

Megújuló energiaforrások a mobil távközlésben

Garai Ákos

Konzulens: Dr. Huszák Árpád (BME-HIT)

Tudományos Diákköri Konferencia

2011. november 16.

Megújuló energiaforrások a mobil távközlésben

Garai Ákos, szlem01@gmail.com

Konzulens: Dr. Huszák Árpád (BME-HIT)

1 Bevezetés

Napjainkban az IT szektor energiafogyasztása egyre rohamosabb mértékben nő. Köszönhető ez annak, hogy egyre több eszközt üzemeltetünk, a felhasználók egyre olcsóbban juthatnak hozzá számítógépekhez, okostelefonokhoz, és egyre többen használják aktívan az Internetet. A sok felhasználó egyidejű kiszolgálásához, a szolgáltatások minősége megtartása mellett, egyre nagyobb, komolyabb szervergépeket üzemeltetnek a tartalomszolgáltatók. Ezen oknál fogva egyre többet fogyasztanak, így növelve a költségeiket és CO₂ kibocsátást, mely az energia előállításának klasszikus következménye.

Csak az Internet energiafogyasztása évente több mint 100 millió kWh. (100 GWh.) Ennyi energia termeléséhez a paksi atomerőműnek több mint 2 napra lenne szüksége (2010-es termelési adatokkal számolva [2]).

Az energiaszámlák jelenleg körülbelül 10 százalékát teszik ki az IT szektor összes költségének. Becslések szerint ez a szám a jövőben akár az 50 százalékot is elérheti, mindezt úgy, hogy mind a szoftverek, mind a hardverek egyre optimalizáltabbra készülnek.

A mobil távközlésre is ez a tendencia jellemző. Egyre több eszköz képes kapcsolódni az Internethez, ami azt jelenti, hogy egyre többen is csatlakoznak a hálózathoz egyszerre. Az emberek a munkába menet a buszon olvassák el a telefonjukat használva az aznapi híreket, nézik meg a közösségi oldali profiljukat, leveleznek. A kereskedelmi forgalomban kapható készülékek legtöbbje már erre van optimalizálva. Hatalmas kijelzők kerülnek rájuk, hogy minél élvezhetőbb legyen rajtuk a böngészés, olvasgatás. A jelenlegi 3G technológia elegendő sávszélességet nyújt a felhasználóknak és ez az ország nagyobb városaiban elérhető majdnem mindenhol. Az országban gyakorlatilag akárhol tudunk kapcsolódni az Internetre mobiltelefonjaink segítségével.



1. ábra Vodafone gsm lefedettsége (forrás: www.vodafone.hu/lefedettseg-terkep.jpg)

Ma több SIM kártyát találhatunk az országban, mint ahány lakost, így a bázisállomások terheltsége is egyre növekszik, ami természetesen fogyasztásnövekedéssel is jár. Mivel a bázisállomások korlátozottan terhelhetőek, így ha nő az előfizetők száma, akkor a bázisállomások számát is növelni kell. Emiatt lehet egyre több épület tetején találkozni velük. A bázisállomásokra jellemző, hogy kültéren helyezkednek el leginkább napsütötte helyen, magasan, tetőkön, így reális ötlet lenne megújuló energiaforrásokkal (szél, nap) működtetni ezeket az eszközöket.

Új technológiák bevezetésénél szükséges lehet teljesen új bázisállomásokat telepíteni. Már nálunk is tesztelik az LTE szolgáltatást is nyújtani tudó bázisállomásokat (eNodeB). Ezen eszközök energiafogyasztásának fedezésére kíván e dolgozat alternatívát mutatni.

2 Cellás hálózatok

2.1 Cellás rendszerek

A bázisállomás által lefedett területet cellának nevezzük. A mobil eszköz híváskezdeményezéskor ahhoz a bázisállomáshoz kapcsolódik, amelyik a legerősebb jelet sugározza. A bázisállomások a kapcsolóközpontokon keresztül kapcsolódnak egymáshoz.

A cellákat méretük alapján rangsorolhatjuk. A makrocellák nagy területet fednek le (akár 35 km sugár), ezért a bázisállomások nagy teljesítményűek és általában 30-50 méter magas adótornyokra telepítik ezeket az eszközöket. Ritkán lakott területek lefedésére vagy több, kisebb méretű cellához tartalék átfedő cellának használjuk.

A sűrűbben lakott, vagy nagy forgalmú területek lefedésére mikrocellákat alkalmaznak. Ezek a cellák kisebb területet fednek le (0,2 – 1 km sugár) és közepes teljesítményű bázisállomásokkal biztosítják a szolgáltatást, melyeket többnyire épületek tetejére telepítenek.

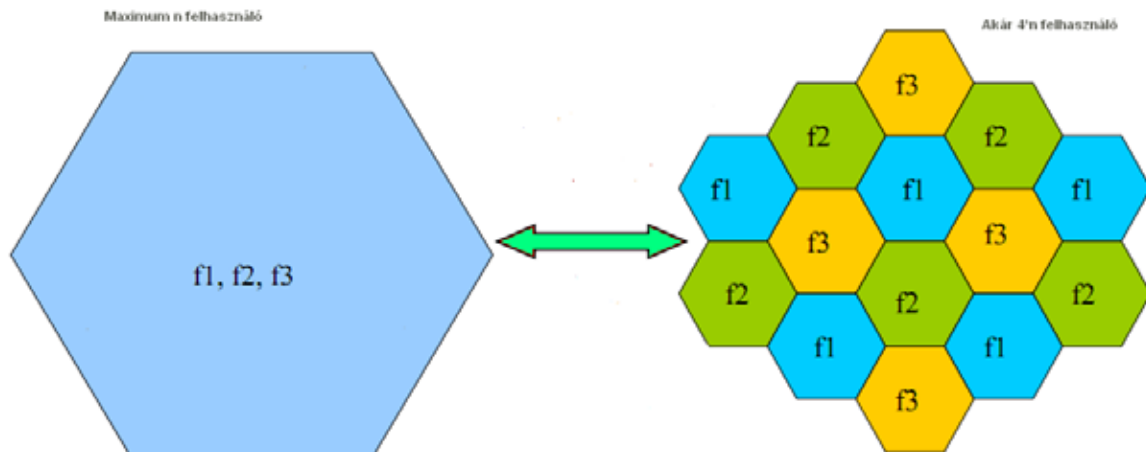
A leginkább épületeken belül használt piko- és femtocellákra jellemző, hogy alacsony fogyasztásúak, jó beltéri lefedettséget biztosítanak.

Pikocellát nagy forgalmú és kis területű (kb 100 m sugarú) helyeken alkalmazzák, például irodaépületek lefedésére.

A femtocella a legalacsonyabb fogyasztású eszköz, kiváló beltéri lefedettséget biztosít egy lakás vagy iroda területén.

Mivel mindkét eszközt elsősorban épületeken belül telepítik, így dolgozatomban nem foglalkozok részletesebben velük.

A cellás felosztás az erőforrások hatékony kihasználását szolgálja. A mobil szolgáltatók számára az egyik legdrágább erőforrás a rendelkezésre álló frekvenciasáv. Ezt használjuk fel újra a nem szomszédos cellákban. Ennek előnyét az alábbi ábra szemlélteti:



2. ábra A cellás rendszerek előnyei

Látható, hogy ugyanakkora terület lefedése kisebb cellákkal azt eredményezi, hogy több felhasználót tudunk kiszolgálni.

2.2 UMTS

Az UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) [13] a harmadik generációs (3G) mobil távközlési technológiák első európai képviselője. Az UMTS szabványt a 3GPP szabványosította a 2000-ben megjelent Release 99 című kiadásában.

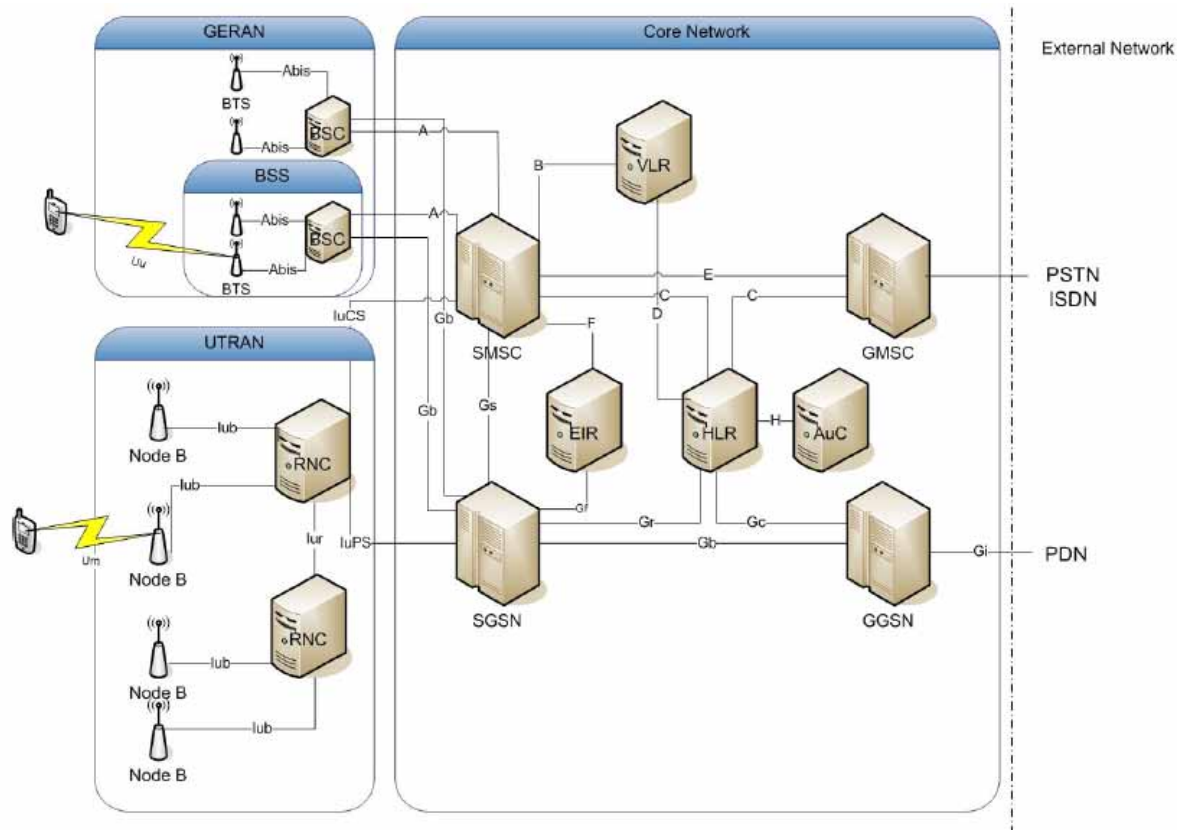
Az első, ezen az elven működő hálózat 2001-ben kezdett el működni, azonban nálunk pár év késéssel 2003-ban indították csak be.

Az UMTS hálózat három nagyobb egységre bontható. Ezek a gyökerhálózat (Core Network), a rádiós hozzáférést biztosító hálózat az UTRAN (UMTS/Universal Terrestrial Radio Access Network), illetve a végkészülék.

Az utóbbit a mobil eszköz (mobile equipment) és az USIM (UMTS Service Identity Module) illetve a köztük elhelyezkedő Cu interfész alkotja.

Az UTRAN-t hálózatvezérlő funkciót biztosító RNC-k (Radio Network Controller) és az ezek által vezérelt bázisállomások (NodeB) alkotják.

A gyökerhálózatot a GSM hálózatból már ismert MSC-k (Mobile Switching Center), GMSC-k (Gateway MSC), VLR (Visitor Location Register), HLR (Home Location), AuC (Authentication Center), és EIR (Equipment Identity Register) alkotják. Ezeket egészíti ki a csomagkapcsolt funkciókat biztosító SGSN (Serving GPRS Support Node) és GGSN (Gateway GPRS Support Node) egységekkel. Az előbbi feladata a hozzáférés vezérlése, mobilitás segítése és biztonsági szolgáltatások, az utóbbi pedig a külső csomagkapcsolt hálózatokkal való együttműködésért felel.



3. ábra Az UMTS hálózatok felépítése

A hazai UMTS 1920 - 1980 MHz-ig terjedő frekvenciasávot használja feltöltési (uplink) irányba. Ezt a sávot négy 15 MHz-es sávra osztották fel. Ebből az első hármat használják föl a szolgáltatók. Letöltési (downlink) irányba a 2110 – 2170 MHz-ig terjedő sávot használják, ugyancsak 15 MHz-es bontásban. Az utolsó tartományt (1965-1980, illetve 2155-2170) kísérleti célokra használja a BME Mobil Innovációs Központja.

Ezek a rendszerek a CDMA (Code Division Multiple Access) hozzáférési rendszert alkalmazzák. Mint ahogy a neve is mutatja, ez többszörös hozzáférést tesz lehetővé. Lényege, hogy az összes felhasználó ugyanazt a frekvenciasávot használja. A felhasználók megkülönböztetésére ortogonális kódokat használunk. Ilyenek például a Walsh-Hadamart kódja kódjai, melyeket OVVSF-nek (Orthogonal Variable Spreading Factor) is nevezzük.

Downlink irányba egy kód van cellánként. Egy adott kód egy felhasználó fizikai csatornáját jelöli ki. Ez a kód maximum 512 bit hosszú lehet. A kódszó hosszát Spreading Factornak (SF), azaz spektrumszóró faktornak nevezzük. SF minden esetben 2^k alakú, ahol $k=[2..9]$

A csatorna jelzési sebessége, azaz a chipsebessége (V_{chip}) UMTS esetében fix 3,84 Mc/s (Megachip/sec). A különböző hosszúságú kódokkal különböző bitsebességet tud nyújtani a felhasználók felé.

Ezek alapján az átviteli sebesség az alábbi módon számolható:

$$SF = 2^2 = 4 \quad (1)$$

$$V_{max} = \frac{V_{chip}}{SF} \cdot 2 = \frac{3,84}{4} \cdot 2 = 1,92 \text{ Mb/s} \quad (2)$$

azaz nagyjából 2 Mb/s

A dolgozat második felében ismertetésre kerülő szimulációkban is a 2Mb/s értéket vettem a garantált maximum sávszélességnek, a garantált minimum értékének pedig 144 kb/s választottam.

Születtek nagyobb sávszélességet garantáló technológiák is, mint például a HSPA illetve LTE. Következő pontban az utóbbiról lesz szó.

2.3 LTE

Az LTE (Long Term Evolution) a következő nagyobb sávszélességet ígérő technológia. Sokan már 4G-nek nevezik, de még a 3G részét képezi. A 4G-t majd az LTE Advanced technológia fogja nyújtani.

A szabványosításának leírását a 3GPP Release 8 című dokumentum írja le, mely 2008-ban jelent meg.

Már több országban sikeresen működő LTE hálózatok vannak (USA, Japán, Svédország, Norvégia), de nálunk csak tesztelési fázisban van. A tervek szerint 2012-ben fog indulni a kereskedelmi szolgáltatása.

Szabvány szerint legalább 100 Mb/s letöltési és 50 Mb/s feltöltési átviteli sebességet garantál elvi maximumként 20 MHz frekvenciatartományon. 5MHz-es tartományban egyszerre 200 felhasználót tud kiszolgálni egy cellában.

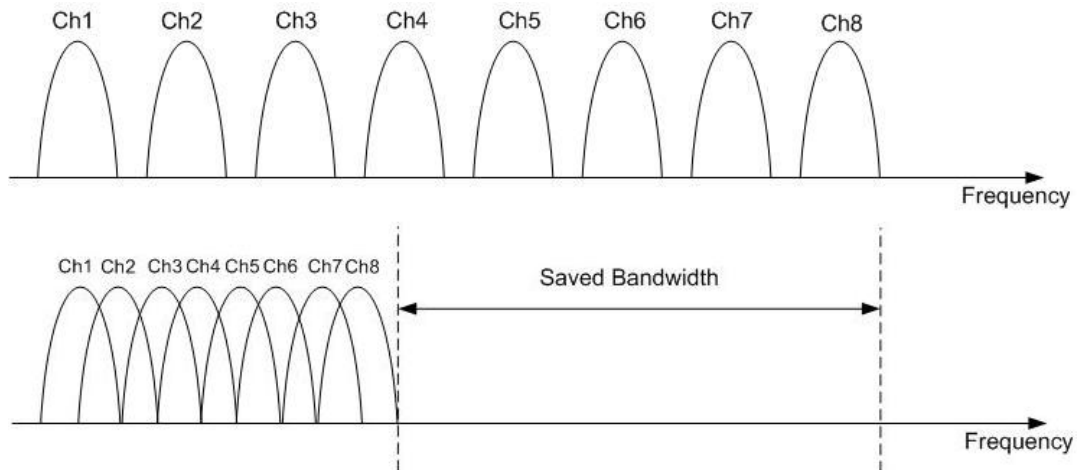
Számottevő a javulás a HSPA technológiához képest. Egy átlagos felhasználó átviteli sebessége a downlink irányba akár 3-4-szeres is lehet, uplink irányba pedig 2-3-szoros. A cellák szélén is legalább 2-3-szoros sebességnövekedés garantált.

A mobilitás is jobban támogatott az LTE hálózatokban. Egy 15 km/h sebességgel haladó felhasználó számára garantált a maximális sávszélesség, sőt egy 350 km/h sebességgel haladó eszköz esetében is fenntartható a kapcsolat, ellentétben a korábbi technológiákkal.

A szabvány célja, hogy valós idejű csomagkapcsolt szolgáltatást nyújtson legalább áramkörkapcsolt minőségben. A gerinchálózat is tisztán IP alapú.

Fontos követelmény még a multicast/broadcast megfelelő támogatása, azaz legyen külön sáv ezen forgalmaknak is.

Korábbi hálózatokkal való együttműködésre is szigorú követelményeket fogalmaztak meg. LTE-GSM illetve LTE-3G valós idejű szolgáltatás esetén maximum 300 ms lehet a handover. Az LTE rádiós interfész OFDM alapú kódosztást használ. Downlink irányban OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), uplink irányban Single-Carrier FDMA. Az OFDM alapja, hogy párhuzamosan sok keskeny csatornán egyidejűleg történik az átvitel.



4. ábra Felső kép FDM - alsó OFDM kódosztás

Probléma az OFDM-mel a szimbólumközi áthallás jelensége egy vivőn illetve több vivő között is. Ez azt okozza, hogy elvész az ortogonalitás. Ennek a hibának az orvoslására ciklikus prefixeket alkalmaznak, így a vivőtávolság megmarad, bár picit lassabb lesz az átvitel.

A szabvány támogatja a többantennás (MIMO) átvitelt is, mellyel jelentősen növelhető az eszközök hatékonysága.

Jelen dolgozatban az LTE hálózatban elérhető maximális sávszélességet 60Mbit/s értéknek vettem, a garantált minimumot pedig 2Mb/s-nak választottam. A szimulációkban ezzel a két értékkel számoltam.

3 Energiahatékony módszerek a cellás hálózatokban

3.1 Alvó üzemmód

A cellás hálózatok energiafogyasztásának döntő hányadát (közel 80 %) a hozzáférési hálózatban használják el. Ebből kiindulva célszerű lenne a hozzáférési hálózatot optimalizálni a jövőbeli hálózatok tervezése folyamán, törekedve a kevesebb fogyasztásra, az energiahatékony működésre, mivel ezek előreláthatóan nagyobb méretűek és jóval komplexebbek lesznek, mint a jelenlegiek. A felsorolt okok miatt nagyon fontos, hogy ezek a hálózatok autonóm módon működjenek, azaz a lehető legkevesebb emberi befolyással tudják szabályozni magukat, minden esetben dinamikusan tudják szabályozni magukat.

Egy, a természetben is megfigyelhető folyamat a magas szintű együttműködés (protooperation) inspirálta az alábbi technológiát. Ez az együttélési mód nem kötelező egyik fél számára sem, hiszen nélküle is megfelelően tudnának működni, a hatékonyságukat javítja.

A bázisállomások is képesek együttműködni egymással a nagyobb energiahatékonyság céljából (kevesebb fogyasztás, hosszabb ideig tartó folyamatos működés). Az aktuális forgalmi helyzetnek megfelelően aktív és alvó üzemmód között váltogatják magukat [3]. A bázisállomások és a hozzáférési pontok is együttműködnek egymással a hozzáférési hálózat energiatakarékosságának érdekében.

A módszer három működési módot ír le: aktív, alvó, kikapcsolt (off) üzemmód. Az utóbbit csak operátor kapcsolhatja, azaz ehhez emberi beavatkozás szükséges. Az első két módot a bázisállomások dinamikusan állíthatják.

A módszer tehát azon alapul, hogy a bázisállomások többféle energiafogyasztási módban tudnak működni. A módszer hasonló, mint például a PC-k működési módjai. Aktív, tétlen, alvó és hibernált. Az utolsó két állapotban alig fogyaszt valamennyi energiát az eszköz. Alvó üzemmódban a bázisállomások alacsonyabb fogyasztási módba kapcsolják bizonyos rendszereiket, amelyekre éppen nincsen szükség.[3]

Egy bázisállomás is több eszközből áll. Tartalmaz például zajszűrőt (LNA), légkondicionáló hűtést (AC), digitális jelfeldolgozó processzort (DSP), rádiós hálózat szabályzót (RNC). Ezek mindegyike folyamatosan működik a bázisállomás működése folyamán. Alvó üzemmódban ezeknek a rendszereknek a fogyasztását mérsékelve, minimalizálva rengeteg energia spórolható meg.

Ezen módszer alkalmazásával jelentősen csökken a felhasznált energia a hozzáférési hálózatban, ezáltal a kibocsátott széndioxid mennyisége is az energiatermelés során. A hatékonyabb energiafelhasználása pedig a költségeket is csökkenti.

