

FEMTOCELIŲ NAUDOJIMO PROBLEMATIKA  
MOBILIOJO RYŠIO TINKLUOSE

Karolis Žvinys

Vilniaus Gedimino technikos universitetas  
El. paštas Karolis.Zvinys@vgtu.lt

**Santrauka.** Darbe nagrinėjami femtocelių naudojimo, jungiant jas į bendrą makrotinklo infrastruktūrą, klausimai. Analizuojami kylantys sunkumai ir jų sprendimo variantai. Išskiriamos dvi: vartotojų bei operatorių – šakos, kuriose analizuojama femtocelių teikiama nauda. Lengvas diegimas, tinklo talpumo didinimas, naujų femtozonų atsiradimas. Visa tai femtoceles daro patrauklias šiandieniam naudojimui tinkluose. Vartotojo požiūriu užtikrinama balso skambučių kokybė, didelis duomenų pralaidumas. Be to, operatorius turi galimybę plėsti tinklą daug mažesnėmis sąnaudomis. Neplanuoto diegimo principai, mobilumas, skirtingo tipo vartotojų grupės gali sukelti didelių sunkumų vartotojui naudojantis femtocele, o operatoriui užtikrinti tinkamą jų funkcionavimą. Atlikta femtocelių savybių analizė rodo, kad operatoriaus požiūriu didžioji dalis HNB savybių yra teigiamos. Iš kliento pozicijos pasireiškiantys trūkumai šalinami sunkiai. Teigiamų ir neigiamų savybių pasiskirstymas operatoriaus ir kliento šakoms pateikiamas HNB modeliu.

**Reikšminiai žodžiai:** femtocelė, HNB, UMTS, LTE, interferencija, CSG.

**Įvadas**

Kasmet didėjantys mobiliisiais tinklais perduodamų duomenų srautai, augantys klientų lūkesčiai, tobulėjančios aplikacijos daro įtaką naujų mobiliojo ryšio kokybės bei tinklo prieinamumo užtikrinimo sprendimų poreikiui. Egzistuojantis makrotinklas dažnai yra per brangus ir ne visuomet efektyvus dėl pastatų slopinimo. Pažymėtina, kad apie 50 % balsinių skambučių ir 70 % duomenų srauto generuojama būtent pastatų viduje. Remiantis ilgamete duomenų perdavimo tinklais prognozės informacija (Traffic and Market report 2012) akivaizdu, kad patikimo ryšio ir paslaugų garantavimas patalpose neišvengiamas. Šiam tikslui pasiekti gali būti naudojamos mažos galios bazinės stotys – femtocelės. Tačiau femtocelių teikiama nauda ir keliami rūpesčiai operatoriaus ir kliento požiūriu yra dviprasmiški. Pagrindinis šios analizės tikslas, nagrinėjant femtocelių koncepciją, – pateikti FBS (angl. *Femto Base Station*) poziciją kliento ir operatoriaus požiūriu atspindintį modelį ir detalizuoti su FBS naudojimu susijusius pranašumus ir trūkumus.

**Heterogeniniai tinklai**

Korinio ryšio tinklai praktiškai yra pasiekę savo galimybių ribas, tačiau perduodamų duomenų kiekis nuolat auga. Operatoriai ir gamintojai ieško naujų efektyvaus spektro išnaudojimo variantų. Deja, kanalo kodavimas, kognityvinis perdavimas, MIMO irgi artėja prie savo teorinių gali-

mybių ribų. Neturėdami kitų variantų operatoriai priversti persvarstyti esamų tinklų topologijas, kurios žengia heterogeninių tinklų kryptimi.

Heterogeniniai tinklai sudaryti iš makrotinklo stočių, kurios spinduliuoja didelę galią, ir daugybės mažos galios įrenginių, kurių paskirtis – užtikrinti ryšio padengimą patalpose ir išplėsti tinklo talpumą. Šių įrenginių grupei priklauso piko- ir femtocelės.

Femtocelė, arba kitaip HNB (angl. *Home NodeB*) – tai kompaktiška, nebrangi mažos galios bazinė stotis, kuri teikia analogišką radijo prieigą kaip įprastas makrotinklas. Standartiškai FBS skirtos UMTS (angl. *Universal Mobile Telecommunications System*), LTE (angl. *Long Term Evolution*) technologijoms palaikyti, tačiau gali veikti ir su kitomis belaidėmis technologijomis. GSM (angl. *Global System for Mobile Communications*) atveju tokios celės vadinamos pikocelėmis, o pagrindinis jų ir femtocelių skirtumas – automatiškai nekonfigūruojami parametrai. Pikocelės diegiamos paties operatoriaus (Elleithy, Rao 2011).

**HNB koncepcija**

HNB – paprastas, nepriklausomas, savarankiškai vartotojo įmonės ar gyvenamosiose patalpose „plug and play“ principu diegiamas įrenginys. Pagrindinis reikalavimas – egzistuojanti tranzitinio IP tinklo prieiga FBS įrengimo vietoje. Svarbu tai, kad toks femtocelių diegimo modelis

yra visiškai nepanašus į standartinio tinklo planavimo principus. Tokiai sistemai keliami tam tikri reikalavimai:

1) naujų HNB atsiradimas turi nedaryti jokios įtakos esamai tinklo infrastruktūrai;

2) femtocelių sujungimas su CN (angl. *Core Network*) naudojant interneto liniją turi būti saugus;

3) HNB turi būti konfigūruojamos nuotoliniu būdu.

