

# Optikai hozzáférési hálózatok technológiai evolúciója

ADÁMY ZSOLT

Nokia

zsolt.adamy@alcatel-lucent.com

Kulcsszavak: Fixed Access, FTTH, GPON, NGPON, XG-PON, XGS-PON, NG-PON2, TWDM PON

**Az optikai hozzáférési hálózatokban a szolgáltatók célja, hogy megfelelő sávszélességet biztosítsanak előfizetőknek. Ezt megfelelő hozzáférési technológia kiválasztásával és hálózatfejlesztéssel lehet elérni. A cikk összefoglalja az NG-PON technológiákat, a vonatkozó szabványokat, a hálózatfejlesztés, a migráció lehetséges lépéseit, valamint bemutatja a Nokia access portfóliót.**

## 1. Bevezetés

A nagy sávszélességű vezetékes internet-hozzáférés széleskörű elterjedése vitathatalanul hozzájárul mind egy adott terület gazdasági fejlődéséhez, mind pedig a szolgáltató versenyképességéhez. Ezt mutatják azok a beruházások is, melyek meglévő rézerű és koaxiális hálózatok fejlesztésére irányultak. Az utolsó rézerű szakasz rövidítésével, utcai konténerekbe telepített eszközökkel és optikai kábellel igyekezve mind közelebb jutni az előfizetőkhöz (FTTC). Számos európai országban FTTH/FTTB beruházási projekteket is indítottak, részben a nagy távközlési szolgáltatók, részben pedig kisebb városi és ktv-szolgáltatók. A legfőbb ok az egyre nagyobb sávszélességet igénylő felhasználások; az otthoni szórakoztató tartalmak elérése, a videoalapú és az elektronikus alapú szolgáltatások az egészségügyben, oktatásban, kormányzati ügyintézésben. Ezek egyre inkább nem csak a letöltési irányban sávszélességigényesek, de szimmetrikus elérést igényelnek. Végeredményben az optikai hozzáférési hálózatokat az előfizetőig vagy legalább az épületig építik ki, fontos szempont nem csak a megfelelő sávszélesség, hanem az előreláthatóan hosszú távon használható technológia, skálázhatóság és a szabályozási környezetnek való megfelelés. A már kiépített FTTH GPON infrastruktúra továbbfejlesztése, migrációja is szükséges lesz úgy, hogy az a beruházás megtérülésével járjon.

A cikk célja, hogy bemutassuk a jelenleg már számos hálózatban kiépített optikai hozzáférési hálózatokat és az azokat felváltó új generációs architektúrákat, a technológiát meghatározó főbb új generációs PON szabványokat (XG-PON, XGS-PON, TWDM-PON vagy NGPON2), a lehetséges migrációs stratégiát és a Nokia kínálatában elérhető eszközöket.

## 2. FTTH hálózatok legelterjedtebb technológiai opciói

A ma már széleskörűen elterjedt FTTH (Fiber-To-The-Home) hálózatokban a topológia lehet pont-pont (P2P)

vagy pont-multipont (PMP). A P2P topológiában egy nagy elosztóból minden előfizetőhöz saját optikai szálal építenek ki, a szolgáltatást Ethernet interfészen adják, a szokásos Fast Ethernet (100 Mbit/s), Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), kevés esetben 10 Gbit/s uplinkkel rendelkező előfizetői végberendezésen. A megoldás előnye a jól ismert és nagy tömegben gyártott Ethernet technológia, hátránya a központi berendezés és optikai kábelköteg nagy helyigénye és a magas fogyasztás. A PMP topológiában a kültéri hálózatban aktív Ethernet switchekkel megvalósított, az ismert LAN hálózati technológiával azonos módon építik ki a hálózatot. Hátránya a magas fenntartási költség, a kültéri hálózatban a tápellátásigény. A másik lehetőség a különböző PON technológiák (Passive Optical Network) alkalmazása, ahol a kültéri hálózatban nincs aktív eszköz, az előfizetői végpontokat passzív teljesítményosztókon keresztül csatlakoztatják a központhoz. Az osztási arány 1:32, 1:64, 1:128 lehet, a legelterjedtebb technológiák a BPON, EPON és a GPON. Ugyancsak FTTH hálózatnak tekinthetjük a HFC hálózatok fejlesztéseként az RFoG (Radio Frequency over Glass) megoldást, ahol a DOCSIS technológiát használva a koaxiális hálózatokkal azonos módon nyújtanak szolgáltatást, de az előfizetőhöz legközelebbi szakaszon is optikai kábelt használnak, ehhez csatlakozik az előfizetői végberendezés, az ONU és kábelmodem. Hátránya az optikai összeköttetés analóg módon való felhasználása, interferencia problémák és a sávszélesség növelésének korlátai.

A legelterjedtebb PMP architektúra a GPON (Gigabit Passive Optical network) technológián alapul, melyet a G.984 ajánlásokban szabványosítottak: ez a szabvány 1:128 osztásarányt, letöltési irányban 2,5 Gbit/s, feltöltési irányban 1,25 Gbit/s sebességet biztosít.

## 3. Hálózat evolúció az NGPON2-ig

Ebben a fejezetben a leginkább elterjedt PON hálózati technológia, a GPON továbbfejlesztési lehetőségeit részletezzük. Az új generációs PON (NG-PON) hálózatokra a növekvő sávszélességek és a szimmetrikus sáv-

szélességigény miatt rövidesen szükség lesz. A vezetékes hozzáférési hálózatokat üzemeltető szolgáltatók mérlegelik a migrációs lehetőségeiket, meg kell találniuk a leginkább költséghatékony módot a multi-gigabit szolgáltatások bevezetésére, egyensúlyt kell találniuk a rövidtávon jelentkező beruházási költség és a hosszútávra történő gondolkodás között. Célszerű olyan univerzális PON platformot választani, amely nem köti a beruházót egy adott technológiához és egy aktív hálózati infrastruktúra támogat minden NGPON technológiát akár egy passzív PON-on belül.

Meglévő GPON hálózat esetén jelenleg három fő NG-PON technológia érhető el:

**NG-PON1 (XG-PON)** ( $x=10$  G=Gigabit PON). Ez volt az elsőként szabványosított és a piacon is elsőként elérhető új generációs PON technológia, letöltés 10 Gbit/s feltöltés 2.5 Gbit/s sávszélességgel lehetséges (10/2.5G), mindkét irányban egy-egy fix hullámhosszat használva. Ez a GPON-hoz képest letöltési irányban négyszeres, feltöltési irányban kétszeres sávszélességet biztosít. Hátránya a többi NG-PON technológiához képest az asszimétrikus sávszélesség és az, hogy az infrastruktúra megosztása szolgáltatók között ugyanúgy működhet csak, mint a GPON esetén. Az XG-PON-t kevés helyen vezették be, az XGS-PON hasonló költségek mellett több előnyt biztosít.

**XGS-PON** (X=10, G=Gigabit, S=symmetrical PON). Ez a szabvány jött ki legutoljára, mindkét irányban 10 Gbit/s sávszélességet biztosít de lehetővé teszi mindkét feltöltési sebesség (2,5 és 10 Gbit/s) egyidejű használatát, azaz 10/10G XGS-PON ONU és 10/2.5G XG-PON ONU végberendezések ugyanahhoz az OLT PON porthoz csatlakozhatnak: felfelé natív kettős TDMA-t (dual upstream rate Time Division Multiple Access), lefelé pedig közös TDM-t használva. Az XGS-PON költsége közel azonos, mint az XG PON-é, de négyszeres feltöltési sebességet biztosít. Az XGS-PON a GPON-hoz képest letöltési irányban négyszeres, feltöltési irányban nyolcszoros sávszélességet ad. A szimmetrikus

sávszélesség kedvez az elektronikus alapú szolgáltatásoknak az egészségügyben, oktatásban, otthoni felügyeletben, videoalkalmazásokban. A potenciális bevételi lehetőség magasabb, de az infrastruktúra megosztás hátrányai ugyanúgy jelentkeznek.

**NG-PON2 (TWDM-PON)** (Time Wavelength Division Multiplexing). Ez a legfejlettebb és legkifinomultabb NG-PON technológia, 4-4 hullámhosszat használ felfelé és lefelé, a jövőben ez még több is lehet. Rugalmas bitsebesség-konfigurációt tesz lehetővé (2.5/2.5G, 10/2.5G és 10/10G), hangolható lézer adót és vevőt alkalmaz, ami lehetővé teszi azt, hogy az előfizetői hullámhosszakat dinamikusan változtassák. A TWDM-PON a GPON-hoz képest letöltési irányban 16-szoros, feltöltési irányban 32-szeres sávszélességet ad.

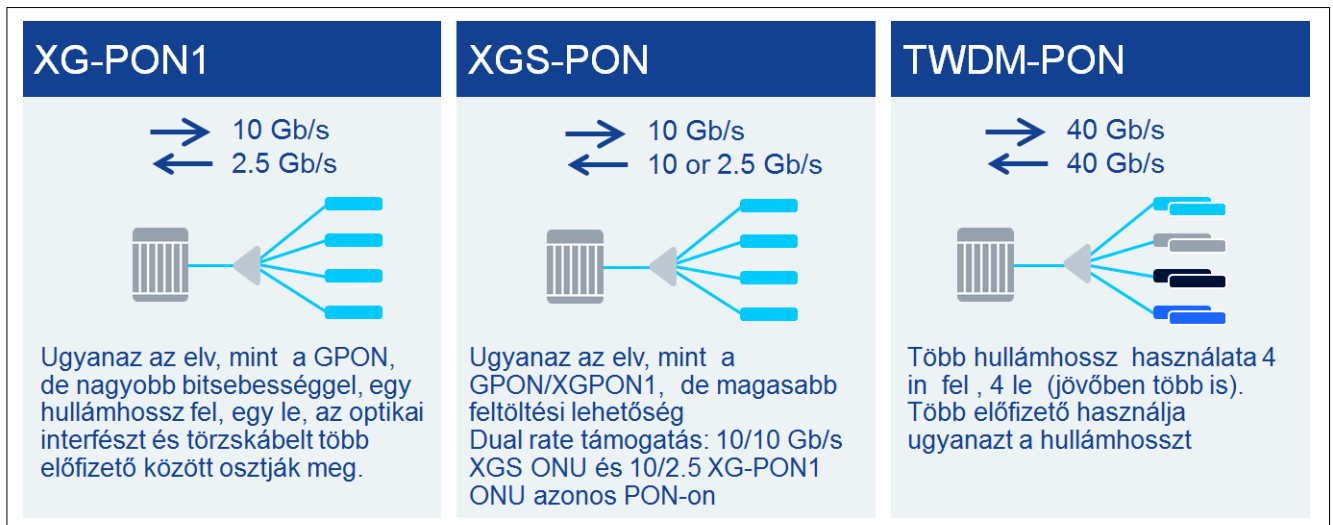
Az infrastruktúra megosztása a mobilszolgáltatóknál már megszokott (toronyok, antennák), a hozzáférési hálózatokban kevésbé, de több példát láthatunk erre is, elsősorban a magas költséggel létesíthető kültéri hálózat esetén. A GPON technológiáknál a megosztás bitstream alapon történhet, a TWDM PON azonban magasabb szintű függetlenséget adhat: mindegyik szolgáltatónak saját OLT-je lehet, amit csak magának létesít, üzemeltet és szolgáltató rajta: a megosztás fizikai szinten történik, a különböző szolgáltatók más-más hullámhosszakat használhatnak egy PON-on belül.

Az NG PON technológiákat az 1. ábrán mutatjuk be.

Mint minden új technológia esetében, a hangolható lézerek költsége még viszonylag magas, de a bevezetés során a technológia innovatív fejlődése és a nagyobb mennyiségben történő gyártás miatt a TWDM-PON költsége csökkenni fog a nagy tömegű bevezetés 2018-ra becsült időpontjára, majd azt követően.

A jövőbeni upgrade technológiák értékelésekor mérlegelni kell a megfelelő egyensúlyt a költségek és a teljesítmény között, olyan technológiát és aktív eszköz platformot kell választani, amely lehetővé teszi versenyképes szolgáltatások biztosítását jó költségmegtérülés mellett. Azt is figyelembe kell venni, hogy rövid-

1. ábra Az NG-PON technológiák áttekintése



távú beruházási előnyökért egy helyes hosszú távú koncepciót ne adjanak fel: egy hibás beruházási döntés megkötheti a szolgáltató kezét és egy későbbi, új technológiára való váltáshoz túl sok berendezést kell majd drágán kicserélni. A költségek összehasonlításához jó támpontot ad az, hogy az XGS PON és a XG-PON1 hasonló árban van, a GPON-hoz képest a teljes beruházási költségre vetítve kb 20%-kal drágább, de négyszeres sávszélességet adnak. A TWDM PON költsége egy fix hullámhosszon csak kevéssel van az XGS PON felett.

