

12. előadás:

A magyarországi GNSS infrastruktúra harmadik generációja. A globális helymeghatározás várható fejlődése. Az állapot-tér modellezés.

12.1. A GNSS infrastruktúra harmadik generációja

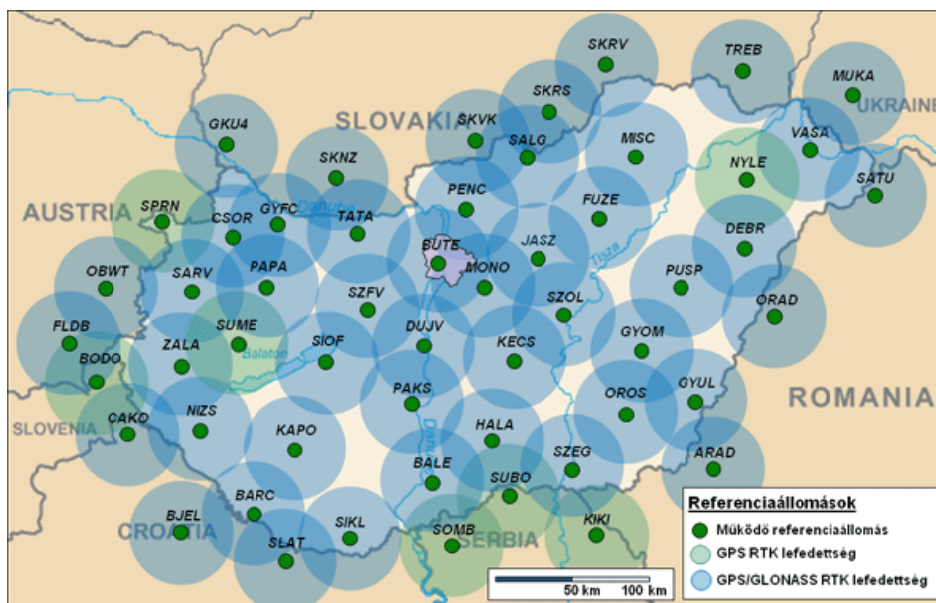
A GNSS (*Global Navigation Satellite System*) elnevezés magába foglalja a műholdas helymeghatározás ún. alaprendszerei (GPS, GLONASS, Compass, Galileo) mellett azokat a kiegészítő (kiterjesztő) rendszereket, amelyek rendeltetése az országos (összekapcsolt rendszerek esetében akár kontinensnyi méretű) használat biztosítása, továbbá a helymeghatározás biztonságának és pontosságának a növelése.

Mind a DGPS, mind az RTK fogyatékosága, hogy az egyetlen referenciavevő hatáskörzete erősen korlátozott, emellett a referenciavevő hibás működése esetén az új pontok is hibásak lesznek, a referenciavevő üzemképtelensége esetén pedig a rendszer sem működik. Ezen a fogyatékoságon segít, ha az ország területén ismert pontokon folyamatosan működő ún. permanens állomásokként referenciavevőket üzemeltetünk.

A hazánkban kiépített GNSS-infrastruktúrának több generációja volt. Az első generációs GNSS infrastruktúrát az Országos GPS Hálózat jelentette. Ez az Egységes Országos Vízsztintes Alaphálózat pontjaira támaszkodó hálózat, amely 1153 pontból áll. Az Országos GPS Hálózat létesítésének egyik célja az volt, hogy az egész ország területén maximálisan 10 km-es vektorhosszak mérésével relatív helymeghatározást lehessen megvalósítani. Ehhez meghatározták a már említett 1153 pont WGS-84 koordinátáit. Mivel az OGPSH pontok egyben az EOVA tagjai, így minden pont nem csak WGS-84, hanem EOVS koordinátákkal is rendelkezik. Ennek köszönhetően megvalósíthatóvá vált a WGS-84 koordinátarendszerben GPS technikával mért koordináták beillesztése az EOVS vetületi koordinátarendszerébe.

