



BME OMIKK  
**ENERGIAELLÁTÁS, ENERGIATAKARÉKOSSÁG  
VILÁGSZERTE**

44. k. 2. sz. 2005. p. 12–21.

**Az energiagazdálkodás alapjai**



## **A természeti tényezők hosszú távú előrejelzése egyre fontosabb az energiarendszer irányításában**

*A természeti tényezők fontos szerepet játszanak az energiarendszerek irányításában, különösen igaz ez a vízi energiában gazdag Kelet-Szibériára, ahol mind a folyók vízhozama, mind a téli hőmérséklet több éves ciklusokkal erősen ingadozik. A sokféle természeti tényező alapján kidolgozott számítógépes modellek akár több évre előre lehetővé teszik e tényezők alakulásának előrejelzését, és ennek révén az akár katasztrofális következmények megelőzését vagy enyhítését.*

---

Tárgyszavak: vízenergia; vízerőmű; számítógépes modellezés; előrejelzés.

---

A természet fenyegető hatásai, mint a túlzottan alacsony vízállás vagy épp az árvíz, vagy a fűtési energia fogyasztását jelentősen megnövelő tartósan hideg éghajlat jelentik a legnagyobb veszélyt Oroszország, és különösen Szibéria energiarendszerének stabil működése szempontjából. Az ilyen eseményeket „természeti kockázatoknak” lehet minősíteni, és bár következményeik közvetlenül az energiarendszerre hatnak, komoly hatásuk van a gazdasági életre, a környezetre, az életviszonyokra stb. E

kockázatok hosszú távú előrejelzése sajátos természetükből eredően rendkívül nehéz.

Az 1970-es években nagyszabású vízmérnöki építkezések zajlottak Szibériában. Ekkortájt merült fel annak szükségessége, hogy néhány évre előre lehessen jelezni a vízerőműveket befolyásoló fontos természeti jelenségeket a nagyméretű, vízierőre alapozott energetikai rendszerek és konstrukciók ésszerű tervezése, kivitelezése és működtetése céljából. A legfon-

tosabb ilyen tényezők a folyók áradásai, a vízerőművek tározóiba befolyó víz mennyiségének ingadozása és a téli időszak hőmérséklete. Az első modellek néhány éves időtávra adtak előrejelzéseket, elsősorban a viszonylag könnyen számítható tényezők, pl. a hóolvadás által eredményezett vízmennyiség alapján. Továbbfejlesztve az elméletet, kidolgoztak olyan, hosszú távra vonatkozó becslési eljárásokat is, amelyekkel egyes geofizikai folyamatok jellemzőinek hatása (mint pl. a Nap aktivitása) egytől öt évig terjedő intervallumban előre jósolható és bevonható az előrejelzésbe. A természeti jelenségeket leíró paraméterek optimalizálásának bonyolultsága, az eljárások formalizálásának bizonytalansága és az óriási számításigény eleve kizárta, hogy a módszert kidolgozásának idején a gyakorlatba is bevezethessék. A 90-es évek közepén a számítógépek és az információs technológia fejlődése lehetővé tette a természeti folyamatok hosszú és nagyon hosszú távú előrejelzését rendszerszemléletű megközelítéssel, és ennek eredményeként kidolgozták a 'GIPSAR' nevű számítógépes „hibrid információs/előrejelző” rendszert.

Az Oroszországban bevezetett gazdasági reformok azt eredményezték, hogy az összefüggő energiarendszert területi rendszerekre osztották fel, miközben az üzemanyagárak erőteljesen emelkedtek és ugyanakkor gyakran változtak, instabillá váltak. Ennek következtében megnőtt

a jelentősége a teljes vízgazdálkodás területén a vízerőművek víztározóinak, különösen Kelet-Szibériában. A vízerőművekből származó olcsó villamos energia és általában a vízfelhasználó rendszerek iránti igény növekedése tehát újra előtérbe helyezte a hidrológiai feltételrendszerek szisztematikus kezelését. A gondokat súlyosbítja a három egymásba ágyazott oroszországi közigazgatási egység: az irkutszki terület, a Burját Köztársaság és a Krasznojarszki Körzet között kialakult érdekellentét. Ehhez járulnak még a környezetvédelmi szempontok, különösen a Bajkál-tó biológiai gazdagság fennmaradása szempontjából kritikus vízszintjének megőrzése leengedés-feltöltés útján.