Jungiant prie interneto HNB per Iu-h sąsają yra sujungiama su HNB-Gw (angl. *Gateway*), kuris funkcionuoja kaip RNC (angl. *Radio Network Controller*) ir sukonzentruoja visų HNB prisijungimus pagrindiniam tinklui per Iu sąsają. Saugus sujungimas tarp HNB ir HNB-Gw sudaromas per saugumo vartus (angl. *Security Gateway*) naudojant IPSec (angl. *Internet Protocol Security*) protokolą. Vartotojo patalpose įdiegta HNB vykdo standartines NodeB ir RNC funkcijas, o su UE (angl. *User Equipment*) bendrauja įprastine Uu sąsaja (Chen *et al.* 2010). Vartotojui diegiant FBS pakanka prijungti maitinimą ir interneto kabelį, o tolesnis konfigūravimosi procesas vyksta automatiškai jau paruošta infrastruktūra. Femtocelės įjungimo į tinklą architektūra pateikta 1 pav.

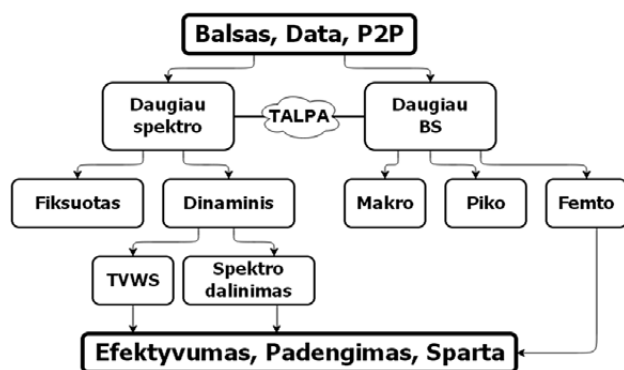


1 pav. Femtocelių architektūra

Fig. 1. Femtocell architecture

Visgi naujų HNB atsiradimas sukelia tam tikrų iššūkių, nes HNB yra diegiamos eilinių vartotojų, neturinčių supratimo apie mobiliuosius tinklus. Femtocelės instaliuojamos nepaisant jokių planavimo principų, jų prieinamumas yra apribotas. Be to, ne visi UE supranta HNB. Įrengiant femtocelę susiduriama su mobilumo valdymo klausimais: femtocelė turi būti lengvai aptinkama, perjungimai (angl. *Handover*) tarp femto-/makro- neturi trikdyti paslaugų. Sąsajai su CN naudojamas tranzitinis interneto tinklas yra riboto saugumo ir negarantuoja QoS (angl. *Quality of Service*), todėl dėl laiko vėlinimų, paketų praradimų gali nukentėti realiojo laiko paslaugos. Taip pat UL (angl. *Uplink*) juosta dažnai yra riboto pralaidumo.

Nepaisant šių sunkumų, femtocelės naudingos operatoriui ir vartotojui. Operatoriaus požiūriu, padidėja tinklo talpa, aprėptis, sumažėja makrotinklo apkrova. Sumažinamos išlaidos makrotinklo plėtrai, radijo relinėms linijoms. Vartotojo požiūriu, pagerėja balso ir duomenų perdavimo paslaugų lygis patalpose. Prieinamos tampa femto-



2 pav. Femtozonų paslaugų užtikrinimo modelis

Fig. 2. Model of femtocell services

zonų paslaugos, žemesni uždaru zonų tarifai. Prailginamas UE baterijų budėjimo laikas, sumažinama makrotinklo, UE spinduliavimo galia (Femtocells 2011).

Minėtų balso ir duomenų perdavimo paslaugų kokybę patalpose pavyksta užtikrinti kombinuojant lengvą FBS instaliavimą su gana laisvu spektrinių išteklių naudojimu. Tokią logiką atitinkantis modelis pavaizduotas 2 pav.

Femtobazinės stotys leidžia užtikrinti ryšį patalpų viduje, efektyviai išnaudoja spektrinius išteklius. Femtozonų vartotojų grupės įgauna galimybę pasiekti didelę pralaidumo spartą naudojantis duomenų perdavimo, P2P ar kitomis multimedijos paslaugomis.

## Prieigos kontrolė

Kuriant femtozonas, prieigos taškai gali būti sukonfigūruoti skirtingais metodais: atvirąja, uždara arba hibridine prieiga. Atvirosios prieigos atveju prie femtocelės gali jungtis vartotojas iš bet kokio PLMN (angl. *Public Land Mobile Network*), tarp kurių sudarytos tarptinklinio sujungimo sutartys. Hibridinės prieigos atveju HNB paslaugomis gali naudotis CSG (angl. *Closed Subscriber Group*) ir kitų PLMN vartotojai, nepriklausantys sukurtai CSG, pagal tarptinklines sutartis. Tačiau ne CSG vartotojų veikla celėje gali būti apribota, siekiant užtikrinti CSG vartotojų paslaugų kokybę. Esant uždarei prieigai HNB paslaugos prieinamos tik sukurtai CSG grupei. CSG kontroliuojamos iš operatoriaus pusės pridėdant naujas arba pašalinant jau egzistuojančias grupes. Kiekvienas vartotojas turi jam skirtą CSG sąrašą, kuris saugomas USIM (angl. *Universal Subscriber Identity Module*). Vos tik vartotojų grupė atnaujinama, tinklas praneša šią informaciją UE. Šioms grupėms valdyti reikia, kad kiekviena HNB turėtų unikalųjį numerį. Tik CN gavus informaciją apie celės dislokacijos vietą ir unikalųjį numerį leidžiama HNB pradėti funkcionuoti bei

aktyvuoti siųstuvą (3GPP TS 25.367). Femtocelės parametrai bei didesnių sunkumų gali būti keičiami iš operatoriaus pusės, o jei celė kenkia likusiai tinklo infrastruktūrai, jos veikimas gali būti apribotas.