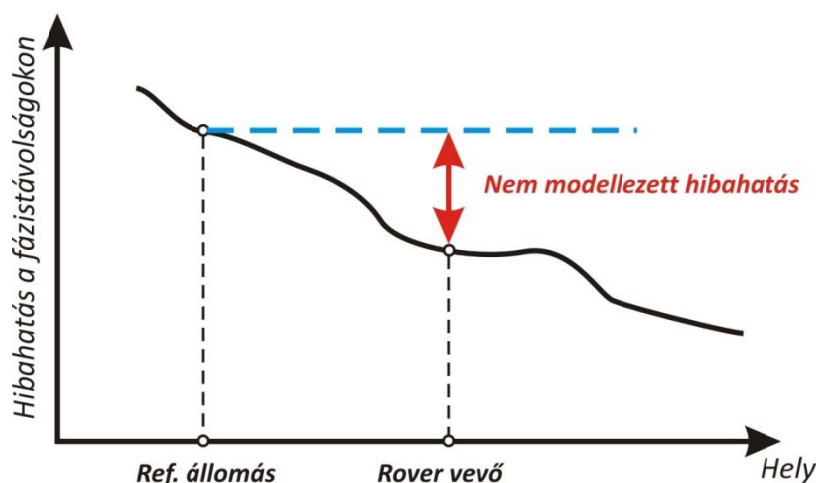
A második generációs hálózat (1997-2005) célkitűzése az volt, hogy a felhasználóknak a relatív helymeghatározási eljárásához ne kelljen ismert koordinátájú ponton felállított referenciavevőt (bázisállomást) használniuk. Ennek eléréséhez az országban nagyjából egyenletesen 12, folyamatosan üzemelő referenciaállomást helyeztek üzembe. Egy-egy állomás hatósugara gazdasági megfontolások miatt 50 km volt. Az állomások adatait a fenntartó Földmérési és Távérzékelési Intézetől vásárolhatták meg a felhasználók.

Az 50 km-es hatótávolság azonban nem tette lehetővé a cm pontos RTK helymeghatározást, mivel a relatív helymeghatározás pontossága a bázisvonalhossz (a referenciavevő és a mozgó vevő távolsága) növekedésével csökken. Emiatt az állomáshálózat sűrítésével épült ki a harmadik generációs, úgynevezet **Valós idejű GNSS hálózat** (<http://www.gnssnet.hu>). Ez hazánkban 35 permanens (a nap 24 órájában, a hét 7 napján folyamatosan üzemelő) GNSS állomás létesítésével jött létre. Az állomások túlnyomó többsége nem csak a GPS, hanem a GLONASS műholdrendszer észlelésére is alkalmas. Annak érdekében, hogy az országhatár mentén is optimális legyen a lefedettség, a hazai hálózatba integrálták a szomszédos országok hasonló hálózatainak országhatár mentén elhelyezkedő állomásait is. Ez további 18 állomás felhasználását jelenti (12.1 ábra).

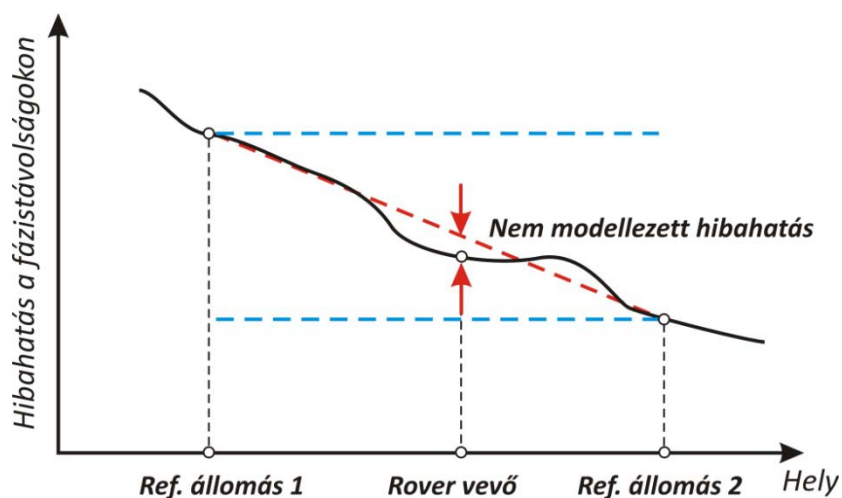


12.1.ábra. Permanens GPS-állomások; a körök sugara 25 km-nek felel meg. A Budapesten működő BUTE állomást a BME Általános és Felsőgeodézia Tanszéke üzemelteti 2000 novembere óta

A harmadik generációs hálózatban a referencia állomások saját észleléseit a feldolgozó központba továbbítják, ahol az összes állomás adatait együttesen feldolgozva meghatározhatók a különféle szabályos hibák hatásai a földrajzi hely függvényében. Míg egy bázisállomást használva a relatív helymeghatározás pontossága a szabályos hibák hatásának térbeli változásai miatt a bázisvonal növekedésével csökken (12.2 ábra), addig több referenciaállomás felhasználásával a ezek a térbeli változások is figyelembe vehetők (12.3 ábra), ezáltal a nem modellezett hibahatás mértéke jelentősen csökkenthető. Az ily módon meghatározott hibamodelleket felhasználva a felhasználók homogén helymeghatározási pontosságot érhetnek el. Mivel ebben az esetben a referenciaadatok egy teljes hálózat együttes feldolgozásának eredményei, ezért ezt a valósidejű helymeghatározási eljárást **hálózati RTK**-nak nevezzük.



