urządzenie musi zostać zintegrowane z przykładową aplikacją działającą na platformie Near-RT RIC przy użyciu interfejsu E2AP.

Urządzenie musi być objęte co najmniej roczną gwarancją.

## 5. Programator USIM z kartami USIM

Urządzenie pozwalające na programowanie kart USIM w sposób umożliwiający ich wykorzystanie w urządzeniu wyspecyfikowanym jako „**Klienckie urządzenie transmisji danych 5G UE**” w celu zapewnienia jego współpracy z urządzeniem wyspecyfikowanym jako „**Urządzenie transmisji danych cyfrowych typu 5G OpenRAN typu D z osprzętem**”.

Urządzenie musi być wyposażone w oprogramowanie umożliwiające jego obsługę, możliwe do uruchomienia w systemie operacyjnym Windows lub Linux.

Urządzenie musi być wyposażone w zestaw co najmniej 20 kart USIM możliwych do wykorzystania w urządzeniu wyspecyfikowanym jako „**Klienckie urządzenie transmisji danych 5G UE**” w celu zapewnienia jego współpracy z urządzeniem wyspecyfikowanym jako „**Urządzenie transmisji danych cyfrowych typu 5G OpenRAN typu D z osprzętem**”.

Zarówno programator jak i karty USIM muszą obsługiwać algorytmy Milenage.

Urządzenie i karty muszą być fabrycznie nowe.



**Fundusze Europejskie**  
Inteligentny Rozwój



**Rzeczpospolita  
Polska**

**Unia Europejska**  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego



## 6. Klientkie urządzenie transmisji danych 5G UE

Urządzenie transmisji danych zdolne do pracy w sieci 5G oraz umożliwiające prowadzenie rozmów głosowych i wideo oraz przesyłanie wiadomości tekstowych i multimedialnych. Urządzenie musi działać pod kontrolą systemu operacyjnego wykorzystującego jądro systemu Linux i pozwalać na instalację dodatkowego oprogramowania przez użytkownika.

Urządzenie musi być zdolne do współpracy z urządzeniami wyspecyfikowanymi jako „**Urządzenie transmisji danych cyfrowych typu 5G OpenRAN typu D z osprzętem**”. Urządzenie klienckie musi być w stanie wykorzystać oferowane przez powyższe urządzenia usługi wysokiego poziomu, co najmniej: Voice call, Video call, SMS.

Urządzenie musi ponadto spełniać następujące wymagania techniczne:

- Praca trybie 5G SA i NSA.
- Procesor, co najmniej 8 rdzeniowy.
- Pamięć RAM: nie mniejsza niż 12 GB.
- Pamięć flash: nie mniejsza niż 256 GB.
- Dotykowy wyświetlacz o:
  - przekątnej co najmniej 6.6”,
- Obsługa co najmniej następujących, dodatkowych technik komunikacyjnych:
  - WLAN: Wi-Fi 802.11 a / b / g / n / ac / ax,
  - Bluetooth: 5.2
  - NFC.
- Wbudowany odbiornik systemu GNSS obsługujący co najmniej: GPS, Galileo, GLONASS.
- Wielkość nieprzekraczająca: 17 cm x 8 cm x 1 cm.
- Waga nieprzekraczająca 250 g.

## **7. Urządzenie synchronizacji czasu**

Urządzenie oferujące precyzyjny sygnał zegarowy, możliwe do zastosowania jako część urządzenia wyspecyfikowanego jako „Urządzenie transmisji danych cyfrowych typu 5G OpenRAN typu B z osprzętem”. Urządzenie musi spełniać następujące wymagania techniczne:

- zgodność ze standardem IEEE 1588-2008 (PTP) Grand Master,
- zgodność ze standardami G.8262 Synchronous Ethernet, ITU-T G.8265.1 Frequency, ITU-T, G.8275.1 & G.8275.2 Time & Phase Profiles, ITU-T G.8272 and G.8273.2 (T-BC),
- zgodność ze standardem IEEE PC37.238 Power profile,
- zdalne zarządzanie z użyciem co najmniej protokołów CLI, HTTP i SNMP,
- co najmniej dwa interfejsy sieciowe zapewniające synchronizację wyposażone złącza RJ45 i SFP każdy,
- złącze systemu GPS i odpowiednia antena zewnętrzna,
- urządzenie musi być fabrycznie nowe.