Az optikai hozzáférési hálózatokat a szakterületen mindig „végjátéknak” tartották, nem az volt a kérdés, hogy lesz-e, hanem az, hogy mikor. A GPON sok esetben hatékony megoldást nyújtott, viszonylag gyors megtérüléssel és ideális alapot ad a magas szintű előfizetői és egyéb szolgáltatásokhoz. Az NGPON2 további hozzáadott értéket biztosít: a szimmetrikus 10Gbit/s szolgáltatással lehetővé válik a kiscellás mobilfelhordó hálózatok kiszolgálása, üzleti B2B szolgáltatás, tömbházak hatékony bekötése egy PON-on belül.

A 10G TWDM-en túl vizsgálják a lehetőségét a sávszélesség további növelésének, a hosszú távú tervek a 100Gb/s-on is túlnyúlnak: 16x10Gbps TWDM, 8x25G-40G TWDM és 32x10G PtP WDM PON (az NG-PON2 opcionális része). A megoldás alapjait, a legnagyobb kihívásokat már megoldották a 10G TWDM kifejlesztésekor, a kiterjesztés plusz hullámhosszakot (4-8-16 lambda) és nagyobb bitsebességeket (10-25-40 Gbit/s) jelent.

#### 4. Szabványosítás és hullámhosszkiosztás

- A GPON technológiát az ITU G.984 szabványban rögzítették 2004-ben.
- Az XGPON hullámhosszakot az ITU G.987 szabvány adja meg, ezt az FSAN már 2010-ben rögzítette. Ugyanezt a kiosztási tervet használja az XGS-PON az ITU G.9807.1 szabvány szerint, az utolsó kiadás dátuma 04/2016. A szabvány két üzemmódot tesz lehetővé:

- Dual Rate mode: 10G/10G + 10G/2.5G együttesen,
- PON zöldmezős eset: csak 10/10G XG-PON1 coexistence követelmény nélkül.

- Az NGPON2 hullámhosszakot az ITU G.989 szabványban találjuk. A TWDM fel-irányú tartomány az 1532-1540 nm. Megjegyezzük, hogy a Nokia implementációban a jelenleg elérhető ONU-k lézerei hangolhatóak és csak a tartomány első négy definiált hullámhosszát használják. A lefelé irányú hullámhossztartomány 1596-1603 nm. A szabvány dokumentumai és a kiadási dátumok a következők:

- G.989 Definition document: In-Force 10/2015.
- G.989.1 General Requirements: In-Force 03/2013 Ammendment1: In-Force 08/2015.
- G.989.2 PMD/Optical requirements: In-Force 12/2014 Ammendment1: 06/2016.
- G.989.3 TC Layer/MAC: In-Force 10/2015.
- G.988 OMCI: no updates required.

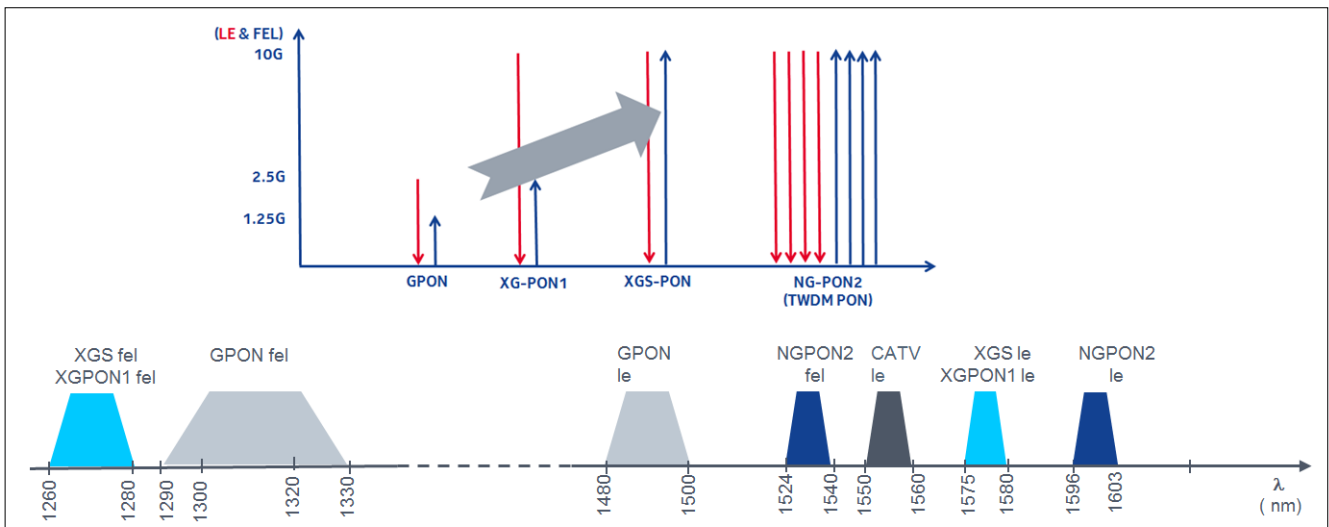
Az NG-PON2 szabvány (TWDM PON) lehetővé teszi a 10/10 Gbit/s szolgáltatást a meglévő 2,5/1,25 Gbit/s GPON mellett egy PON-on belül is. A szabványt kiegészítették 2016 elején az XGS-PON szabvánnyal, amely rögzített hullámhosszakot ad meg a 10/10 szimmetrikus szolgáltatáshoz.

A különböző PON szabványok sávszélességeit és hullámhossz-kiosztását a 2. ábrán mutatjuk be.

A kiosztásból jól látszik, hogy a tartományok között nincs átfedés. A hullámhossz-megosztáson alapuló NG-PON bevezetésre több lehetséges migrációs útvonal van, a lényeg az, hogy egy PON-on belül az összes új generációs PON technológia, sőt kiegészítő OTDR mérés is üzemeltethető.

Ennek kihasználására a G.989.1 (NG-PON2) és G.9807.1 (XGS-PON) általános követelmények szabvány előfeltételeként új kültéri hálózati elemet vezetnek be, ez a CEx (Co-Existence Element). A CEx multiplexálja és demultiplexálja a különböző hullámhosszakot a GPON, XGPON, TWDM technológiák és opcionálisan az OTDR számára is.

2. ábra A PON szabványos sávszélességei és hullámhossz-kiosztása



Az ITU-T G.989.1 szerint a NG-PON2 rendszereknek lehetővé kell tenni azonos PON-on belül mind a GPON, mind pedig a XG-PON1 működését (ezt hívják „co-existence”-nek)

Az ITU-T G.9807.1 szerint a co-existence a GPON, XG-PON és NG-PON2 technológiákkal támogatott.

### 5. Hálózatfejlesztés, migráció

Az aktív (OLT, ONT) és a passzív hálózat elemeit tekintve egy meglévő GPON hálózat esetén a kérdés az, hogy melyik új-generációs technológiát válasszuk, hogyan őrizzük meg a már kiépített hálózat értékét, ne kelljen többször bontani-építeni, milyen hálózatelemeket kell beiktatni illetve cserélni.

A teljes hálózatszere szinte lehetetlen hosszúidejű szolgáltatás-kimaradás nélkül, pénzügyileg sem alátámasztható és a szolgáltatás bevezetés szempontjából sem célszerű. Első lépésként ezért biztosítani kell az azonos PON-on belül a különböző technológiák együttműködését, amit a NG-PON2 (ITU-T G.989) and XGS-PON standards (ITU-T G.9807.1) szabványok is feltételeznek, be kell iktatni a különböző hullámhosszakat multiplexáló CEx hálózatelemet a passzív infrastruktúrában.

Első ütemben egy rögzített hullámhosszon XGS-PON vagy egy hullámhosszú TWDM PON berendezést kell létesíteni a központban, a passzív hálózatban a NG-PON ONU-kat a PON-hoz lehet csatlakoztatni a magasabb sávszélességet igénylő előfizetőknél.

A következő ütemben, ahogy a kapacitásigény növekszik, be lehet vezetni többszörös hullámhosszakat,

ebben az ütemben a hullámhossz-multiplexer is szükséges.

A bevezetés lépéseit a 3. ábrán mutatjuk be:

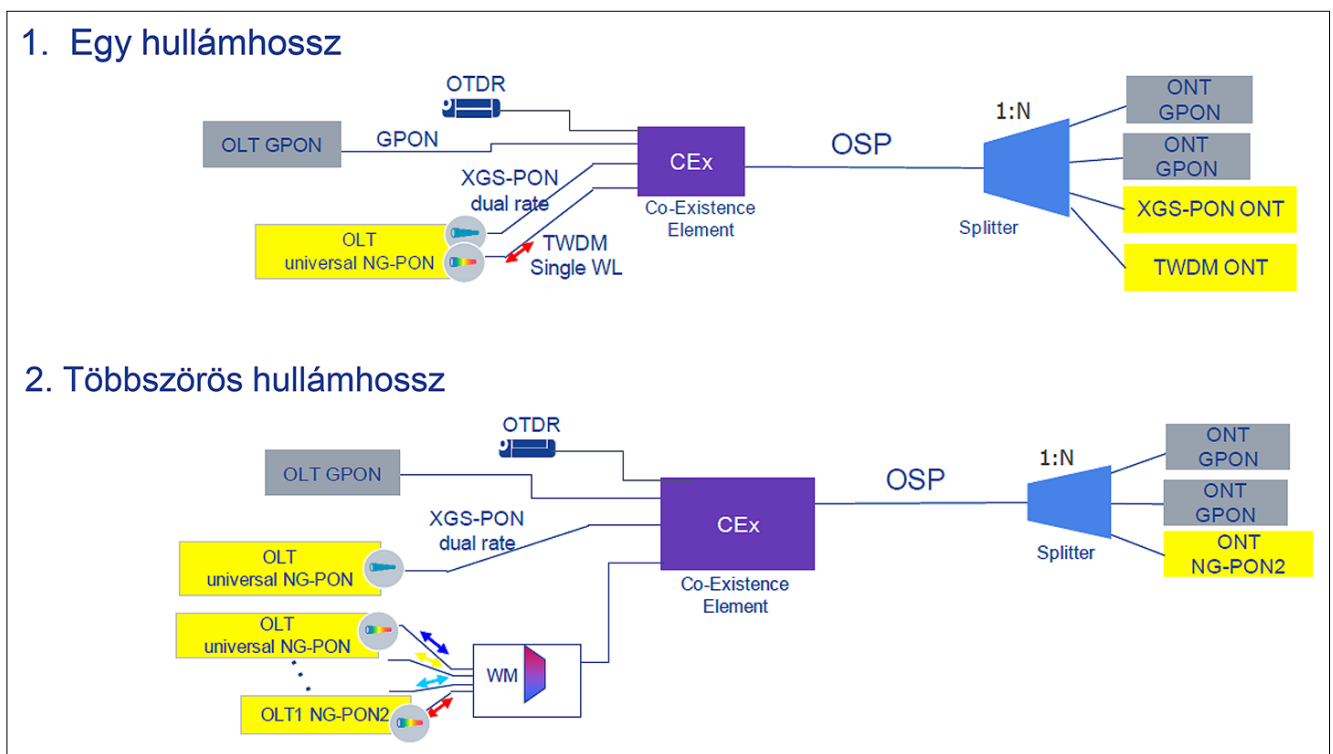
### 6. NG-PON a Nokia portfóliójában

A Nokia NG-PON2 megoldása már több élő hálózatban működik, a bevezetés folyamatosan történt 2014 óta. Az NG-PON2 megoldás a termékportfólió stabil része, kereskedelmi forgalomban elérhető 2015 óta, mind az XGS-PON mind a TWDM PON stabil, nagyszámú előfizetőt kiszolgálni képes megoldás.

A létesítés a meglévő GPON infrastruktúra megtartása mellett lehetséges, a 10/10 Gbit/s szolgáltatást fix hullámhosszú (max. 4, a későbbiekben 8) TWDM PON vagy XGS PON technológiával, majd be lehet vezetni a hangolható hullámhosszat, csatornapárokat az elsőtől a negyedikig. Ugyancsak lehetséges az a GPON mellett azonos PON-on az XGPON1 bevezetése, ha valaki 10/2,5 Gbit/s szolgáltatást kér. Mindezt az teszi lehetővé, hogy a Nokia ISAM berendezésen a PON portok univerzális NG-PON portok, azaz alkalmasak a XGPON1, XGS PON és TWDM PON technológiára.

Az univerzális NG-PON lehetővé teszi az NG-PON technológia bevezetését anélkül, hogy a kezdeti beruházási költség túlságosan magas lenne, majd az igények jelentkezésével lehet magasabb sávszélességeket bevezetni, az NG-PON kártyák megtartása mellett, új optikai modulokkal. Az univerzális NG-PON kártyát a Nokia 7360 ISAM FX chassis típus támogatja, ez jelenleg az iparban elérhető legnagyobb kapacitású optikai hozzáférési platform.

3. ábra A bevezetés két üteme



A chassis támogatja az összes optikai access technológiát: GPON, point-to-point GE és 10 GE, NG-PON (XGS-PON és/vagy TWDM PON azonos kártyán belül, más-más optikai modullal). A nagy sávszélességű jövőbeli hozzáférési technológiákra a chassis vonali kártyák és a kapcsolómátrix közötti hátlapi kettős 100 Gbit/s kapcsolatai adnak garanciát.