### Interferencijų kontrolė

Pagrindinė nepageidautinos įtakos priežastis likusiai tinklo infrastruktūrai yra interferenciniai trukdžiai, kurie yra neplanuoto HNB celių diegimo su CSG prieigos galimybe pasekmė. Tokie interferenciniai triukšmai gali atsirasti tarp femto- ir makro-, makro- ir femto-, femto- ir femtolygmenų (Yavuz *et al.* 2009).

Pagal 3GPP (angl. *3rd Generation Partnership Project*) organizacijos specifikacijas pateikiami tik trys interferencijų valdymo scenarijai. Interferencijoms, sukeliama iš HNB aptarnaujamo UE (UL) tiesiogiai makrotinklo NodeB, valdyti yra atitinkamai reguliuojama HNB UE maksimali UL Tx galia. Ji valdoma remiantis iš UE surinktais matavimais, kurie renkami, kai UE yra prisijungęs prie HNB. Atitinkamai interferencijoms iš HNB (DL) pusės makrotinklo UE atžvilgiu valdyti nurodyti du scenarijai. Pirmu atveju neatpažintų UE bandymai prisijungti prie HNB nukreipiami į kitą nešlį. Antruoju atveju remiantis UL kanalu surinktų neatpažintų UE prisijungimų matavimais atitinkamai reguliuojama HNB DL CPICH (angl. *Common Pilot Channel*) Tx galia. Galia keičiama tik laikinai arba ilgalaikių matavimų (3GPP TS 25.467) pagrindu ilgam laikotarpiui. Taigi įvairių matavimų rinkimas iš UE leidžia kontroliuoti interferencijų lygius ir užtikrinti maksimalų femtocelės padengimą. Kitas būdas matavimams rinkti pagrįstas HNB DL imtuvo funkcijomis. Jos dažnai vadinamos NLM (angl. *Network Listen Mode*), REM (angl. *Radio Environment Measurements*) arba tiesiog *HNB Sniffer*. Atsižvelgiant į šį HNB funkcionalumą surinkti matavimai irgi gali būti taikomi femtocelės konfigūravimosi etape. Automatinio konfigūravimosi savybė itin palengvina HNB diegimą vartotojams, tačiau nustatant parametrus HNB turi sekėti DL siunčiamus radijo signalus iš kaimyninių makrocelių ir aplinkinių femto- ir makrocelių (Patel *et al.* 2010). Tokiu būdu dalijamasi informacija apie naujas HNB ir parenkami tinkami jų parametrai garantuojant padengimą ir minimalų poveikį makrotinklui. Eterio sekimas leidžia femtoceles priskirti SON (angl. *Self Organizing Networks*) tinklams (Andrews *et al.* 2010), kurie, remdamiesi eteryje surinkta informacija, renkami geriausios kokybės nešlį, reguliuoja spinduliuojamą galią. Organizuojant HNB galios valdymą jis gali būti paskirstytas arba centralizuotas. Pirmuoju atveju celė veikia nepriklausomai, o antruoju femtotinklo valdytojas gali paderinti celės galią.

### Dažniųjų išteklių priskyrimas

Dažniausiai realiuose tinkluose diegiant naują femtocele nustatomas atviras arba uždaras grupės prieigos modelis. Celei parenkamas galios valdymo modelis, priskiriamas atskiras tik HNB celėms skirtas nešlys arba naudojamas bendras dažnis (angl. *Co-channel*). Femtocelei priskiriant dažninius išteklius, skirta juosta gali iš dalies sutapti su makrotinklo dažniu. Taip pat nepriklausomai nuo to, kokiu būdu išskirta dažnių juosta, ji gali būti išskirstyta į pojuosčius, skirtus CSG ir ne CSG vartotojams. Skirti konkretų dažnį femtocelei yra neefektyvu ir brangu operatoriaus pozicijai. Statinis dažnių padalijimas tarp femto- ir makrolygmenų HSPA atveju nėra įmanomas sistemoje naudojant tik vieną nešlį. Lengviausias būdas dažninius išteklius padalyti tarp lygmenų, tačiau tai nebūtų efektyvu dėl skirtingos femto- ir makrocelių apkrovos. Galimas ir dinaminis dažniųjų išteklių paskirstymas, tačiau jis reikalauja pastovaus informacijos keitimosi apie dažninius išteklius tarp femto- ir makrotinklų. Ši paskirstymą apsunkina tranzitinio tinklo realiojo laiko išteklių valdymo ribotumas.