3.2 Lélegző cellák

A fix cellaméret, ami most jellemző sok előnye mellett rengeteg hátránnyal is rendelkezik. Legfőbb előnye, hogy könnyen tervezhetővé teszi a hálózatot, ami egyben a hátránya is. A felhasználók száma illetve a forgalom az időben változhat. Példának okáért képzeljünk el egy várost, amelyben van egy iroda-negyed, ahol napközben nagy a forgalom, de az esti órákban gyakorlatilag semmi. A lakóövezetben pedig pont fordított a helyzet. Amikor az emberek dolgoznak, akkor itt minimális a forgalom, de az esti órákban az irodai forgalom jelentős része ide helyeződik át. Így a cellák egy része a nap egy bizonyos szakaszában folyamatosan kihasználatlan.

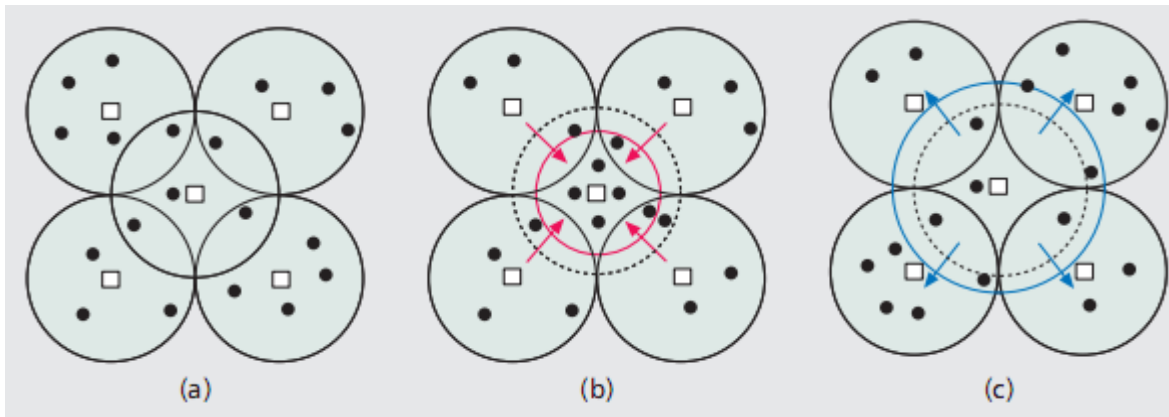
A lélegző cella [4] azt jelenti, hogy a cellaméret változhat több paraméter függvényében. Ilyen paraméterek az aktuális forgalom, a felhasználói igények illetve a cella zsúfoltsága.

Több algoritmus is született már a cellalégzés szabályozására. A szimulációs eredmények azt mutatták, hogy az algoritmusokat és a lélegző cellákat használva nagymértékben csökkenthető az energiafogyasztás a felhasználói hálózatban.

A fenti példához visszatérve, ha nem fix méretű cellákat alkalmazunk, akkor például a munkaidő utáni, esti órákban a vállalati környezetben található cellák méretét csökkentve jelentős energia-megtakarítás érhető el. Ha egy cellaméret nulla lesz, akkor az előző pontban tárgyalt alvó üzemmódhoz lesz hasonló.

A módszernek nem csak a fogyasztáscsökkenésben mutatkozik meg az előnye. Nagyobb rendezvények alatt (fesztiválok, felvonulás) nagyon sok felhasználó kerülhet egy adott cellába, így az leterhelődik, így a felhasználók nem tudnak hívást kezdeményezni vagy fogadni, pedig lehet, hogy a szomszédos cellákban senki sem telefonál. Ilyen esetekben a szomszédos cellák sugarát megnövelve elkerülhetővé válik a blokkolás, ami javítja a felhasználói élményt.

A lélegző cellák használatának előnyeit az alábbi ábra mutatja be:



5. ábra Lélegző cellák szerepe

Adott egy központi cella és körülötte négy másik (a). A felhasználók véletlenszerűen mozoghatnak a bázisállomások között. Fix cellaméret esetén előfordulhat tehát olyan eset, hogy a legtöbb felhasználó a központi cella környezetében van, így blokkolódhatnak a hívásaik. Ebben az esetben, ha csökken a központi cella mérete (b), akkor kevesebb felhasználót kell kiszolgálnia, a többi cella osztozik az így kimaradt felhasználókon.

Fordított esetben is megtörténhet, azaz a központi cella által lefedett területen alig van felhasználó, viszont a többi cellában sokan vannak. Ekkor a központi cella méretének növelésével (c) csökkenthető a többi telítettsége.

3.3 Megújuló energiaforrások

A legnagyobb fogyasztású mikro- és makrocellás bázisállomások szabadban helyezkednek el, ezért érdemes lenne megvizsgálni, hogy működtetésük megvalósítható-e a megújuló szél- vagy napenergiával.

3.3.1 Napenergia

A napenergiát sokféleképpen hasznosíthatjuk víz melegítéséhez, fűtéshez napkollektorokat használunk, elektromos áramot napelemek segítségével állítunk elő. Ezek aktív energiatermelési módszerek. Passzív módszer, amikor az üvegházhatást használjuk ki az épületek tájolási illetve a felhasznált építőanyagok révén.

A napelemek az elektromágneses sugárzásból (fotonbefogás) állítanak elő villamos energiát. A napelemek kétféle félvezetőt (n-típusút és p-típusút) tartalmaznak. A fény a félvezetők atomjait ionizálja, ezáltal többlet töltéshordozók keletkeznek. A kétféle félvezetőn

lévő töltéshordozók vonzzák ugyan egymást, de a köztük lévő potenciál lépcső miatt csak egy külső áramkörön keresztül képesek rekombinálódni.

Rekombináció: a két félvezető rétegen keletkezett többlet elektronok és elektron hiányok kioltják egymást.

A napelemeket jellemző paraméter a hatásfokuk. A nap által közölt energia hányad részét tudják átalakítani villamos energiává.

$$\eta = \frac{P_m}{E \cdot A} \quad (3)$$

Ahol η a hatásfok, P_m az elem által leadott maximális teljesítmény, E a napsugárzás energiája (W/m^2), A pedig a napelem felülete (m^2)

A napelemeket 3 főbb csoportba sorolhatjuk, melyek hatásfokuk és előállítási költségük alapján igen eltérőek [7].

- Az *amorf napelemek* eléggé alacsony hatásfokúak, jellemzően 4-6% közöttiek maximum. Ezt a hátrányukat alacsony előállítási költségük kompenzálja. Tehát, ha elegendően nagy felület áll rendelkezésre, akkor éri meg ezt a fajtát telepíteni. Élettartamuk 10 év körül van.
- A *monokristályos napelemek* a kereskedelmi forgalomban megfizethető áron kapható legjobb hatásfokú elemek. Hatásfokuk 15-18% körül mozog, de laboratóriumi körülmények között képesek akár 25%-os teljesítményt is elérni. Hátrányuk, hogy eléggé drágák, de élettartamuk akár a 30 évet is elérheti. Ezek a napelemek közvetlen napfényben hatékonyak, szórt fényben a hatásfokuk sajnos romlik.
- Az utolsó csoportot a *polikristályos napelemek* alkotják. Ezek olcsóbbak, de alacsonyabb hatásfokúak, mint a *monokristályos* elemek és élettartamuk is kevesebb, körülbelül 25 év.

Alapanyaguk szerint a napelemek leginkább szilíciumból készülnek, de találkozhatunk alacsonyabb hatásfokkal termelő fém–félvezető–fém szerkezetű kadmium-tellurid vagy réz-indium-tellurid elemekkel, adalékolt amorf félvezető elemekkel vagy szerves anyagból (polimerből) készült napelemekkel is.

Érdemes még megemlíteni a napkövető napelemeket is. Ezek nincsenek fixen beépítve, hanem mindig úgy mozognak, hogy a napsugarak 45° -os beesési szögben érik a felszínüket. Ezek előnye, hogy végig a jó beesési szög miatt a lehető legtovább tudnak maximális

hatásfokuk közelében működni, azaz több energiát termelnek. Hátrányuk viszont a sok mozgó alkatrész, amelyek egyrészt magasabb telepítési költséget jelentenek, másrészt nagyobb valószínűséggel hibásodnak meg. Több odafigyelést és rendszeres karbantartást követelnek meg, ami a fenntartási költségeiket is megnöveli. A fixen beépített elemek tehát olcsóbbak, kevesebb mozgó alkatrész tartalmazzak, ezáltal csökken a működési hiba valószínűsége, viszont nagyobb tervezést igényel a telepítési helyük kiválasztása, mivel olyan helyet kell nekik találni, ahol a lehető legtávolabb éri őket a napfény a lehető legnagyobb szögben. A fix karbantartási költségük a tisztításukból származik. Mivel a felületükre az idők során rengeteg por, esővíz, szemét, madárpiszok kerül, így a felület, amelyre a napsugarak sütnek egyre kisebb lesz, ezáltal az elem hatásfoka csökken, kevesebb energiát tud termelni.

Ha napenergiával szeretnénk üzemeltetni a bázisállomásokat, akkor fel kell készülni az esti órákra, amikor nincsen napsütés, de forgalom viszont akár jelentős is lehet. Lényeges, hogy a begyűjtött energiát tárolni is tudjuk. Ehhez valamiféle akkumulátorra van szükség, ami a nappali órák többletenergiját elraktározza a napsütésmentes időszakokra. Az autókban használt akkumulátorok nem megfelelőek a napenergia tárolására, mivel azokat hirtelen nagy áramot adjanak le, majd gyorsan feltöltődjenek.

A napelemes rendszerekhez ciklusálló akkumulátorok ideálisak. Ebben a típusban az átlagos akkumulátorokhoz képest jóval nagyobb tömegű ólom biztosítja a ciklusállóságot. Éppen e miatt sokkal nehezebbek és drágábbak is a hagyományos akkumulátoroknál. Az élettartamuk ezeknek a szolársavas akkumulátoroknak 6-10 év között van.[5][6]

A napelemek telepítése egyszeri nagyobb kiadás, a fenntartási költség gyakorlatilag minimális, hiszen csak takarítani kell néha, javítás csak a mozgó alkatrészű változatban kellhet, illetve szándékos rongálás esetén. Ezek után az áramot gyakorlatilag ingyen termeli, szemben a fosszilis energiahordozókkal, amelyek mostanában egyre nőnek, ráadásul ezeknél még az eszközhöz való szállítás költségei is jelentősek lehetnek.

3.3.2 Szélenergia

A szélenergia is egyre több helyen használt megújuló energiaforrás. Egyes számítások szerint megfelelően hasznosítva teljesen fedezni tudná a világ mai energiafogyasztását.

A szelet már évezredek óta hasznosítja az emberiség. Az evezős hajókat felváltó vitorlások voltak az első eszközök, amelyeket a szél energiájával hajtottak meg.

Következő terület, ahol alkalmazták a mezőgazdaság volt. A malmok szál által forgatott kerekeivel mozgattak meg a gabona őrléséhez használt szerkezeteket.

A modern szélturbinák már a kerekek mozgási energiáját alakítják át elektromos energiává.



6. ábra Tengerbe telepített turbinák. A víz feletti gyors szelet remekül kihasználják.

Ezen erőművek által előállított energia sajnos még jóval drágább, mint az egyéb módokon előállított, így elsősorban olyan helyeken éri meg a turbinák telepítése, amelyek viszonylag távol fekszenek a kiépített elektromos hálózattól és nagyon költséges lenne a vezetékeket kiépíteni.

A szél tulajdonképpen a levegő földfelszínhez viszonyított mozgása. Keletkezése olyan okokra vezethető vissza, mint a nyomáskülönbség, a nap sugárzó energiája, a domborzati viszonyok, a felszín fényvisszaverő képessége, évszakok, nedvességtartalom, napszak, illetve annak változása, stb.

A nap hője a földet forgása közben egyenetlenül éri. A pólusok közelébe sokkal kevesebb jut, mint az egyenlítő környékére. A szárazföld is sokkal gyorsabban melegszik fel, mint a tengerek vize. A hőmérsékletkülönbségek miatt alakul ki egy globális légáramlási rendszer a földfelszín és a sztratoszféra között.

A magasabb légrétegekben állandó, a 160 km/h sebességet meghaladó szél fúj.

A szél energiáját ott éri meg hasznosítani, ahol az átlagos évi szélesebesség 4-5 m/sec között mozog legalább. Ez 14-18 km/h sebességet jelent. Sajnos Magyarországon nagyon kevés helyen van az évi átlagos szélesebesség ilyen magas értéken.

Ezt az értéket jellemzően tengerpartok közelében haladja meg a szélesebesség, így ott éri meg leginkább, ott a legkifizetődőbb, leghatékonyabb a szélturbinák működtetése.[8]

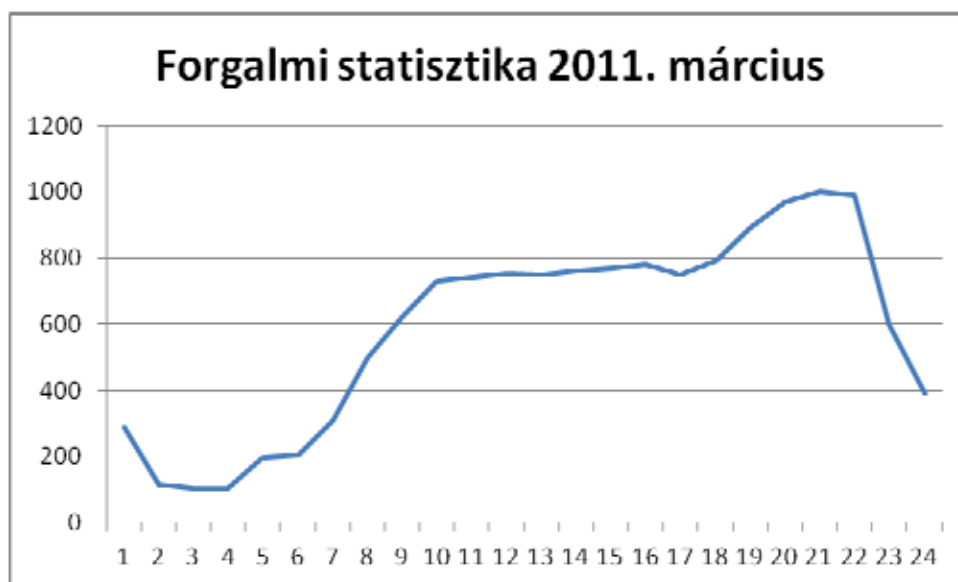
4 Módszerek a napenergia hatékony felhasználására

A célom olyan módszerek kidolgozása volt, melyek a bázisállomások napenergiával történő üzemeltetésének hatékonyságát növelik. Természetesen ezt a leghatékonyabban szeretnénk megvalósítani, tehát ésszerű napelem mérettel a legnagyobb sáv szélességet biztosítani a felhasználóknak a nap legnagyobb részében. Ehhez ismernünk kell a felhasználók igényeit, szokásait, azaz mikor és mennyire intenzíven használják a szolgáltatást. Tudnunk kell azt is, hogy mekkora sáv szélességet tudunk biztosítani ezen időszakok alatt. Ismernünk kell az energiatermelést, azaz mikor mennyi energiát tudunk a napelemekkel termelni. Mivel az energiát raktározunk is kell, ezért az akkumulátor méretezését is szem előtt kell tartanunk.

4.1 Tervezési szempontok

4.1.1 Felhasználói szokások

Az első tervezési szempontunk a felhasználói szokásokat méri fel. Megmutatja, hogy a felhasználók mikor és mennyire aktívan használják a hálózati szolgáltatásokat.

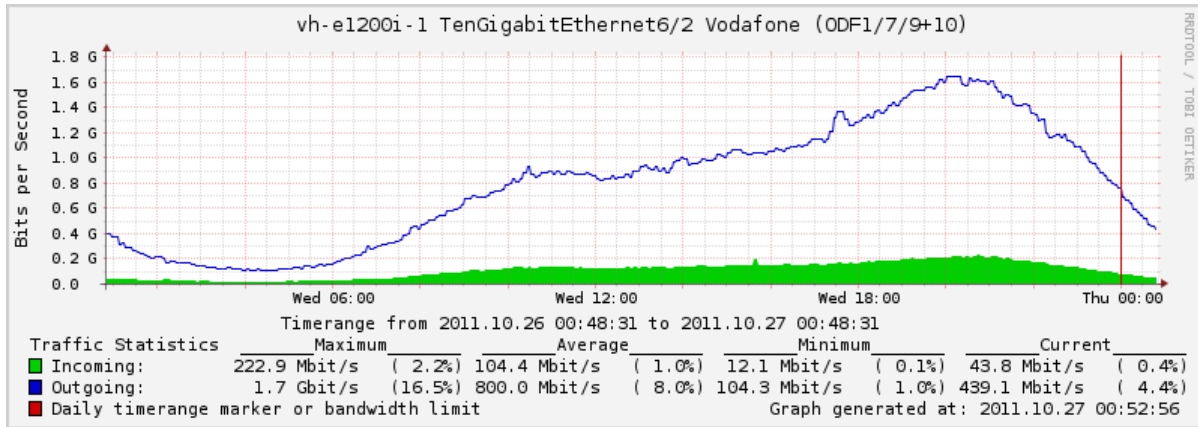


7. ábra A Vodafone hálózatának átlagos napi forgalma márciusban

A grafikonon látszik, hogy mikor mennyi a forgalom a teljes hálózatban, ami alapján következtetéseket tudunk levonni. A forgalom minimuma a hajnali órákban van 2 és 6 között. Feltételezhetjük, hogy ezekben az órákban fogyasztja a bázisállomás a legkevesebb energiát.

Az esti órákban éri el a maximumot és körülbelül 20-22 óráig ezen a szinten van. A nappali órákban (köribelül munkaidő alatt) a fogyasztás eléggé egyenletes szinten mozog. Megállapíthatjuk azt is, hogy napközben az egyenletes időszakokat leszámítva leginkább nő a fogyasztási szint, az éjszakai órákban viszont meredeken csökken.

A felhasználó szokások most is hasonlóképpen alakulnak.



8. ábra Forgalmi statisztika 2011.10. 27

4.1.2 Fogyasztási igények

A bázisállomások fogyasztási igényei eltérőek, viszont mindre jellemző, hogy van egy fix fogyasztásuk, ami a 3.1-es pontban felsorolt eszközök fogyasztás miatt keletkezik. Ezt az értéket nevezzük el fix fogyasztásnak (P_0). Ezen felül fontos megemlíteni a tipikus fogyasztást (P_{tip}), amely szintén az eszközök jellemzője, illetve a maximális fogyasztást (P_{max}).

A két érték között az alábbi egyenlőség áll fenn:

$$P_{tip} \cdot x = P_{max} \quad (4)$$

Ahol $1.4 < x < 1.6$ az általunk vizsgált esetekben megfigyelhető volt. A P_{tip} és P_{max} értékeket a Huawei BTS3812E NodeB dokumentációja alapján határoztam meg [9].

Az utolsó ismeretlen értékünk tehát a P_0 fix fogyasztás, mely a Huawei bázisállomás adatlapján nem volt megadva. Érdeemes keresni egy összefüggést a maximális fogyasztás és a fix fogyasztás között is, melyhez az EARTH project-ben dokumentált LTE NodeB fogyasztási paramétereit vettem alapul [10].

A dokumentumban az LTE mikrocella fix fogyasztási értéke 106 W, és ismert a tipikus fogyasztás is, ami $144.6 \text{ W} \approx 145 \text{ W}$. Az x értékét 1.5-nek választva az alábbi egyenletet kapjuk:

$$P_{tip} \cdot x = 145 \cdot 1.5 = P_{max} = 117.5 \approx 220 \quad (5)$$

Innen az összefüggés P_{max} és P_0 között:

$$\frac{P_{max}}{P_0} = \frac{220}{106} = 2.075 \approx 2 \quad (6)$$

Illetve P_{tip} és P_0 között:

$$\frac{P_{tip}}{P_0} = \frac{145}{106} = 1.368 \approx 1.37 \quad (7)$$

Ezt az összefüggést alkalmaztam az alábbi paraméterekkel rendelkező Huawei UMTS NodeB-ra is:

$P_{tip}=340, P_{max}=530;$

P_0 az (5) alapján:

$$\frac{P_{max}}{2} = P_0 = 265 \quad (8)$$

A kapott értéket 15%-kal megnöveltem és felülről becsültem a fix fogyasztást. Így a szimulációban, a Huawei BTS3812E fix fogyasztását 300 W értéknek vettem.

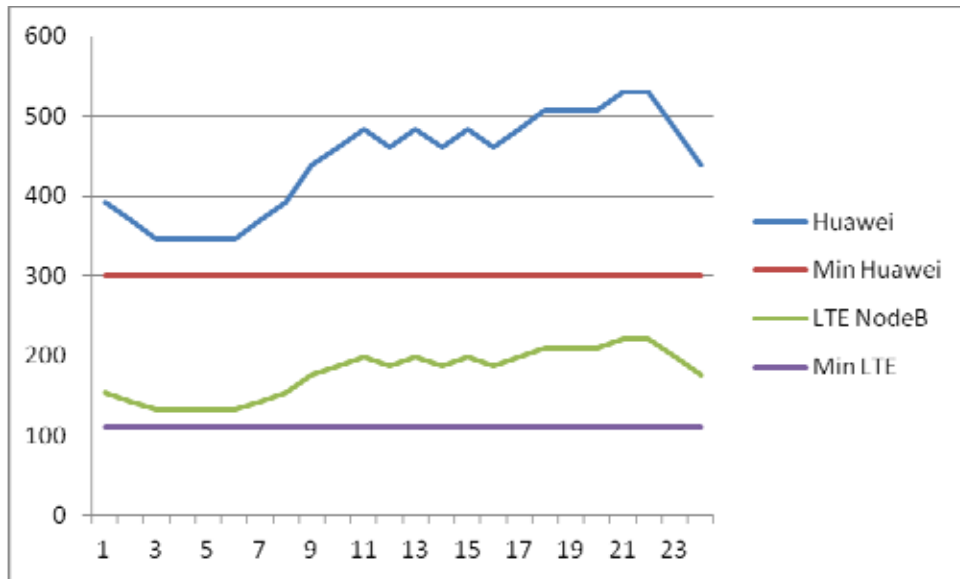
Az előző pont tapasztalatait felhasználva az alábbi módon modelleztem a fogyasztási igényeket:

Hajnali órák, amikor minimális a forgalom, a fogyasztás is alacsony értéket vesz fel, a fix fogyasztásnál csak picit többet. Az esti órákban pedig az elérhető maximum fogyasztási értéket produkálja.