12.2 ábra. Szabályos hibák figyelembevétele egyetlen referenciaállomás esetén. A hibahatások térbeli változását a fekete görbe írja le.



12.3 ábra. A hálózati RTK megoldások elve

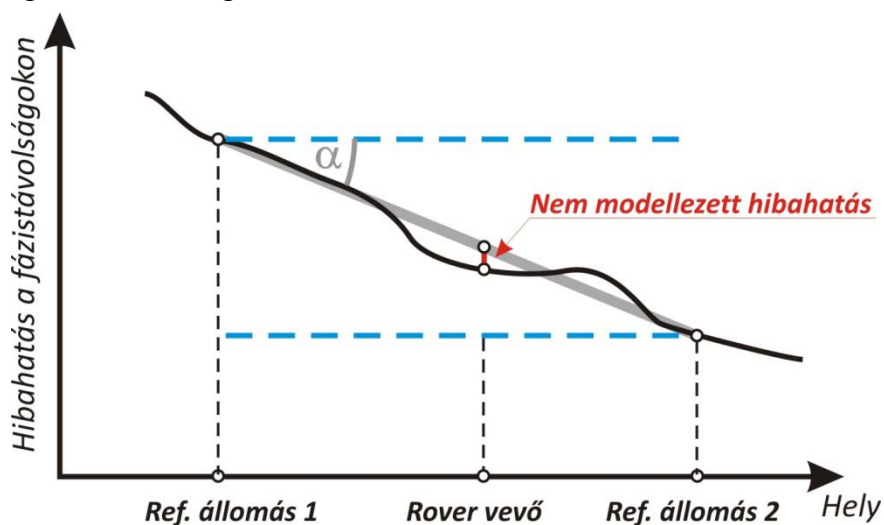
A hálózati RTK eljárás továbbra is egy relatív helymeghatározási módszer. Így a felhasználó számára a GNSS infrastruktúra továbbra is ismert koordinátájú ponton észlelő referenciaállomás adatsort szolgáltat. A két leginkább elterjedt eljárás:

- a felületi korrekciós paraméterek (FKP), és
- a virtuális referenciaállomások módszere.

12.2. A felületi korrekciós paraméterek módszere

A felületi korrekciós paraméterek módszerének elvét a 12.4 ábra szemlélteti. Ebben az esetben a bázisállomás mérési adatain, illetve koordinátáin kívül a GNSS infrastruktúra szolgáltatja a szabályos hibákat leíró hibafelület érintősíkjának paramétereit is (az ábrán ez az α szöveget jelenti).

Ekkor a mozgó vevő a saját előzetes (kódmérésből származó) pozíciója alapján ki tudja határozni a szabályos hibák korrekcióit, majd azokkal ellátva a mérési eredményeket, a relatív helymeghatározás elvégezhető.



12.4 ábra. Szabályos hibák figyelembevétele a Felületi Korrekciós Paraméterek (FKP) eljárással.

A módszer nagy előnye, hogy elvileg egyirányú adatkapcsolat is elegendő lehet abban az esetben, ha a GNSS infrastruktúra az egész szolgáltatási terület összes állomásának adatait és korrekciós felületeit sugározza. Ez a gyakorlatban azért nem terjedt el, mert nagyon nagy sávszélességet igényelne és a felhasználóknak olyan adatokat is továbbítana a hálózat, amire semmi szükségük nincsen. Így a gyakorlatban szabályos időközönként a mozgó vevő elküldi a központnak a saját koordinátáit, ami alapján a központi számítógép kiválasztja a legközelebbi GNSS állomást és visszaküldi a felhasználónak annak adatait és az érvényes korrekciós felület paramétereit.

A gyakorlat azt mutatja, hogy referenciaállomások és a mozgó vevő nagy magasságkülönbsége esetén a korrekciós felületek paraméterei nem feltétlenül képesek a hibahatások kellő pontosságú modellezésére, emiatt a referenciaállomások elhelyezésénél kellő óvatossággal kell eljárunk.