A 7360 FX család három méretben elérhető: az ISAM 7360 FX-16, ISAM 7360 FX-8, ISAM 7360 FX-4. Ezek a chassis típusok 16, 8, illetve 4 vonali kártya slottal rendelkeznek. A vonali kártya (LT) és a vezérlő (NT) közötti hátlapi kapacitás 100 Gbit/s, aktív/aktív vezérlő konfiguráció esetében 200 Gbit/s. A két NT közötti, illetve az uplink irányokat termináló NTIO kártya közötti kapacitás 400 Gbit/s.

A chassis különböző vezérlő kártyatípusai támogatják a szinkronizáció opcióit (BITS, ToD) a kapcsolókapacitás 1280 Gbit/s, illetve 2,5 Tbit/s a vonali kártyák felé a kapcsolat 40, 2x40, illetve 2x100 Gbit/s. Uplink irányokba a max. kapacitás 2x340 Gbit/s+2x200 Gbit/s, access irányban 2x1,6 Tbit/s, a két kapcsolómátrix között egyenletesen elosztva.

Az LT kártyák lehetnek 16 portos GPON kártya alacsony fogyasztással, B típusú védelemmel, az univerzális NGPON kártya 4-8-16 portos változatokban (a nagyobb portszámú verziók bevezetés alatt) és 36 portos pont-pont GE vagy 10GE kártya.

A nagy kapacitásokat kiszolgáló FX platform mellett a Nokia portfóliójában elérhető a kevés PON portot igénylő esetekben az a 7362 ISAM DFGW (Dense Fiber) mini OLT, amely rack-be szerelhető 1U magas pizza box, amely 16 GPON portot vagy 4 NG-PON portot szolgál ki fix vagy hangolható NGPON optikai modulokkal. A mini OLT 8 db XFP csatlakozóval rendelkezik. Egy XFP csatlakozó konfigurálható vagy 2xGPON („dual-GPON XFP”) vagy 1xNG-PON (összesen legfeljebb 4) portként.

### A szerzőről



**ADÁMY ZSOLT** a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett diplomát a Villamosmérnöki Karon. Műszerfejlesztőként dolgozott, majd távközlési mérnökként és műszaki vezetőként több gyártó hazai képviselőjében. A 2016-ban a Nokival egyesülő Alcatel-Lucent-nél 2008 óta dolgozik mint technical presales mérnök, szakterülete a vezetékes hozzáférési technológiák és az IP/MPLS.

### Irodalomjegyzék

- [1] Next Generation PON Network Evolution Description. Nokia Reference: 16.DE.623999, 31. August 2016, Ed.01.
- [2] Nokia next generation PON technologies. Nokia reference: GRTS NG PON update v2, Ana Pesovic, Fixed Networks Nokia, May 2016.

# A fogyasztói tudatosság növelésére, a szélessávú hírközlési szolgáltatások elterjedésének elősegítésére indított mérőprogram első évének tapasztalatai

TOMKA PÉTER, GÁSPÁR ERNŐ  
 Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság  
 {tomka; gaspar.erno}@nmhh.hu

*Kulcsszavak: fogyasztói tudatosság, szoftveres mérés, hardveres mérés, feltöltési sebesség, letöltési sebesség, hálózatsemlegesség*

**A cikk rövid bemutatást ad a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság által 2015. augusztus 19-én üzembe helyezett közcélú szélessáv-mérő és publikációs rendszer működéséről. Statisztikai adatok mentén feltárja az egyéves működés tapasztalatait, betekintést ad a mérési eredményekbe és következtetéseket von le. Elemzi a rendszer használatával kapcsolatos szakmai és felhasználói észrevételeket és fejlesztési lehetőségeket.**

## 1. Bevezetés

A Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság (NMHH) stratégiai céljának tekinti a szélessávú internet szolgáltatások elterjedésének és az elérhető minőség javulásának előmozdítását, ezzel összefüggésben a felhasználói tudatosság gyarapítását.

Az ezen célok mentén elindított Szélessáv Program keretében a hatóság egy szélessáv mérő- és információs rendszert (továbbiakban: Rendszer) fejlesztett ki, mely 2015. augusztus 19-én lett nyilvános használatra üzembe helyezve. A Rendszer, mint közcélú szolgáltatás a <http://szelessav.net> weboldalon lehetővé teszi a felhasználók számára a magyarországi szélessávú internetszolgáltatások alapvető paramétereinek objektív mérési eredményeken alapuló megismerését és segítséget nyújt azok értelmezésében is.

A Rendszer működtetésének célja:

- 1) objektív információkat adni a hatóság számára a hazai szélessávú szolgáltatások valós minőségi paramétereiről, előmozdítva döntéseinek megalapozottságát,
- 2) megalapozott, független információt nyújtani a fogyasztók számára, elősegítve a tudatos szolgáltató- és szolgáltatásválasztást, illetve az előfizetői szerződésben vállalt minőségi paraméterek teljesülésének ellenőrzését,
- 3) az átláthatóság növelésével előmozdítani a piaci versenyt, ösztönözni a technológiai fejlődést és a szélessávú szolgáltatások igénybevételének elterjedését azáltal, hogy a mérési eredmények közzététele nyomán, marketing üzenetek helyett az érzékelhető minőségek tudjanak versenyezni.

A fenti célok eléréséhez a Rendszer képes:

- a) az előfizetői szerződésben vállalt szolgáltatás minőségének ellenőrzésére egyedi és szolgáltatói szinten,
- b) hálózatsemlegességre vonatkozó követelmények ellenőrzésére,

- c) a mobilszolgáltatók által publikált ellátottsági területi adatok és a mért ellátottsági adatok összevetésére,
- d) internetszolgáltatások közötti informált választás elősegítésére tényleges méréseken alapuló minőség adatokkal,
- e) a hazai Internet hálózat állapotának valós idejű monitorozására.

A Rendszer mérő és publikációs részre tagozódva a mérések által nyert és feldolgozott adatok közzétételével válik alkalmassá a kitűzött célok teljesítésére.

A helyhez kötött („vezetékes”) internetszolgáltatások mérései a felhasználó által böngészőből indított ún. szoftveres úton, vagy a felhasználóhoz kihelyezett mérőeszköz (hardver) segítségével valósulnak meg. A mobil szolgáltatások mérése gépkocsikba telepített kalibrált mérőműszerrel történik.

A rendszer működése a szelessav.net weboldalon a tudástárral és aktuális információkkal kiegészülve válik a látogatók számára elérhetővé és használhatóvá.

Az alábbiakban a Rendszer egy éves működésének tapasztalatait elemezzük statisztikai adatok tükrében és szakmai, felhasználói észrevételek, nemzetközi tapasztalatok figyelembevételével.

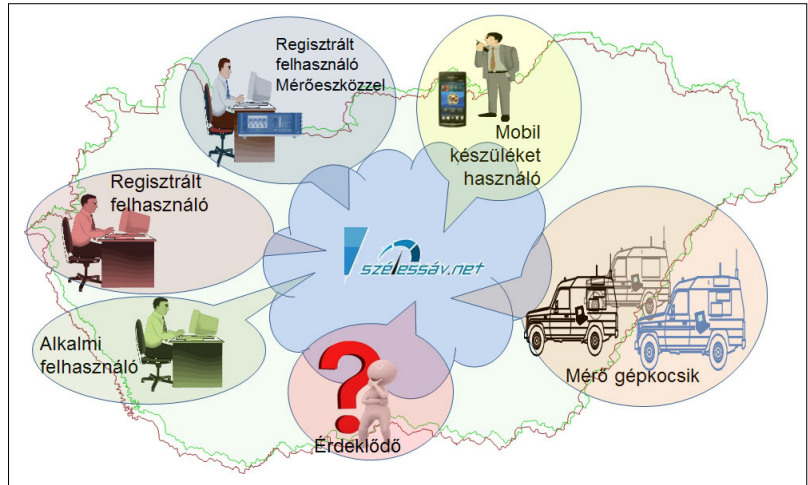
## 2. A Rendszer működésének statisztikai adatai

A Rendszert valójában a felhasználók működtetik, a weboldal megnyitása által a felkínált lehetőségek mentén haladva mérést indíthatnak, a tudástárban tájékozódhatnak az általános ismeretekről, megismerhetik az összesített mérési eredményeket, regisztrációt követően, mérőeszközt igényelhetnek, személyes fiókot nyithatnak, ahol saját mérési eredményeiket tárolhatják. A regisztrált látogatók által a weboldalon indított és a hozzájuk kihelyezett mérőeszközzel végrehajtott mérések biztosítják az országos internet szolgáltatási minő-



ségét, elérhetőségét, illetve lefedettségét tükröző eredményeket, teszik lehetővé a mérési adatbázis gyarapodását, az egyre megbízhatóbb publikációkat (1. ábra).

1. ábra  
A Rendszer működtetésének szereplői



### 2.1. A szelessav.net weboldal látogatottsága

A weboldal 2015. augusztus 19-én történt megnyitását előre nem várt érdeklődés követte, a látogatók száma meghaladta a százezret, igazolva, hogy egy ilyen független közcélú szolgáltatásra társadalmi igény van. Az érdeklődés mértéke idővel természetesen csökkent, de a Rendszer a mérséklődő aktivitás mellett is eredményesen működött, biztosítva a benne rejlő értékeknek a szakma és az ügyfelek részéről történő megismerését. A működés eltelt időszakának a jövő szempontjából inspiráló, legfontosabb tapasztalata, hogy a kitzűzött célok időtállóak, a szolgáltatásra igény van. Ugyanakkor be kell látnunk, hogy a látogatottság mértékét növelni kell, amely elsősorban a szolgáltatás szélesebb körű megismertetésével érhető el. A szelessav.net weboldal látogatottságának statisztikai adatait a 2. ábra foglalja össze. Érzékelhető, hogy a látogatókat mindenekelőtt a gyors mérés lehetősége vonzza, következésképpen többségük megelégszik a sebességteszt regisztráció nélküli használatával. Ez a gyakorlat adódhat a regisztrációs procedúrával szembeni tartózkodásból is, ezért célszerű annak egyszerűsítése.

### 2.2. A felhasználói mérések

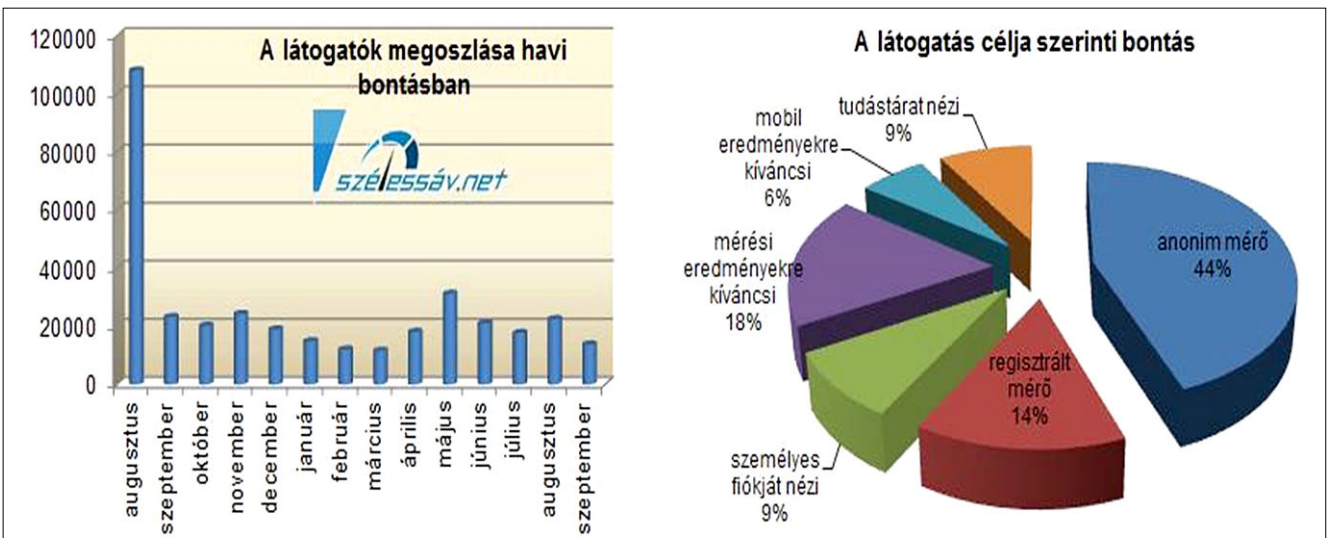
A felhasználó az otthoni számítógépéről, vagy az okos-mobiltelefonjáról az alkalmazott böngészőjén bejelentkezik a web szerverre, ahol két lehetőség közül választhat. Ha regisztrálni szeretne, akkor egy felkínált menüből kiválasztja a szolgáltatóját, előfizetői csomagját, megadja az irányítószámát. ezt követően saját tár-

hellyel rendelkezik, ahol mérési eredményei rögzítésre kerülnek, nyomon követhetők lesznek. A mérési eredmények ilyenkor egy központi adatbázisban is helyet kapnak, összesítve a kiértékelésre és a weboldalon publikálásra kerülnek. Amennyiben a felhasználó a regisztrációtól eltekint, egyedi méréseit elvégezheti, de azok nem kerülnek rögzítésre.