Ezek alapján minden órához felvettem egy arányszámot az alábbi módon:

- a fix fogyasztás 0 arányt kap.
- az esti fogyasztás (P_{max} közeli érték) 10 arányt kapott.
- a kettő között lineáris az eloszlás és a felhasználói szokások alapján lett beosztva

A két vizsgált bázisállomás fogyasztás tehát az alábbi grafikonok alapján alakult:



9. ábra A bázisállomások referencia- és fix fogyasztásai

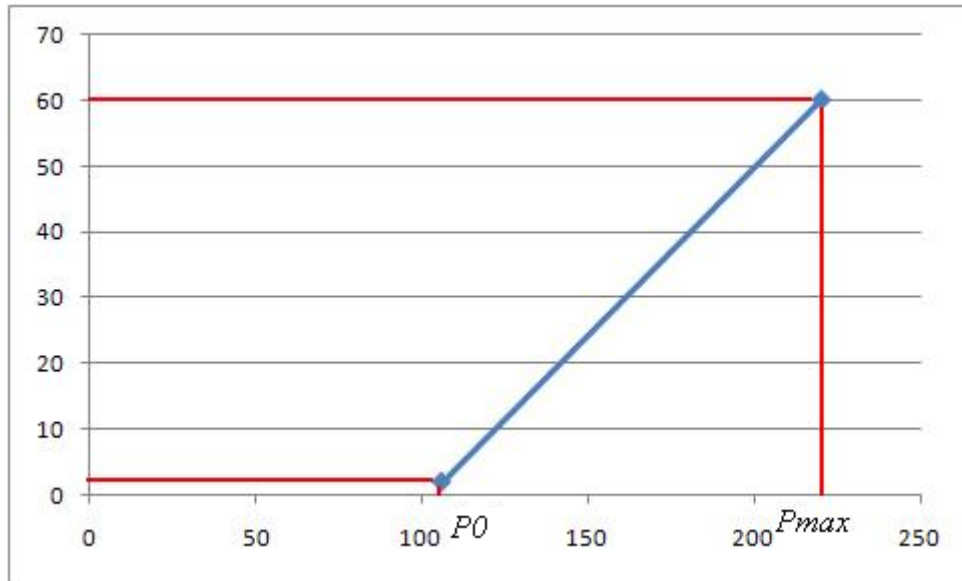
Az itt látható fogyasztási értékeket tekintettem referenciának a szimulációk során.

4.1.3 Sávszélesség

A fogyasztási értékek ismeretében tudjuk becsülni a bázisállomás által biztosított sávszélesség értékét. A sávszélességet tehát a fogyasztási értékből számítottam át. A maximum fogyasztáshoz rendeltem a bázisállomás által biztosított maximális sávszélesség értékét, a fix fogyasztáshoz pedig a minimumot. Köztük lineárisan változik a sávszélesség [12][1].

Sávszélességre való átszámításhoz tehát a lineáris függvényből indultam ki.

$$y = a \cdot x + b \quad (9)$$



10. ábra LTE bázisállomás energia-sávszélesség diagramja

Az egyenesnek két pontját ismerjük. Ezek a 2.3 fejezetben megadott értékek LTE esetén.

$$x = P_0 = 106 \quad (10)$$

$$y = 2 \quad (11)$$

$$x = P_{max} = 220 \quad (12)$$

$$y = 60 \quad (13)$$

A (10) és (11) értékeket behelyettesítve a (9) egyenletbe az alábbi összefüggést kapjuk:

$$2 = a \cdot P_0 + b \quad (14)$$

A (12) és (13) értékeket a (9) egyenletbe behelyettesítve:

$$60 = a \cdot P_{max} + b \quad (15)$$

A (15) egyenletből a (14) egyenletet kivonva és a -ra rendezve:

$$a = \frac{58}{P_{max} - P_0} \quad (16)$$

A (16) visszahelyettesítése a (15)-be:

$$(17)$$

(17) rendezése b szerint:

$$b = 60 - \frac{58}{P_{max} - P_0} \cdot P_{max} \quad (18)$$

Az aktuális sávszélesség (B_w) az aktuális fogyasztás (P_{akt}) alapján az alábbi módon számolható ki:

A (16) és (18) behelyettesítése a (9)-ba:

$$Bw = \frac{58}{P_{max} - P_0} \cdot P_{akt} + \left(60 - \frac{58}{P_{max} - P_0} \cdot P_{max}\right) \quad (19)$$

Átrendezve:

$$Bw = 60 + \frac{58}{P_{max} - P_0} \cdot (P_{akt} - P_{max}) \quad (20)$$

Tehát LTE bázisállomás esetében a sávszélesség a (20) egyenlet alapján számolható ki.

Az ismertett UMTS bázisállomás sávszélességénél a 2.2 fejezetben adott értékekkel számolva a (20) egyenlet az alábbira módosul (a levezetés teljesen hasonló):

$$Bw = 2 + \frac{0.144}{P_{max} - P_0} \cdot (P_{akt} - P_{max}) \quad (21)$$

A sávszélesség értékeket Mbit mértékegységűek a fogyasztási értékek pedig Watt.

4.1.4 Napelemek

A fogyasztási értékek már számolhatóak a korábban ismertett módszerek alapján, így a következő feladat, hogy a fogyasztási értékekhez kell találni akkora méretű és hatásfokú napelemeket, amelyek annyi energiát termelnek, amellyel a bázisállomások működtethetők.

Napelem vásárlásánál a méretet tudjuk befolyásolni, a hatásfok adott minden esetben. Adott méretű és hatásfokú elem által termelt energia a (3) képlet átrendezésével kaphatjuk meg:

$$P_m = \eta \cdot E \cdot A \quad (22)$$

Emlékeztető: η a hatásfok, P_m az elem által leadott maximális teljesítmény, E a napsugárzás energiája (W/m^2), A pedig a napelem felülete (m^2)

A termelést tehát a napsugárzás befolyásolja. A napsugárzást befolyásoló tényezők száma elég nagy, így a szimulációban 12 hónap vízszintes síkon mérhető teljes sugárzási értékének átlagával számoltam. Ezen értékek óránkénti bontásban adottak, így minden órához viszonylag pontos termelési értékkel tudtam számolni [11].

4.1.5 Akkumulátor

Az akkumulátornál az elsődleges szempont, amit tudni kell az a maximális töltöttsége. Ezt úgy becsültem, hogy ha maximálisan fel van töltve, akkor 72 napsütésmentes órán keresztül tudjon minimális szolgáltatást nyújtani a bázisállomás, azaz a teljesen feltöltött akkumulátor 72 órányi fix fogyasztást tudjon szolgáltatni.

Az akkumulátor maximális töltöttségének értékét hívjuk E_{max} -nak:

$$E_{max} = 72 \cdot P_0 \quad (23)$$

4.2 Javasolt algoritmusok

A bázisállomások működéséhez szükséges energia csökken, ha korlátozzuk a sáv szélességet, ezáltal pedig a fogyasztást. Ez azért jó, mert így lehetséges, hogy kisebb méretű napelem is elegendő energiát tud termelni, ezáltal a költségek csökkenthetők. Ebben a dolgozatban 6 algoritmust dolgoztam ki és vizsgáltam meg, hogy milyen módon befolyásolják a fogyasztást.

Az algoritmusok közös jellemzője, hogy az elem maximális töltöttsége fölé nem mehet egyik algoritmussal sem, illetve nulla alá sem kerülhet. Ha az elemben nincs annyi energia, hogy az adott órában a minimális szolgáltatást nyújtsa, akkor a bázisállomás „lekapcsol” fogyasztás 0 értékű lesz, mint ahogy a sáv szélesség is, az akkumulátor pedig töltődni fog az adott órához tartozó termelési érték szerint.

4.2.1 Algoritmus #1

Az első, legegyszerűbb algoritmus nem szabályoz semmit a 4.2 fejezetben említetteken felül. Tehát megmutatja a szabályozás nélküli esetet. A fogyasztási értékek vagy a referenciafogyasztás értékei, vagy 0, ha az akkumulátor lemerül.

Az elem töltöttsége az i . órában ($e[i]$) az alábbi szerint számítható:

$$e[i] = e[i-1] + t[i] - f[i] \quad (24)$$

$e[i-1]$ az előző órai akkumulátortöltöttség, $t[i]$ az aktuális óra energiatermelése, $f[i]$ pedig a bázisállomás aktuális órai fogyasztása.

4.2.2 Algoritmus #2

A következő algoritmus az alábbiak szerint szabályoz: ha az aktuális fogyasztás kisebb, mint a termelés és az esti órákban vagyunk, akkor az elem maximális töltöttségének a 72-ed részét szolgáltatja, azaz éppen a fix fogyasztási értéket. Tehát, ha a következő egyenlőtlenség fennáll, akkor szabályoz az algoritmus:

$$t[i] - f[i] < 0 \quad (25)$$

Ebben az esetben az alábbiak szerint módosul a (24) egyenlet:

$$e[i] = e[i-1] + t[i] - \frac{E_{max}}{72} \quad (26)$$

Az esti órákra az alábbi egyenlőtlenség vizsgálatával figyeltem:

$$t[i] + P_0 < f[i] \quad (27)$$

Tehát, ha a termelésünk még a fix fogyasztás fölötti részt sem tudja fedezni, azaz a termelés minimális vagy 0, akkor az algoritmus leszabályozza az aktuális fogyasztást a fix P_0 fogyasztásra minimális sávszélességet biztosítva.

4.2.3 Algoritmus #3

Az algoritmus #3 szintén a (25) összefüggés szerint szabályoz az alábbiak szerint:

Ha kevesebb a termelés, mint a fogyasztás, akkor 12 óra átlagfogyasztása és az aktuális elemtöltöttség hányadosa alapján szabályozzuk a fogyasztást.

Az átlagfogyasztási értéknél az előző és a következő 6 órát néztem, kivéve a legelső órában, mivel akkor a teljes 24 órás fogyasztás 24-ed része ez az érték. A bázisállomás fogyasztás tehát az alábbiak szerint alakul szabályozott esetben:

$$f3[i] = \frac{e[i]}{sz[i]} \cdot P_{akt} \quad (28)$$

ahol $f3[i]$ az i . óra fogyasztása, $e[i]$ az elem aktuális töltöttsége, $sz[i]$ pedig az aktuális órához tartozó átlagfogyasztási tényező.

Az (24) pedig így módosul:

$$e[i] = e[i-1] + t[i] - f3[i] \quad (29)$$

4.2.4 Algoritmus #4

Az alábbi algoritmus az elem aktuális töltöttsége alapján korlátoz, azaz a referenciafogyasztást az elemtöltöttség aránya alapján fogja vissza, ha fennáll a (25) szituáció.

$$f4[i] = \frac{e[i]}{E_{max}} \cdot f4[i-1] \quad (30)$$

Az $f4[i]$ az i óra fogyasztása. Az elem töltöttségéhez pedig az alábbi módon változik a (24):

$$e[i] = e[i-1] + t[i] - f4[i] \quad (31)$$

4.2.5 Algoritmus #5

Az előzőhöz hasonló algoritmus, de ebben az esetben az elem töltöttségi arány logaritmusának a felével szabályozzuk a fogyasztást. A (30) az alábbiak szerint változik:

$$f5[i] = \frac{\log_{10} \frac{e[i]}{E_{max}}}{2} \cdot f5[i-1] \quad (32)$$

Az $f5[i]$ az i óra fogyasztása. Az elem töltöttségéhez pedig az alábbi módon változik a (24):

$$e[i] = e[i-1] + t[i] - f5[i] \quad (33)$$

4.2.6 Algoritmus #6

Utolsó algoritmusom az egy bizonyos elem töltöttségi arány fölött a referenciafogyasztást is engedi, de az arány alatt csak a fix fogyasztást. A kérdéses arányt 30%-nak választottam.

Tehát, ha az alábbi feltétel teljesül, az algoritmus akkor szabályoz:

$$0.3 > \frac{e[i]}{E_{max}} \quad (34)$$

5 Szimulációs eredmények

5.1 Szimulációs környezet

A szimulátor egy általam C# nyelven írt konzolalkalmazás. A program jelenleg a 2.2 és 2.3 pontokban bemutatott bázisállomások fogyasztási adatai alapján végzi a szimulációkat [9][10].

A szoftver implementálja a bemutatott algoritmusokat. Az algoritmusok függvényekként vannak megvalósítva, a paraméterezésüknek megfelelően állítják elő a kívánt kimenetet. A program a kimeneti értékeket fájlba menti, majd befejezi a működést. Újabb szimuláció indításához a programot újra kell futtatni.

Az algoritmusok 150 órányi működést szimulálnak.

5.1.1 Bemeneti paraméterek és a szimulátor működése

A szimulátor tehát egy algoritmust szimulál egyszerre. A bemeneti paraméterek közül tehát az első, hogy melyik algoritmust kívánjuk szimulálni. Ehhez egytől hatig választhatunk értéket, majd az értéknek megfelelő függvényt fogja hívni.

Az algoritmusokat megvalósító függvények öt paraméterrel rendelkeznek. Ezek mindegyikét meg kell adni.

Az első ilyen paraméter a bázisállomás típusa, mely a Huawei BTS3812E és LTE bázisállomás (Earth projekt) közül választhatunk. A szoftver e paraméter alapján hívja meg a referenciafogyasztást kiszámító függvényt.

A következő paraméter az akkumulátor kezdeti töltöttségét adja meg. Itt van három beégetett érték, ha 101-nek választjuk, akkor a kezdeti töltöttsége 0%, ha 102-nek, akkor 50%, ha 103-nak, akkor 100% lesz. A típus és a kezdeti töltöttség paraméterekkel hívja meg az algoritmus az elem kezdeti értékét kiszámító függvényt. A típus ugye azért kell, mivel a két bázisállomás fix fogyasztása eltérő, így a 72 órás töltöttség más maximális akkumulátor töltöttségi értéket jelent. A kezdeti töltöttség pedig ezen érték alapján számítja ki a kezdeti értéket a maximumhoz viszonyítva. Ha 100 alatti pozitív szám a kezdeti töltöttség paramétere, akkor az annak megfelelő százaléknyi értéken lesz az akkumulátor töltöttsége. Nem megfelelő érték megadásakor hibaüzenetet kapunk.

A következő két paraméter a napelemre vonatkozó méret és hatásfok értékei. Ezekkel a paraméterekkel hívja meg a termelési tömböt kiszámító függvényt. A függvény a 4.1.4 pontban ismertetett módon számol [11].

Az utolsó paraméter a termelési és fogyasztási ingadozást adja meg, azaz, hogy van-e ingadozás, vagy nincsen. Amennyiben van, akkor a fogyasztást $+5\%$ -kal, a termelést pedig $+15\%$ -kal befolyásoló randomszámokkal módosulnak a fogyasztási és termelési értékek. Ezzel próbáltam az időjárást és a felhasználói szokások változékonyságát modellezni. Ha nincs ingadozás, akkor a referenciatermelés és $-$ fogyasztás a mérvadó.

5.1.2 Kimenetek

A szimuláció a kimeneteket .txt kiterjesztésű fájlba menti. Minden algoritmus négy kimenetet ad. Az első az adott algoritmussal kiszámolt akkumulátor töltöttségi táblázat óránkénti bontásban. Ez egy 150 elemű táblázat. A következő kimenet az akkumulátor százalékos töltöttsége, az előző kimenet (akkumulátortöltöttség) és a maximális töltöttség aránya, amely szintén 150 elemű. A harmadik kimenet a bázisállomás óránkénti fogyasztása az adott algoritmus szerint. Hasonlóan az előzőkhöz 150 elemből áll. Az utolsó kimenet a sávszélességet adja meg. A fogyasztási értékeket számolja át a (20) és (21) egyenletek szerint, így a fogyasztásból is 150 értéket tart számon.

Az algoritmus által hívott függvények kimeneteire is szükség van, így a referenciafogyasztást kiszámoló függvény kimenete a referenciafogyasztás 24 elemét tartalmazza, illetve a kimeneti fájl első sora a bázisállomás típusa (UMTS/LTE). A termelési tömb által kiszámolt értékeket is fájlba menti a szimulátor. A kimenet tartalmazza a bemenetben megadott méret és hatásfok értékeket illetve 24 óra energiatermelését. Ezeknél elegendő egy nap értékeit nézni, mivel ezek ciklikusan változnak és a ciklusuk éppen 24 óra.

Ingadozás esetén a generált véletlen számokat mentettem fájlba. Ez a kimenet két oszlopból áll, az első oszlop a felhasználók, a második oszlop a napsütés ingadozását mutatja. Az első oszlop értékei a $[-5..5]$ intervallumból kikerülő egész szám, a második oszlop értékei pedig a $[-15..15]$ intervallumból kerülnek ki. az előző pontban vázolt működési feltételeknek megfelelően. Ha nincs ingadozás, akkor nincs ilyen fájl.

A kimeneti fájlok neveinél figyeltem arra, hogy belőlük egyértelműen el lehessen dönteni, hogy melyik algoritmus futásának melyik kimenetét tartalmazza.

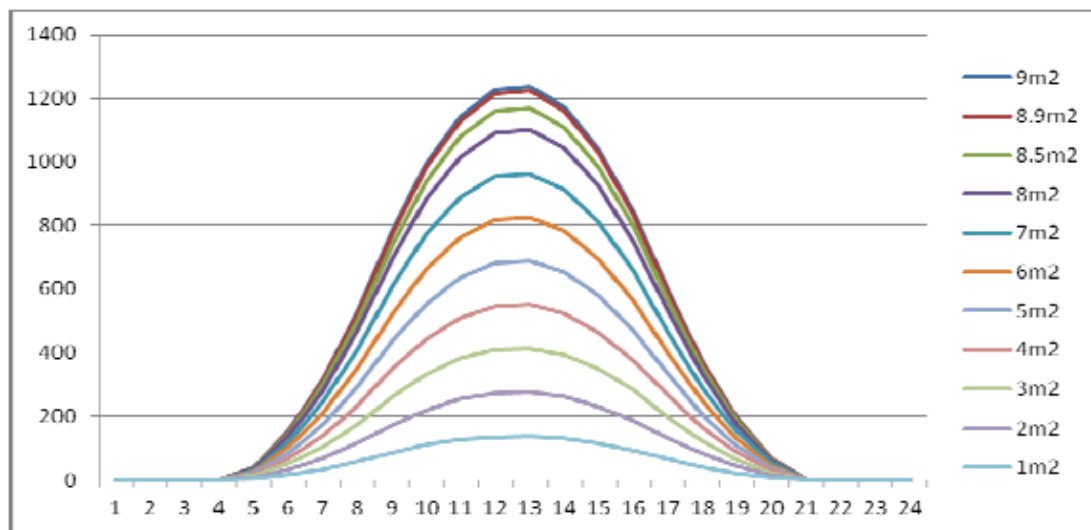
5.2 Eredmények

5.2.1 Eredmények generálásának szempontjai

Az algoritmusok működésének összevetéséhez és egymáshoz viszonyításukhoz szükséges, hogy minden algoritmus működését megvizsgáljuk különböző körülmények között. Ennek tükrében egyszerre egy paramétert változtattam a szimulációk során, a többi változatlan maradt. Első és talán legfontosabb szempont, hogy megbecsüljük, hogy mekkora méretű napelem szükséges a bázisállomások működtetéséhez. A következő pontokban az UMTS bázisállomás fogyasztási adataival számoltam. Az elem maximális töltöttségének a (23) alapján számított értéket választottam.

5.2.2 Napelem méretének változtatása

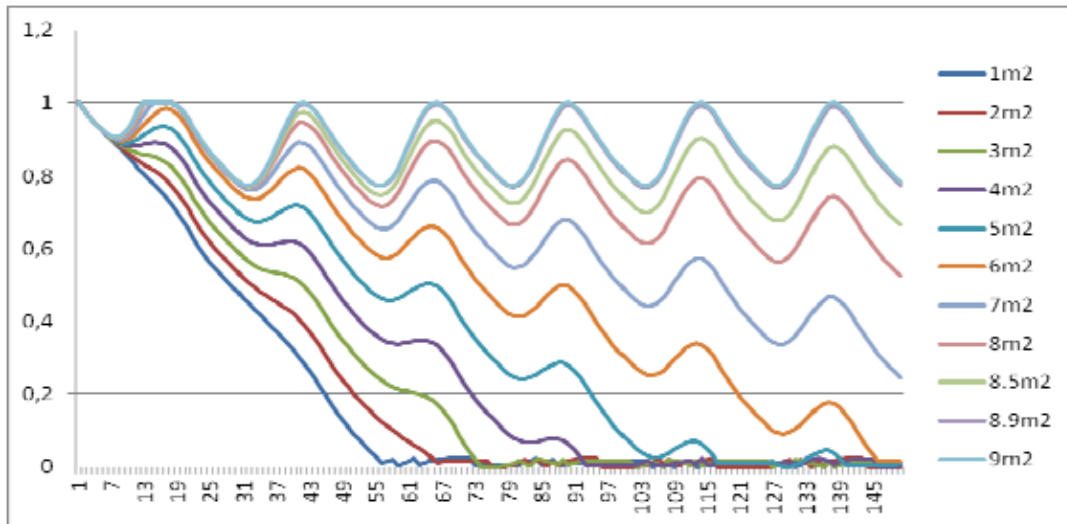
A szimulációban az algoritmusok változó paramétere a napelem mérete volt. A napelemet a drágább monokristályosak közül választottam és hatásfokának 17 %-ot állítottam be ($\eta = 17$). Ingadozást se a felhasználók, se a napsugárzás esetében nem állítottam be. Kezdeti töltöttség 100% volt. Az órákra lebontott energiatermelési értékeket a következő ábra szemlélteti.



