

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФЕМТОКЛЕТЪЧНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА МОБИЛНИ КЛЕТЪЧНИ МРЕЖИ

Росен Пасарелски, Теодора Пасарелска

### RESEARCH OF FEMTOCELL TECHNOLOGIES FOR MOBILE CELLULAR NETWORKS

Rosen Pasarelski, Teodora Pasarelska

**Резюме:** Целта на написването на тази статия е да представи и проучи фемтоклетъчните технологии за мобилни клетъчни мрежи. С въвеждането на четвъртото 4G-LTE и петото 5G поколение мобилни клетъчни системи терминът фемто клетка започна да се споменава силно. Фемто клетките са много малки клетки, които предоставят на потребителите на мобилни услуги домашна базова станция за свързване към мрежата на телекомуникационния оператор. Фемтоклетъчните технологии основно търсят все по-високи скорости на данни на закрито, което най-често води до внедряването на UMTS / HSPA модули в фемтоклетъчната точка за достъп, както и LTE и 5G.

**Ключови думи:** Фемто, Клетка, Технологии, Мобилна, Мрежа, 4G, 5G.

**Abstract:** The purpose of writing this article is to present and study femtocellular technologies for mobile cellular networks. With the introduction of the fourth 4G-LTE and the fifth 5G generation of mobile cellular systems, the term femto cell began to be strongly mentioned. Femto cells are very small cells that provide mobile service users with a home base station to connect to the telecommunications operator's network. The femtocell technologies are mainly looking for ever higher data rates indoors, which most often leads to the implementation of UMTS / HSPA modules in the femtocell access point, as well as LTE and 5G.

**Keywords:** Femto, Cell, Technologies, Mobile, Network, 4G, 5G.

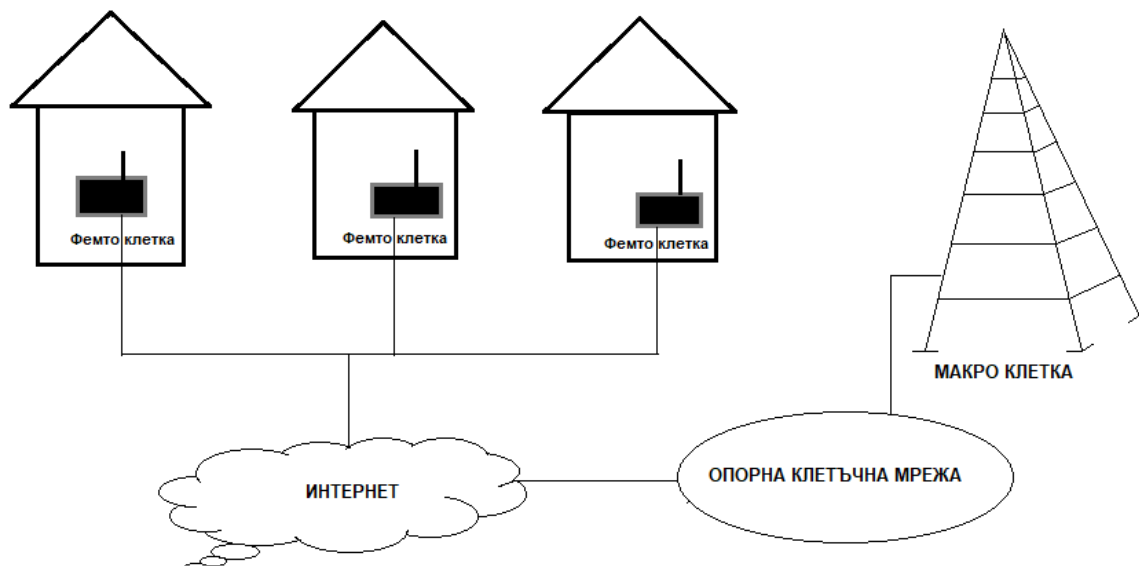
#### 1. Въведение

С въвеждането на четвъртото LTE-4G и петото поколение 5G мобилни клетъчни системи усилено започна да се споменава термина фемто клетка. Фемто клетките са много малки по размер клетки, които осигуряват на потребителите на мобилни услуги домашна базова станция за връзка с мрежата на телекомуникационния оператор. Тези базови станции се инсталират в дома на крайният потребител, в офис или учреждение и в своята същност представляват точки за достъп. Те биват свързани към опорната мобилна клетъчна мрежа на доставчика на услуги най-често кабелно чрез оптичен кабел, но е възможно и чрез широколентова безжична свързаност.