A felületi korrekciós paramétereit minden szabályos hibára, minden jelre és minden műholdra elő kell állítani. Az L3 és a narrow-lane (L_{NL}) lineáris kombinációkra az alábbi egyenletekkel adhatjuk meg a korrekciós felületek paramétereit:

$$\begin{aligned}\delta r_0 &= 6.37(N_0(\varphi - \varphi_R) + E_0(\lambda - \lambda_R)\cos(\varphi_R)) \\ \delta r_1 &= 6.37H(N_1(\varphi - \varphi_R) + E_1(\lambda - \lambda_R)\cos(\varphi_R))\end{aligned}\quad (12.1)$$

ahol:

N_0, E_0 – az FKP É-D és K-NY-i komponense az L_3 jelen,

N_1, E_1 – az FKP É-D és K-NY-i komponense az L_{NL} jelen,

φ_R, λ_R – a referencia állomás koordinátái,

δr_0 – az ionoszféra mentes jel távolságfüggő hatása,

δr_1 – az ionoszférával terhelt NL jel távolságfüggő hatása,

míg H a műhold radiánban kifejezett magassági szögétől (E) függő paraméter:

$$H = 1 + 16\left(0.53 - \frac{E}{\pi}\right)^3. \quad (12.2)$$

Az L_3 és a L_{NL} lineáris kombinációkra meghatározott korrekciós paraméterek alapján az L_1 és L_2 frekvenciákra meghatározott korrekciók az alábbi képletekkel határozhatóak meg:

$$\begin{aligned}\delta r_1 &= \delta r_0 + \left(\frac{120}{154}\right)\delta r_1 \\ \delta r_2 &= \delta r_0 + \left(\frac{154}{120}\right)\delta r_1\end{aligned}\quad (12.3)$$

Így a távolságfüggő szabályos hibák hatásával javított fázistávolság:

$$\Phi_{P,jav}^S = \Phi_P^S - \delta r_P^S \quad (12.4)$$

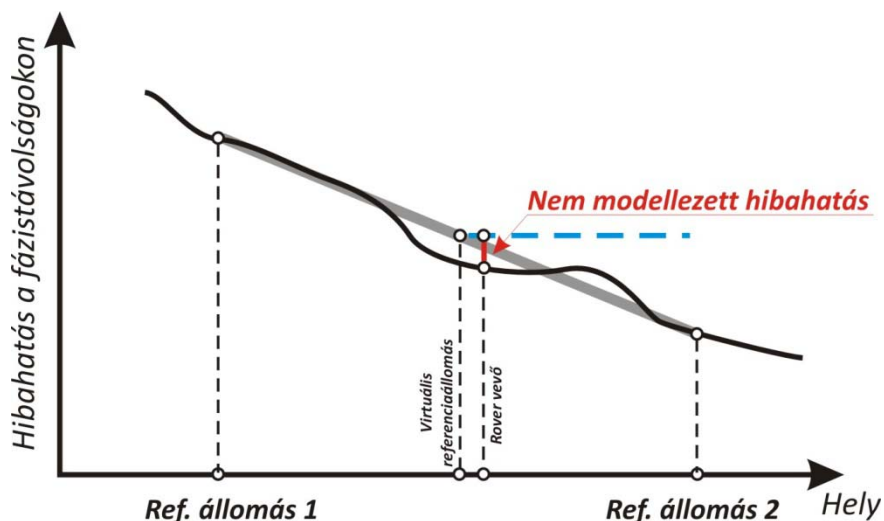
12.3. A virtuális referenciaállomások módszere

A virtuális referenciaállomások módszerének lényege, hogy miután a mozgó vevő a GNSS infrastruktúra központjába elküldi saját pozícióját, a központi számítógép a közelben található referenciaállomások adatai, valamint a modellezett hibahatások alapján előállít egy ún. virtuális referenciaállomás adatsort. Ez az adatsor egy olyan fiktív mérési eredmény,

amely akkor lenne észlelhető, ha a mozgó vevő közelében egy referenciaállomást létesítenénk (12.5 ábra).

Ezt követően a feldolgozó központ a felhasználó számára az így előállított virtuális referencia állomás adatait, valamint a virtuális referencia állomás koordinátáit szolgáltatja.