11. ábra Az órákra lebontott termelési értékek a különböző méretekhez 17%-os hatásfok esetén

5.2.2.1 Algoritmus #1

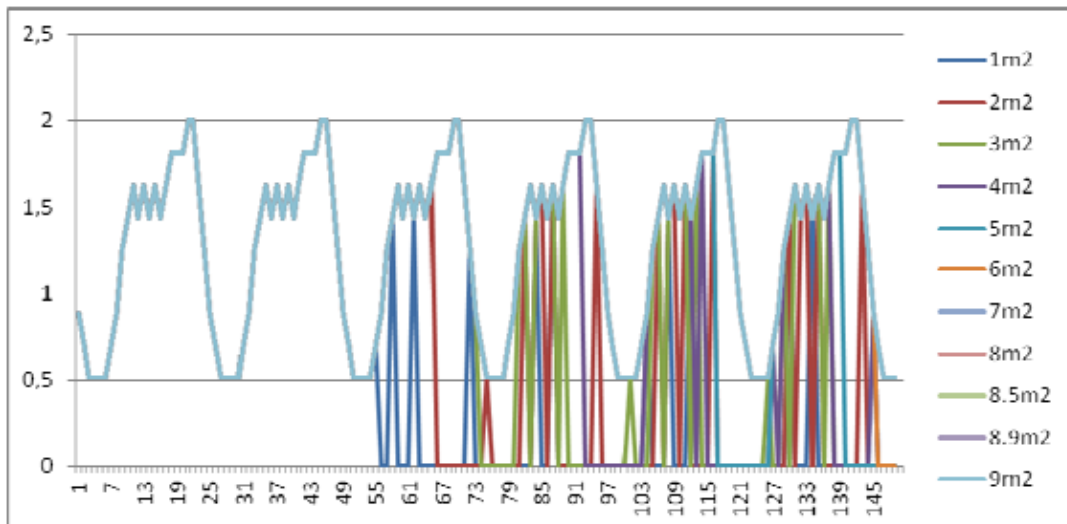
Az elem méretét négyzetméterenként növeltem addig a szintig, amíg meg nem találtam azt a méretet, amellyel teljesen biztosan működtethető a bázisállomás. Az első algoritmus esetében az akkumulátor töltöttségének százalékos alakulásán remekül látszik, hogy a különböző méreteknel hogy alakul az elem töltöttsége:



12. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására Algoritmus #1 esetében

Remekül látszik, hogy 9 m² méretű napelem termelése fedezi a fogyasztást, hiszen a 18. órától kezdve ciklikusan ismétlődő értékeket vesz fel a függvény. A ciklus éppen 24 óra. Az ennél kisebb napelem-méret még nem elégséges, 8.5 m² és 8.9 m² esetében is lassú, de folyamatos csökkenés tapasztalható.

Vizsgáljuk meg, hogy a sávszélesség hogyan alakul a napelem méretének tükrében:

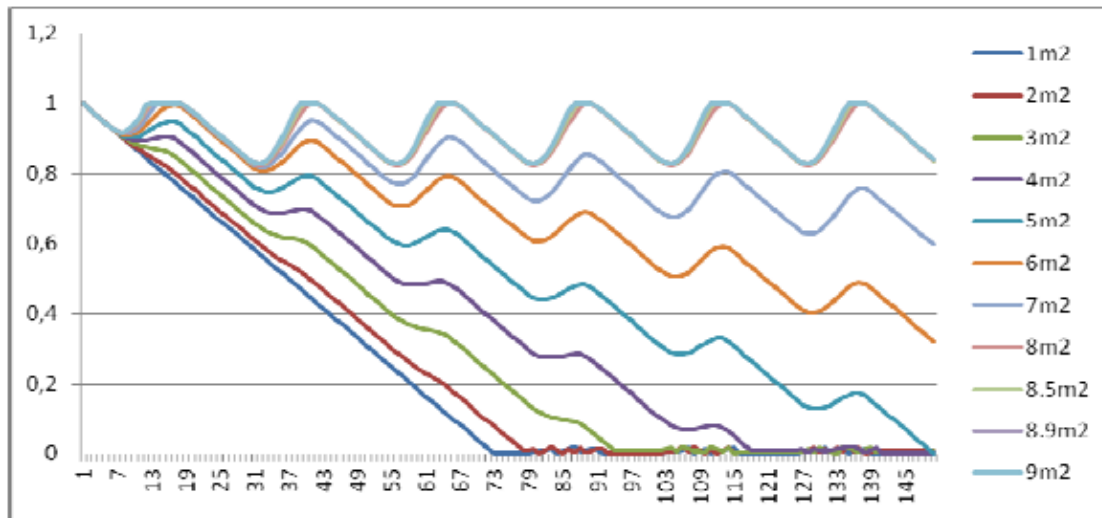


13. ábra A sávszélesség [Mb/s] alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #1 esetén

A sávszélesség értékeiből leolvasható, hogy habár 6 m² méretű napelem esetében folyamatosan csökken az akkumulátor töltöttsége, a kibocsátott sávszélesség nagyon sokáig az ideális vonalon mozog. Kijelenthetjük, hogy a napelemek méretét a 6-9 m² tartományban érdemes vizsgálni.

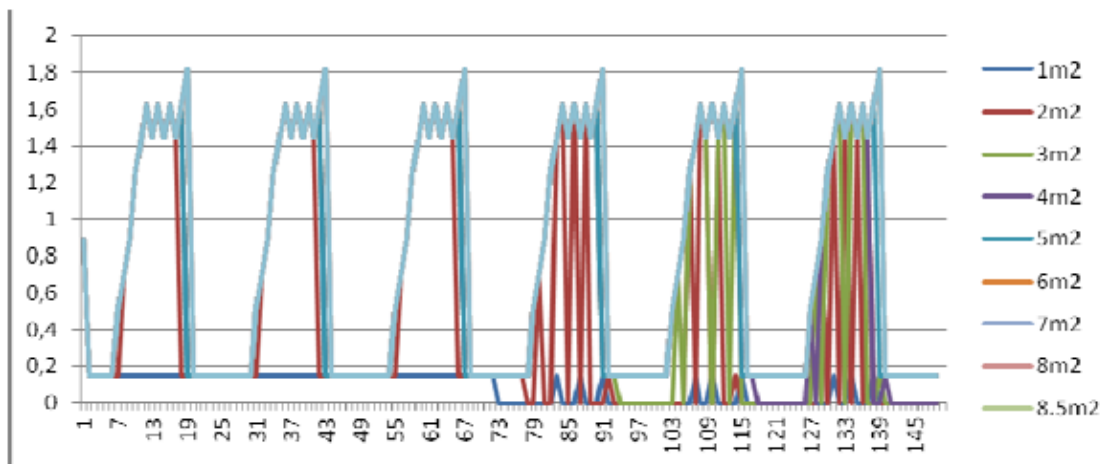
5.2.2.2 Algoritmus #2

A következő algoritmussal is elvégezve a mérést az alábbi grafikonok születtek:



14. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #2 esetében

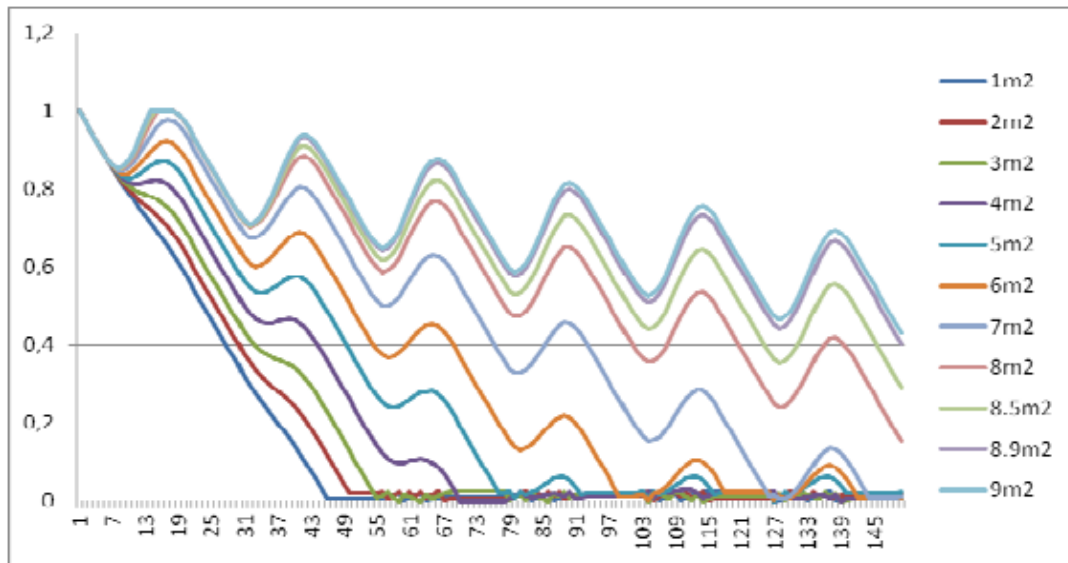
6 m² alatt ebben az esetben is a 150 óra végére lemerül az akkumulátor.



15. ábra A sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #2 esetén

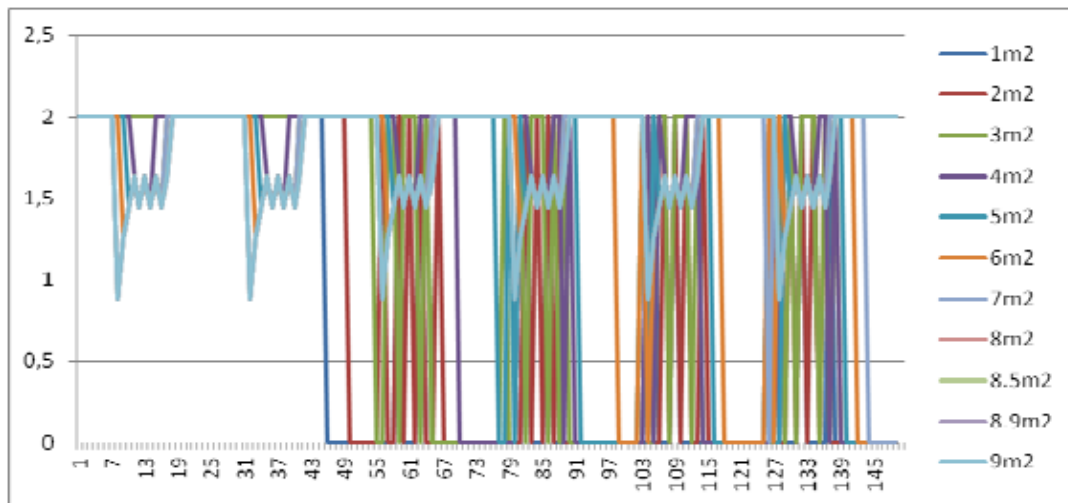
A bevezetett korlátozásoknak köszönhetően az akkumulátor lassabban merül le. Ennek következtében viszont a sávszélesség alacsonyabb, de remekül igazodik a referenciához, szinte azt követi, ha a napelem mérete 5m² vagy annál nagyobb.

5.2.2.3 Algoritmus #3



16. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #3 esetében

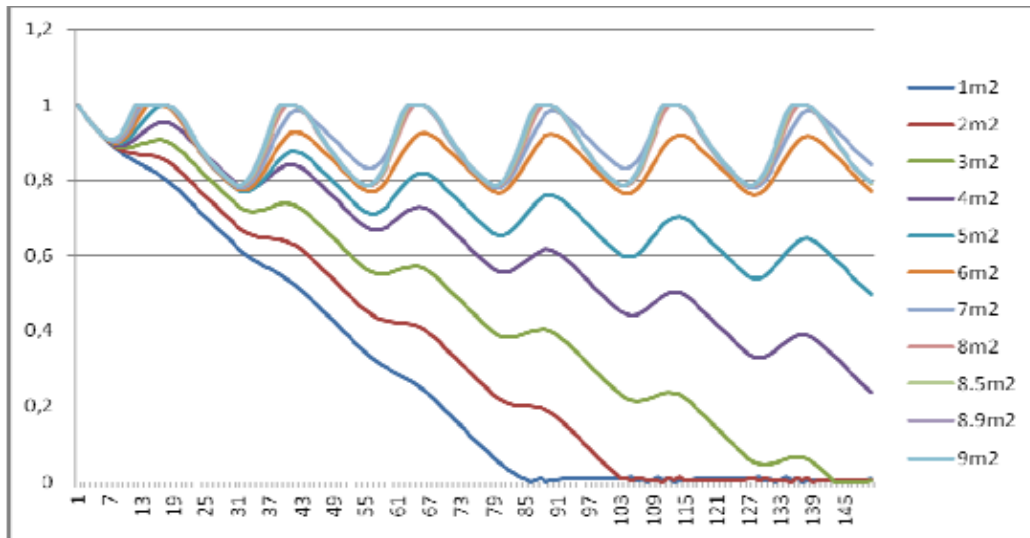
Az akkumulátort nagyon hamar lemeríti, az eddigi algoritmusok közül a legpazarolóbb.



17. ábra A sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #3 esetén

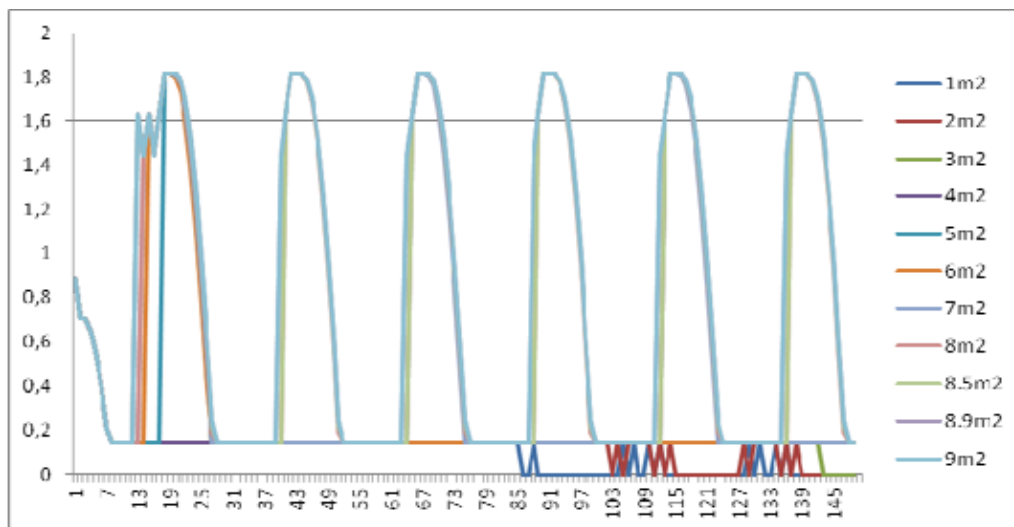
Az algoritmus minden esetben a lehető legnagyobb sávszélességet szeretné biztosítani, így nagyon hamar lemerül, ráadásul az eddig jónak talált 9 m^2 méretű napelem sem biztosít elegendő energiát. Ennek oka az algoritmusban keresendő, hiszen az aktuális töltöttség alapján korlátoz. Előreláthatóan másféle működést fog mutatni 50%-os illetve 0%-os kezdeti töltöttség esetén.

5.2.2.4 Algoritmus #4



18. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #4 esetében

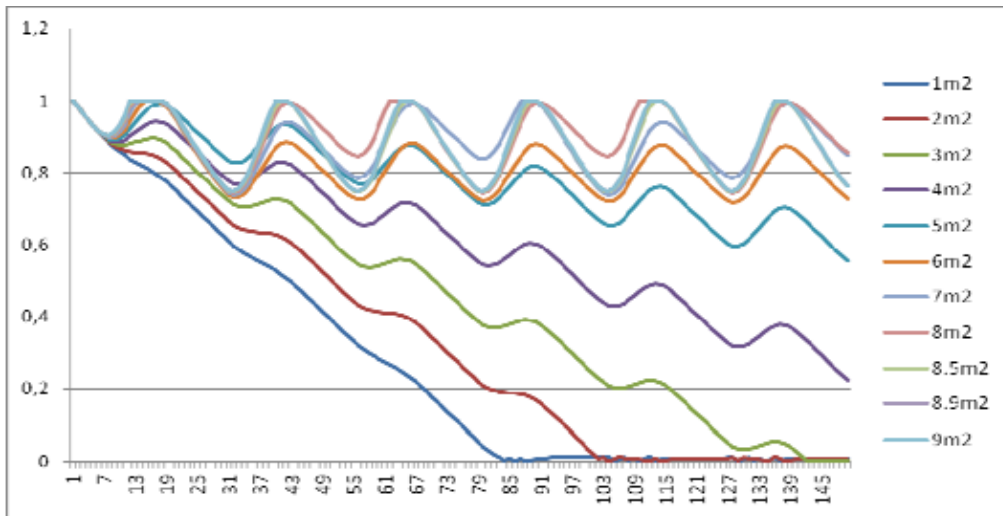
Az algoritmus az elemtöltöttséget elég jól kihasználja, még kis napelem-méret esetén is sokáig tud szolgáltatni a bázisállomás.



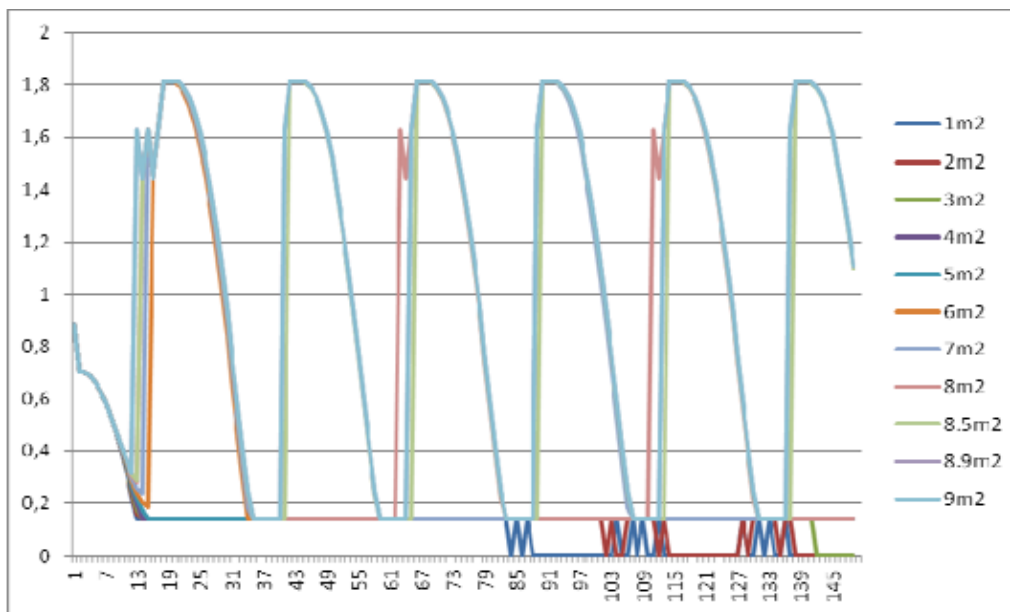
19. ábra A sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #4 esetén

Ennek hátulütője a sávszélességen látszik meg, ugyanis nagyon sokszor csak a minimális szolgáltatást tudja nyújtani, viszont amikor a minimálisnál több a sávszélesség, akkor elég magas értéket vesz fel.

5.2.2.5 Algoritmus #5



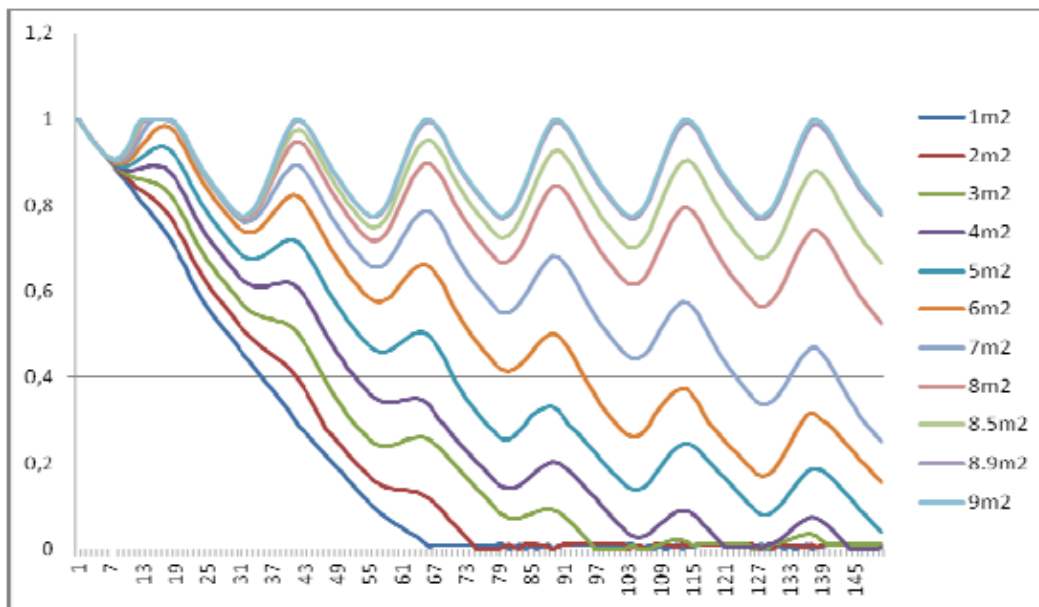
20. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására Algoritmus #5 esetében



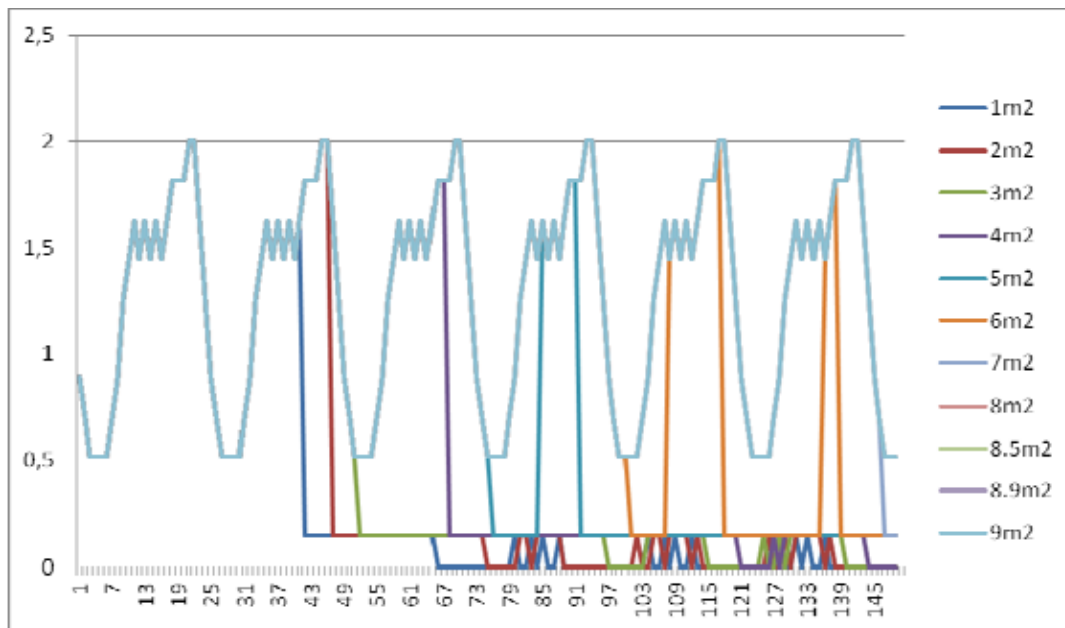
21. ábra A sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #5 esetén

A működése nagyon hasonló az előző algoritmusához. Lassan merül le az akkumulátor, de alacsony a sávszélesség, így sokszor csak minimális a szolgáltatás.