#### 2. Функционалност на фемтоклетъчната апаратура

Функционалността на фемтоклетъчната апаратура е идентична на тази на стандартна базова станция например Node-B в UMTS. Едно фемтоклетъчно устройство наподобява WiFi точка за достъп, но съдържа радиомрежов контролер - RNC и всички елементи за свързване към опорната мрежа на оператора. Тази домашна базова станция се свързва чрез

кабел към Интернет и след това към основната мрежа на мобилния оператор, както е представено на фигура 1. Фемтоклетъчната точка за достъп изглежда като безжична WiFi точка за достъп, вътрешно погледнато обаче са коренно различни. При WiFi точката за достъп се използват технологиите по стандарт IEEE 802.11g, 802.11n, 802.11ac, докато при фемтоклетъчната точка за достъп са имплементирани клетъчни технологии като UMTS/HSPA/LTE/5G и мобилен WiMAX по стандарт IEEE 802.16e.



Фиг.1. Типична структура за фемтоклетка и макроклетка

## 2.1 Фемтоклетъчни технологии

Основно чрез на фемтоклетките се търсят все по-високи скорости на пренос на данни на закрито, което води най-често до имплементиране на модули с UMTS/HSPA във фемтоклетъчната точка за достъп, както и LTE и 5G. За разлика от пикоклетките, идеята на фемтоклетъчните точки за достъп е да се разглеждат като потребителска електроника и да се разгръщат самостоятелно от потребителите. Конфигурацията на фемтоклетъчната точка за достъп трябва да бъде автоматична с цел да генерира минимални смущения за външни макроклетки и съседни фемтоклетки. Автоматичното конфигуриране на фемтоклетъчното устройство може да бъде дефинирано в две фази, както следва:

- фаза на откриване, в която ще бъде оценена радиосредата.
- Фаза на автоматична настройка, в която параметрите на фемтоклетъчната точка за достъп, например предавателна мощност по прав и обратен канал и разпределение на подканал и други, ще бъдат автоматично конфигурирани.

Автоматичното конфигуриране на фемтоклетъчната точка за достъп е ключът към успешното им внедряване. Преди фемтоклетъчните точки за достъп да могат действително да бъдат самостоятелно разгръщани от потребителите, операторите трябва да тестват различни сценарии за внедряване на фемтоклетки чрез опити или симулации. Основната цел на симулацията и опитите е да се установи влиянието на разгръщането на фемтоклетки върху сайтовете на макроклетките и в допълнение как фемтоклетките ще се влияят помежду си. Важна характеристика за изследване е и производителността на фемтоклетъчните и макроклетъчните нива.

## 2.2 Класификация на фемтоклетъчните точки за достъп

Според капацитета си фемтоклетъчните точки за достъп могат да бъдат класифицирани в две категории:

- домашни - които могат да поддържат между 3–5 едновременни потребители.
- Корпоративни - които могат да поддържат между 8–16 потребители.

Ключовата роля на фемтоклетъчната точка за достъп е да предоставя услуги с висока скорост на пренос данни в жилищни райони. Вероятността всички абонати да използват едновременно изградена фемтоклетка е твърде малка, поради което домашните фемтоклетки, поддържащи повече от пет едновременни потребители, биха били безполезни в сравнение с реалното търсене. Ограничение може да има и от честотната лента на кабелната връзка в обратна посока в зависимост от вида ѝ.

Според използваните мобилни радиотехнологии, фемтоклетъчната точка за достъп може да се класифицира като:

- UMTS фемтоклетъчната точка за достъп
- WiMAX фемтоклетъчната точка за достъп.
- LTE фемтоклетъчната точка за достъп.
- 5G фемтоклетъчната точка за достъп.