A módszer előnye, hogy a felhasználó vevője semmilyen különbséget nem érez az egybázisos megoldáshoz képest. Az összes modellezéssel kapcsolatos számítást a központi számítógép végzi el, ezáltal a vevőkre kevesebb számítási feladat hárul. Ugyanez azonban a módszer hátránya is, hiszen minden egyes felhasználónak egyedi virtuális referencia állomás adatait kell előállítani és sugározni, ami a központi számítógép igénybevételét növeli.



12.5 ábra. Szabályos hibák figyelembevétele a Virtuális Referenciállomások (VRS) módszerével.

12.4. Adattovábbítás a harmadik generációs GNSS infrastruktúrában

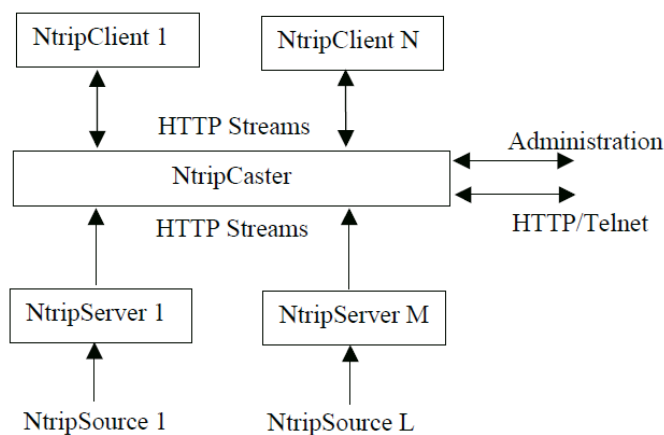
Az 12.4 és 12.5 ábrákból látható, hogy bármelyik a hálózati RTK megoldások előnye, hogy úgy működnek, mintha nagyon rövid bázisvonalakat használnánk. Így az elérhető helymeghatározási pontosság homogénnek tekinthető. Meg kell azonban említenünk a hálózati RTK megoldások egy fontos korlátozó tényezőjét is. A valós idejű adatok továbbítására hazánkban az Internetet használják. Emiatt elengedhetetlen, hogy a terepi méréseink helyén elérhető legyen valamilyen mobil Internet szolgáltatás is. Hiába van tökéletes kilátás az égboltra, ha a korrekciókat terepi Internet eléréssel nem tudjuk letölteni a hálózat központi szerveréről.

Az Interneten történő GNSS adatok továbbítása az ún. NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) technológiával történik. Ez a technológia tulajdonképpen az interneten történő rádiósugárzás protokolljának módosított változata, amely kifejezetten a bináris formátumú szabványos RTCM üzenetek (GNSS mérési eredmények, egyéb adatok és paraméterek) továbbítására alkalmas.

A rendszer sematikus felépítése a 12.6 ábrán látható. Maga a rendszer három fő rétegből áll. A permanens GNSS állomásokon üzemelnek az NTRIP szerverek, amelyek tulajdonképpen a GNSS vevő adatait továbbítják az adatközpont felé. Korábban ezek a szerverek önálló számítógépen futó alkalmazások voltak, a modern referenciaállomásként használható GNSS vevőkbe azonban ezeket a szerveralkalmazásokat már integrálták, így ezek már nem igényelnek külön számítógépet az adattovábbításhoz.

A továbbított üzenetek az ún. NTRIP broadcaster-hez kerülnek, amelynek feladata a felhasználók kiszolgálása és a GNSS adatok sugárzása. A broadcaster egyidejűleg többféle adatfolyamot (stream-et) képes sugározni, így választhatunk a különféle korrekciós adatok között.

A felhasználó a GNSS vevőn (vagy korábban külön terepi internet elérésre alkalmas eszközön – mobiltelefonon, PDA-n, notebookon) futtatja az NTRIP kliens alkalmazást, amely segítségével csatlakozhat a broadcasterhez és kiválaszthatja a felhasználandó korrekció típusát.



12.6 ábra: Az NTRIP protokoll blokksémája

A hazai GNSS-infrastruktúra az ún. **földi kiegészítő rendszerek** (Ground based Augmentation System – GBAS) közé tartozik. Ezek olyan földi telepítésű rendszerek, amelyek a műholdas helymeghatározás pontosságának növelését tűzték ki célul.

A navigáció és a térinformatika erőteljes térhódítása miatt felértékelődött a DGPS-korrekciók jelentősége is. A hazai GNSS-infrastruktúra a Monoron található állomásáról szolgáltat DGPS korrekciókat (azaz kódtávolság javításokat).