A regisztrált felhasználók a szoftveres mérés után jelezhetik igényüket, hogy mérőeszközt kapjanak. A hardveres mérés célja, hogy a felhasználóknál telepített eszközök segítségével, központi vezérlés mellett a szolgáltatás minőségi paramétereit a felhasználótól (jelenlététől, eszközeitől, mérési igényétől) független módon (de annak zavarása nélkül) lehessen monitorozni. Ennek érdekében a felhasználókhöz az NMHH által biztosított mérőhardverek (speciális szoftvert tartalmazó routerek) kerülnek telepítésre.

A mérések a felhasználó számítógépe és a Budapesti Internet-kicserélési Központban (BIX) elhelyezett mérőszerver közötti viszonylatban mennek végbe. Ez a mérési elrendezés szolgáltatósemleges méréseket tesz lehetővé, hiszen a referencia-mérőszerver nem valamely szolgáltató hálózatán belül helyezkedik el. Továbbá ez az elrendezés jól összehasonlíthatóvá teszi a kü-

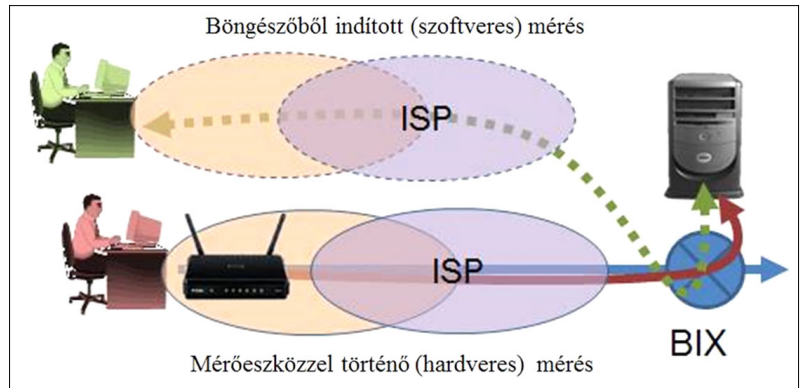
2. ábra A szelessav.net weboldal látogatottsági adatai



lönböző földrajzi helyeken, szolgáltatóknál és szolgáltatási csomagoknál végzett méréseket azáltal, hogy a mérések referencia pontja mindig ugyanazon a helyen, a BIX-ben van (3. ábra).

3/a. ábra  
A felhasználók által történő mérés elrendezésének vázlata

3/b. ábra  
A felhasználók által történő mérések rendszere

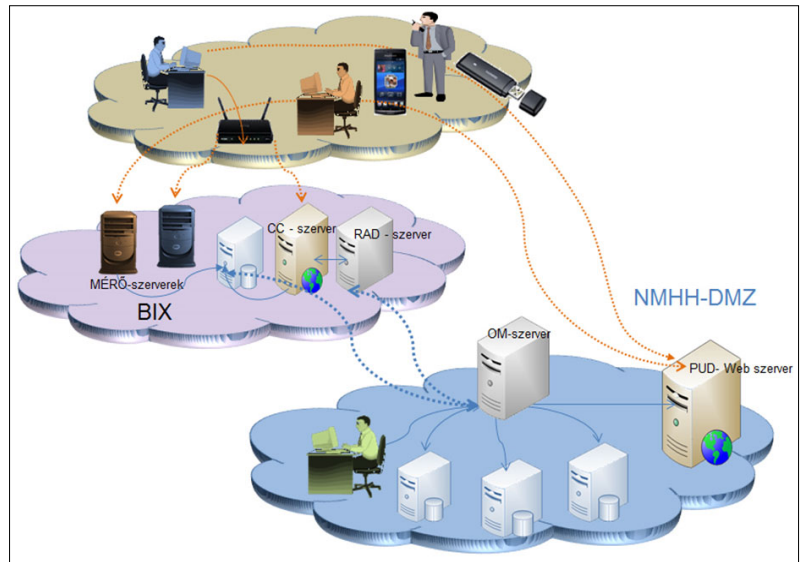


A szoftveres mérések gyakorisága és eredményessége alapvetően a weboldal látogatottságának függvénye. A mérések gyakorisága hűen tükrözi az 1. ábra diagramjának tendenciáit. A mérések számának sajnos 64%-a nem regisztrált (anonim) felhasználótól származik, következésképpen adatai nem kerülhetnek feldolgozásra.

A regisztrált mérések havonkénti eloszlását és a nagyobb városokban elérhető átlagos és legmagasabb letöltési sebességeket a 4. ábra mutatja be.

Az előfizetői végpontokra kihelyezett eszközök száma jelenleg 250 db. Ezek az eszközök a felhasználó beavatkozása nélkül folyamatosan regisztrálják a szolgáltatás alapvető paramétereit. Megbízhatóságuk és pontosságuk révén a nyert adatok alkalmasak releváns következtetések megtételére. A jelenleg rendelkezésre álló mérési eredmények alkalmasnak tekinthetők annak feltárására, hogy az egyes hálózati technológiáktól milyen szolgáltatási mérték várható el.

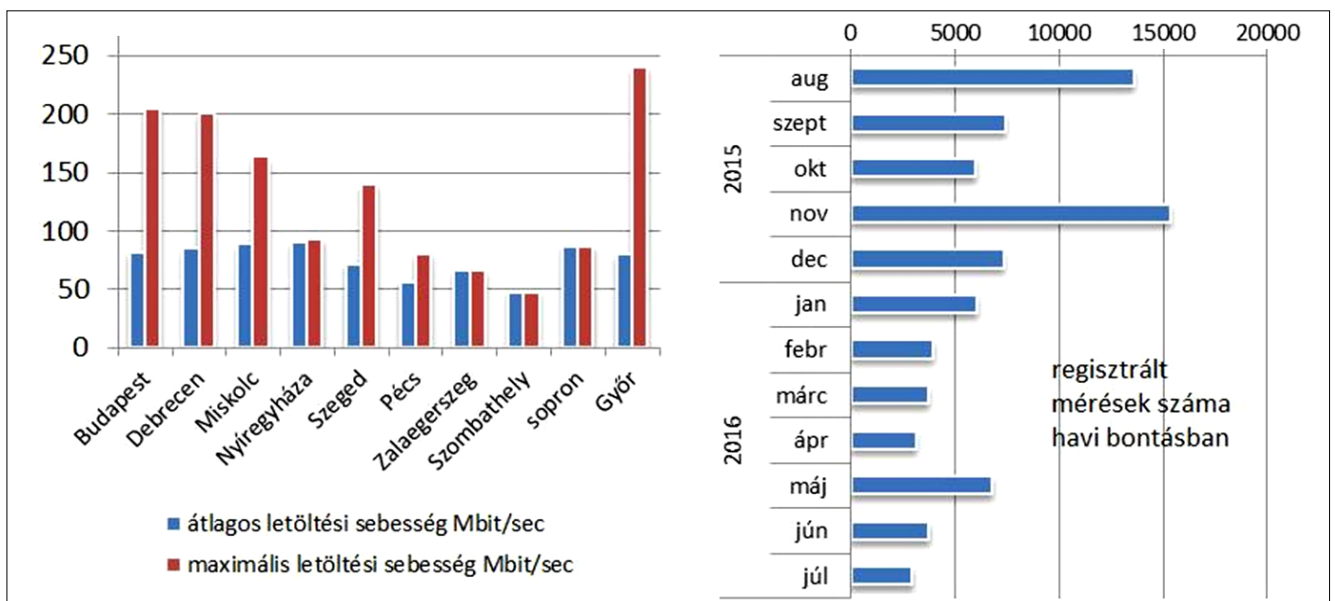
Az 5. ábra a négy leggyakrabban használt technológia mentén csoportosított mérési eredményeket mutatja be.



2.3. A mobil szolgáltatások mérése

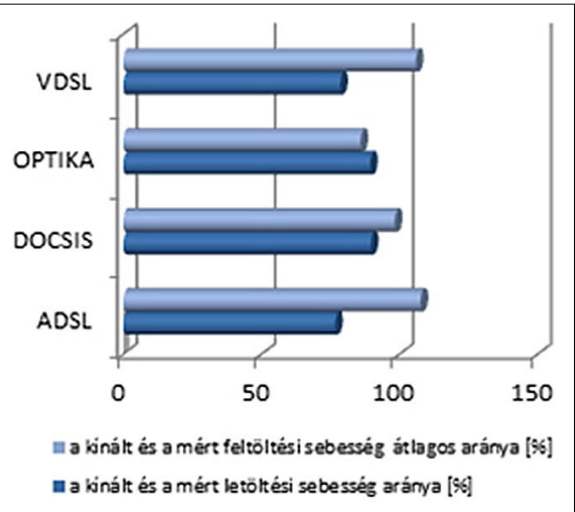
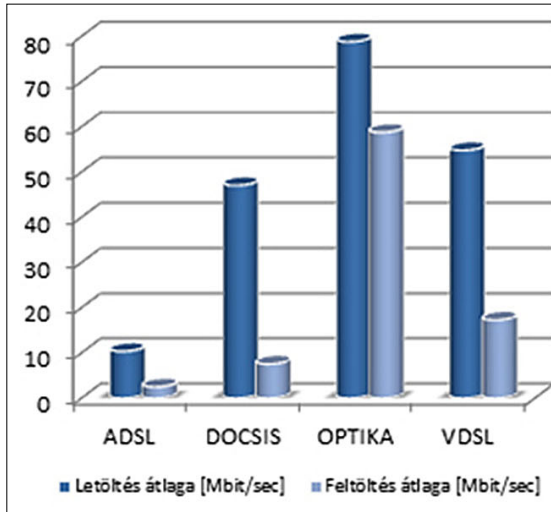
A mobil szolgáltatások mérése a mérőszolgálati gyakorlatban alkalmazott speciális mérőrendszerrel történik. A mérőrendszer a méréseket végző mérőautókban elhelyezett mérőterminálok és a BIX-ben elhelyezett mérőszerver kapcsolatára épül (6. ábra). A mérések három mérő-gépkocsi országjárásával kerülnek végrehajtásra.

4. ábra A szoftveres mérések eredményei

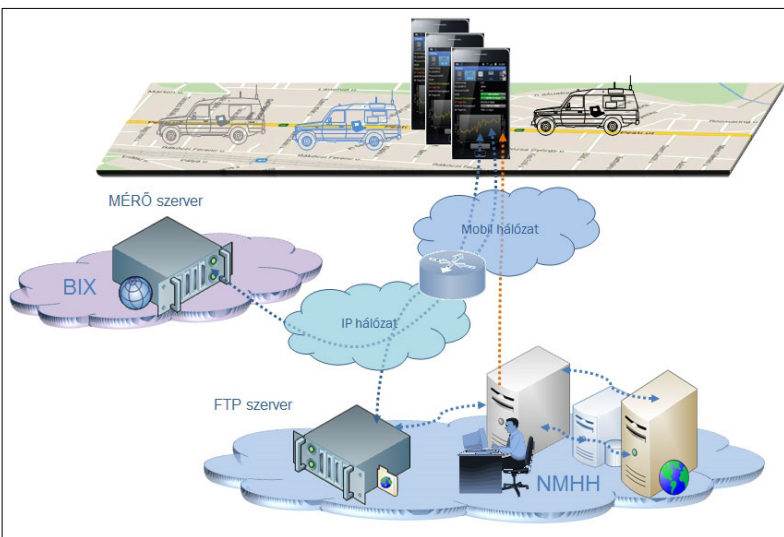




5. ábra  
Hálózati  
technológiák  
szerinti  
összevetés



6. ábra  
A mobil  
szélessávú  
internet-  
szolgáltatások  
mérése



### 3. Nemzetközi kitekintés

Az elmúlt néhány évben a fejlett országok túlnyomó többségében kialakításra került valamilyen hasonló funkcionalitású, vagy a hatóság internetes megjelenésébe integrált, vagy a hatóság támogatásával működő önálló portál. Bár a rendszerek képessége és külalakja eltérő, a létrehozásukat kiváló felismerés közös, a piac nem nélkülözhet egy felhasználóbarát, elfogulatlan információs forrást.

A szóban forgó mérőoldalak többsége, elsősorban a felhasználói fel- és letöltési sebességmérések térképes megjelenítésére koncentrálnak. Az NMHH mérőoldalának komplex szolgáltatását élénk társhatósági érdeklődés kíséri és várható, hogy ezen szolgáltatások közül több, rövidesen más európai hatóságnál is rendszeresítésre kerül. A legnagyobb érdeklődést kiváltó egyedi sajátosságok:

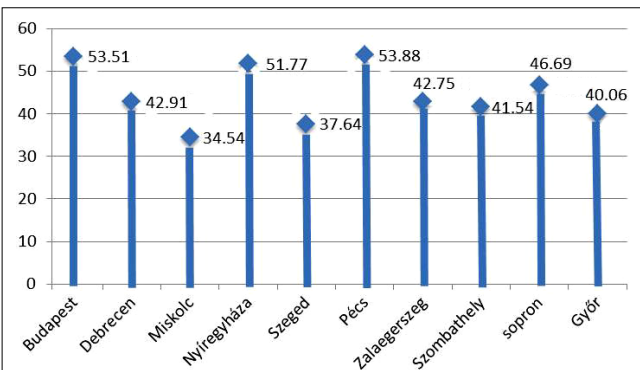
– hardveres mérőeszközök használata,  
– területi és csomag-aggregációs mérési adatok megjelenítése,  
– hálózatsemlegességi mérések támogatása,  
– a fogyasztói tudatosság növekedését elősegítő tudástár.