5.2.2.6 Algoritmus #6



22. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #6 esetében



23. ábra A sávzélesség alakulása a napelem méretek változására Algoritmus #6 esetén

Az algoritmus átmenet az első és a második között. Kisméretű napelemmel tovább bírja, mint az első, de kevesebb ideig, mint a második algoritmus. A sávzélesség alapján viszont egyértelműen jobban teljesít a második algoritmusnál, az elsőhöz hasonlít a legjobban, ami ugye a szabályozatlan esetet mutatja be.

5.2.2.7 Összegzés

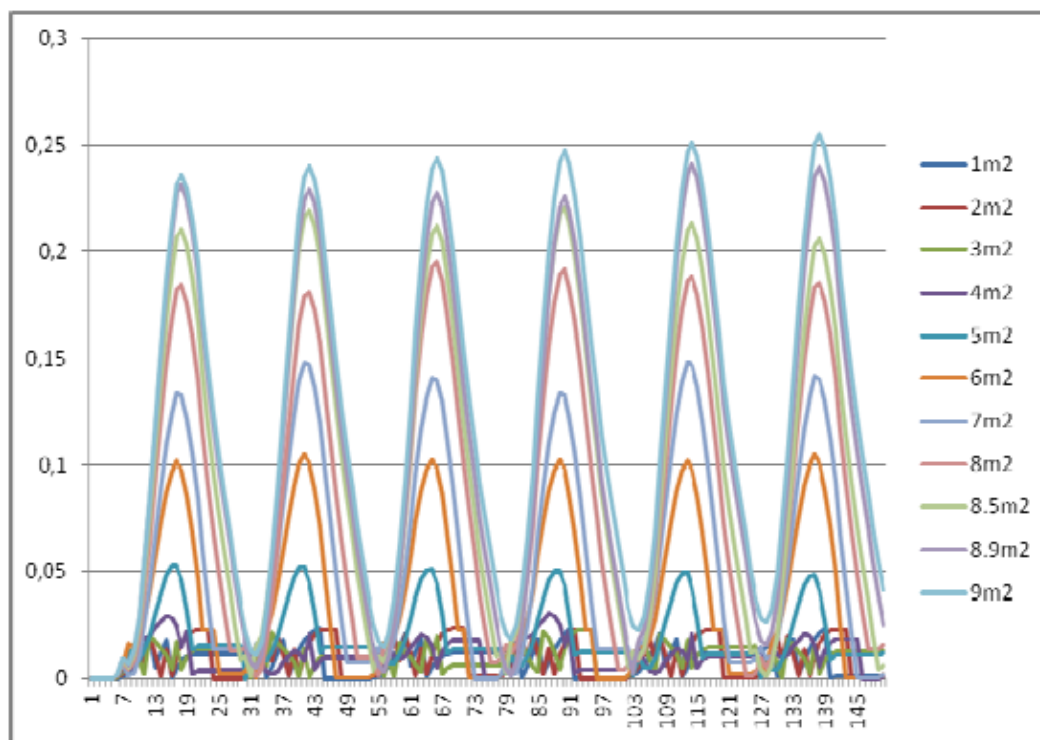
Láthattuk, hogy az algoritmusok hogyan befolyásolják a fogyasztást és ezzel a sávszélességet, ha teletöltött akkumulátorral kezdünk. Az első algoritmushoz, mint szabályozás nélküli esethez hasonlítva a többit az alábbi tanulságokat vonhatjuk le:

A harmadik algoritmus a legpazarolóbb. Használata olyan esetben célszerű, mikor az akkumulátor töltöttsége maximum közeli és várhatóan nem fog nagyon leesni. Elemtöltöttség szempontjából a #4 és #5 algoritmusok jobban teljesítenek, a #2 és #6 algoritmusok pedig nagyjából hasonlóan viselkedik, mint az #1 algoritmus.

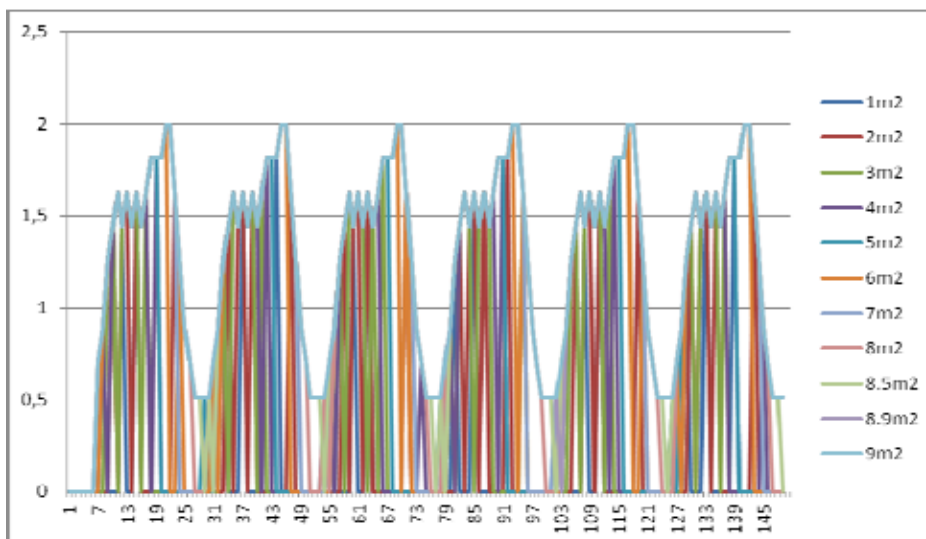
5.2.3 Üres akkumulátor esete

A következő vizsgálandó esetnek az előzővel megegyező beállításokat választottam, csak most az akkumulátor teljesen lemerült állapotban van, így várhatóan az első pár órában nem fog a bázisállomás működni, folyamatosan tölti magát.

5.2.3.1 Algoritmus #1



24. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #1 esetében

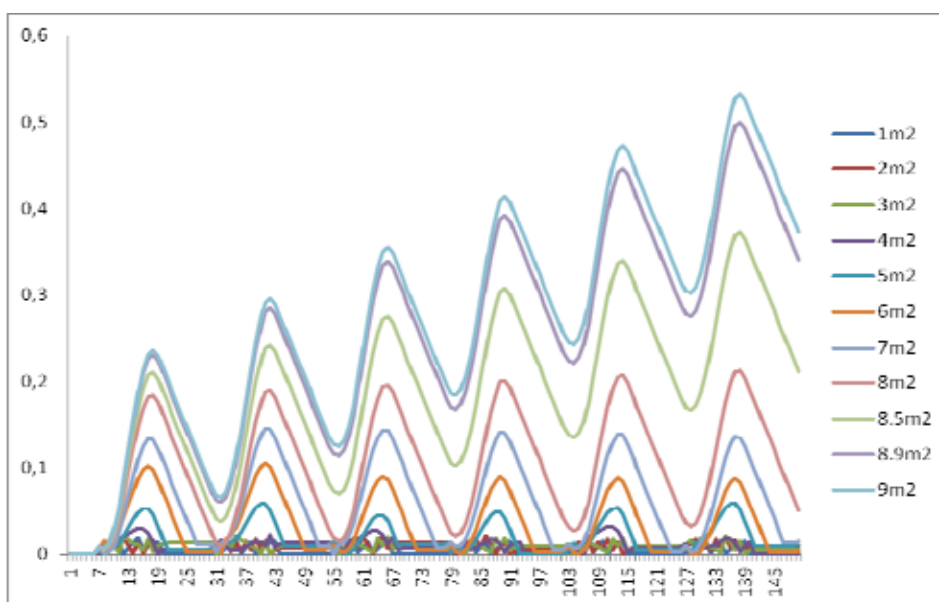


25. ábra A sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #1 esetén

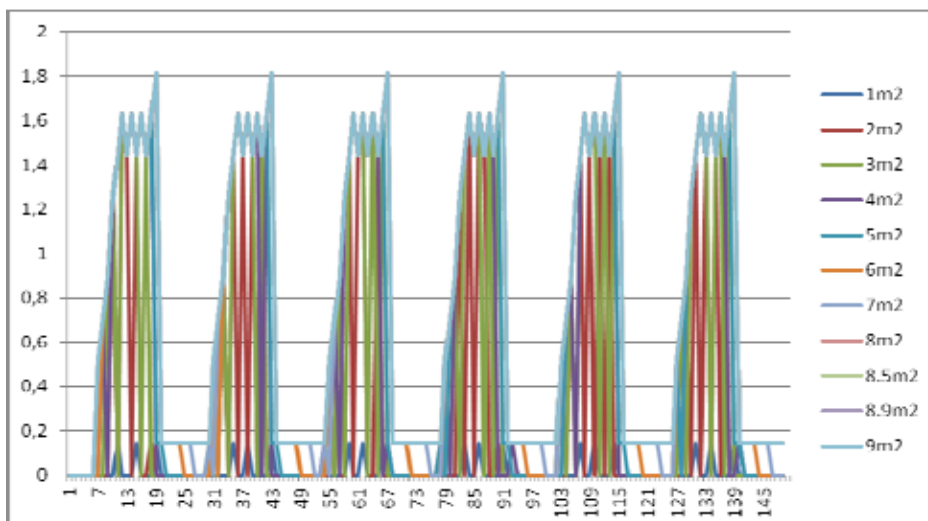
A sejtésnek megfelelően az első pár órában még a legnagyobb napelem-mérettel sem tud sugározni a bázisállomás, de hamar elkezd töltődni és beáll a teljes töltöttségnél tapasztalt ciklusba. Ezt a többi méretnél is tapasztalható, de azokban a ciklusokban a méret csökkenésével egyre gyakrabban fordul elő a nem üzemelő, töltődő állapot.

Az elem töltöttségét figyelve látható, hogy 9 m² méretű napelemmel az akkumulátor lokális maximum értékei folyamatosan nőnek.

5.2.3.2 Algoritmus #2



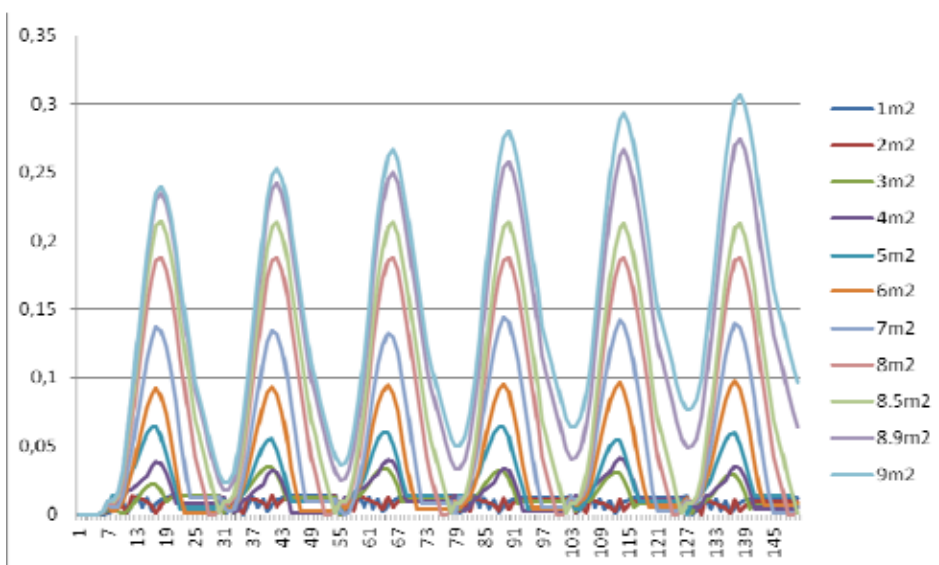
26. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #2 esetében



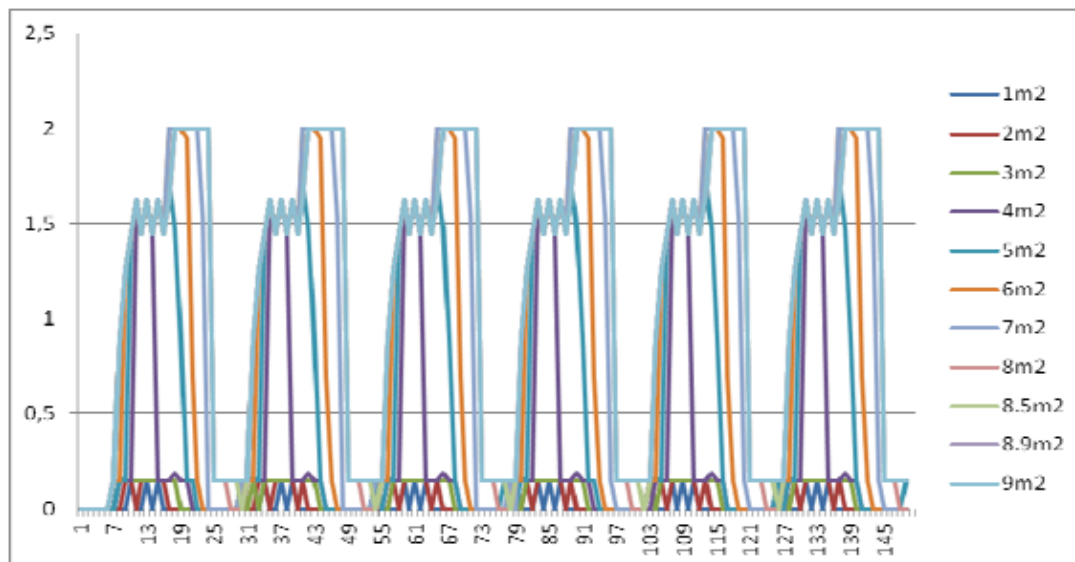
27. ábra A sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #2 esetén

Az első pár órai töltődést követően ez az algoritmus is a telitöltött állapothoz hasonlóan viselkedik. Az akkumulátor gyorsabban töltődik, mint az első algoritmus esetében, de a sávszélesség összességében kevesebb.

5.2.3.3 Algoritmus #3



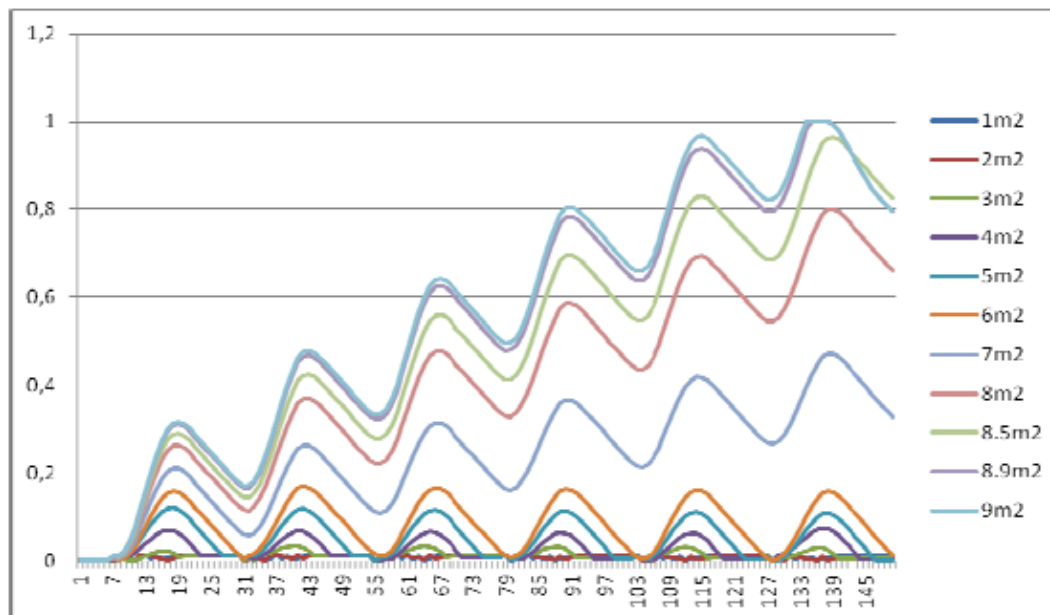
28. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #3 esetében



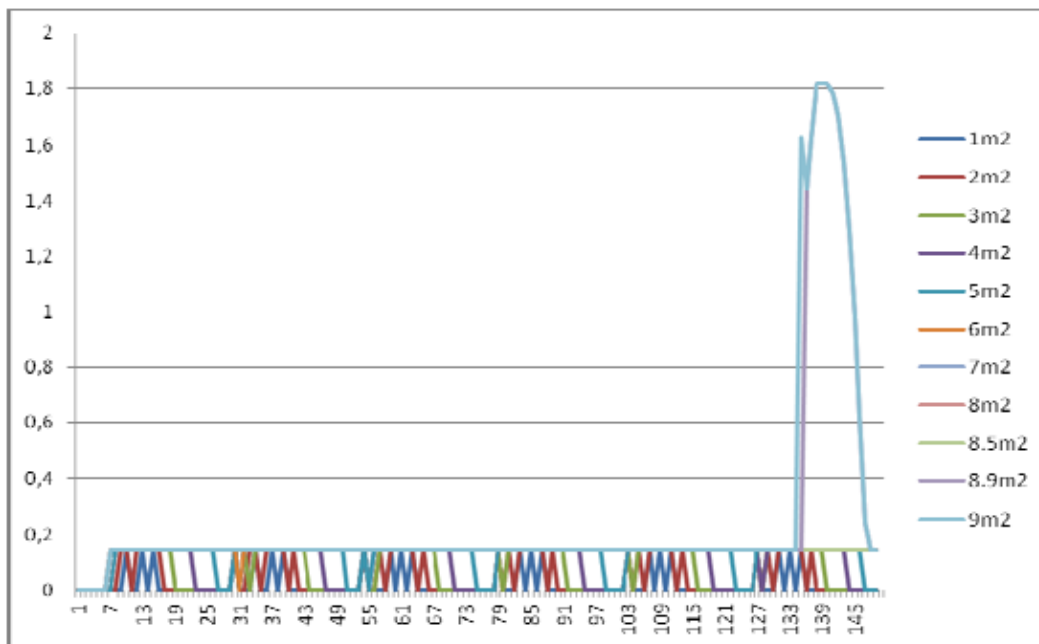
29. ábra Sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #3 esetén

A sávszélesség alapján azt váránk, hogy továbbra is pazarlóan működik az algoritmus, de az akkumulátor egyre töltöttebb nagyméretű napelemeket választva. Az #1 algoritmusnál gyorsabban töltődik, de sokkal gyakrabban kell minimumot szolgáltatnia

5.2.3.4 Algoritmus #4



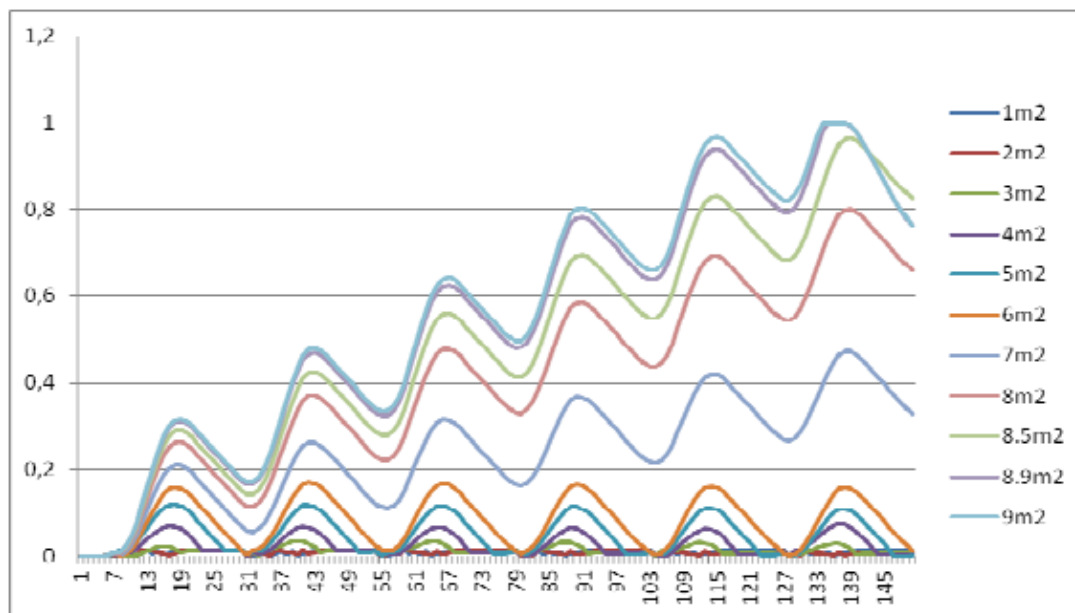
30. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #4 esetében



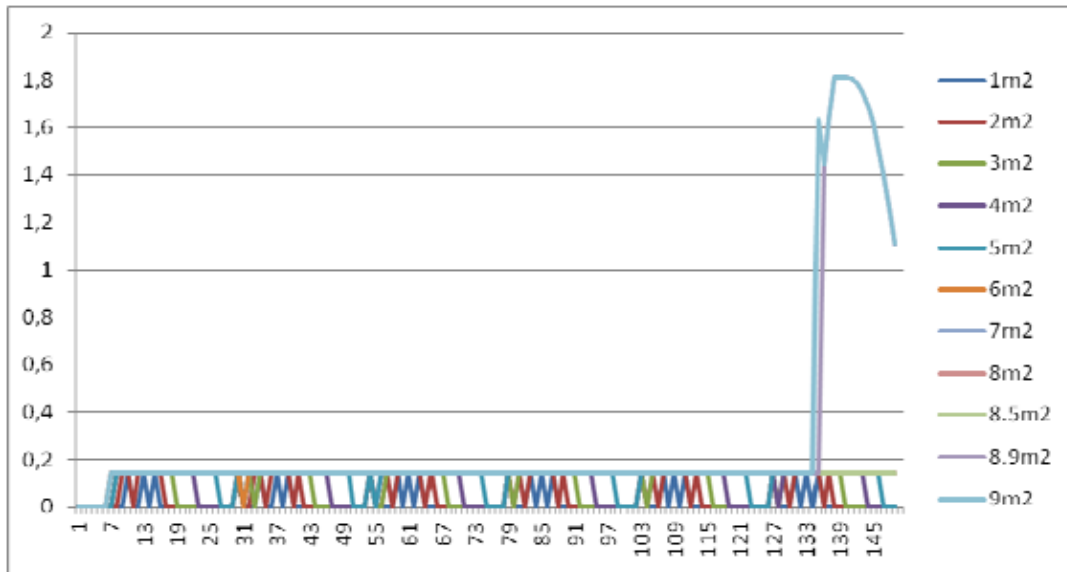
31. ábra Sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #4 esetén

Az algoritmust használva az akkumulátor igen gyorsan feltöltődik és a bázisállomás folyamatosan szolgáltat. Minimum sávszélességet nagyobb elemméretnél az első pár óra után gond nélkül kiszolgál.