A kiegészítő rendszerek másik fő típusát a **műholdas kiegészítő rendszerek** (Satellite based Augmentation System – SBAS) alkotják. A műholdas kiegészítő rendszerek célja, hogy nagy területre (pl. kontinensekre) biztosítsanak DGPS korrekciókat. A DGPS korrekciók területfüggő meghatározására szolgáló rendszer működése a javítások meghatározásáig gyakorlatilag azonos a hálózatba szervezett permanens állomások rendszerének működésével. Ezután azonban a feldolgozó központ a korrekciókat rádióüzenetként egy ún. geostacionárius (a Föld felszínéhez képest mozdulatlan) műholdra juttatja, amely visszasugározza azokat a szolgáltatás kontinensnyi területére.

A napjainkban a hazánkban elérhető szolgáltatások közül, a Galileo alrendszerhez létesített EGNOS szolgáltatása ingyenes. A rendszer a Galileo üzemserű működéséig a GPS-műholdakra vonatkozó DGPS-korrekciókat sugározza. A javított kódtávolságokkal a helymeghatározás 2-3 m pontossággal végezhető el. A szubméteres (0,5-0,8 m) pontosságot biztosító OmniStar és LandStar rendszerek használatáért fizetni kell.

12.5. A globális helymeghatározás várható fejlődése, az állapot-tér modellezés

Az egyre inkább elterjedő GNSS infrastruktúrák kiépítésének egyik legnagyobb gátja, hogy viszonylag sűrűn (60-70 kilométeres felbontással) kell létrehozni a permanens

állomásokat, ami az infrastruktúrák kiépítését és fenntartását nagyon megrágítja. Ennek az állomássűrűségnek az az oka, hogy a relatív helymeghatározás azon kívánalmát, hogy a bázisállomások és a mozgó vevők méréseit a szabályos hibák ugyanolyan mértékben torzítsák, csak rövid bázisvonalakon tudjuk kielégíteni.

A bázisvonal hosszak növeléséhez azonban elengedhetetlen lenne a szabályos hibák hatásainak pontos ismerete. A mérések feldolgozásában ez elméleti szempontból is korrektebb megoldást jelentene, mint a jelenlegi relatív helymeghatározás. Emiatt a műholdas helymeghatározó rendszerekkel foglalkozó kutatások egyik kulcsfontos eleme napjainkban az ún. állapot-tér modellezés. Ez alatt azt értjük, hogy szemben a relatív helymeghatározással, a szabályos hibák hatását nem kiejteni szeretnénk, hanem azok modellezésével a hatásukat javításként kívánjuk figyelembe venni. Gondoljunk bele, hogy például az ionoszféra okozta késleltetés, a műholdpályák és az órahibák pontos modellezése esetén nem lenne szükségünk ionoszféra mentes lineáris kombinációra, hanem akár egy egyfrekvenciás GPS vevővel is képesek lennénk a geodéziai pontosság elérésére az abszolút helymeghatározás elvének alkalmazásával.

Ezt az eljárást hívjuk nagy pontosságú abszolút helymeghatározásnak (precise point positioning – PPP). A módszer lényege, hogy pontos és időben jó felbontású pálya és különösen műhold órahiba modellek felhasználásával oldjuk meg a fázismérésen alapuló abszolút helymeghatározást. Hosszabb mérések esetén (néhány óra) a ciklustöbbszámú egészes számként történő megoldása nélkül is lehetőségünk van a PPP technikával a geodéziai pontosság elérésére. Ugyanakkor jelenleg a kinematikus PPP technika még nem képes a cm-es pontosság kielégítésére, emiatt a kutatások egyik fókuszpontja a PPP RTK technika megvalósíthatóságának vizsgálata.

A jövőben tehát az a cél lebeg a szakterület kutatói előtt, hogy a GNSS infrastruktúrák ne a bázisállomások méréseit és korrekciókat sugározzanak a felhasználók felé, hanem az állomások mérései alapján meghatározott szabályos hibák modelljeit. A módszer előnye, hogy ebben az esetben a szabályos hibák modelljei jóval kisebb kommunikációs sáv szélességet igényelnek, mint ha minden egyes műholdra, annak minden jelére és minden hibára külön-külön például felületi korrekciókat szolgáltatónánk.

A másik előny, hogy akár az egyszerűbb GPS/GNSS vevőkkel is elérhetővé válhat a geodéziai vagy térinformatikai pontosság, ami a GNSS technológia további térnyerését teszi lehetővé.