Visgi kitų išiečių nėra siekiant užtikrinti didelį duomenų pralaidumą, mažas interferencijas. Todėl reikia ieškoti sprendimų, kaip racionaliai valdyti dažninius išteklius. Galimas sprendimas susideda iš dviejų etapų: jutimo (angl. *Sensing*) ir nustatymo (angl. *Tuning*). Jutimo etape femtocelė renka matavimų informaciją. Remiantis surinktais duomenimis nustatymo etape priimamas sprendimas, kokį kanalą geriausiai naudoti siekiant sumažinti triukšmus. Perdavimo kanalą parinkti galima dviem būdais. Pirmuoju atveju visos femtocelės siuntinėja transliacinės žinutes su informacija apie naudojamą dažnį ir celės parametrus. Šiuo atveju vertinama naudojamo kanalo blogumo vertė. Kanalas su pačia mažiausia verte priskiriamas nustatymo etape. Priskyrimas vykdomas atsitiktiniu laiko momentu, siekiant išvengti kolizijos su kita HNB. Transliacinės žinutės gali būti pasiųstos ir IP tinklu. Antrasis būdas grįstas UE surinktais matavimais. UE prisijungus prie HNB priskiriamas atsitiktinis kanalas, o vėliau iš surinktos informacijos apie signalų lygius HNB generuoja triukšmų matricą. Remiantis šia matrica minimizuojami triukšmai celėje. Egzistuoja dar ir kiti kanalo priskyrimo būdai: priskiriamas pirmas laisvas, atsitiktinis priskyrimas iš įmanomų naudoti arba pati celė nusprendžia, kokį kanalą naudoti sekant eterį. Tyrimai rodo, kad geriausia remtis matavimais iš UE. Transliacinės žinutės yra geriau nei eterio sekimas, nes sekant fiksuojamas tik signalo lygis. Labiausiai paslaugų kokybę nukenčia priskiriant pirmą laisvą kanalą (Lopez-Perez *et al.* 2009).

Aptartas kanalo parinkimo būdas yra gana efektyvus, bet rasti kanalą su mažiausiais triukšmais yra gana sunku.

## TVWS ir femtocelės

Platesnės kanalo parinkimo galimybės atsiranda iš naujo naudojant esamą spektrą arba didinant galimą naudoti dažnių juostą. Naujų dažninių išteklių paiešką skatina ir plačiajuostės technologijos: WiMAX, UMB (angl. *Ultra Mobile Broadband*), LTE. Egzistuoja trys galimi papildomo spektro šaltiniai: paties operatoriaus spektro baltosios dėmės, spektro dalijimasis tarp operatorių ir spektras iš kitų pagalbinių priemonių (saugumas, TV). Pirmuoju atveju femtocelėse naudojamas spektras, kuris priklauso pačiam operatoriui, tačiau šiuo metu nėra naudojamas tam tikrame regione. Toks licencijuotas spektras vadinamas baltosiomis dėmėmis. Spektrą dalijantis operatoriams, HNB naudoja kanalą, priklausantį bet kuriam iš operatorių tame regione. Paskutiniu atveju naudojamas licencijuotas kitų paslaugų spektras, kuris šiuo metu taip pat nenaudojamas.

Paties operatoriaus savo išteklių kartotinis naudojimas labiau būdingas GSM technologijai, kai tie patys dažniai naudojami tam tikru atstumu. Dalijimasis dažniniais ištekliais tarp operatorių yra naudingas, tačiau susitarimo reikalingas dalykas. Taip yra todėl, kad nenorima skolinti savo dažnių dėl esamos konkurencijos. Geriausias tarp operatorių pasidalijamų dažnių variantas yra tuomet, kai kiekvienas operatorius iš savo spektro skiria tam tikrą dažnių juostą, naudojamą femtocelėse. Tada femtocelės kanalo pasirinkimas yra kur kas platesnis. JAV išdalytus dažninius išteklius visiems operatoriams leidžiama naudoti bendrai su sąlyga, kad jie naudojami mažos galios įrenginiuose (pvz., HNB). Dar labiau išplėsti galimo naudoti spektro išteklius leidžia kitų licencijuotų technologijų baltosios dėmės. Dažniausiai šiam tikslui įmanomos naudoti TV baltosios dėmės.

Šiems dažniniams ištekliams paskirstyti naudojamas MOSS (angl. *Multi Operator Spectrum Server*), kuris kaupia informaciją iš prijungtų HNB ir žino apie operatorių paskirtus kanalus. Naudojant mazgą spektro ištekliai gali būti lanksčiai kontroliuojami, bet galutinį sprendimą, kokį kanalą naudoti, daro HNB. Šiam tikslui celėje integruotas SUDU (angl. *Spectrum Usage Decision Unit*), kuris vertina MOSS, HNB ir savo surinktą informaciją bei parenka geriausią galimą naudoti kanalą (Buddhikot *et al.* 2009).

Platesnės baltųjų TV dėmių spektro naudojimo galimybės atsiveria išjungiant analoginės televizijos transliavimą. Šis procesas dalyje valstybių jau baigtas, o daugelyje pasibaigė 2012 m. TVWS (angl. *TV White Space*) ištekliai galės būti išnaudoti UMTS, LTE, WiFi, WiMAX, DVB-H, saugumo tarnybų poreikiams. Atlaisvinus šį antžeminės televizijos spektrą naujas dažninių išteklių pasiskirstymas iš esmės pakeis spektro pasidalijimo žemėlapi. Ypač tai įtakos turi LTE technologijai, nes šioje dažnių srityje ji bus

plėtojama. Naudojant naujuosius TVWS išteklius ir taikant kognityvinio radijo savybes, interferenciniai trukdžiai bus minimizuoti ir su DVB-T. Šių procesų metodologijos sudarymu ir TVWS įrangos sertifikavimu rūpinasi COGEU.