5.2.3.5 Algoritmus #5



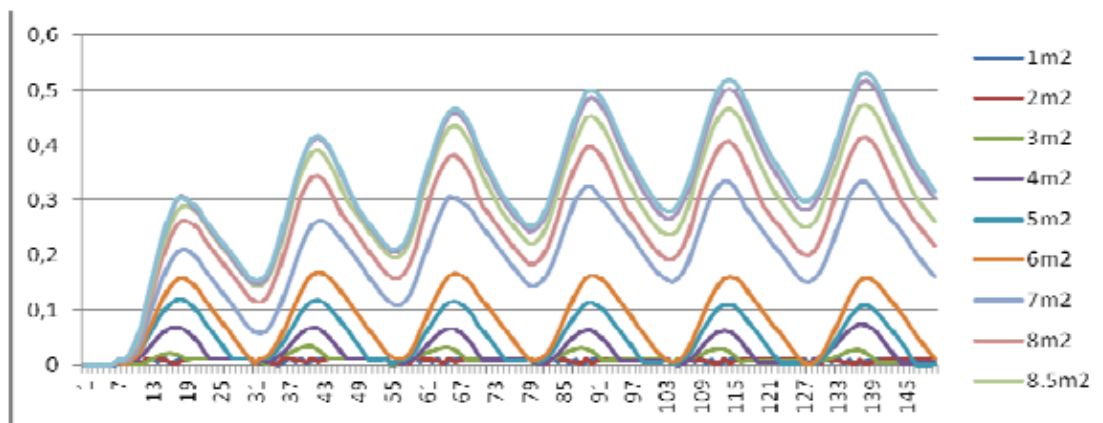
32. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #5 esetében



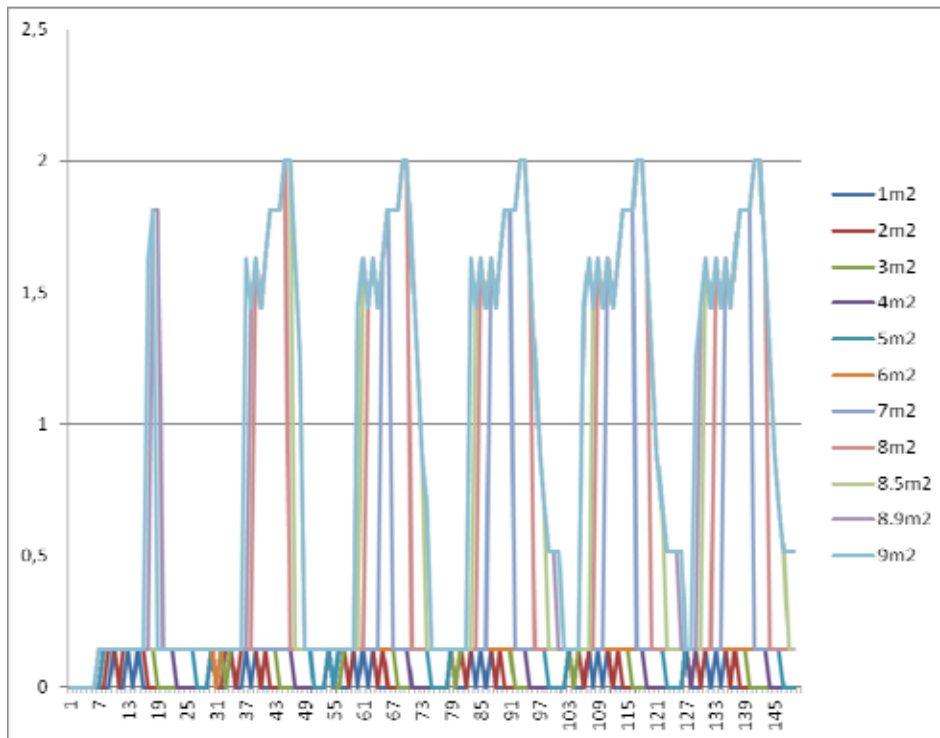
33. ábra Sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #5 esetén

Az algoritmus szinte megegyezik az előzővel, minimális szolgáltatást tud nyújtani az akkumulátor folyamatos töltése mellett.

5.2.3.6 Algoritmus #6



34. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órára bontva Algoritmus #6 esetében

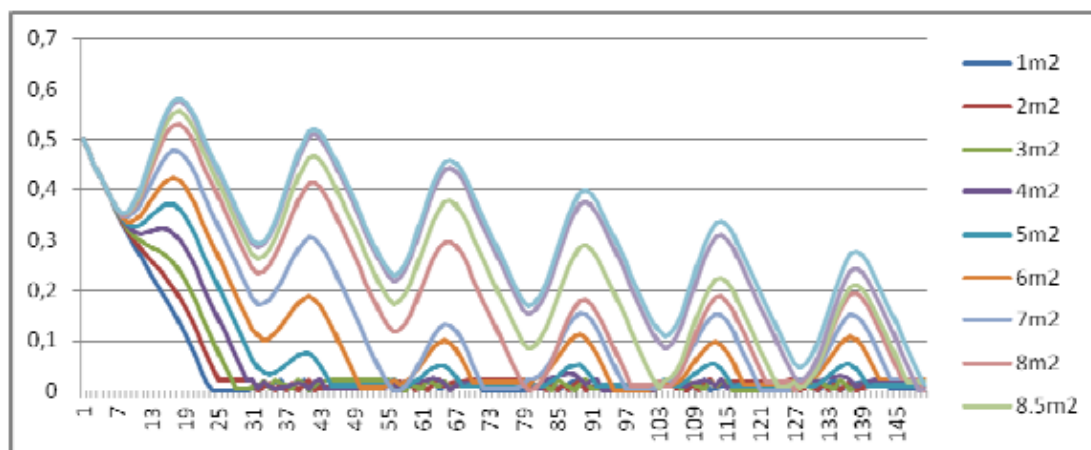


35. ábra Sávszélesség alakulása a napelem méretek változására Algoritmus #6 esetén

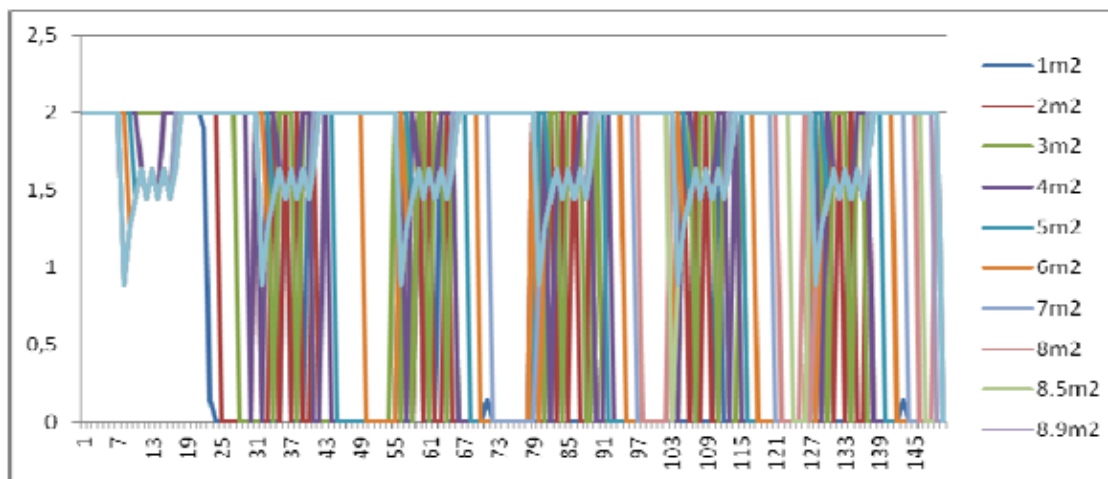
Az elem lassan, de biztosan töltődik valahol az #1 és a #2 algoritmus közé helyezhető a töltés hatékonysága szerint. Sávszélességben viszont a #2 és a #3 algoritmusok között.

5.2.3.7 Algoritmus #3 50%-os kezdeti töltöttség

Az előző pontokban a #3 algoritmus mutatta a legnagyobb eltérést működésében a telítőtöltött és az üres kezdeti akkumulátortöltöttség között, ezért fontosnak láttam, hogy félig töltött kezdeti töltöttség esetén is megnézzem, hogy alakul a működése.



36. ábra Akkumulátor százalékos töltöttségének alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #3 esetében



37. ábra Sávszélesség alakulása a napelem méretek változására órákra bontva Algoritmus #3 esetén

Az algoritmus az első napon körülbelül 18 óráig az üres akkumulátoros szimulációhoz hasonlóan nő az akkumulátor töltöttsége, majd onnantól a telihez hasonló módon periodikusan csökken. A biztosított sávszélesség viszont teljes egészében a teli akkumulátor szerint változott.

5.2.3.8 Összegzés

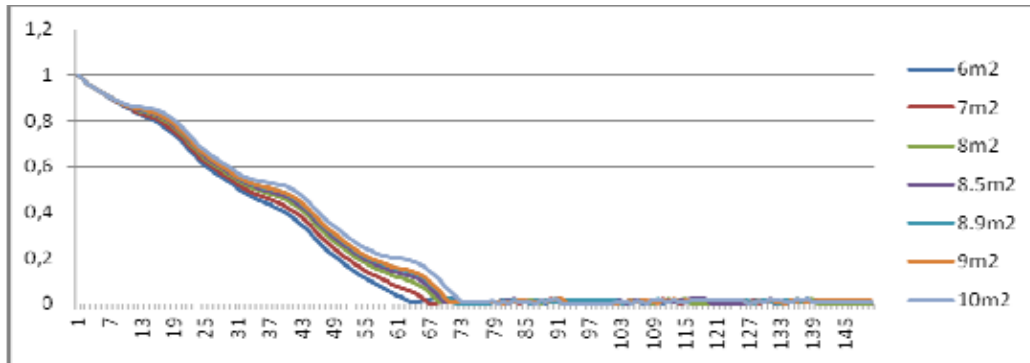
A #4 és az #5 algoritmusok nagyon remekül töltötték az akkumulátort a minimális szolgáltatás nyújtása mellett. A #2 algoritmus és a #6 algoritmusok is elég gyorsan töltöttek, viszont nagyobb sávszélességet biztosítottak, ezáltal hatékonyabbak voltak. A #3 algoritmus sávszélességet remekül biztosít, csak az akkumulátort nem tölti tovább egy idő után.

Most már leszögezhetjük, hogy kicsi napelem méretnél sajnos egyik algoritmust alkalmazva sem tudunk elégséges szolgáltatást nyújtani. Ezért a következőkben az 5 m²-nél nagyobb napelemekkel fogom a szimulációs eredményeket bemutatni.

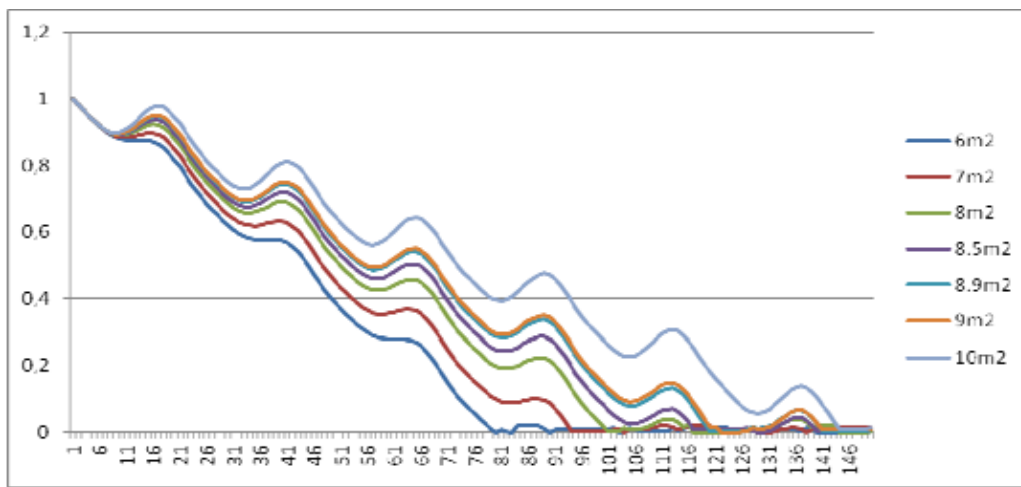
5.2.4 Változó hatásfok:

Eddig a napelem hatásfok végig 17% volt. Következőkben azt néztem meg, hogy más hatásfokú napelemet használva milyen működést tapasztalhatunk. Várhatóan az alacsonyabb hatásfoknál a kisebb mérethez hasonlóan fog viselkedni, nagyobb hatásfoknál pedig kisebb méretű napelemmel is fedezhető lesz a fogyasztás. A hatásfokokat rendre 5, 10 és 24 százalékknak választottam. Ezek megfelelnek az amorf a polikristályos átlagos hatásfokának és a monokristályos maximum-közeli hatásfokértékének. Az eredményeket most csak néhány algoritmus esetében fogom bemutatni. Az akkumulátort kezdetben teljesen feltöltöttnek vettem.

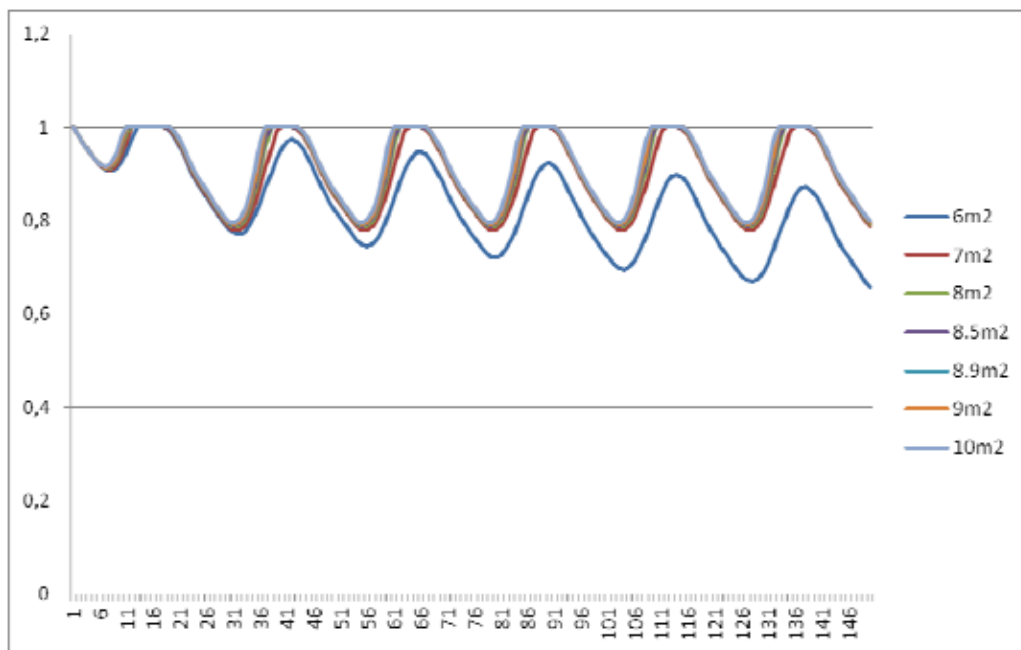
5.2.4.1 Algoritmus #1



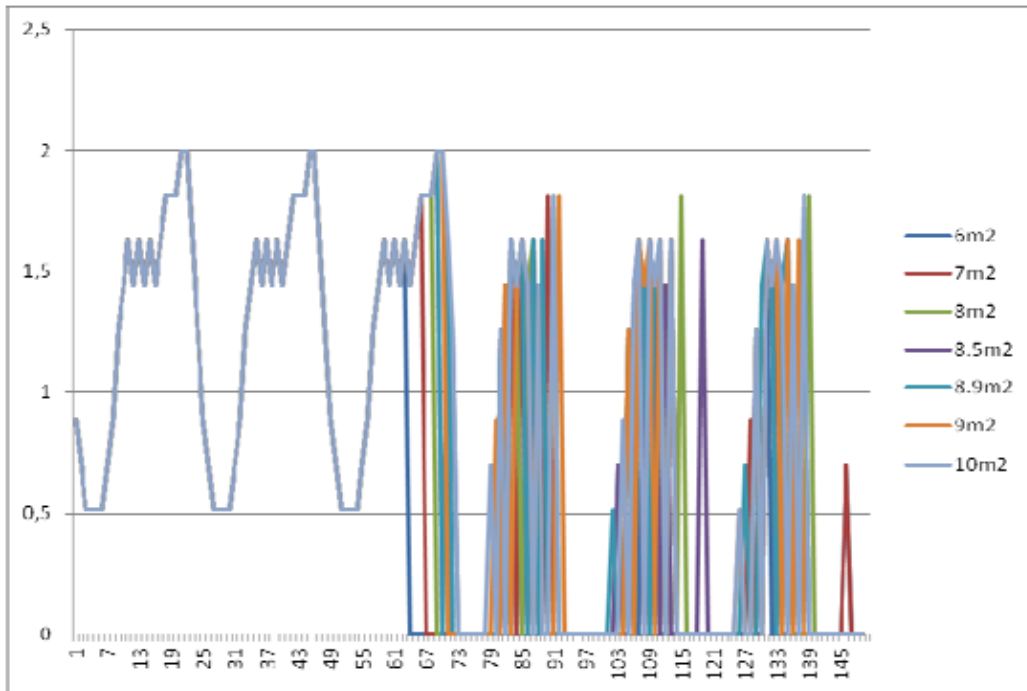
38. ábra 5% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órákra bontva



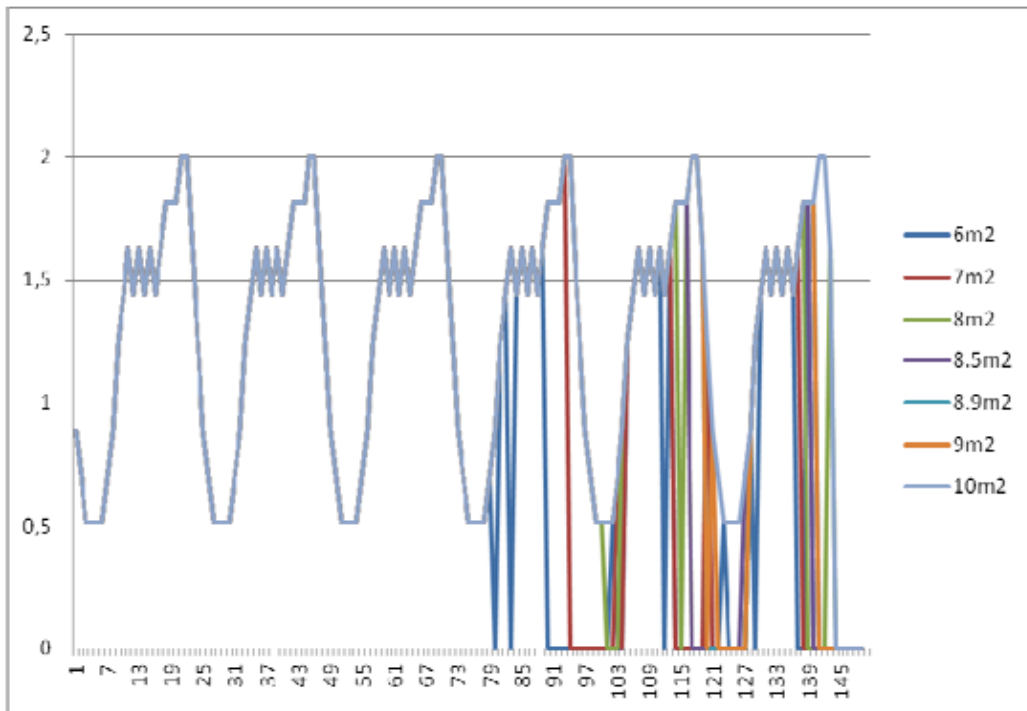
39. ábra 10% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órákra bontva