Összegezve tehát, a vízgazdálkodás hatékonyságának növelése a természeti kockázatok és a szigorodó környezetvédelmi szempontok figyelembevételével igencsak megnövelte a természeti tényezők hosszú távú előrejelzésének szerepét.

## **A természeti tényezők és az energiastabilitás**

Az irkutszki terület energiaellátásában a vízi energiának kiemelkedő – mintegy 80%-os – a részesedése. Ez igencsak megnöveli a természeti kockázatok jelentőségét. Világosan látszik ez hosszabb ideig tartó alacsony vízállásoknál, amikor is a villamos energia termelése vissza-

esik, ill. hideg teleken, amikor a fűtéshez felhasznált energia fogyasztása erősen megnő. A villamosenergia-termelés és a fogyasztás változásának természetfüggő jellegét figyelembe kell venni az összekapcsolt vízerőművek tervezésénél és működtetésénél. Az Angara folyón létesített vízlépcső tározóinak éves átlagos vízbefolyása a következőkből tevődik össze:

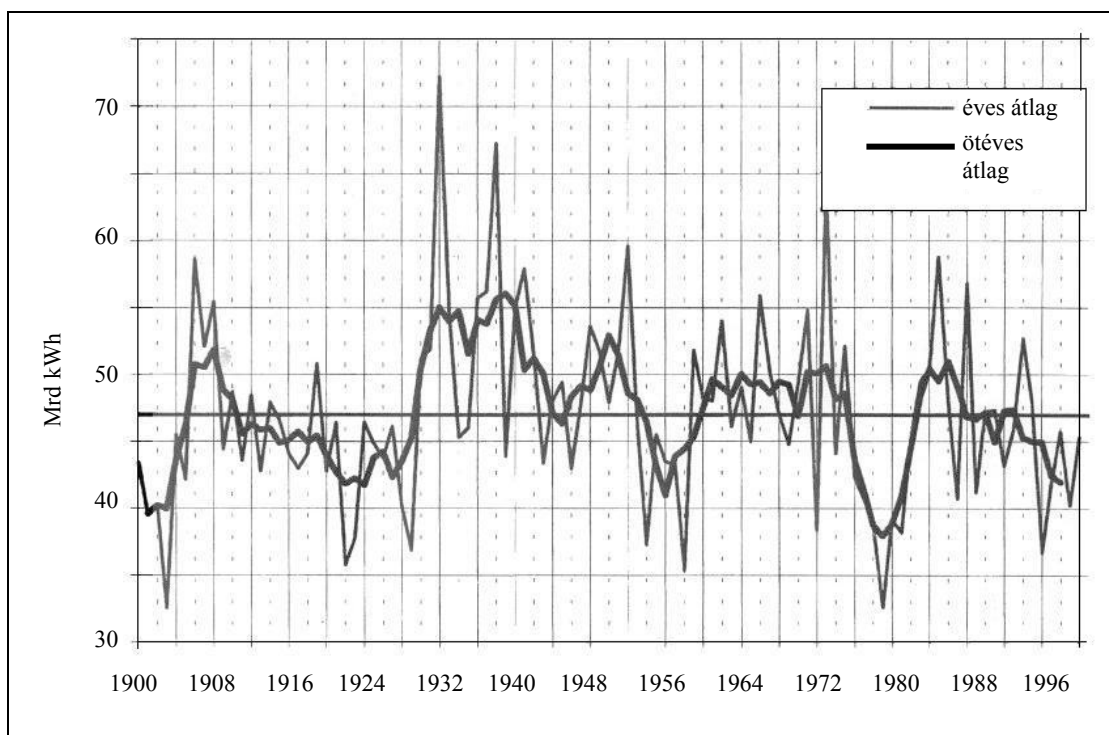
- közvetlen befolyás az Irkutszk tározóba:  $60 \text{ km}^3$ ,
- oldalbefolyások a Bratszk tározóba:  $30 \text{ km}^3$ ,
- az Uszty-Ilimszk tározóba:  $10 \text{ km}^3$ .