Kalbant apie TVWS išteklių naudojimą standartinėje įrangoje, FCC (angl. *Federal Communications Commission*) išskiria dvi grupes: fiksuota ir mobilioji įranga. Šioms grupėms paskirstyti laisvi VHF (angl. *Very High Frequency*) ir UHF (angl. *Ultra High Frequency*) dažninių juostų TVWS kanalai. Fiksuota įranga naudojama lauke su išorinėmis antenomis. Maksimali leidžiamoji galia – 30 dBm, su galimybe anteną stiprinti 6 dBi. Galia valdyti naudojant gretutinius kanalus su TV neleidžiama. Naudojant mobiliąją įrangą didžiausia leidžiamoji galia – 20 dBm, antena nestiprinama. Ši įranga naudojama valdant galią, kai naudojami gretutiniai TV kanalai. Išspinduliuojama galia atitinkamai mažinama iki 16 dBm. Kovai su interferencijomis abiejose sistemose naudojami geolokacijos duomenys ir spektro jutimo savybės (The Wireless Evolution 2011).

Taigi TVWS naudojant femtocelėse, nereikia detaliai kartotinai planuoti dažnių naudojimo. Dėl to galima atlaidžiau žiūrėti į galios valdymo mechanizmus. TVWS ir kognityvinių spektro jutimo savybių derinimas mažina interferencijų lygius. Bandymais įrodyta, kad naudojant TVWS FBS pasiekama didesnė duomenų perdavimo sparta.

## Technologiniai iššūkiai

Daugelis teiginių apie femtoceles daro jas gana patrauklias naudoti kasdieną. Prieinama kaina, užtikrintas padengimas, prailgintas UE baterijų budėjimo laikas, racionalus išteklių naudojimas, spartus duomenų perdavimas ir kiti pranašumai teikia daug perspektyvų.

Visgi realybė yra kitokia. HNB, turėdamos teigiamų savybių, sukuria ir tam tikrų techninių sunkumų:

1. Synchronizacija: būtina siekiant išvengti interferencijų ir užtikrinti perjungimus (HO). Galimi sprendimai synchronizacijai užtikrinti IEEE-1588 naudojimas arba GPS.
2. Išteklių paskirstymas: reikalinga papildoma įranga, kuri jungia keletą duomenų bazių.
3. Tranzitinis tinklas: būtina užtikrinti QoS, sunku išvengti riboto pralaidumo linijų, kontroliuoti vėlinimus. Didelių problemų kyla, kai tuo pačiu tranzitiniu tinklu naudojamas WiFi. Tuomet stipriai nukenčia ne tik duomenų perdavimo, bet ir balso paslaugos (Chandrasekham *et al.* 2008).
4. Interferencijų valdymas: būtinas spektro skenavimas ir galios valdymas.

5. Uždaros, atviros vartotojų grupės: suteikia saugumą, didesnę greitaveiką grupės nariams, tačiau ne grupės nariams tai silpno ryšio zonos ir trukdžių šaltiniai.
6. Perjungimai: makro- ir femto-, femto- ir makro-.
7. Mobilumas: femtocele gali būti perkelta iš vienos vietos į kitą. Dėl jų naudojimo licencijuotame dažnių ruože kyla problema – ar leisti HNB funkcionuoti kito operatoriaus spektre.
8. Pagalbos skambučiai: makrotinklo vartotojams privaloma leisti pasinaudoti femtocele atliekant pagalbos skambutį.
9. Tinklo infrastruktūra: reikalingas IMS/SIP tinklas, jungiantis operatorių ir HNB. Šiuo tinklu vartotojo duomenys keliauja sudėti į IP paketus, VoIP.

Akivaizdu, kad siūlant daugeliui kainos atžvilgiu prieinamą sprendimą, operatorius privalo susidoroti su daugybe kylančių technologinių iššūkių.

### **Femtocelelės charakteristikos: už ir prieš**

Nepaisant to, kad tenka įveikti daug sunkumų, HNB skverbiasi į šiuolaikinių heterogeninių tinklų infrastruktūrą. Suprantama, kad toks evoliucionavimas turi būti grįstas teigiamais dalykais. Atsinešdamos savus ir FBS, kartu yra lydimos ir tam tikrų netinkamų savybių. Todėl šiame skyriuje išskirsime, kuo femtocelelės naudingos ir kam bei kaip jos nusileidžia.

Pranašumai:

1. HNB diegimas daug greitesnis, nes makrocelelės pastatymas gali trukti metus.
2. Nukraunamas makrotinklas ir jo vartotojai pasiekia didesnę pralaidumą.
3. HNB pakanka 400 kartų mažesnės galios užtikrinti gerą signalo lygį (makro- 40W, HNB 10mW). Tai labai svarbu duomenų perdavimui, kurio sparta priklauso nuo C/I santykio.
4. Tyrimai rodo, kad 1 Mbps ir geresnę spartą makrocelelėje pasiekia apie 5 % vartotojų. Duomenis siunčiant per HNB, šis skaičius padidėja iki 95 %. Spartos skirtumas vartotojui – apie penkis kartus (Jarvinen 2009).
5. Skambučiai femto- ir femto- yra geresnio PESQ (2,95) įverčio dėl stipraus signalo lygio, nei makro- ir makro- (2,78).
6. Elektromagnetinis spinduliavimas telefono, prisijungusio prie HNB, yra daug mažesnis nei prisijungusio prie makrocelelės.