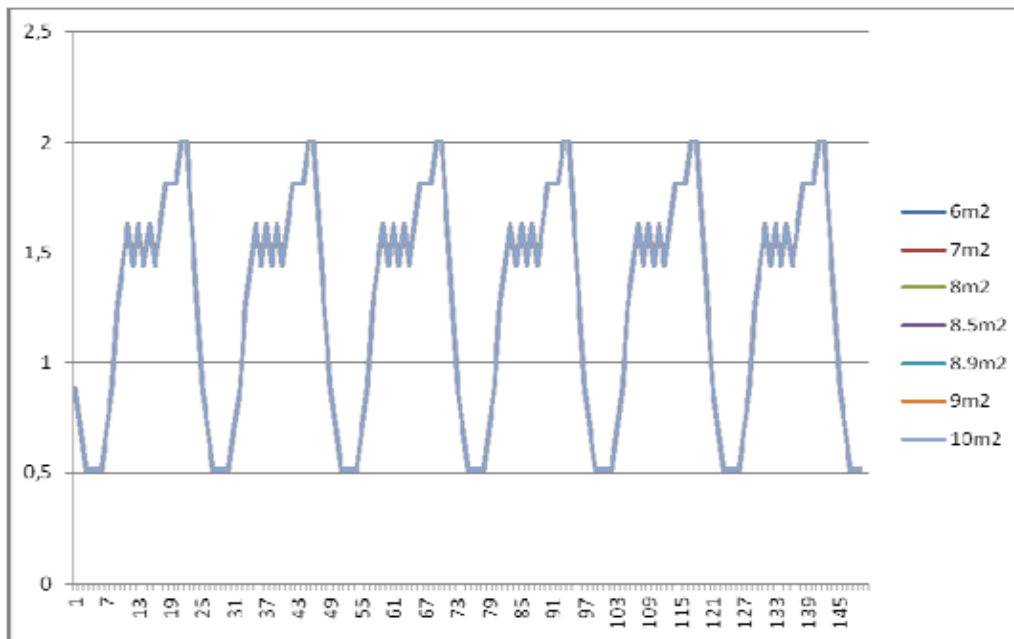
40. ábra 24% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órákra bontva



41. ábra 5% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órákra bontva



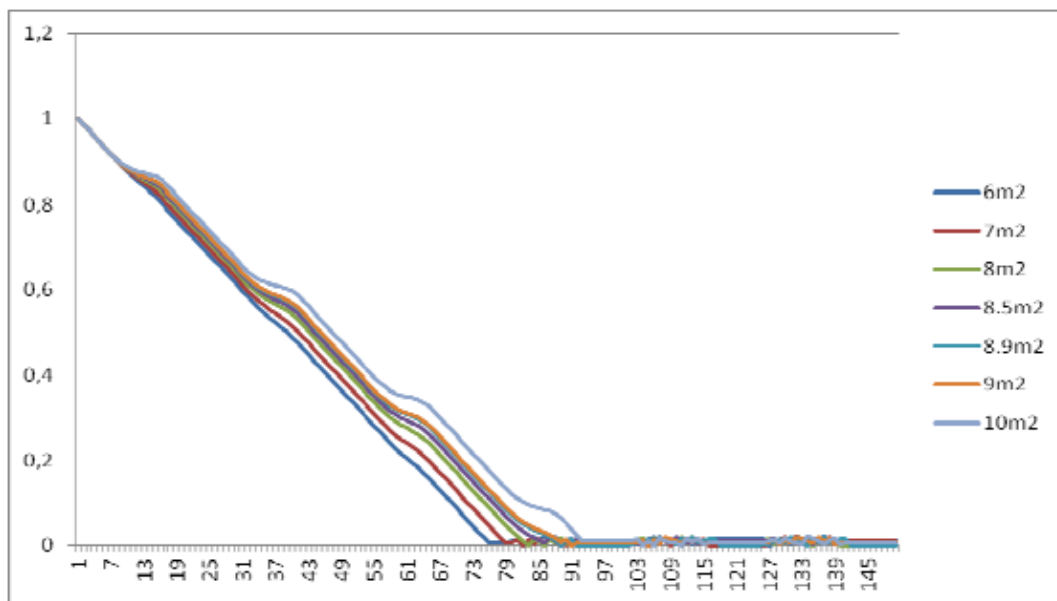
42. ábra 10% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órákra bontva



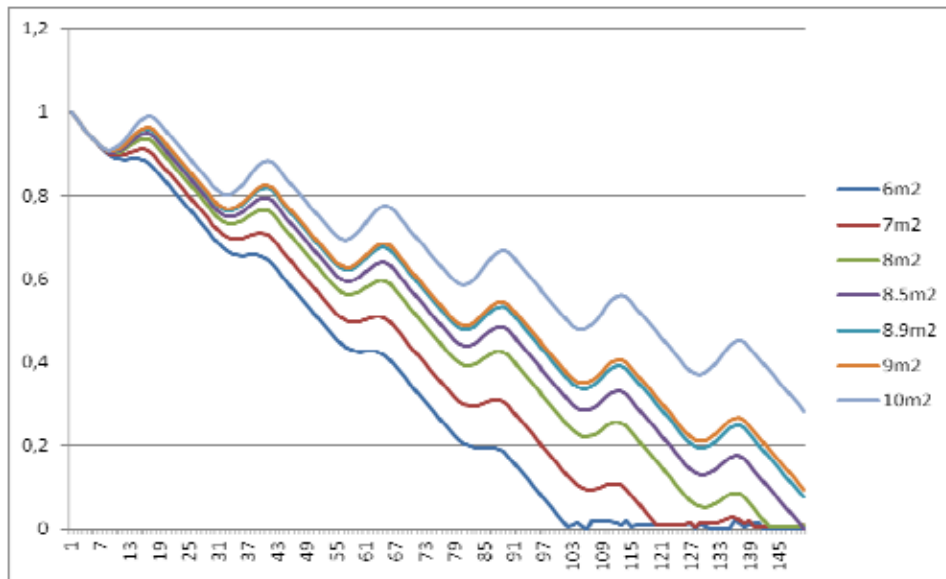
43. ábra 24% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órára bontva

A vártnak megfelelően alakultak az eredmények. Alacsonyabb hatásfok esetén nem töltődött a kívánalmaknak megfelelően az akkumulátor és a sávszélesség sem volt minden esetben megfelelő, nagyobb hatásfok esetén pedig végig ki tudtuk szolgálni a referenciafogyasztást.

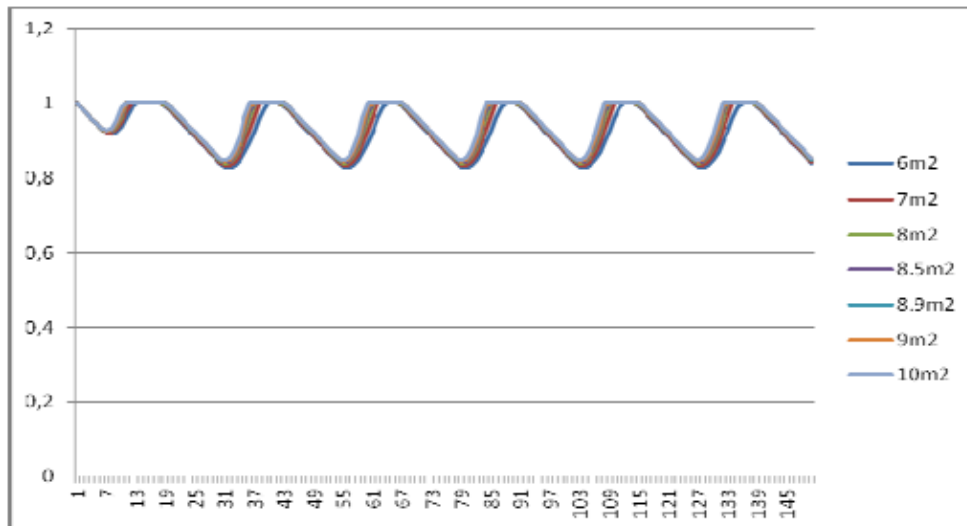
5.2.4.2 Algoritmus #2



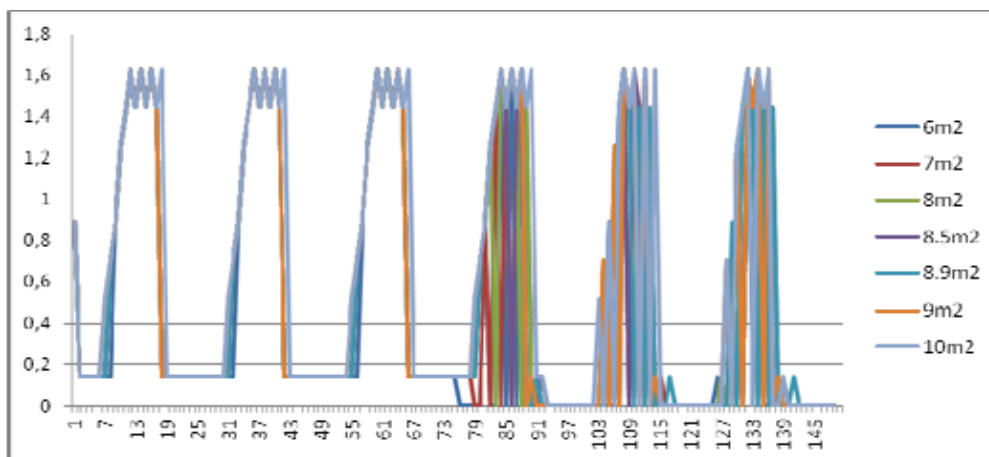
44. ábra 5% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órára bontva



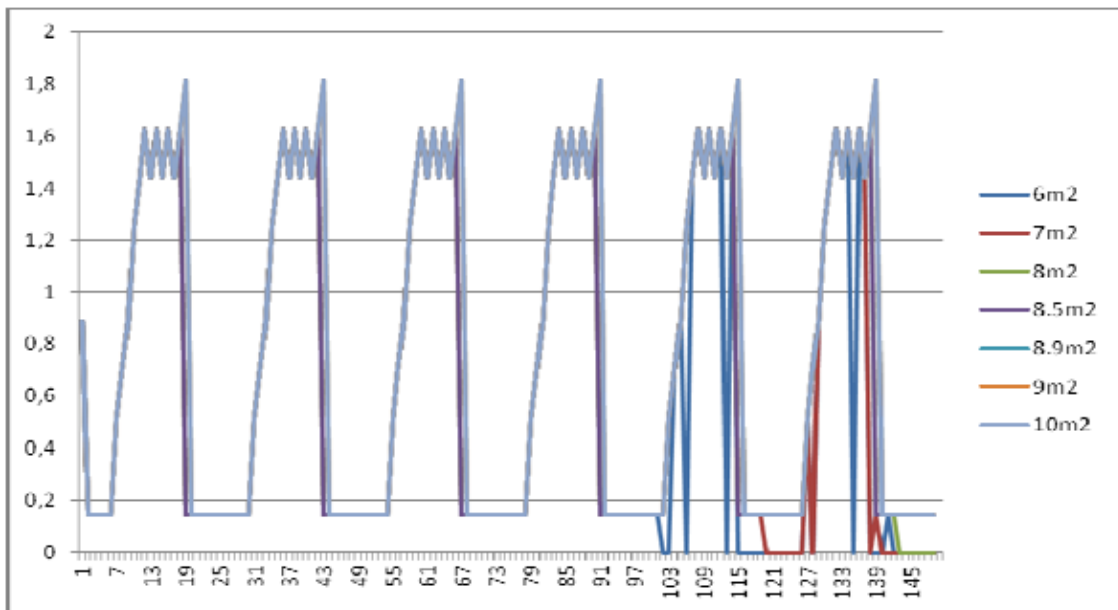
45. ábra 10% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órákra bontva



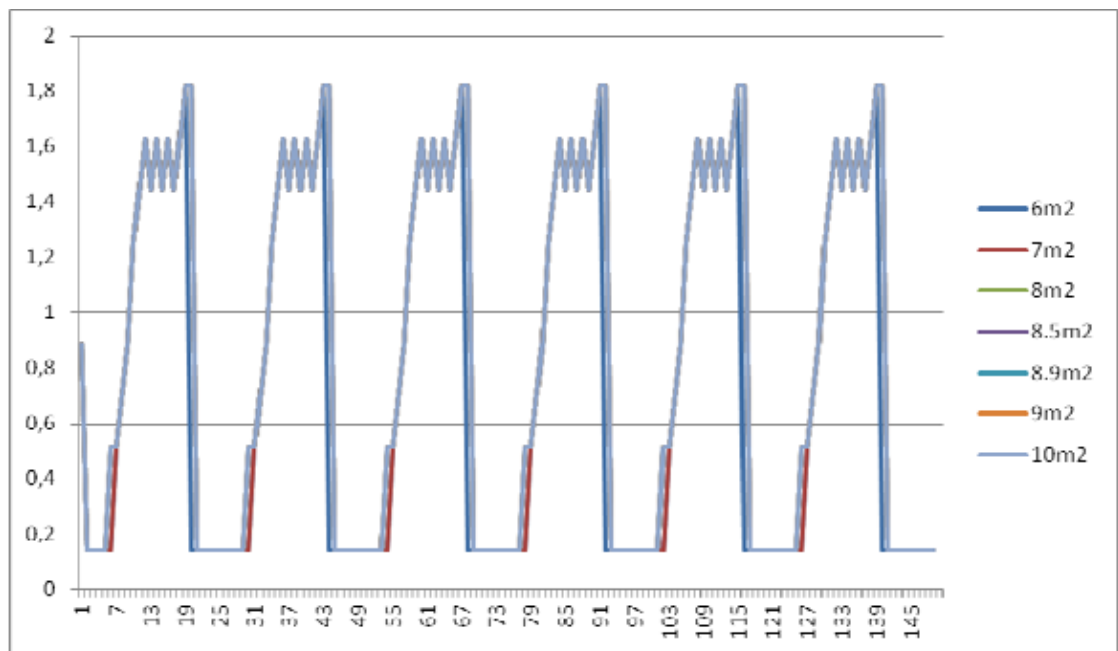
46. ábra 24% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órákra bontva



47. ábra 5% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órákra bontva



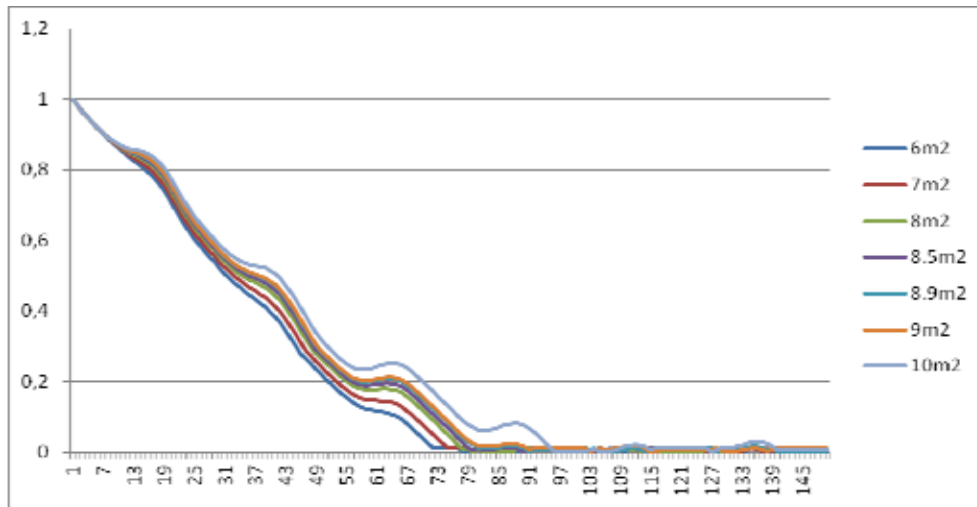
48. ábra 10% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órákra bontva



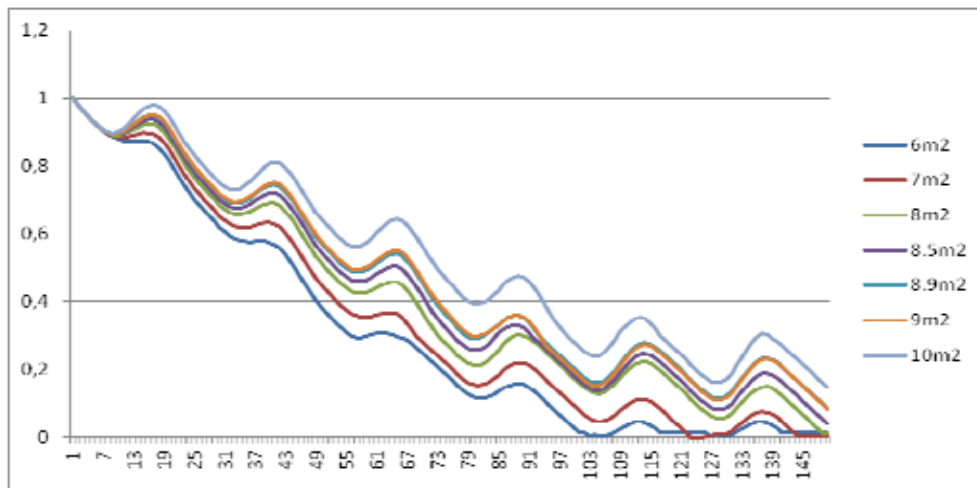
49. ábra 24% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órákra bontva

Ez az eset is a sejtésnek megfelelően alacsonyabb hatásfokon rosszabb, nagyobb hatásfokon jobb eredményeket produkált. 10% hatásfokon kedvezőbb, mint az első algoritmus, ugyanis a nagyobb méretű napelemeket használva nem ment le a vizsgált idő alatt a sávszélesség nullára, nem kapcsolt le a bázisállomás.

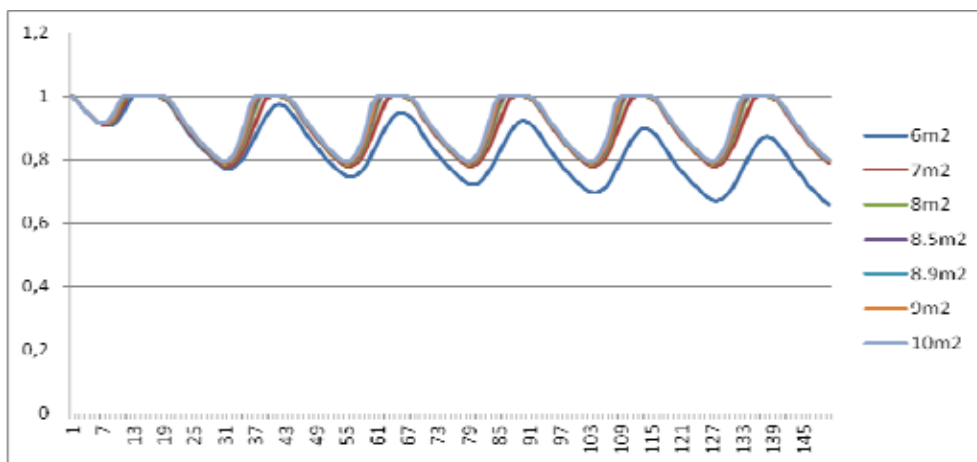
5.2.4.3 Algoritmus #6



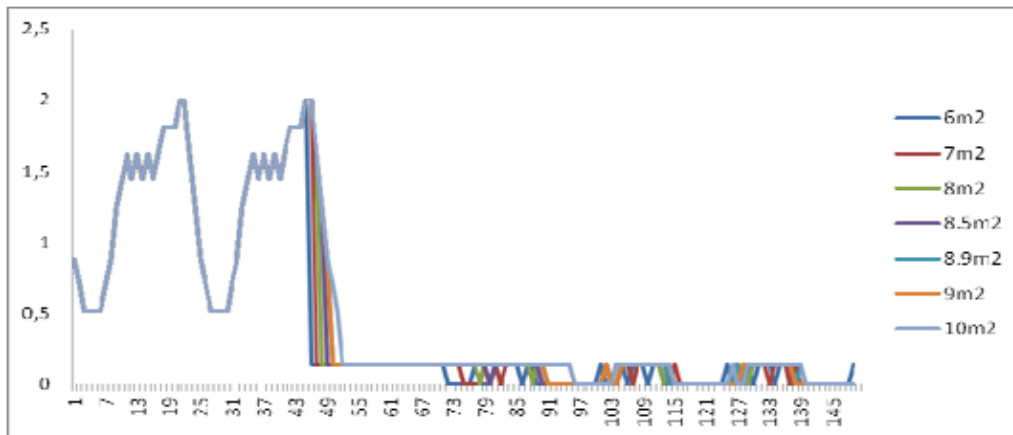
50. ábra 5% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órára bontva



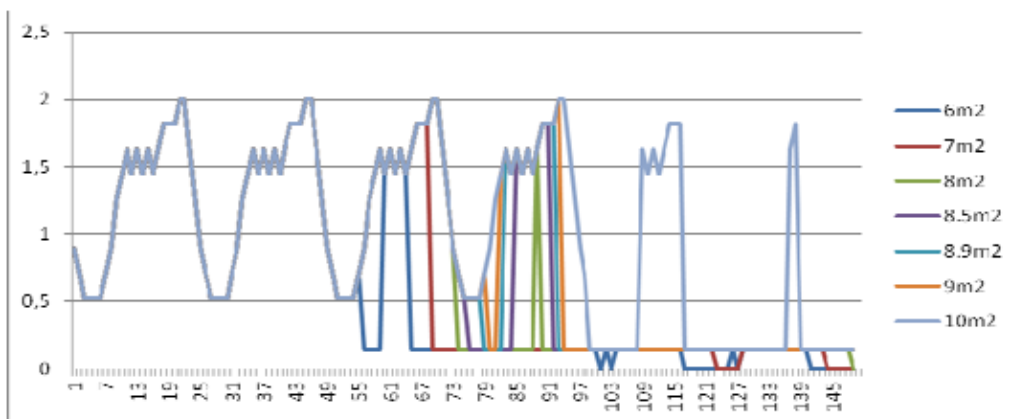
51. ábra 10% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órára bontva