Съществува тенденция да се комбинират различни въздушни интерфейси в една фемтоклетъчната точка за достъп.

## 3 Внедряване на фемтоклетки

Фемтоклетките могат да допринесат много ползи и предимства, както за операторите, така и за крайните потребители. Перспективата пред мобилният оператор при внедряване на фемтоклетки се състои в това, че голямото количество трафик до 70–80% може да бъде разтоварено от макроклетките в радиомрежата, което означава, че ще са необходими по-малко външни макроклетки. Намалването на макроклетъчните сайтове води до огромна икономия на CAPEX за оператора в неговата клетъчна мрежа за радиодостъп. Намалването на обектите с макроклетки ще опрости процеса на проучване и планиране на тези обекти, което автоматично означава, че ще се плаща и по-малко наем за използване на сайтове за базови станции. При внедряването и развитието на 4G мрежи, придобиването на място за изграждане на базова станция е голямо предизвикателство за операторите, особено в градските райони. За операторите става все по-трудно да намират места за базовите си станции. Фемтоклетките могат да помогнат на операторите рентабилно да изградят капацитет на мрежата и да постигнат по-рентабилен план за развитие с намалени рискове и финансови тежести. Това се дължи на факта, че фемтоклетките са евтини решения за вътрешно покритие в сравнение с други подходи и също така тяхното разгръщане се извършва от потребителите, като операторите извършват само дистанционна поддръжка. Фемтоклетките подобряват качеството на услугата; следователно това увеличава лоялността на клиентите и намалява оттичането, което е основен проблем и може да струва на операторите огромни разходи на ден. Проучванията показват, че лошото качество на услугата е най-важният фактор за напускане на абонат от мобилен оператор. Фемтоклетките помагат на мобилните оператори да стимулират използването на данни и да предоставят по-богати услуги например чрез планове за домашна зона и пакетни услуги, което ще увеличи средния им

приход на единица. В сравнение с пикоклетките и други технологии на закрито, фемтоклетките са най-евтиното решение за увеличаване на покритието на закрито и подобряване на качеството на услугата. Те спомагат операторите да предоставят безпроблемно потребителско изживяване във външна и вътрешна среда, в офиса, у дома или в движение и осигуряват основа за конвергентни услуги от следващо поколение, които да комбинират гласови, видео и пренос на данни от всяко мобилно устройство. Дори в области, които могат да се обслужват от макроклетки, фемтоклетките все още могат да донесат много ползи за операторите, тъй като ще премахнат необходимостта от предоставяне на услуги на закрито от макроклетки и ще намалят режимните разходи, понесени от дистрибутирането на радиосигнали в закрити пространства. Намалените изисквания към макроклетките могат да позволят на операторите да споделят макроклетки на външната LTE или 5G мрежа. Фемтоклетките могат да предложат на новите мобилни оператори различни алтернативни подходи за внедряване на мрежата. Например могат да предоставят решения на закрито в горещи точки, използвайки пикоклетки и фемтоклетки, да предоставят фемтоклетъчни решения за домашни потребители, да изградят макроклетъчни мрежи, където има реална нужда и да постигнат споразумения за роуминг с някои утвърдени оператори.

Досега се представиха само ползите, които фемтоклетките могат да донесат на операторите. Разгръщането на фемтоклетки потенциално също ще доведе до някои проблеми за операторите. Един от основните недостатъци на фемтоклетките е, че смущенията стават по-случайни и по-трудни за контрол. Това е особено проблематично за CDMA базирани клетъчни мрежи. За да се подобри общият капацитет на мрежата за операторите е от полза и макро и фемто слоевете да използват една и съща честотна лента за работа. По този начин случайността на смущенията от фемтоклетките може да причини проблеми при работата на макроклетките, например, причинявайки дупки в покритието. Тъй като CDMA мрежите са с ограничени смущения, капацитетът на макроклетките може да бъде засегнат, ако смущенията от фемтоклетки не се контролират добре. Операторите няма да имат достъп до помещенията на абонатите, поради което самоконфигурирането на фемтоклетките е много важно. Отдалеченото наблюдение и поддръжка също ще бъдат важни за операторите. Трябва да се отбележи, че e-UTRAN е разработена при допускането за координирано мрежово разгръщане, докато фемтоклетките обикновено се свързват с некоординирано и широкомащабно имплементиране.