Trūkumai:

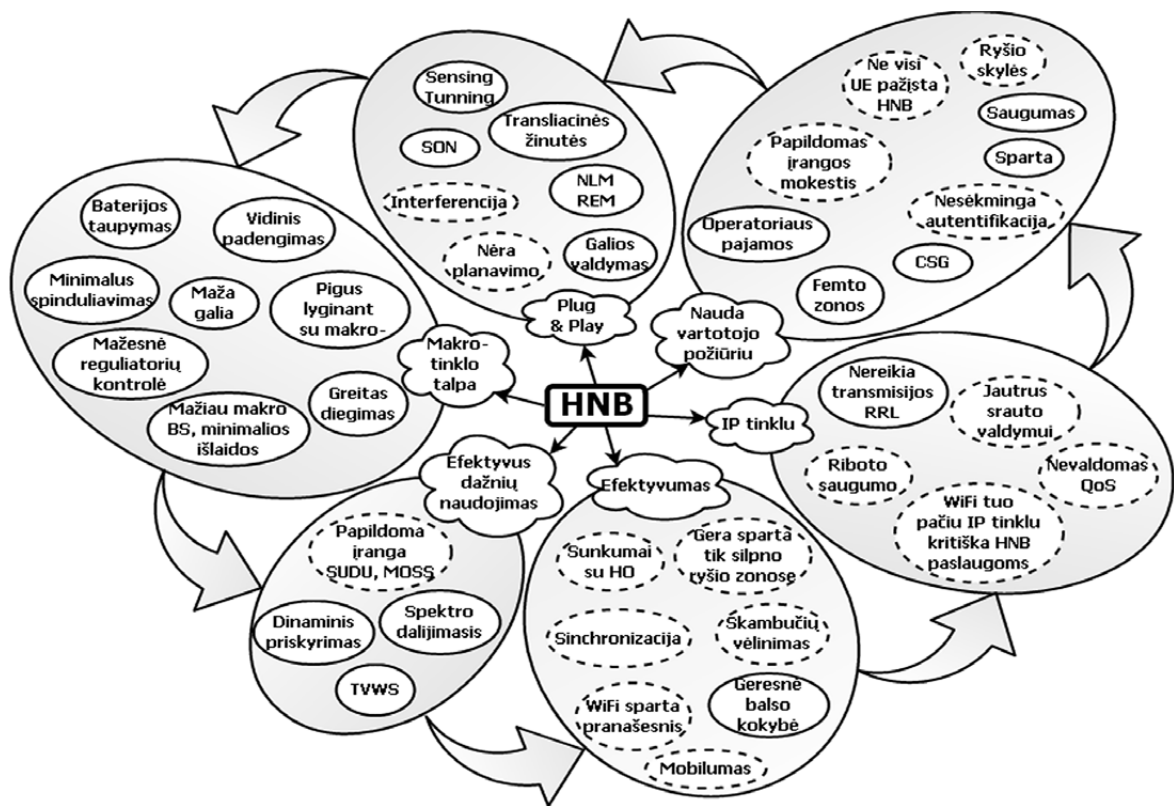
1. HNB kompleksiškesnė nei WiFi, nes perduoda duomenis ir balsą.

2. Skambučių femto- ir femto- vėlinimas yra 40 % didesnis, lyginant su makro- ir makro-. Dar didesnė problema – skambučiai femto- ir makro-, makro- ir femto-, kurių vėlinimų laikai yra skirtingi.
3. UE, sulaukęs autentifikacijos užklausų atmetimo iš uždarų HNB, gali nustoti kurį laiką registruotis prie tinklo. Tokiu būdu likdamas be mobiliojo ryšio.
4. Operatorius neturi jokios galimybės valdyti tranzitinio tinklo, kuris yra pagrindinė vėlinimų ir paketų praradimų, o kartu ir celės patikimumo priežastis.
5. Pikinėmis ISP tinklo apkrovimo akimirkomis labai sumažėja pralaidumas, o skambučių metu girdimas aidas ir jaučiamos pauzės.
6. ISP naudojamas srauto formavimas P2P, VPN sujungimams yra labai žalingas HNB. Jis pasireiškia pikomomentais, kai HNB naudojimo aktyvumas taip pat didžiausias. Šiais laiko momentais HNB efektyvumas kelis kartus prastesnis už NodeB.
7. Padidėjo numestų skambučių tikimybė, kuri intensyviausiai pasireiškia HO iš makro- į femto- metu.
8. AT&T atlikti testai rodo, kad HNB duomenų perdavimo spartą pagerina blogomis ryšio sąlygomis, o geromis ryšio sąlygomis šis parametras suprastėja apie keturis kartus, lyginant su makrotinklu.
9. HNB naudojanti net HSDPA+ nesugeba prilygti WiFi technologija pasiekiamai spartai.

Visi aptarti aspektai nusako teigiamas ir neigiamas technines savybes. Tačiau žiūrint iš vartotojo pozicijos reikėtų nepamiršti ir ekonominio klausimo. Rinkose, kuriose HNB paplitimas ir pasiūla yra didesni, matoma, kad HNB kol kas išlieka gana brangus sprendimas. Taip yra todėl, kad vartotojas, mokėdamas už paslaugas, papildomai priverstas mokėti ir mėnesinį HNB įrangos mokestį. Šis mokestis galutinės sąskaitos už paslaugas sumą padidina 20–40 %. Tam, kad vartotojai nesijaustų visiškai nuskriausti, taikomi neapmokestinami skambučiai, nemokamas duomenų srautas neišeinant už HNB ribų.

Sudėlioti teigiami ir neigiami bruožai, išanalizuota HNB koncepcija, aptartos technologinės savybės ir kiti ypatumai leidžia sukurti HNB įvairiapusiškumą atspindintį modelį, pateiktą 3 pav.