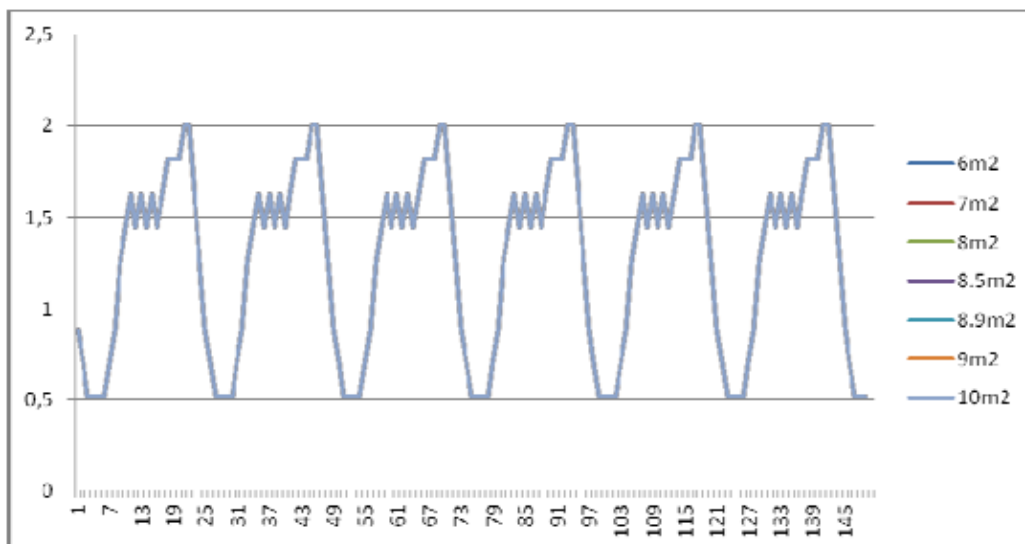
52. ábra 24% hatásfokú napelem esetén az akkumulátor töltöttségének alakulása órára bontva



53. ábra 5% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órákra bontva



54. ábra 10% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órákra bontva



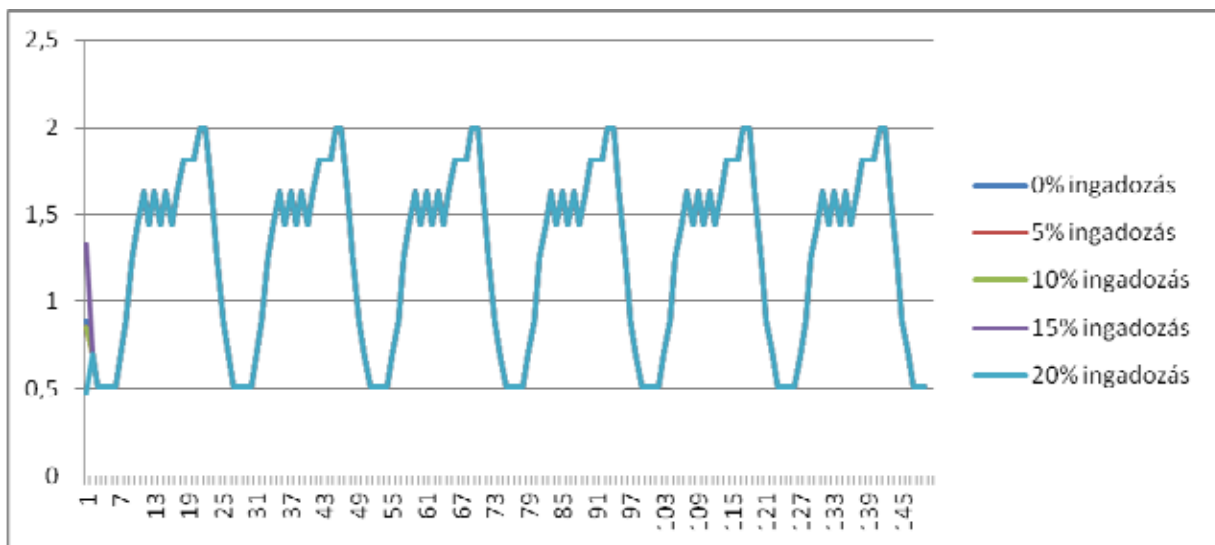
55. ábra 24% hatásfokú napelem esetén a sávszélesség alakulása órákra bontva

Az algoritmus alacsonyabb hatásfokon szintén lemeríti az akkumulátort, viszont legalább minimális sávszélességet több időn keresztül szolgáltatott, mint az első algoritmus. Nagyobb hatásfokon ez is a referenciafogyasztásnak megfelelő sávszélességet biztosítja.

5.2.5 Napsütés ingadozása

Mivel az időjárás nagyon ingadozó is lehet, a felhős égbolt, vagy éppen a felhőtlen miatt gyakran előfordul, hogy a napsütés nem a várt értékek szerint alakul. Az ingadozáshoz randomszámokat generáltam, és azokkal korrigálva a termelési értékeket megnéztem a sávszélesség alakulását. Minden algoritmusnál a termelést ugyanazokkal a számokkal korrigálta, így összehasonlíthatóak maradtak. A paramétereket a kiinduló állapotnak megfelelően állítottam be, azaz 17% hatásfokú és 9m² felületű napelem, maximális akkumulátortöltöttség kezdetben.

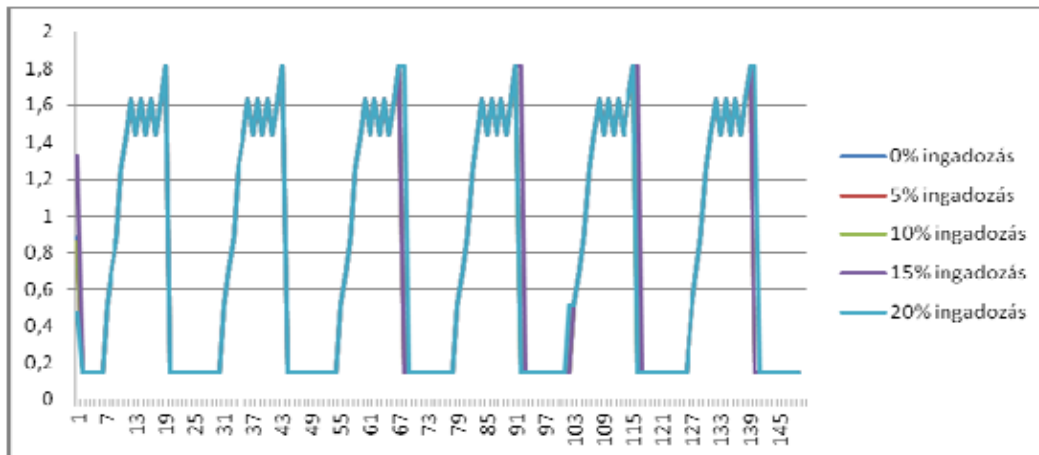
5.2.5.1 Algoritmus #1



56. ábra Az ingadozás hatása az első algoritmusra

A kezdeti értékektől eltekintve a sávszélességet nem változtatta meg az ingadozás. Kijelenthetjük, hogy a szabályozás nélküli esetre a pár százalékos ingadozás egyáltalán nincsen hatással a sávszélességre, a nagyobb 15-20%-os pedig minimálisan.

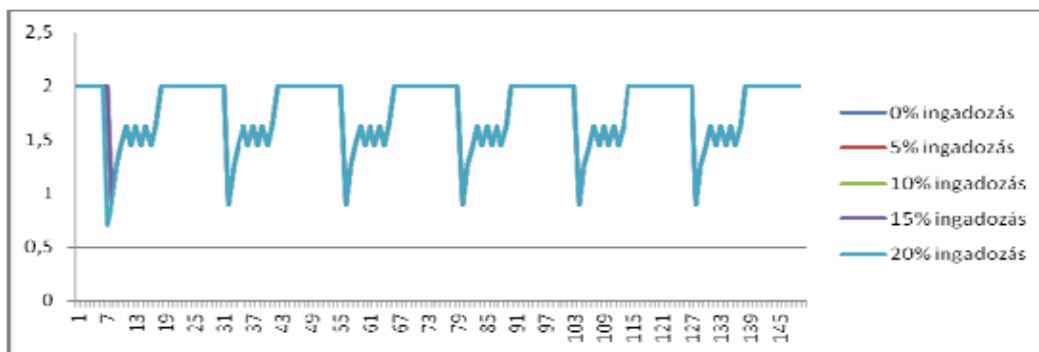
5.2.5.2 Algoritmus #2



57. ábra Az ingadozás hatása a második algoritmusra órákra bontva

Kisebbs eltéréseknél ebben az esetben sem módosult a sávszélesség. Nagyobb eltérés esetén az eredeti algoritmustól minimálisan eltérően alakult a sávszélesség. Egy-egy órával tért el az alacsony és magas érték közötti átmenet.

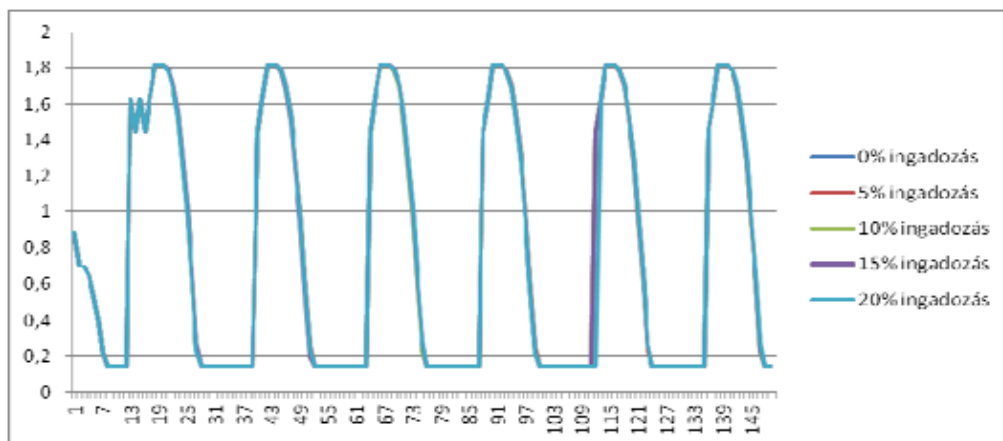
5.2.5.3 Algoritmus #3



58. ábra Az ingadozás hatása a harmadik algoritmusra órákra bontva

Az ingadozás nem befolyásolta jelentősen az algoritmust.

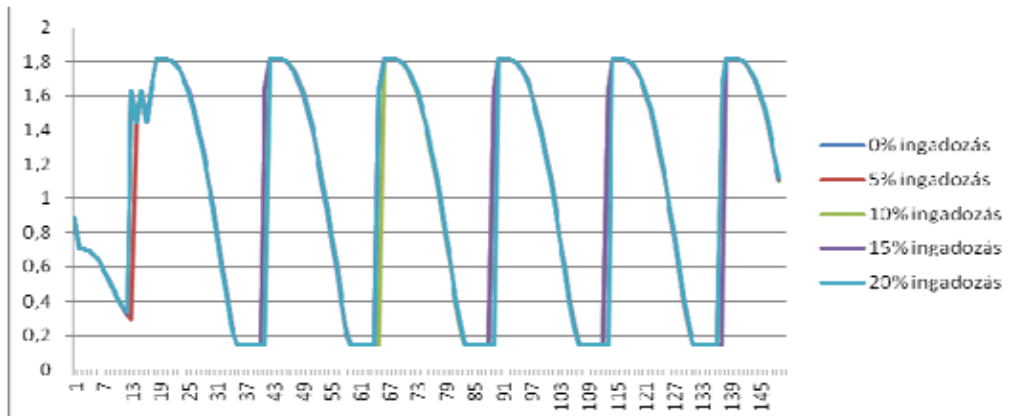
5.2.5.4 Algoritmus #4



59. ábra Az ingadozás hatása a negyedik algoritmusra órákra bontva

Az ingadozás nem befolyásolta jelentősen az algoritmust.

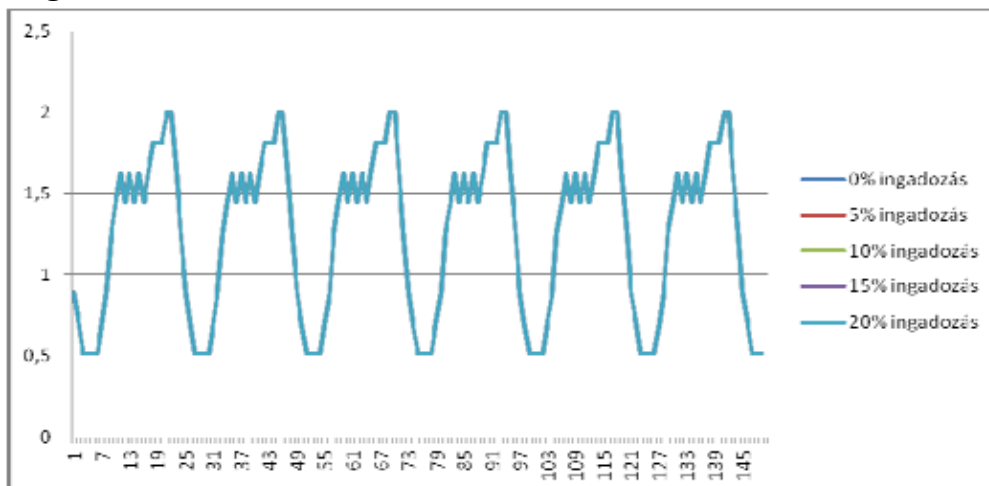
5.2.5.5 Algoritmus #5



60. ábra Az ingadozás hatása az ötödik algoritmusra

Látható, hogy a kis ingadozás is hatással volt rá, de jelentős eltérés ennél sem tapasztalható.

5.2.5.6 Algoritmus #6



61. ábra Az ingadozás hatása a hatodik algoritmusra

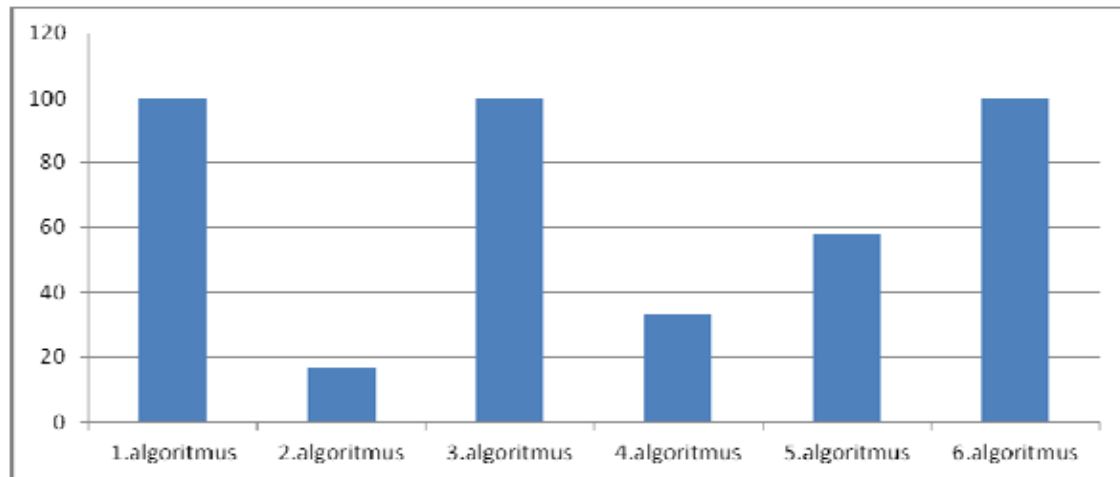
Az ingadozás egyáltalán nem befolyásolta az algoritmust, a sávszélességben semmiféle változás nem tapasztalható.

5.2.6 Összegések

Az előző pontokban több esetet figyelembe véve vizsgáltam az algoritmusok hatékonyságát. Megállapítottam, hogy mely méretű napelemek azok, amelyekkel a bázisállomás működtethető. A szimulációkat teljesen feltöltött és üres akkumulátorral is

elvégeztem. A napelemek hatásfok változására is tettem megállapításokat. A napsugárzás ingadozását is figyelembe vettem.

Az algoritmusok hatékonyságát sáv szélesség alapján vettem össze. Teljesen feltöltött akkumulátor, 17%-os 9 négyzetméter felületű napelem és az ismert UMTS bázisállomás paraméterei figyelembe véve megnéztem, hogy a 150-ből hány órában tudott az algoritmus legalább akkora sáv szélességet biztosítani, mint a referenciafogyasztás biztosította sáv szélesség. Az eredményeket az alábbi grafikon szemlélteti:



62. ábra A referenciafogyasztáshoz mért hatékonyság

Látható, hogy 3 algoritmus is biztosította a szükséges sáv szélességet. A legrosszabbul a #2 algoritmus viselkedik 16.6%-os, majd a #4 algoritmus 33.3%-os és az #5 algoritmus 58%-os hatékonysággal működik. Az arányok természetesen eltérnek, ha más paramétereket használva vetem őket össze.

Új bázisállomások telepítése jelenleg is folyik, a szolgáltatók folyamatosan fejlesztik a meglévő hálózatukat. Az eredmények alapján láthatjuk, hogy ezek a bázisállomások működtethetők napenergiával. Minimális korlátozásokat bevezetve, akár kisebb méretű napelemmel is termelhetünk elegendő energiát, amellyel biztosíthatjuk folyamatos működésüket. Ezeknek a napelemeknek a telepítése egyszeri fix költség, ezután az energiát ingyen termelik, tehát hosszú távon mindenképpen megérné e megújuló energiaforrás használata. Jelenleg is folynak a kutatások, hogy olcsóbban, hatékonyabb napelemeket gyárthassunk, tehát a jövőben még olcsóbbak lesznek ezek az eszközök.

6 Összefoglalás

Dolgozatom első felében szót ejtettem a cellás hálózatokról, kiemelve az UMTS és LTE technológiákat. Ezeket jellemzőit leírtam, megadtam a sáv szélesség értékeit, amelyeket biztosítanak. Jellemeztem a különböző cellákat méretük szerint.

A következő nagyobb részben az energiahatékony módszereket vizsgáltam meg. Külön kiemeltem az alvó üzemmódot illetve a lélegző cellákat. Ezt követően a megújuló energiaforrások jellemzőire helyeztem a hangsúlyt, ezen belül is a napenergiára és a szélenergiára. A napelemek fajtáira és hatásfokukra koncentrálna.

A dolgozat második felében a tervezési szempontokat vizsgáltam, különös tekintettel a felhasználói szokásokra, a fogyasztási igényekre, a sáv szélességre, a napelemek és az akkumulátor méretezésére. Új algoritmusokat dolgoztam ki, melyek képesek hatékonyan gazdálkodni a napelemek által szolgáltatott energiával. A napelemek energiatermelése napszaktól, időjárástól függ ezért a módszereimben az akkumulátor megfelelő töltöttségére is ügyeltem. A bemutatott módszerekkel a bázisállomások képesek áthidalni az éjszakai időszakot, illetve a felhős időjárás esetén előálló alacsony energiatermelést.

Az utolsó részben bemutattam az általam írt szimulátor szoftvert, annak működését, a bemeneti paramétereket és a kimeneti értékeit, majd a szimulációs eredményeket, és ezek alapján következtetéseket vontam le az algoritmusok hatékonyságáról. Természetesen mindegyik algoritmusnak megvan az előnye, illetve hátránya is, ezért az elvárásoktól függ, mely módszer a leginkább megfelelő.

Irodalomjegyzék

- [1] G. Koutitasa and P. Demestichas, A review of energy efficiency in telecommunication networks, in Proc. in Telecomm. Forum (TELFOR), Serbia, November, pp. 1–4, 2009.
- [2] Baji Csaba, Hamvas István – Sajtótájékoztató 2011. február 01.
- [3] Md. Farhad Hossain, Kumudu S. Munasinghe and Abbas Jamalipour - A Protocooperation-based Sleep-Wake Architecture for Next Generation Green Cellular Access Networks in Proc. of IEEE Int. Conf. ICSPCS, Gold Coast, Australia, pp. 1-8, Dec 2010
- [4] Niu Z, Wu Y, Gong J, Yang Z (2010) Cell zooming for Cost-Efficient Green Cellular Networks. IEEE Commun Mag 48(11):74–79
- [5] Szálkai Antal - napenergia szaktanácsadó - A napelemes rendszerekről II. - <http://www.villanyszaklap.hu/cikkek.php?id=24>
- [6] <http://www.grid solar.hu/napelem-fogalomtar.html>
- [7] Jéki László – Napenergia-hasznosítás – 1. - <http://hetedhethatar.hu/hethatar/?p=2560>
- [8] Kiss Ferenc – A szélenergia - <http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/megujulo/SzelEnergia/Windenergy.html>
- [9] Huawei BTS3812E NodeB, Hardware Description
- [10] Gunther Auer, Oliver Blume, Vito Giannini, Istvan Godor, Muhammad Ali Imran, Ylva Jading, Efstathios Katranaras, Magnus Olsson, Dario Sabella, Per Skillermark, Wiesława Wajda, „Energy efficiency analysis of the reference systems, areas of improvements and target breakdown” INFISO-ICT-247733 EARTH. Deliverable D2.3
- [11] <http://www.okosolart.com/index.php?site=napkollektor/napsugarzas>
- [12] O. Arnold, F. Richter, G. Fettweis, and O. Blume, “Power consumption modeling of different base station types in heterogeneous cellular networks,” in Proc. of 19th Future Network & Mobile Summit 2010, Florence, Italy, June 2010, submitted
- [13] Guoyou He, Overview of UMTS, Telecommunication Software and Multimedia Laboratory