- hardveres mérőeszközök használata,
- területi és csomag-aggregációs mérési adatok megjelenítése,
- hálózatsemlegességi mérések támogatása,
- a fogyasztói tudatosság növekedését elősegítő tudástár.

A mérésekkel történő országos felmérés három havonta megismétlődik, követve a hálózatfejlesztések menetét is, következésképpen a rögzített és publikált adatok naprakész helyzetről tanúskodnak. A weboldalon térképes megjelenítés mellett részletes statisztikai összehasonlító diagramok és táblázatok adnak segítséget a felhasználóknak a térségükben, ill. az országban elérhető mobilszolgáltatások fedettség és sebesség adatairól.

A 7. ábra a mobilszolgáltatások nagyvárosainkban átlagosan elérhető letöltési sebességéről ad áttekintést.

7. ábra Nagyvárosainkban átlagosan elérhető maximális letöltési sebességek (Mbit/sec)



### 4. Mérések és felhasználói élmény

A mérési módszerek kiválasztása során fontos szempont volt, hogy a kapott eredmények ne idealizált paraméterek, hanem a felhasználók tényleges tapasztalataival korreláló mérőszámok legyenek. Ez segíti a reális elvárások kialakulását, a tudatosságot a szolgáltatáscsomagok kiválasztásában, és nem utolsósorban a mérésekkel és portállal szembeni bizalom megőrzését.

Az eltelt időszak tapasztalatai szerint ez a megközelítés helyes volt, azonban elkerülhetetlen, hogy a megkezdett úton további előrehaladás történjen. Nyilvánvalóvá vált, hogy az otthoni vezeték nélküli internethasználat (a „wifizés”), tekintetében az átlagos tájékozott

ság rendkívül alacsony. Annak ellenére, hogy a portál maga is törekszik a „TUDÁSTÁRBAN” a legfontosabb információk megosztására, a felhasználók jelentős része nem képes a Wi-Fi alkalmazásával mért eredmények helyes értelmezésére. Leszűrhető a tanulság, hogy az oldalon külön kell választani az ilyen méréseket, és interaktív módon segíteni kell a felhasználót a mérési eredmények értelmezésében, a helyes mérési feltételek biztosításában.

Annak ellenére, hogy az oldal egyik legfontosabb funkciója a le- és feltöltési sebességek mérése, egyre többször jelennek meg ezen túlmutató, a szolgáltatás minőségének komplexebb elemzését lehetővé tevő mérési adatokra vonatkozó igények. Annak ellenére, hogy a sávszélesség mérés dominanciája várhatóan megmarad – hiszen az internet előfizetői csomagokat és ezek árát ennek a paraméternek a segítségével különítik el a piaci kínálatban –, elsősorban a nagyobb sebességű csomagok felhasználói számára sokkal fontosabbá válhatnak a hálózatsemlegességre, vagy csomageldobásra vonatkozó paraméterek. Ezért a felhasználói élmény megragadására szolgáló méréseknek lehetővé kell tenniük ezeknek a paramétereknek a vizsgálatát is, kibővívve a rendszer jelenlegi mérőképességét.

A mobil mérések adatainak bemutatásához kapcsolódó elvárások is növekedtek. Annak ellenére, hogy a szelessav.net portál nemzetközi viszonylatban is egyedülálló részletességgel teszi lehetővé a mobil szolgáltatások sebességadatainak megismerését, jelentkeztek a használat módjához jobban illeszkedő adatábrázolási javaslatok. Ilyenek a vasútvonalon történő internetezésre, vagy adott útvonalon történő haladás során várható szolgáltatás szemléltetésére vonatkozó igények.

## 5. A portál jövője

Az elmúlt egy év tapasztalatai, az előzetes elvárásokat meghaladó sikeresség, a működéssel kapcsolatosan megfogalmazott észrevételek azt mutatják, hogy az oldal által felkínált funkcionalitás hiánypótló a hazai egyéni internethasználók számára. Azonban ahogyan változik maga az internet, úgy kell változnia az ennek mérését biztosító oldalnak is.

A pontosabb felhasználói élmény meghatározását biztosító fejlesztések mellett a portál jövőbeni szerepét és jelentőségét ezek a változást követő átalakítások fogják meghatározni. Fel kell készülni a növekvő sávszélességek mérését lehetővé tevő bővítésekre, és követni kell a felhasználók által elérhető technológiák változását is. A jelenlegi szoftveres mérések közül növelni kell a HTML5 bázisú mérés szerepét és be kell vezetni HTML5 alapú hálózatsemlegességi mérési eljárásokat, mivel az internet böngészők láthatóan, egyre távolodnak az ezt megelőző technológiáktól. Növelni kell a mérőeszközzel történő hardveres mérőeszközök sebességmérésének felső határát is, hiszen az elkövetkező években – reményeink szerint – a hazai hálózatfejlesztések eredményeként, lényeges előrelépés történik

az elérhető felhasználói csomagok kínált és garantált sávszélességében.

A rendszert ugyan a Hatóság hozta létre és üzemelteti, de a hazai internetezés és piacfejlődés egyetemes érdekeit kell szolgálnia. Az internet folyton változó világra megköveteli, hogy a rendszer mérési és kiértékelési eljárásai folyamatosan alkalmazkodjanak a változásokhoz. Megnyugtató, ha ezen folyamat során nem csupán a hatóságnál meglévő szakmai hozzáértés, hanem szélesebb körű közmegegyezés is szerepet kaphat.

Ezért, ahogyan a rendszerkialakítás során, úgy a továbbfejlesztés esetében is támaszkodni kell a hazai oktatási intézmények és szakértői fórumok módszertani segítségére és észrevételeire. Természetesen továbbra is nélkülözhetetlen a piacon jelenlévő szolgáltatók támogatása és együttműködése, valamint a működést és a további fejlesztéseket kísérő pozitív hozzáállása is.

A tapasztalatok azt igazolták, hogy a fejlesztések legfontosabb megfogalmazott céljai és a rendszer szerepköre továbbra is változatlan kell, hogy maradjon. A rendszernek, a felhasználói élmények pontos és közérthető bemutatásával, a tudatos döntéseket hozó internethasználók referencia oldalának kell maradnia, egyaránt szolgálva a piac fejlődését, az előfizetők védelmét és hiteles tájékoztatását.

## 6. Összefoglaló

A <http://szelessav.net> weboldal funkcióinak rövid bemutatása után, áttekintettük az egyéves üzemeltetést jellemző leglényegesebb statisztikai adatokat. Az adatok visszaigazolták a portál létrehozásának fontosságát, és igazolták, hogy a fejlesztés jól szolgálja a hazai internetezés fejlődését. Utaltunk a rendszer nemzetközi összehasonlításban megjelenő sajátosságaira és előremutató szerepére. Végül megfogalmaztuk a tapasztalatok során felmerült fejlesztési elképzeléseket és érintettük a jövőbeni szerepkört meghatározó elvárásokat.

### A szerzőkről



**TOMKA PÉTER** 1982-től kezdve egészen 2016. augusztusi nyugdíjba vonulásáig vezetője volt a hatósági Rádiómérő- és Zavarvizsgáló Szolgálatnak. Nemzetközi szaktekintély, az ITU SPECTRUM MONITORING HANDBOOK egyik szerkesztője, fejezetek szerzője. Nevéhez fűződik többek között az országos Spektrum- és Interferencia Monitoring (SIMON), valamint a Szélessáv Program (SZÉP) projektvezetőjeként, a Szélessáv mérő és Információs rendszer létrehozása. Tevékenységét számos elismerés kíséri, többek között a Hírközlésért szakmai érem és a Baross Gábor-díj.



**GÁSPÁR ERNŐ** villamosmérnök több mint 25 éve a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság (illetve jogelődjei) nagy szak tudású mérésügyi szakértője. Korábban a Rádiómonitoring osztály, 2016. augusztusától a Mérésügyi Főosztály vezetője. Kulcsszerepet tölt be a mérőszolgálat eredményes fejlesztési, innovációs projektjeiben. Tervei alapján, irányításával épült ki a nemzetközileg is egyedül álló mérésinformatikai rendszer. Meghatározó szerepet töltött be a Digitális Átállás Projektben (DAP) és a Szélessáv Program (SZÉP) projektben.

# Informatikai technológiák alkalmazása az orvoslásban

BENYÓ BALÁZS

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
bbenyo@iit.bme.hu

Kulcsszavak: orvos informatika, modell alapú megközelítés, szoros vércukor szabályozás, STAR

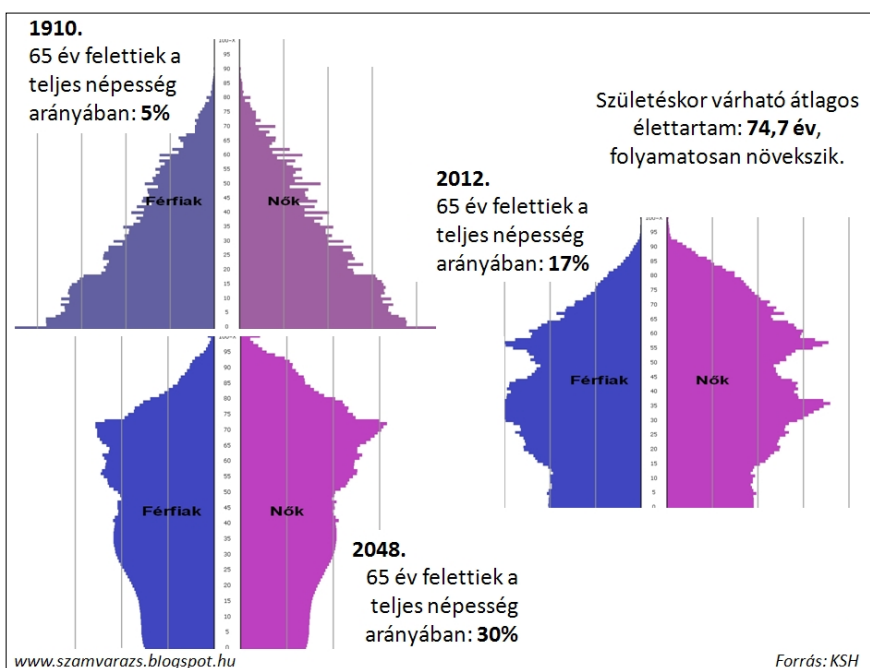
**A modell alapú megközelítés lehetőséget teremt az orvosi diagnosztikai és terápiás feladatok informatikai támogatására és ezáltal azok hatékony végrehajtására, mely az egészségügy számára létkérdés az ellátás színvonalának megtartása érdekében. A cikk egy konkrét orvosi terápiás módszeren, az úgynevezett szoros vércukor szabályozást célzó STAR protokoll megvalósításán, mint példán keresztül mutatja be a modell alapú orvosi módszerek kidolgozásának, alkalmazásának lépéseit, ismertette a megközelítés tipikus problémáit és alkalmazásának jellemző módszertanát.**

## 1. Bevezetés

A megfelelő egészségügyi ellátás biztosítása az elkövetkező évtizedekben egyre növekvő terhet jelent az egészségügyi ellátórendszer számára. Ezt számos, – évtizedek óta tartó – a társadalmat, az orvostudományt, valamint a diagnosztika és gyógyítás technológiai hátterét biztosító műszaki területeket érintő változás okozza.

A terhek növekedésének egyik közvetlen oka az ellátásra szoruló arányának folyamatos növekedése. Az egyébként üdvözlendő átlagéletkor-növekedés és az – elsősorban a nyugati társadalmakban tapasztalható – születésszám-csökkenés az egyes korosztályokba tartozó népesség eloszlását mutató korfa jelenős megváltozását eredményezte (1. ábra).