Pateiktas modelis charakterizuoja šešias esmines su HNB koncepcija susijusias šakas. Šios šakos nusako pagrindines femtocelelių savybes ir charakteristikas, pradedant nuo instaliavimo, tranzitinio tinklo savybių, įtakos makrotinklui klausimų, dažninių išteklių naudojimo ir baigiant efektyvumo bei naudos vartotojui įvertinimo. Atskirai kiekviena šaka skyla į du pogrupius, kurie nurodo tai šakai aktualių klausimų rinkinį. Išties linija žymimas pogrupis nurodo



3 pav. HNB modelis

Fig. 3. HNB model

tai šakai būdingas teigiamas savybes, štrichine – neigiamas. Neretai teigiamos savybės yra paveiktos tam tikrų neigiamų. Pvz., neplanuotas instaliavimas gali sukelti daug pašalinių triukšmų, todėl HNB priversta nuolat skenuoti spektrą ir reguliuoti spinduliuojamą galią.

Remiantis pateiktu modeliu akivaizdu, kad HNB turi ir teigiamų, ir neigiamų savybių. Didžiausią teigiamą įtaką HNB sudaro makrotinklo atžvilgiu. Ši teigiama įtaka pasižymi tuo, kad HNB yra pigus, greitai įgyvendinamas sprendimas. Be to, leidžia užtikrinti patikimą vidinį padengimą, dėl kurio taupoma baterijų energija, mažinama spinduliuojama galia. Itin svarbu tai, kad dėl mažos galios įrenginių operatoriui daug lengviau susitarti su ryšių reguliavimo tarnybomis. Tačiau vienareikšmiškai teigti, kad įtaka yra tik teigiama, negalima. Taip yra todėl, kad visos šakos tarpusavyje yra susijusios. Plėsdami HNB tinklą padidiname makrotinklo talpumą, tačiau susiduriame su perjungimo problemomis. Dar blogiau, vartotojus galime palikti apskritai be ryšio. Įvertinus pateiktą modelį matyti, kad daugiausia neigiamų savybių turi tranzitinio tinklo ir efektyvumo šakos. Tai paveikta sunkiai prognozuojamų QoS parametrų ISP tinkle ir HNB naudojimo licencijuotame dažnių ruože. Daugelis neigiamų savybių jau yra puikiai sprendžiamos arba ieškoma tam tinkamiausių

būdų. Tobulėjant technologijoms ir bėgant laikui nebeliks UE negalinčių atpažinti HNB. Pagrindine problema išlieka QoS užtikrinimas, kuris iš esmės įmanomas sudarant sutartis su ISP. Tačiau ar tai naudinga, kai šiandieniuose telefonuose yra integruoti WiFi lustai? Papildomai integravus VPN lustus, atsiranda VoIP skambučių galimybė WiFi tinklu – VoFi. Dėl šio sprendimo WiFi zonose skambučius galime atlikti šiuo tinklu, o lauke – korinio ryšio tinklu. Kainos atžvilgiu tai bene dešimt kartų pigiau nei nauja HNB. Visgi kartu naudojami balsas ir duomenys labai kenkia pokalbio kokybei. Be to, svarbu užtikrinti saugumą. Taip pat HNB kol kas nesusugeba prilygti ir pralaidumo atžvilgiu WiFi technologijai, nors nemenkas varžovas yra LTE.

Taigi HNB pasirinkimas turi būti gerai įvertintas atsižvelgiant į visas straipsnyje aptartas detales, nes kitu atveju jis gali būti neefektyvus, o kartais net žalingas. Dažnai sukurdami femtozoną galime priversti UE registruotis prie HNB, tačiau paslaugų kokybės atžvilgiu jos gali būti daug prastesnės nei gaunamos iš makrotinklo. Tik visa tai įvertinus HNB pasiteisins kaip efektyvus sprendimas. Kitu atveju neverta varžytis su WiFi duomenų pralaidumo klausimais, o vidinis ryšio padengimas gali būti užtikrintas naudojant pikocele, kuri valdoma operatoriaus.

## Išvados

1. Naudojant HNB sunkiausia užtikrinti kokybę tranzitiniame tinkle, o radijo tinklas, paremtas SON logika, didesnių keblumų nekelia.
  2. Mažos galios įrenginių naudojimas mobilijam ryšiui užtikrinti labai palengvina interferencijų valdymą tinkle.
  3. Operatoriaus požiūriu HNB topologija užtikrina makrotinklo talpą, platesnę aprėpties zoną, optimalų išteklių valdymą, mažas tinklo plėtros sąnaudas.
  4. Mažas interneto linijos pralaidumas blogina HNB vartotojo gaunamą paslaugų kokybę.
  5. FBS leidžia turėti privatų balso ir duomenų perdavimo paslaugų sprendimą, nepriklausantį nuo makrotinklo sutrikimų.
- Tyrimai vykdyti remiant Lietuvos mokslo tarybai. Sutarties Nr. COST-1/2012.