A legnagyobb vízmennyiség a nyári hónapokban érkezik a hóolvadásnak és kisebb részt a nagy esőzéseknek köszönhetően. A tó vízutánpótlása viszont erősen függ a légköri csapadéktól, ami nehezebben jósolható. Az *1. ábra* az Angara vízlépcső villamosenergia-termelését szemlélteti kb. százéves időszakokra. Bemutatja az éves és az öt évre átlagolt értékeket is. Jól láthatóan időszakonként visszatértek mind a nagy vízhozamú, mind az 5–8 évig tartó szűkös időszakok. Az 1958-ban átadott irkutszki és az 1967-ben átadott bratszki vízerőművek szerencsés időszakban kezdték meg működésüket: a kb. 1975-ig tartó viszonylag nagy vízhozam miatt a beruházások gyorsan megtérültek. A 70-es évek vége felé jelentkeztek az első problémák, amikor a senki által előre nem látott alacsony vízhozam miatt az irkutszki terület 50%-át villamos energiával ellátó Anga-

ra vízlépcső nem tudott megfelelő mennyiségű energiát termelni. Az történt ugyanis, hogy az épülő Uszty-Ilimszk-i erőmű tározójának első feltöltése, az Ob és Jenyiszej folyók alacsony vízhozama egy időbe esett a Bajkál-tó alacsony vízállásával. A csekély vízhozamú időszakban (1976-1982) a vízforrások szűkössége miatt az összesített csökkenés olyan mértéket ért el, hogy már lényeges kihatással volt a régió gazdasági fejlődésére, és súlyosan károsította a Bajkál-tó környezetét is.

A vízben szűkös periódust követő időszakban viszont átlag feletti volt a vízhozam. A terület hőerőműveit ekkor is változatlan terheléssel járatták, a víztározókban a korábbiakhoz hasonló mennyiségeket tároltak. A váratlanul bőséges vízhozamra a létesítmények irányítói úgy reagáltak, hogy üresjáratban (energia termelése nélkül) leengedték a tározókból a többletet. A gyenge alkalmazkodás a váratlan helyzethez a lehetségesnél mintegy 1,4 milliárd kWh-tal kevesebb villamos energia termeléséhez vezetett.

Az Energiarendszerek Intézete az 1996 és 2001 közötti alacsony vízállást már 1994-ben előre megjósolta, így a hatóságok, valamint a víz- és energiaügyben érintett vállalatok felelős vezetői jobban kézben tudták tartani a helyzetet. A viszonylagos energiahiány immár kisebb volt, bár ehhez hozzájárult a térség gazdaságának válsága miatti kisebb energiaigény is.