1. ábra A korfa változása az elmúlt száz évben

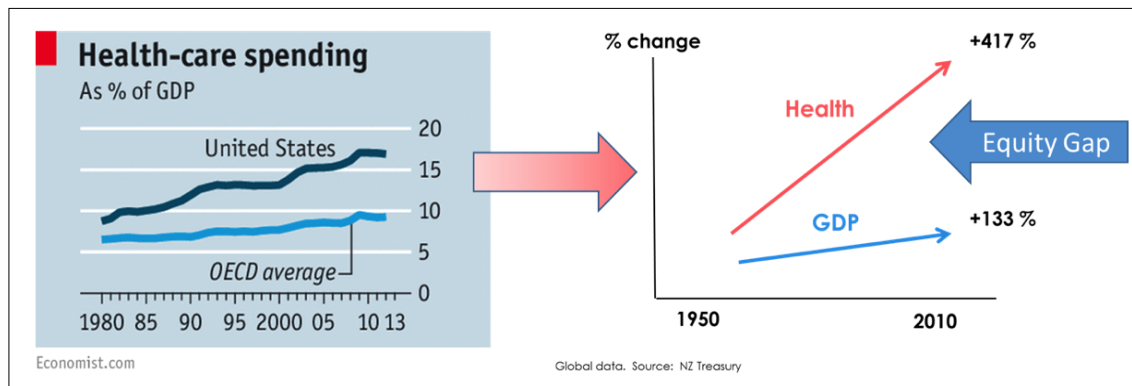


Az aktuális kilátások alapján a 65 éven felüli lakosság a jelenlegi 17%-ról kb. 30%-ra növekszik 2048-ra. Amennyiben ehhez hozzáteszük az egészségügyi ellátás szempontjából fontos tény, hogy az emberek jellemzően 65 év felett veszik igénybe az életük során igénybe vett orvosi ellátás nagyjából kétharmadát, akkor jól érzékelhető, hogy a korfa megváltozását eredményező társadalmi változások milyen mértékben növelték az egészségügyi ellátórendszer terheit.

Ezzel párhuzamosan az orvostudomány fejlődése eredményeként megjelenő új diagnosztikai és terápiás módszerek, valamint az új módszerek megvalósítását lehetővé tevő mérnöki rendszerek ára drasztikusan megnövelte egy-egy betegség gyógyításának költségeit. A képalkotó diagnosztikai berendezések fejlődése jól illusztrálja ezeket a változásokat. Ezek a ma már rutinszerűen használt berendezések többszázmillió forintos ára az egészségügyi intézmények költségvetését jelentősen megterhelik, gyors fejlődésük, a különböző új technológiák, új modalitások megjelenése kikényszeríti azok rendszeres cseréjüket.

Az egészségügyi ellátásra fordított források drasztikus növekedése jól látható azok évenkénti bontásán (2. ábra). Az abszolút számok vizsgálatánál talán többet mond, ha a GDP arányában vizsgáljuk meg ezeket az értékeket. A grafikon egyértelműen mutatja, hogy a GDP-hez viszonyított költségek drasztikusan megnöttek és ez a trend várhatóan a jövőben is folytatódik.

A közegészségügy válasza – nagyon helyesen – ezekre a változásokra egyértelmű: egyre nagyobb súlyt fektetnek a megelőzésre, valamint az egészséges életmód pro-



2. ábra  
Az egészségügyi ellátásra fordított források és a GDP változása

pagálására, mint a betegségek kialakulását leghatékonyabban elősegítő módszerére. Ugyan a betegségek megelőzését célzó erőfeszítések sikerrel tudják csökkenteni az egészségügyi ellátórendszer terheit, azonban a felvázolt trend megfordítását nem várhatjuk tőlük.

Annak érdekében, hogy az egészségügyi ellátás költségnövekedésének ütemét meg lehessen fékezni, és elkerülni, hogy a megfelelő színvonalú egészségügyi ellátás ne váljon megfizethetlenné, lényeges változásokra van szükség. Az orvosi beavatkozások, diagnosztikai és terápiás módszerek költségeit csökkenteni kell. Erre a leghatékonyabb módszer a modell alapú orvosi diagnosztikai és terápiás módszerek kidolgozása és elterjesztése. Ezek lényege az orvosi probléma, betegség szempontjából releváns élettani folyamatok modellezése, majd a modell felhasználása a diagnosztikai döntések, terápiás módszerek kidolgozásában és megvalósításában. A modell alapú módszerek használatának előnye, hogy lehetővé teszik az egyes lépések informatikai eszközökkel történő támogatást, megteremtik a lehetőségét azok automatizálásának. Ezzel hatékonyabbá tehető az orvosi és ápolói munka, szélesebb körben válik elérhetővé az orvosi szaktudás, hatékonyabbá téve az ellátást.

A modell alapú megközelítés természetesen régen jelen van az orvostudományban. A napjainkban zajló, ezen a területen tapasztalható trendfordulót a modell alapú módszereknek a korábbiaknál szélesebb körű felhasználása, valamint azok alkalmazási módszertanának egységes kereteinek kialakulása jellemzi. A modell alapú orvosi megoldások egyik fontos eleme az infokommunikációs technológiák intenzív alkalmazása a diagnosztikai és terápiás módszerek megvalósítása során. A modell alapú megoldások elterjedését az orvosi gyakorlatban leginkább ahhoz a folyamathoz lehet hasonlítani, ami a huszadik század második felében zajlott az iparban, amikor az ipari termelés folyamatait lényegesen megváltoztatta az informatikai technológiák széleskörű bevonása az egyes tervezési és gyártási fázisokba.

A cikkben egy konkrét orvosi terápiás módszeren, az ún. szoros vércukor szabályozást célzó STAR protokoll megvalósításán, mint példán keresztül mutatjuk be a modell alapú orvosi módszerek kidolgozásának, alkalmazásának lépéseit, ismertetve a megközelítés tipikus problémáit és alkalmazásának jellemző módszertanát.

### 1.1. Szoros vércukor szabályozás

Az intenzív osztályon ápolott betegek viszonylag magas, akár 60 százalékánál előfordul a metabolikus rendszer egyensúlyának felborulása. Ezen betegek vércukorszintje közvetlenül jelzi ezt, a vércukorszint elhagyja az ún. normoglikémiás tartományt. Az egészségesnek ítélt, normoglikémiás vércukor tartomány definíciója kismértékben függ az ápolási helytől, illetve az ápolott betegek állapotától, kutatásunk során a 4-8 mmol/l-es tartományt alkalmaztuk.

Abban az esetben, ha a tartományból felfelé lép ki a beteg, inzulinadagolással vagy a táplálás mértékének csökkentésével lehet beavatkozni, amennyiben ez lefelé történik meg, az inzulinadagolás csökkentésével/leállításával, illetve a tápanyag bevitel növelésével, esetleges glükóz bólus beadásával.

A betegnek beadandó inzulin mennyiségét valamint a tápanyagbevitel mértékét meghatározó protokollokat szoros vagy szigorú vércukor-szabályozási protokolloknak nevezzük. Ilyen protokollok létrehozása számos kihívással jár [1–4], ezek megoldása sajnos több esetben sikertelennek bizonyult.

A nemzetközi együttműködésben – a University of Canterbury és a University of Liege munkatársaival közösen – végzett kutatásunk célja egy ilyen szoros vércukor-szabályozási protokoll kidolgozása volt.

### 1.2. A cikk felépítése

A bevezetés után következő szakasz az alkalmazott módszereket tárgyalja, nevezetesen a STAR protokoll megvalósításához szükséges modellt, magát a protokollt, végül a megvalósítás során alkalmazott in-silico szimulációs technikát [14]. Az ezt követő szakasz az eredményeket ismerteti azok értékelésével egyetemben. A cikket a tágabb kitekintést is tartalmazó összefoglalás zárja.

## 2. Módszerek

### 2.1. ICING modell

A modell alapú orvosi módszerek megalkotásának a legfontosabb lépése a vizsgált élettani jelenséget leíró modell felállítása. A legnagyobb kihívást az jelenti, hogy megtaláljuk a helyes kompromisszumot a megalkotott modell valóságshűsége és annak komplexitása között.



A fiziológias rendszerek jellemzője a benne zajló folyamatok összetettsége és azok bonyolult egymásra hatása. Ezen viszonyok valósághű leírása általában olyan komplex modelleket eredményez, melyeket nem lehetséges alkalmazni a gyakorlati probléma megoldásakor. Ennek oka leggyakrabban az élettani modell paramétereinek meghatározásához rendelkezésre álló mérések elégtelen száma vagy a modell komplexitásából adódó túl nagy számítási bonyolultsága. A élettani rendszereket leíró modell létrehozásának az alapvető problémája így, hogy meghatározzuk, hogy mely jelenségek, élettani folyamatok azok, melyek elhanyagolása nem okoz a megoldandó feladat szempontjából elfogadhatatlan hibát vagy bizonytalanságot. Ennek megfelelően jellemző, hogy iteratív módon több modellváltozatot készítünk és elemezzük ezek alkalmazhatóságát az adott gyakorlati probléma megoldásakor.

Esetünkben a vércukor-háztartás leírására alkotott modell a ICING (Intensive Control Insulin-Nutrition-Glucose) modell lett. Ennek is több változata jött létre, míg a mostani formáját megkapta [6,8]. Az ICING modell egy kompartment modell. Leírja az emésztőcsatornán keresztül, valamint a szervezet más tárolóiból a vérbe kerülő vércukor transzportfolyamatokat, a vérbe kerülő inzulin áramlását a szövetközi térbe, ahol az irányítja sejtek anyagcseréjét. A modell számos paramétert tartalmaz, azonban az egyes betegek személyre szabott modellverziójának előállításakor ezek nagy többségét konstansnak választjuk [8]. Egyedül az inzulin-érzékenységnek SI értéke fog a beteg állapota szerint változni. Ez az inzulin-érzékenység lényegében a vérbe került inzulin vércukorszintre gyakorolt hatásának az erőssége.

A modell leíró differenciálegyenlet-rendszer a következő:

$$\frac{dG(t)}{dt} = -p_G G(t) - S_I(t)G(t) \frac{Q(t)}{1 + \alpha_G Q(t)} + \frac{P(t) + EGP - CNS}{V_G},$$

$$\frac{dQ(t)}{dt} = n_I(I(t) - Q(t)) - n_C \frac{Q(t)}{1 + \alpha_G Q(t)},$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = -n_K I(t) - n_L \frac{I(t)}{1 + \alpha_I I(t)} - n_I(I(t) - Q(t)) + \frac{u_{ex}(t)}{V_I} + (1 - x_L) \frac{u_{en}(t)}{V_I},$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -d_1 P_1(t) + D(t),$$

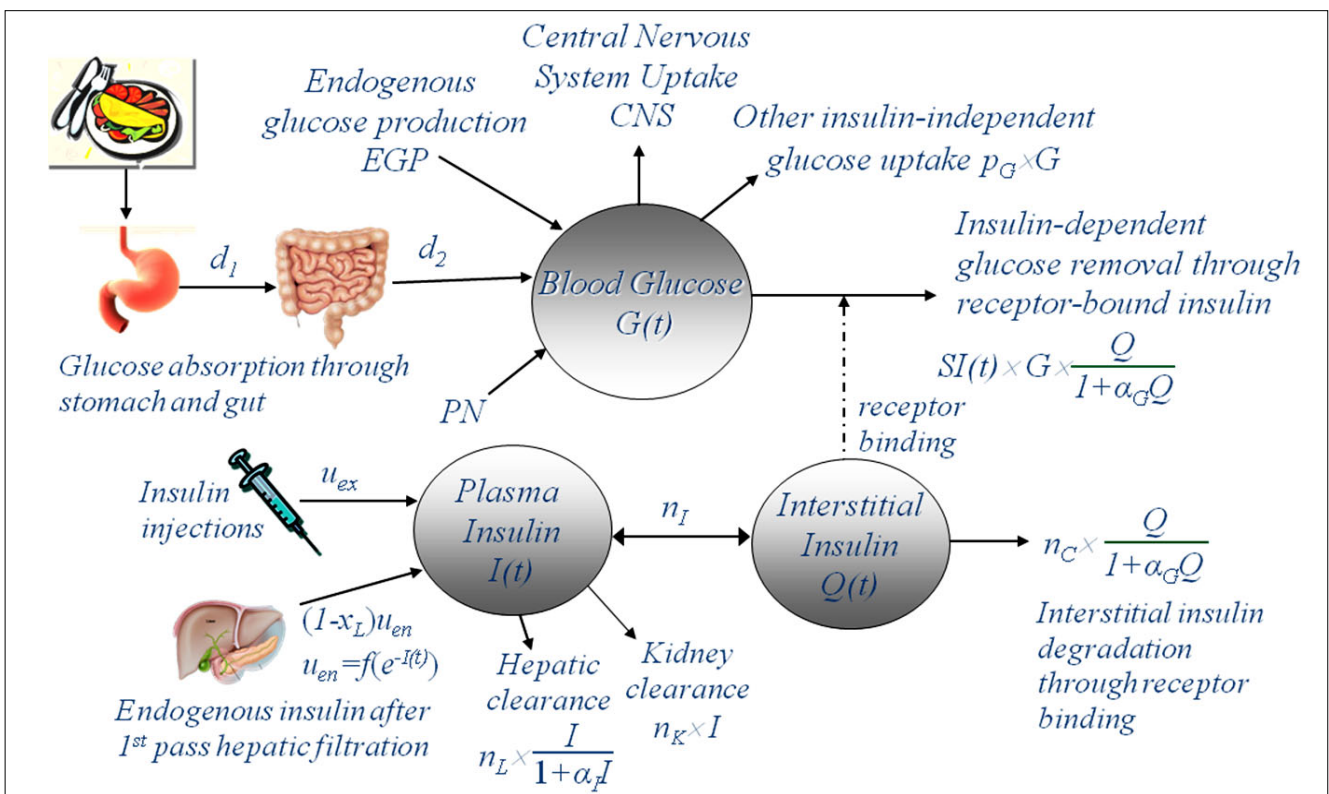
$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -\min(d_2 P_2(t), P_{max}) + d_1 P_1(t)$$