## Literatūra

- Andrews, G. J., et al. 2010. *Femtocells: Past, Present and Future* [interaktyvus]. USA Texas: University of Texas [žiūrėta 2012 09 10]. Prieiga per internetą: [http://users.ece.utexas.edu/~jandrews/pubs/JSAC\\_FemtoSurvey.pdf](http://users.ece.utexas.edu/~jandrews/pubs/JSAC_FemtoSurvey.pdf)
- Buddhikot, M. M., et al. 2009. Ultra-broadband femtocells via opportunistic reuse of multi-operator and multi-service spectrum [interaktyvus], *Bell Labs Technical Journal* [žiūrėta 2012 11 05]. Prieiga per internetą: [http://www.belllabs.com/user/mbuddhikot/psdocs/cogfemto/BLTJ134\\_08\\_129-144-photoready.pdf](http://www.belllabs.com/user/mbuddhikot/psdocs/cogfemto/BLTJ134_08_129-144-photoready.pdf)
- Chandrasekham, V.; Andrews, G. J. 2008. Femtocell networks: a survey [interaktyvus], *IEEE Communications Magazine* [žiūrėta 2012 12 10]. Prieiga per internetą: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0803/0803.0952.pdf>
- Chen, J., et al. 2010. *Femtocells – Architecture and Network Aspects* [interaktyvus]. Qualcomm [žiūrėta 2012 10 14]. Prieiga per internetą: [http://www.qualcomm.com/media/documents/files/femtocells\\_architecture\\_network\\_aspects.pdf](http://www.qualcomm.com/media/documents/files/femtocells_architecture_network_aspects.pdf)
- COGEU. *COgnitive radio systems for efficient sharing of TV white spaces in EUropean context*. 2010 [žiūrėta 2012 10 14]. Prieiga per internetą: [http://www.ictcoge.eu/pdf/COGEU\\_D2\\_1%20\(ICT\\_248560\).pdf](http://www.ictcoge.eu/pdf/COGEU_D2_1%20(ICT_248560).pdf)
- Elleithy, K.; Rao, V. 2011. Femto cells: current status and future directions [interaktyvus], *International Journal of Next-Generation Networks*. USA, Bridgeport: University of Bridgeport [žiūrėta 2012 10 07]. Prieiga per internetą: <http://aircse.org/journal/ijngn/papers/3111ijngn01.pdf>
- Femtocells* 2011. Qualcomm, 29 p. [žiūrėta 2012 10 14]. Prieiga per internetą: <http://www.qualcomm.com/media/documents/files/femtocells-the-next-performance-leap.pdf>
- IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional. Area Networks. Enabling Rural Broadband Wireless Access Using Cognitive Radio Technology in TV Whitespaces Recipient of the IEEE SA Emerging Technology Award. TVWS Regulations and the IEEE 802.22 Standard.
- Jarvinen, M. 2009. *Femtocell Deployment in 3<sup>rd</sup> Generation Networks* [interaktyvus]. Master's thesis. Helsinki university of technologies [žiūrėta 2012 09 07]. Prieiga per internetą: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100014.pdf>
- Lopez-Perez, D., et al. 2009. *OFDMA femtocells: A self-organizing approach for frequency assignment* [interaktyvus]. UK Luton: University of Bedfordshire [žiūrėta 2012 10 19]. Prieiga per internetą: <http://www.cs.elte.hu/~alpar/publications/proc/2009PIMRCSelforganization.pdf>
- Patel, C., et al. 2010. *Femtocell and Beacon Transmit Power Self-Calibration* [interaktyvus]. Qualcomm [žiūrėta 2012 09 10]. Prieiga per internetą: <http://www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-research-femtocell-and-beacon-transmit-power-self-calibration.pdf>
- The Wireless Evolution* [interaktyvus]. 2011. Qualcomm [žiūrėta 2012 10 12]. Prieiga per internetą: <http://www.ieeevtc.org/conf-admin/vtc2011fall/18.pdf>
- Traffic and Market report* 2012. Ericsson [interaktyvus], [žiūrėta 2012 10 07]. Prieiga per internetą: [http://www.ericsson.com/res/docs/2012/traffic\\_and\\_market\\_report\\_june\\_2012.pdf](http://www.ericsson.com/res/docs/2012/traffic_and_market_report_june_2012.pdf)
- 3GPP TS 25.367 *Mobility Procedures for 3G Home Node B (HNB)*, Overall description; Stage 2. France, 2012. 14 p.
- 3GPP TS 25.467 *UTRAN Architecture for 3G Home Node B (HNB)*; Stage 2. France, 2012. 61 p.
- Yavuz, M., et al. 2009. *Interference Management and Performance Analysis of UMTS/HSPA+ Femtocells* [interaktyvus] 2009. IEEE Communications Magazine [žiūrėta 2012 10 14]. Prieiga per internetą: [www.qualcomm.com/media/documents/files/interference-management-and-performance-analysis-of-umts-hspa-femtocells.pdf](http://www.qualcomm.com/media/documents/files/interference-management-and-performance-analysis-of-umts-hspa-femtocells.pdf)

## PROBLEMS OF USING FEMTOCELLS IN PUBLIC CELLULAR NETWORKS

### K. Žvinys

#### Abstract

This paper analyses the use of femtocells connected into a single macro network infrastructure. Different problems and possible solutions were discussed. The paper is focused on two separate benefits, which HNB could bring an operator and user. Femtocells are especially appealing due to the freedom of installation, increased macro network capacity, femto zone rates and etc. They provide users with better service quality, including voice service and higher throughput; while operators can reduce their network deployment expenditures. On the other hand, unplanned deployment, mobility issues and different types of user groups can cause a headache both for operators and customers. The analysis demonstrated that the majority of features of femtocells from the operator's point of view were positive. Looking from the user's point of view, most of shortcomings are difficult to remove. Positive and negative features both for operators and clients are presented in the HNB model.

**Keywords:** femtocell, HNB, UMTS, LTE, interference, CSG.