Перспективите за крайните потребители са свързани с това, че тези, които имат лошо покритие на закрито у дома, фемтоклетките им решават този проблем и позволяват на абонатите да използват пълноценно мобилните си телефони в домашни условия. С реализиране на фемтоклетки, в допълнение към гласовата услуга, стават достъпни и мултимедийни, видео и високоскоростни услуги за данни. Тъй като работата на мрежата на закрито бива значително подобрена, това води и до високо качество на потребителското изживяване, както за гласови услуги, така и за услуги за данни. Потребителите могат да се възползват от планове за домашни зони и пакетни услуги, които ще бъдат по-рентабилни от използването на услуги от повече от един доставчик. Фемтоклетките могат да действат като фокусна точка за свързване на всички домашни устройства към домашен сървър и да действат като шлюз за всички домашни устройства към Интернет. Чрез фемтоклетъчните точки за достъп ще се предоставят конвергентни услуги от ново поколение. Фемтоклетките водят до спестяване на енергия за потребителските устройства, тъй като разстоянието между клиентския апарат и фемтоклетъчната точка за достъп е много по-малко от това между него и сайта на макроклетката. Мощността на предаване в обратна посока може да бъде доста намалена, което също води до спестяване на енергия на клиентските устройства и до по-дълготрайно

ползване на батерията на телефона. Намалването на предавателната мощност също е от полза за безопасност за здравето на хората при използването на мобилни устройства.

#### 4 Контрол на достъпа

Съществуват два възможни метода на достъп чрез фемтоклетки, като и двата имат някои предимства и недостатъци:

- Фемтоклетки за обществен достъп - във фемтоклетъчни мрежи външният потребител може да получи по-силен сигнал от близка фемтоклетка, отколкото от отдалечена макроклетка. С публичен достъп е възможна връзка с тази фемтоклетка. Този метод е от полза за потребителите на открито, които могат да използват близки фемтоклетки, като по този начин намаляват цялостното използване на системните ресурси като мощност, честота и следователно и смущенията. Освен това ситуацията е идентична между съседните фемтоклетки. Възможно е в някои случаи, като например в райони с гъсто население или многоетажни сгради, мощността на сигнала на съседните фемтоклетки да бъде по-висока от фемтоклетката на клиента. С обществен достъп би била възможна връзка с други фемтоклетки.
- Фемтоклетки за частен достъп - при частен достъп само списък с регистрирани потребители има достъп до фемтоклетка. Трябва да се дефинира как потребителите ще влизат в списъка с оторизирани достъп. Освен това такъв подход води до увеличаване на смущенията. Например ако за преминаващи потребители сигнала идващ от дадена макроклетка е слаб, е необходимо да увеличат мощността си, като по този начин създават повече смущения за съседните фемтоклетки.

По-голяма част от потребителите на фемтоклетки предпочитат режим на частен достъп, при който само няколко определени потребители имат право да се свързват с фемтоклетъчната точка за достъп. В други случаи за корпоративни клиенти фемтоклетките ще трябва да се използват за покриване на голяма площ, а също така ще има и много различни преминаващи потребители, преминаващи от офис в офис, поради което публичният достъп ще бъде предпочитан в сценарии извън дома. Независимо кой достъп предпочитат потребителите е важно да се спомене, че някои ресурси могат да бъдат освободени в режим на публичен достъп, като по този начин се осигуряват услугите за спешни повиквания от всички абонати на клетъчната мрежа.