$$P(t) = \min(d_2 P_2(t), P_{max}) + P_N(t)$$

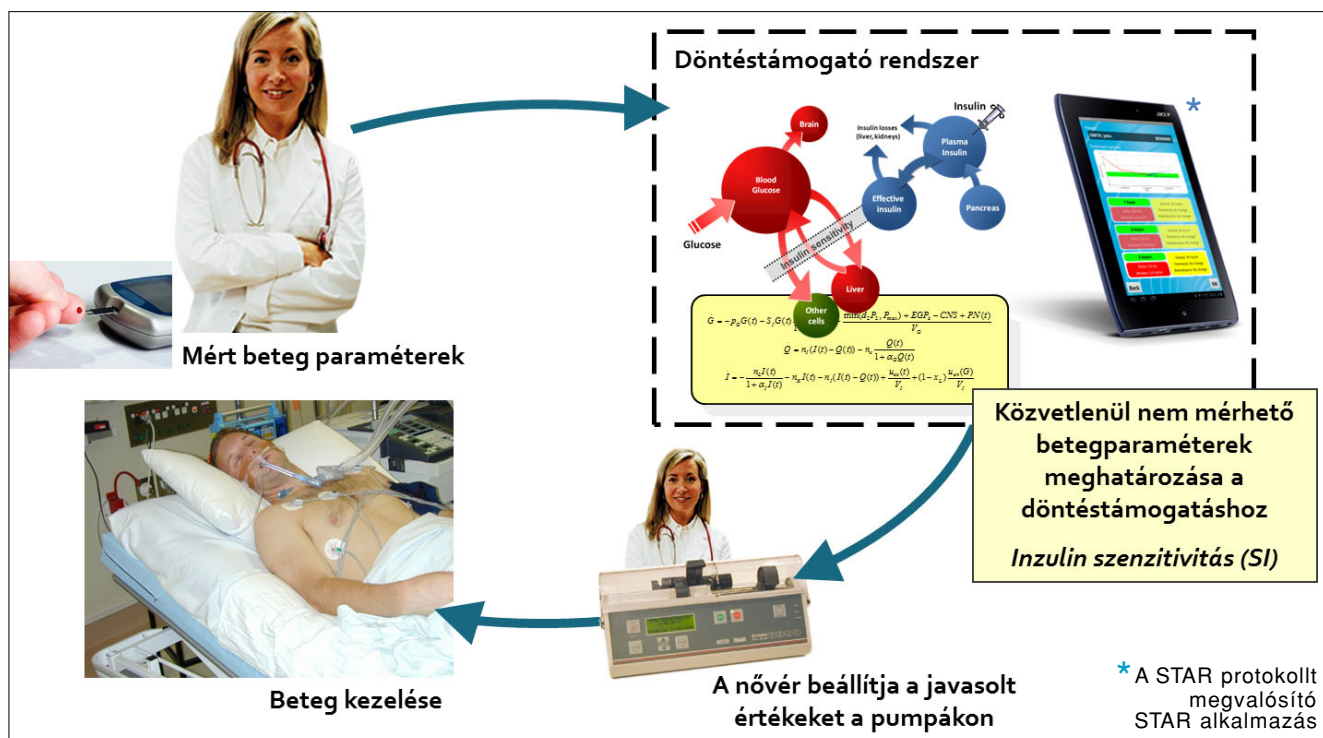
$$u_{en}(t) = \min(\max(u_{min}, k_1 G(t) + k_2), u_{max})$$

ahol  $G$  a vér vércukor-koncentrációját,  $I$  az inzulin koncentrációját jelöli, míg  $Q$  a szövetközi tér vércukor-koncentrációját jelöli. A modell részletes bemutatását, a használt paraméterek leírását és értékét a [8] és [5] irodalmak ismertetik. A 3. ábra összefoglalja a modell által leírt legfontosabb folyamatokat, illetve hatásokat.

3. ábra Az ICING modell sematikus bemutatása







4. ábra A STAR protokoll alkalmazása

A modell változóinak betegcsoportról készített statisztikák alapján számolt konstans értékre történő választása és az SI érték betegállapot-leíró változóként történő használata a korábban említett modellezés kompromisszum [10]. Az így kapott modell alapján minden egyes vércukormérés alkalmával meg tudjuk határozni az inzulin érzékenység mértékét. A modell bonyolultsága pedig megengedi, hogy a tanácsadó rendszer az egyes javasolt inzulin és tápanyag adagolási tanácsok összehasonlításakor szükséges számításokat néhány másodperc alatt elvégezze.

**2.2. STAR protokoll**

A STAR (Stochastic TARTgeted control) protokoll egy „nurse-in-the-loop” típusú protokoll (4. ábra) [7]. A nővér a STAR tanácsadó rendszert használja a beteg tápanyagbevitelének és inzulinadagolásának meghatározására. Ehhez a kezelés megkezdésekor a beteg adatait, valamint a megcélzott tápanyag-beviteli célértéket és annak formáját (felhasznált oldat összetételét és a beviteli utat: enterális/parenterális) beviszi a rendszerbe. A nővér ezután rendszeresen megméri a beteg vércukorszintjét, amely értékeket ugyancsak rögzít a rendszerben. A tanácsadó alkalmazás ezután kiszámolja a korábban rögzített orvosi kritériumok alapján azt a terápiát, alkalmazandó tápanyag- és inzulinbevitelt, mely optimális a beteg számára és a normoglikémiás tartományban tartja. A javasolt értékeket a kezelő személyzet természetesen minden alkalommal felülbíráhatja, amellet, hogy a megváltoztatott értékeket a rendszerben rögzítenie kell a későbbi kezelés helyes számítása érdekében.

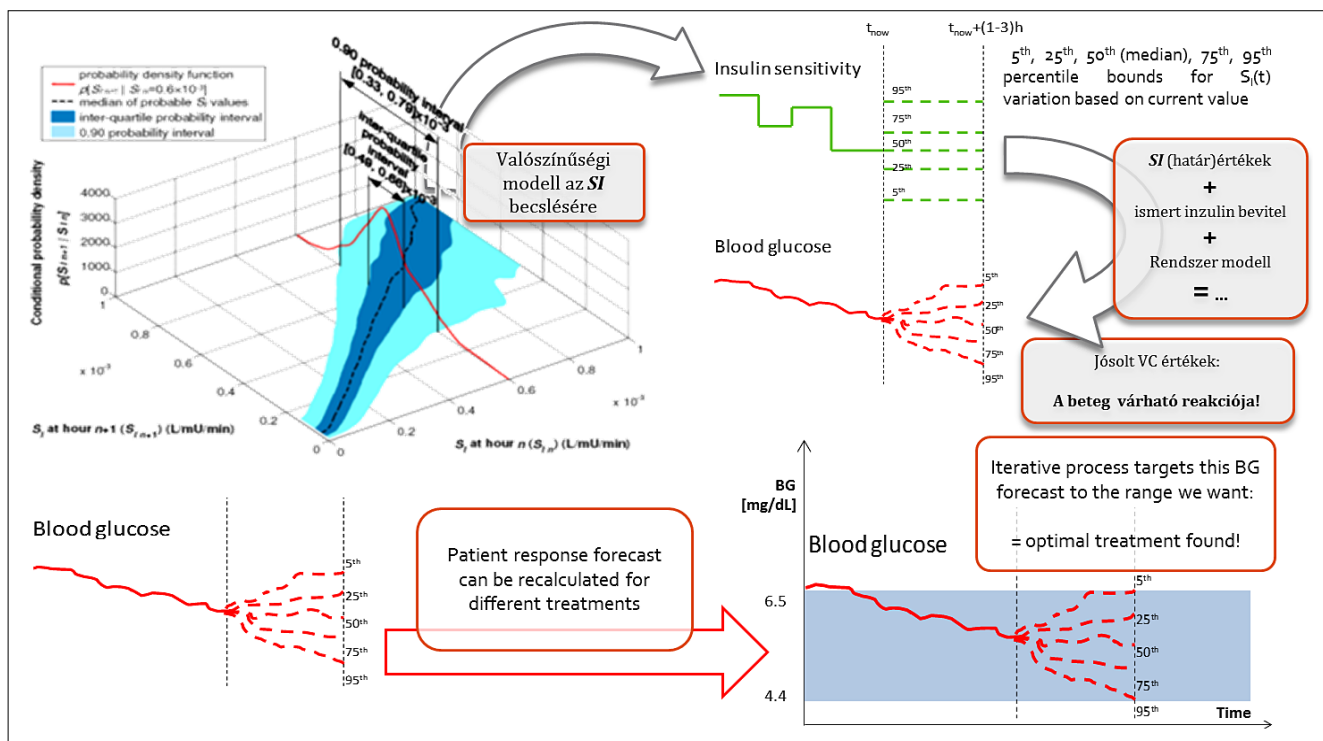
A tanácsadó rendszer a lehetséges alternatív terápiai lehetőségek összehasonlítását a modell alapján

végzi. Első lépésként egy egyszerű paraméter-identifikációt végez [11], meghatározza a beteg aktuális inzulinérzékenységi (SI) értékét (5. ábra). Ehhez minden adott, hiszen ismert a beteg aktuális vércukorszintje és a korábban bevitt tápanyag inzulinmennyiségei. Ezután a korábbi kezelések alapján készített valószínűségi modell alapján [9] meghatározza, milyen SI tartományba fog kerülni a kezelt beteg 90% konfidenciaszinttel. Ebből származtatott minimum és maximum SI értékek felhasználásával, a lehetséges paramétertérben történő szabály alapú heurisztikus kereséssel megkeresi a beteg számára optimális kezelést. Ehhez megint csak a modellt használja, azonban ebben az esetben az SI ismert paraméter, így ez alapján határozza meg a beteg jövőben várható vércukorszintjét.

A STAR tanácsadó rendszer egy Java nyelven készült, Android környezetben futó alkalmazás, melyet az orvosok és nővérek egy tableten használnak. Az alkalmazás ergonomikus felhasználói felületen teszi lehetővé az ápolási adatok gyors rögzítését, valamint az elementett és azok alapján számított adatok igény szerinti megjelenítését. A kezelések lezárása után az adatok automatikusan archiválásra kerülnek wireless hálózati kapcsolaton keresztül. Az archivált adatok hosszú távú tárolásra felhőbe kerülnek, ahonnan – megfelelő jogosítványok megléte esetén – elérhetőek mind az orvosok számára az ápolás elemzése céljából, mind a kutatók számára a protokoll továbbfejlesztése érdekében.

**2.3. In-silico szimuláció**

A vércukorháztartást leíró ICING modellt használjuk a protokoll tervezésekor, illetve annak módosításakor. A modellt eben az esetben úgynevezett in-silico szimulációra használjuk, mely egy általános módszer orvosi



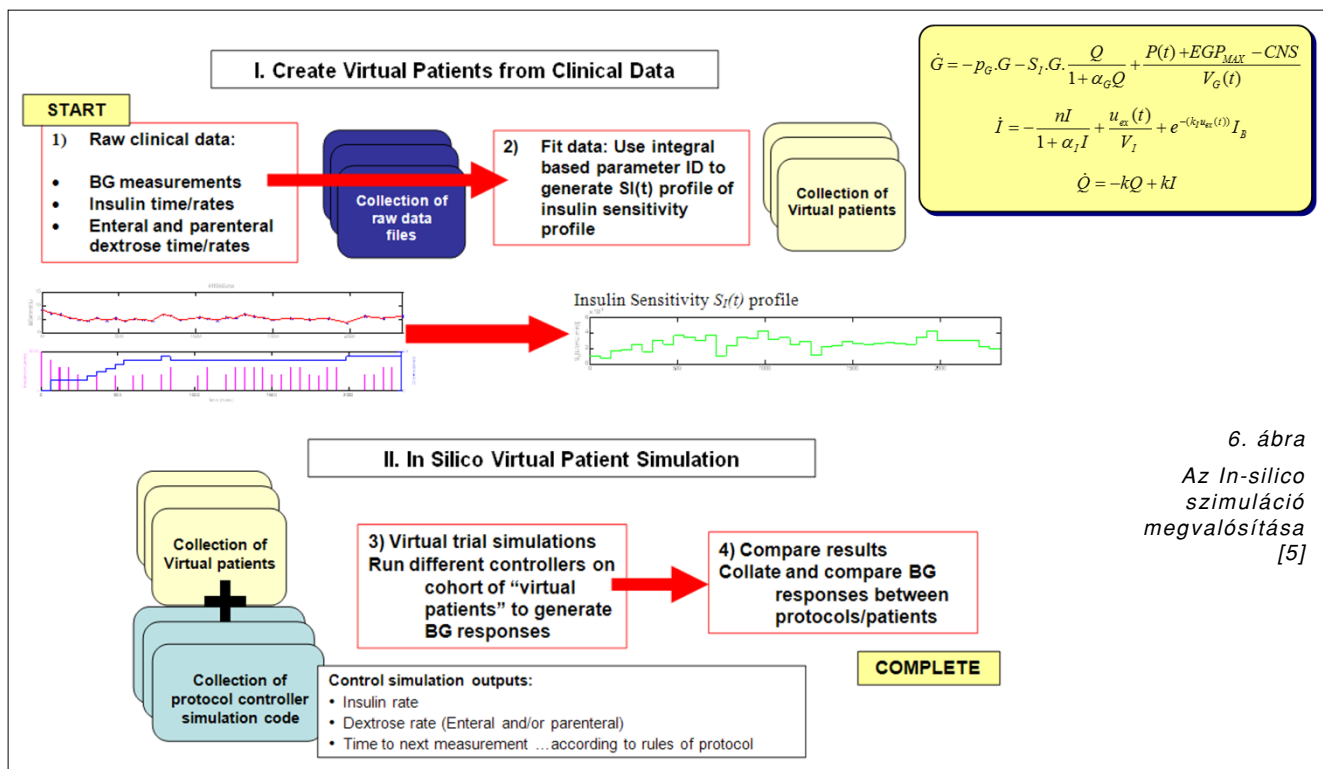
5. ábra A STAR protokoll áttekintése

vagy biológiai problémák megoldásakor. Az általános módszer lényege, hogy valós kezelések vagy kísérletek során összegyűjtött adatok alapján eltároljuk az élettani rendszer időben változó állapotát, állapot történetét.