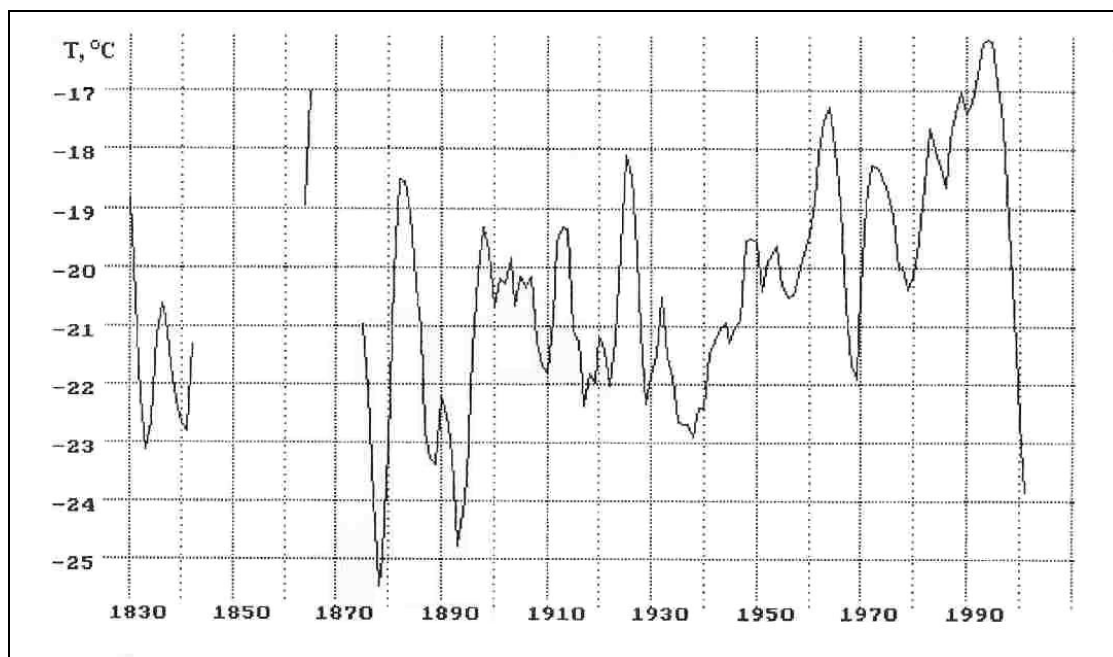


1. ábra Az angarai vízlépcső vízenergia-potenciálja kb. százéves időszakra (sokévi átlag = 46,98)

Oroszország egyes területein rendkívül hideg tél esetén akár 20–30%-os többlet tüzelőanyag-igény is felléphet. Az irkutszki területen rövid (pl. havi) időszakokat nézve a fogyasztás eltérése a többéves átlagtól elérheti a 35–40%-ot is. Ezt fokozhatja, ha az erősen hideg telet egy újabb, netán harmadik is követi. Az utóbbi 20 évben az egész északi féltekét jellemző globális felmelegedés Szibériában is viszonylag enyhe teleket eredményezett. Ez azt valószínűsíti, hogy nem kell számolni a fűtésre szolgáló energiaforrások felhasználásának váratlan növekedésével. Ugyanakkor, amint a 2. ábrán is látszik (januári átlaghőmérsékletek Irkutszkban), 2000 januárjában szokatlanul hideg volt Kelet-Szibériában (amúgy ez egy

tartós anticiklon hatásának volt betudható). Január elején ilyen alacsony hőmérsékletet ezen a területen csak 49 évvel korábban jegyeztek, a sokévi átlagnál 15–19 °C-kal alacsonyabb volt a januári átlaghőmérséklet. A gazdaság szinte valamennyi, természeti viszonyoknak kitett eleme – repülés, szénbányászat, energetika, lakó- és kereskedelmi övezetek – megszenvedte ezt az időjárást.

Mindezek a jelek tehát arra mutatnak, hogy elengedhetetlen az energiaszektor természetfüggő elemeire vonatkozó pontosabb és megbízhatóbb előrejelzések módszereinek és módszertanának kidolgozása.