#### 5 Стандартизация

В резултат на съвместната работа между 3GPP, Femto Forum и Broadband Forum, които са трите основни организации, свързани със стандартите за фемто технологията са публикувани серия от стандарти на фемтоклетки от 3GPP. Стандартите на фемтоклетки обхващат четири основни области - мрежова архитектура, аспекти на радиото и смущенията, управление на фемтоклетки и сигурност. По отношение на мрежовата архитектура, стандартите използват вече утвърдените и съществуващи 3GPP UMTS, LTE и 5G протоколи и ги разширяват, за да поддържат нуждите от внедряване на фемтоклетки с голям обем. В една от версиите на 3GPP стандарта са дефинирани основните функционалности за поддръжка на домашни базови станции - HNB и HeNB. От ревизия 8

се въвежда друга важна функция, наречена затворена потребителска група (CSG - Closed Subscriber Group). При такъв сценарий домашната базова станция - HNB може да предостави ограничен достъп само до клиентски устройства, принадлежащи към затворена група абонати. Една или повече такива клетки, известни като CSG клетки, се идентифицират чрез уникален цифров идентификатор, наречен CSG Identity. В техническа спецификация TS22.220 се описват изисквания за услуги за домашни базови станции - HNB и HeNB. В спецификация TR23.830 се систематизират архитектурните аспекти на домашните базови станции. В TR33.820 се представя сигурността на домашните базови станции и други.

## 6 Заключение

Ключовата роля на фемто клетъчните технологии е да предоставят услуги с висока скорост на пренос данни в жилищни райони. Фемто клетките са много малки по размер клетки, чрез които се осигуряват домашни базови станции за връзка с мрежата на мобилния оператор, на крайните потребителите на мобилни услуги.

Внедряването на фемто клетки води до редица ползи за мобилните оператори:

- разтоварване на голямото количество трафик до 70–80% от макроклетките в радиомрежата.
- По-малко външни макроклетки и намаляването на макроклетъчните сайтове.
- Опростяване на процеса на проучване и планиране на обекти за макроклетъчни сайтове и плащане на по-малко наем.
- рентабилно изграждане на капацитет на мрежата и постигне на по-рентабилен план за развитие с намалени рискове и финансови тежести.
- Огромна икономия на CAPEX за оператора в неговата клетъчна мрежа за радиодостъп и други.

Ползи за крайните потребители от фемто клетъчните технологии:

- отстраняване на лошо покритие на закрито у дома и пълноценно използване на мобилните телефони в домашни условия.
- Високо качество на потребителското изживяване, както за гласови услуги, така и за услуги за данни.
- Рентабилни планове за домашни зони и пакетни услуги.
- Конвергентни услуги от ново поколение.
- Спестяване на енергия за потребителските устройства.
- Безопасност за здравето при използването на мобилни устройства и други.

### ЛИТЕРАТУРНИ ИЗТОЧНИЦИ (REFERENCES):

1. AL-TURJMAN, Fadi. *Smart Things and Femtocells: From Hype to Reality*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2020. ISBN 978-036-757-135-1.
2. CHU, Xiaoli, Haijun ZHANG, Xiangming WEN. *4G Femtocells: Resource Allocation and Interference Management*. New York: Springer, 2013. ISBN 978-1-4614-9080-7.
3. ПАСАРЕЛСКИ, Росен. *Универсални мобилни телекомуникационни системи: Радиоинтерфейс-изследване на каналите, слоевете и протоколите*. София: НБУ, 2013. ISBN 978-954-535-770-1. [PASARELSKI, Rosen. *Universalni mobilni telekomunikatsionni sistemi: Radiointerfeys-izsledvane na kanalite, sloevete i protokolite*. Sofia: NBU, 2013. ISBN 978-954-535-770-1.]
4. SAEED, Rashid A., Bharat S. CHAUDHARI, Rania A. МОКХТАР, and Andrei GURTOV. *Femtocell Communications and Technologies: Business Opportunities and Deployment Challenges*. Hershey, Pa.: Information Science Reference, 2012. ISBN 978-146-660-092-8.
5. СИМЕОНОВА, Цветелина. Анализ на типове комуникационни услуги при 6G. *Годишник Телекомуникации 2021* [онлайн]. 2021, (8), с. 35-46 [прегледан 20 януари 2023]. eISSN 2534-854X.