Amennyiben rendelkezésre áll az élettani rendszer megfelelően pontos modellje, akkor az eltárolt állapotváltozók lehetőségét adnak a valós élettani rendszer szimulációjára. A módszer lényege, hogy – helyesen

elkészített modell esetén – a szimulált rendszer nemcsak azokkal a bemeneti adatokkal használható, mely esetén az állapotváltozókat előállítottuk, hanem bármilyen más bemenetek esetén is.

Az ICING modell esetén a beteg állapotát leíró változó az inzulinérzékenység (SI). A kezelések során ezt a paramétert határozzuk meg és ennek időbeni változását mentjük el. Ez az adathalmaz fog egy virtuális beteg reprezentálni, annak történetét leírni.



6. ábra  
Az In-silico szimuláció megvalósítása [5]

A szimuláció során a modell felhasználásával az éppen vizsgált protokoll alapján adagolt inzulin és táplálási értékek felhasználásával meg tudjuk határozni a beteg vércukorszint változását, vagyis össze tudjuk hasonlítani az egyes kezelés protokollok hatékonyságát (6. ábra).

### 3. Eredmények és értékelés

A STAR protokollt Magyarországon és Új-Zélandon számos kórház alkalmazza a gyakorlatban. Az 1. táblázatban a gyulai Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Kórház és Egyetemi Oktató Kórházban és az Új-Zéland-i Christchurch Hospital-ban ápolott betegek kezelése során gyűjtött adatok statisztikai elemzése szerepel. Ez az a két kórház, amely a legrégebbi alkalmazói a protokollnak [16]. Az elemzés két, egymással hasonló betegcsoport adatainak a felhasználásával készült.

A táblázatban jól látható a normoglikémiás tartományban töltött viszonylag magas, 80% feletti idő. Az orvosi kezelés szempontjából az egyik legfontosabb tényező a kezelés biztonsága, mely a kórosan alacsony vércukorszintek gyakoriságával jellemezhető, nagyon kedvező képet mutat, egy százalék alatti értékkel.

Az elsődleges orvosi kritériumok mellett érdemes megvizsgálni a protokoll megvalósításához szükséges emberi munkát, mely azt mutatja, hogy a nővéreknek átlagosan két óránként kellett vércukorméréseket végezni. Ha ehhez hozzászámoljuk, hogy a tanácsadó rend-

szert lehetővé teszi az inzulin- és tápanyag-adagolási szintek gyakorlatilag a méréssel egy időben történő meghatározását szakorvosi konzultáció nélkül, úgy azonnal tapasztalható a protokoll hatékonyságra gyakorolt pozitív hatása.

### 4. Összefoglalás

A cikkben egy példán keresztül bemutattuk, hogy milyen jellemző feladatokkal és nehézségekkel szembesül az orvos-diagnosztikai és terápiás módszerek kidolgozója egy modell alapú megközelítéssel történő probléma megoldása során. A modell alapú megközelítés alkalmazása az orvoslásban lehetővé teszi az infokommunikációs módszerek felhasználását orvosi környezetben, megteremtve ezzel a lehetőségét a diagnosztikai és a kezelési feladatok megfelelő kontroll melletti automatizálásának. Ezen előnyök az egészségügyi feladatok költséghatékonyabb ellátását teszik lehetővé, ami a bemutatott modell alapú megközelítés terjedésének meghatározó oka a területen.

Az ismertetett példa ezt jól alátámasztja; nem csak a kezelés minősége és biztonsága, hanem a megvalósításához szükséges orvosi és ápolási idő is csökkent. A bemutatott STAR alkalmazás ebben egyedülálló a már létező szoros vércukor-szabályozási protokollokkal összehasonlítva [10]. A protokoll megvalósításához alkalmazott infokommunikációs alkalmazás hatékonyan támogatja az orvosi célok megvalósítását, amellet, hogy

1. táblázat ASTAR protokoll alkalmazásának eredményei [17]

	STAR Chch	STAR Gyula
<b>Workload</b>		
# VC mérések száma (ápolási óra/betegszám):	12369 (22948/336)	3050 (6244/47)
<b>Átlagos mérési gyakoriság (óra):</b>	<b>1,85</b>	<b>2,05</b>
<b>Control performance</b>		
VC median [IQR] (mmol/L):	<b>6,8</b> [6,0 – 7,9]	<b>6,8</b> [5,8 – 7,8]
<b>VC céltartományban töltött idő (4,4-8mmol/L)</b>	<b>82,6%</b>	<b>85,7%</b>
VC > 10 mmol/L tartományban töltött idő	4,4%	3,0%
<b>Safety</b>		
<b>VC &lt; 4.0 mmol/L tartományban töltött idő</b>	<b>0,6%</b>	<b>0,9%</b>
VC < 2.2 mmol/L tartományban töltött idő	0,004%	0%
<b>Beteg &lt; 2.2 mmol/L alatt (nyers adat alapján)</b>	<b>4 (1,5%)</b>	<b>2 (4,3%)</b>
<b>Clinical interventions</b>		
Median insulin [IQR] (U/óra):	2,7 [1,9 – 3,5]	3,2 [2,4 – 4,6]
Median szénhidrát [IQR] (g/óra):	5,1 [4,0 – 6,2]	7,4 [6,2 – 8,9]
Median táplálás arány a célhoz képest [IQR] (%)	86 [64 - 97]	80 [74 - 88]

modern technológiai megoldást kínál az azt használó egészségügyi dolgozók számára.

Az orvosi területen a modell alapú megközelítés terjedését számos helyen felismerték. Az Európai Unió mind az FP7-es, mind a H2020-as kutatási programjában nagy súlyt fektet a területen folyó kutatások ösztönzésére. Míg az FP7-es program kutatási felhívásai elsősorban a modellek kidolgozására koncentráltak – mely projektek eredményeként kialakult a Virtual Physiological Human (VPH) program [13] –, úgy a H2020-as program már a modellek gyakorlati felhasználására fókuszál, így külön felhívásokat szántak az in-silico technikák kutatásának [12].

### Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki minden együttműködő partnerünknek és munkatársamnak, akik ebben a cikkben ismertetett kutatásban részt vettek. Külön köszönet illeti Prof. Geoffrey Chase-t, akivel történő együttműködés lehetővé tette a STAR protokoll kutatásába történő aktív részvételt, valamint Dr. Illyés Attilának, aki úttörő módon, Magyarországon első alkalommal alkalmazta a STAR protokollt a gyakorlatban. A kutatás megvalósításához a következő programok adtak támogatást:

OTKA K116574: Sztochasztikus modellek kidolgozása intenzív terápiában alkalmazható új generációs modell alapú szoros vércukor szabályozási módszerhez: új modellektől és módszerektől a klinikai validációig,  
 FP7-PEOPLE-2012-IRSES: eTime – Engineering Technology-based Innovation in Medicine, Project nr. 318943 (Marie Curie Actions – International Research Staff Exchange Scheme).  
 Nagylelkű támogatásukat ez úton is köszönjük.

### A szerzőről



**BENYÓ BALÁZS** a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett villamosmérnöki diplomát 1992-ben, majd PhD fokozatot 1998-ban, miután megszerzte a műszaki tudomány kandidátusa címet. 2013-ban habilitált a BME-n. Jelenleg a BME Irányítástechnikai és Informatika Tanszékén egyetemi tanár. Szakterülete az orvos-diagnosztikai és orvos-informatikai rendszerek, orvosi képfeldolgozás és képfeldolgozás, biztonságkritikus szoftver- és hardverrendszerek, mobil és érintés nélküli technológiák. Számos nemzetközi és hazai alapvető kutatási és kutatásfejlesztési projekt vezetője, valamint több nemzetközi szervezet tagja, az IFAC TC 8.2 Biological and Medical Systems technikai bizottságának alelnöke. Tudományos közleményeinek száma közel háromszáz.

### Irodalomjegyzék

[1] Van den Berghe, G., Wouters, P., Weekers, F., Verwaest, C., Bruyninckx, F., Schetz, M., Vlasselaers, D., Ferdinande, P., Lauwers, P., & Bouillon, R. (2001). Intensive insulin therapy in the critically ill patients. *The New England Journal of Medicine*, 345(19), pp.1359–1367.

[2] Wiener, R. S., Wiener, D. C., & Larson, R. J. (2008). Benefits and risks of tight glucose control in critically ill adults: a meta-analysis. *Jama*, 300(8), pp.933–944.

[3] Meijering, Sofie, et al. "Towards a feasible algorithm for tight glycaemic control in critically ill patients: a systematic review of the literature." *Critical Care* 10.1 (2006): 1.

[4] Chase, J. Geoffrey, et al. "Implementation and evaluation of the SPRINT protocol for tight glycaemic control in critically ill patients: a clinical practice change." *Critical care* 12.2 (2008): 1.

[5] Fisk, L. M., Le Comte, A. J., Shaw, G. M., & Chase, J. G. (2012a). Improving Safety of Glucose Control in Intensive Care using Virtual Patients and Simulated Clinical Trials. *Journal of Healthcare Engineering*, 3(3), pp.415–430.

[6] Fisk, L. M., Le Comte, A. J., Shaw, G. M., Penning, S., Desai, T., & Chase, J. G. (2012b). STAR development and protocol comparison. *IEEE Trans Biomed Eng*, 59(12), pp.3357–3364.

[7] Evans, Alicia, et al. "Stochastic targeted (STAR) glycaemic control: design, safety, and performance." *Journal of diabetes science and technology* 6.1 (2012): 102–115.

[8] Lin, Jessica, et al. "A physiological Intensive Control Insulin-Nutrition-Glucose (ICING) model validated in critically ill patients." *Computer methods and programs in biomedicine* 102.2 (2011): 192–205.

[9] Lin, Jessica, et al. "Stochastic modelling of insulin sensitivity variability in critical care." *Biomedical Signal Processing and Control* 1.3 (2006): 229–242.

[10] Palumbo, Pasquale, et al. "Mathematical modeling of the glucose-insulin system: a review." *Mathematical biosciences* 244.2 (2013): 69–81.

[11] Hann, C. E., Chase, J. G., Lin, J., Lotz, T., Doran, C. V., & Shaw, G. M. (2005). Integral-based parameter identification for long-term dynamic verification of a glucose-insulin system model. *Comput Methods Programs Biomed*, 77(3), pp.259–270.

[12] Hunter, Peter, et al. "A vision and strategy for the virtual physiological human: 2012 update." *Interface focus* 3.2 (2013): 20130004.

[13] Viceconti, M., Gordon Clapworthy & Serge Van Sint Jan. "The Virtual Physiological Human-a European initiative for in silico human modelling." *The Journal of Physiological Sciences* 58.7 (2008): 441–446.

[14] Wong, King-Wei, et al. "Development of a clinical type 1 diabetes metabolic system model and in silico simulation tool." *Journal of diabetes science and technology* 2.3 (2008): 424–435.

[15] Ferenci, Tamás, et al. "Daily evolution of insulin sensitivity variability with respect to diagnosis in the critically ill." *PloS one* 8.2 (2013): e57119.

[16] Benyó, Balázs, et al. "Pilot study of the SPRINT glycaemic control protocol in a Hungarian medical intensive care unit." *Journal of diabetes science and technology* 6.6 (2012): 1464–1477.

[17] Stewart, Kent W., et al. "Safety, efficacy and clinical generalization of the STAR protocol: a retrospective analysis." *Annals of intensive care* 6.1 (2016): 1.