2. ábra A levegő januári középhőmérséklete Irkutzkban (ötéves átlagolás)

## A hosszú távú előrejelzések módszerei

A természetes klímafolyamatok hosszú távú előrejelzésének egyik módszertana a szibériai Druzsinyin akadémikus és Reznyikov professzor kutatócsoportjai által elért eredmények elemeit használja fel. Ez az ok–okozat kapcsolatok részletes vizsgálatain és fizikai analógiák felfedésén, illetve az előrejelzések matematikai formalizálásán alapul. A fizikai analógiák három csoportba sorolhatók: kvalitatív jellegűek (háttér-előrejelzés módszere, naptevékenységen alapuló analógiák módszere), valószínűségi és közelítő módszerek (analóg hasonlósági kapcsolatok, diszkrét–folytonos modell). Ezeket az előrejelzési módszereket építették be

analitikus formában a 'GIPSAR' információs-előrejelző rendszerbe, felhasználva a mesterséges intelligencia elemeit is.

A „háttér-előrejelzés” lehetővé teszi a folyók vízhozamának jóslását 10, 15 és 25 éves időszakokra. A módszer tér–idő szabályosságok megfigyelésén alapul, amikor a vizsgált természeti elemek több évre megfigyelt hidrológiai folyamatainak integrál-differenciál görbéin talált periodikus minimum- és maximumhelyek fáziseltolódásait keresik. A módszer alapján a következő negyedszázadra a Bajkál-tóra rendkívül alacsony vízszint adódik, aminek energetikai és környezeti hatásait nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A „*naptevékenységi mutatókon alapuló analógiák*” módszere abból indul ki, hogy a naptevékenység fontos szerepet játszik a globális klímaviszonyok változásának vizsgálatánál. A kölcsönhatások tanulmányozása érdekes valószínűségi tapasztalatokhoz vezetett: a 11 éves ciklussal működő naptevékenység növekvő intenzitású szakaszában tapasztalták lényegesen nagyobb valószínűséggel az alacsony vízhozamú időszakokat. Ez az időszak minden második napciklusban a naptevékenység minimumát megelőző egy évvel kezdődik, és a maximális aktivitást követő egy évvel zárul. A magas vízhozamú periódusok valószínűsége pedig a naptevékenység intenzitásának leszálló ágában nagyobb, a maximális intenzitást követő másodiktól ötödik évig.

Az „*előrejelzések valószínűségi módszere*” a természeti folyamatokat karakterisztikusan jellemző egyes paraméterek növekedés-csökkenés értékei éves sorozatainak változási jellemzőin alapul. Megfigyelték ugyanis, hogy egyes jellemzők változásaiban néhányéves sorozatok ismétlődnek. Egy ilyen sorozat előfordulásának relatív gyakorisága meglehetősen stabil. A folyók vízhozamának általános mutatóinál például a következő előfordulási valószínűségek figyelhetők meg:

- 0,68 egyéves sorozatokra,
- 0,24 kétéves sorozatokra,
- 0,065 hároméves sorozatokra,

- 0,014 négyéves sorozatokra,
- 0,008 ötéves sorozatokra,
- 0,001 hatéves sorozatokra.

Az előrejelzés feladata ezek után két részre bontható:

1. Annak a valószínűségnek a minőségi előrejelzése, hogy az elkezdődött sorozat a következő években is folytatódik vagy egy újabbra lecserélődik. Ez az előre jelzett, bekövetkező sorozat évek során kimutatott gyakorisági jellemzőjének növekvő vagy csökkenő jellegétől függ.
2. A jósolt értékek mennyiségi becslése feltételes gyakorisági görbe formájában. Ennek alapja a hidrometeorológiai tényezők között fennálló belső, egymásutánisági kapcsolatok.

Az „*approximációs tanuló eljárások*” a vizsgált folyamatjellemzők hosszú távú becslési trajektóriáit képezik. Ezek az eljárások a módszertan jól formalizált megoldásai közé tartoznak.

Az „*analóg-hasonlatossági kapcsolatok*” módszere azon alapul, hogy hosszú időszakú megfigyeléseknél a jellemző paraméterek változékonyságainak jellemzői bizonyos hasonlóságokat tartalmaznak egyes időszakaszokban. A csúszó átlagolás paramétereinek változtatásával és más hasonló öntanuló eszközökkel a

jellemzők sorozatát két összetevőre lehet felbontani: az egyik egy simított jelleggörbe nagyobb periódusú kilengésekkel, a másik egy erre szuperponálódó véletlenszerű, oszcilláló összetevő.