- Достъпен на: DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.4> [SIMEONOVA, Tsvetelina. Analiz na tipove komunikatsionni uslugi pri 6G. Godishnik Telekomunikatsii 2021 [onlayn]. 2021, (8), s. 35-46 [pregledan 20 yanuari 2023]. eISSN 2534-854X. Dostapen na: DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.4>]
6. ДОБРЕВА, А. Широколенговият достъп и значението на последната миля в условията на глобалната криза от COVID 19. *Сборник доклади от Научна конференция „Знание, наука, иновации, технологии“*. В. Търново: Институт за знание, наука и иновации, 2022, с. 401-413. ISSN 2815-3480. [DOBREVA, A. Shirokolenoviyat dostap i znachenieto na poslednata milya v usloviyata na globalnata kriza ot COVID 19. *Sbornik dokladi ot Nauchna konferentsia „Znanie, nauka, inovatsii, tehnologii“*. V. Tarnovo: Institut za znanie, nauka i inovatsii, 2022, s. 401-413. ISSN 2815-3480.]
  7. ГОЛЕВА, Росица., Васил КЪДРЕВ и Цветелина СИМЕОНОВА. Изследване на качеството на обслужване в UMTS мрежи. *Механика, транспорт, комуникации* [онлайн]. 2008, (3), с. VIII-32-VIII-35 [pregledan 20 yanuari 2023]. ISSN 1312-3823. Достъпен на: <https://mtc-aj.com/article.306.htm> GOLEVA, Rositza., Vasil KADREV i Tsvetelina SIMEONOVA. Izsledvane na kachestvoto na obsluzhvane v UMTS mrezhii. *Mehanika, transport, komunikatsii* [onlayn]. 2008, (3), s. VIII-32-VIII-35 [pregledan 20 yanuari 2023]. ISSN 1312-3823. Dostapen na: <https://mtc-aj.com/article.306.htm>
  8. АЛЕКСАНДРОВ, Ангел и Тереза СТЕФАНОВА. Предизвикателства и проблеми пред 5G. *Сборник доклади от годишната университетска научна конференция на НБУ „Васил Левски“, Велико Търново, 27-28 май 2021*. В. Търново: ИК на НБУ „Васил Левски“, 2021, с. 2445-2454. ISSN 1314-1937. [ALEKSANDROV, Angel i Tereza STEFANOVA. Predizvikelstva i problemi pred 5G. *Sbornik dokladi ot Godishna universitetska nauchna konferentsiya na NVU „Vasil Levski“, Veliko Tarnovo, 27-28 may 2021*. V. Tarnovo: IK na NVU „Vasil Levski“, 2021, s. 2445-2454. ISSN 1314-1937.]
  9. TS22.220. Technical specification. *3GPP* [online]. [viewed 20 January 2023]. Available from: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=626>
  10. TR23.830. Technical specification. *3GPP* [online]. [viewed 20 January 2023]. Available from: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=910>
  11. TR33.820. Technical specification. *3GPP* [online]. [viewed 20 January 2023]. Available from: <https://portal.3gpp.org/ChangeRequests.aspx?q=1&specnumber=33.820>

**Информация за авторите:**

доц. д-р Росен Пасарелски, НБУ департамент „Телекомуникации“, [rpasarelski@nbu.bg](mailto:rpasarelski@nbu.bg)  
инж. Теодора Пасарелска, държавен експерт в Министерство на транспорта и съобщенията на Република България, [tpasarelska@mtitc.government.bg](mailto:tpasarelska@mtitc.government.bg)

**Contacts:**

Assoc. Prof. Rosen Pasarelski, PhD, New Bulgarian University, Department Telecommunications, [rpasarelski@nbu.bg](mailto:rpasarelski@nbu.bg)  
eng. Teodora Pasarelska, state expert in the Ministry of Transport and Communications of Republic of Bulgaria, [tpasarelska@mtitc.government.bg](mailto:tpasarelska@mtitc.government.bg)

Дата на постъпване на ръкописа (Date of receipt of the manuscript): 10.06.2022

Дата на приемане за публикуване (Date of adoption for publication): 30.09.2022