Az előbbieken ismertetett eljárások összessége alkotja a 'GIPSAR' információs–előrejelző rendszert, amely szoftvercsomagok együttese. Önálló modulok középe többek között az adatmodellt támogató környezeti mag, az ember-gép interaktív kapcsolatot biztosító csomag, listaszerkesztő egyedi lekérdezések megvalósításához, az adatszerkezetet biztosító interfészmodul stb.

## A megbízható becslésen nyugvó kockázatkezelés

Az anarai vízlépcső folyamatos működését kétféle kockázati tényező zavarja meg periódikusan visszatérő módon: a Bajkál tóban, illetve a Bratszk-i és Uszty-Ilimszk-i tározókban fellépő hosszú, alacsony vízállású periódusok és a hirtelen fellépő rendkívül magas vízhozamú időszakok. Az alacsony vízállású időszakok például négyféle kockázati fokozatba sorolhatók:

1. *elfogadható mértékű* (jelentéktelen csökkenés a villamosenergia-termelésben; mérsé-

kelt nehézségek a folyami hajózásban és a környezeti viszonyokban);

2. *lényegi* (számottevő kiesés az áramtermelésben; bizonyos korlátozások bevezetése a hajózásban; többéves környezeti khatások);

3. *vészhelyzet* (súlyos kiesés az áramtermelésben; nagyfogyasztók korlátozott ellátása; lényeges korlátozások a hajózásban; az ivóvízellátás fenyegetettsége; hosszabb távú károsodás a környezetben);

4. *katasztrófa* (energetikai krízis; szociális válság; ivóvízhiány; a hajózás felfüggesztése; környezeti katasztrófa).

Az 1996 és 2000 közötti alacsony vízállás például a Bajkál-tóban és a Bratszk-i tározóban az elfogadható mértékű kockázat kategóriájába tartozott.

Az elkövetkező alacsony vízállási időszakok több évre előre szóló nagyon hosszú távú előrejelzése és a vízutánpótlás megbízható jóslása együttesen két-három kategóriával csökkenti az alacsony vízállási időszakok bekövetkezésekor fellépő kockázatokat a hasonló, de előrejelzés nélküli kockázatokhoz képest. A hosszú távú és nagyon hosszú távú megbízható előrejelzések alapvető célja, hogy lehetőséget adjanak a katasztrófális kockázatok elkerülésére és csökkentsék a vészhelyzetek bekövetkezésének valószínűségét is.

## **A hosszú távú előrejelzések szerepe az energiarendszer irányításában**

A 3. ábra az energiarendszerek megbízható működésének és fejlesztésének irányítási sémáját mutatja be, figyelemmel a tározókba befolyó vízfolyamok változásaira, illetve a fűtési szezonban esetlegesen fellépő erős léghőmérsékleti ingadozásokra. A rendszerek irányítása több évre szóló működési rendben és előrelátó tervezésen alapul. Figyelembe veszi a működési adatok (pl. víztartalékok) elemzését, a hosszú távú statisztikákat, a természeti folyamatok közötti összefüggéseket és a rövid távú (napi, heti), hosszú távú, ill. nagyon hosszú távú előrejelzéseket.

Egyes természeti folyamatok – mint pl. a tározók vízutánpótlása vagy a téli hőmérsékletingadozások – erősen függnék olyan külső tényezőktől, mint a légköri áramlatok, a naptevékenység 11 és 22 éves ciklusainak intenzitása, vulkáni aktivitás, a légkör és az óceánok kölcsönhatása stb. Annak ellenére, hogy a hosszú távú előrejelzés korábban elemzett tudományos módszerei már létrejöttek, az energiarendszerek napi irányítása mind a mai napig nem használja fel azok eredményeit, mindössze a speciális elosztási menetrenden és a

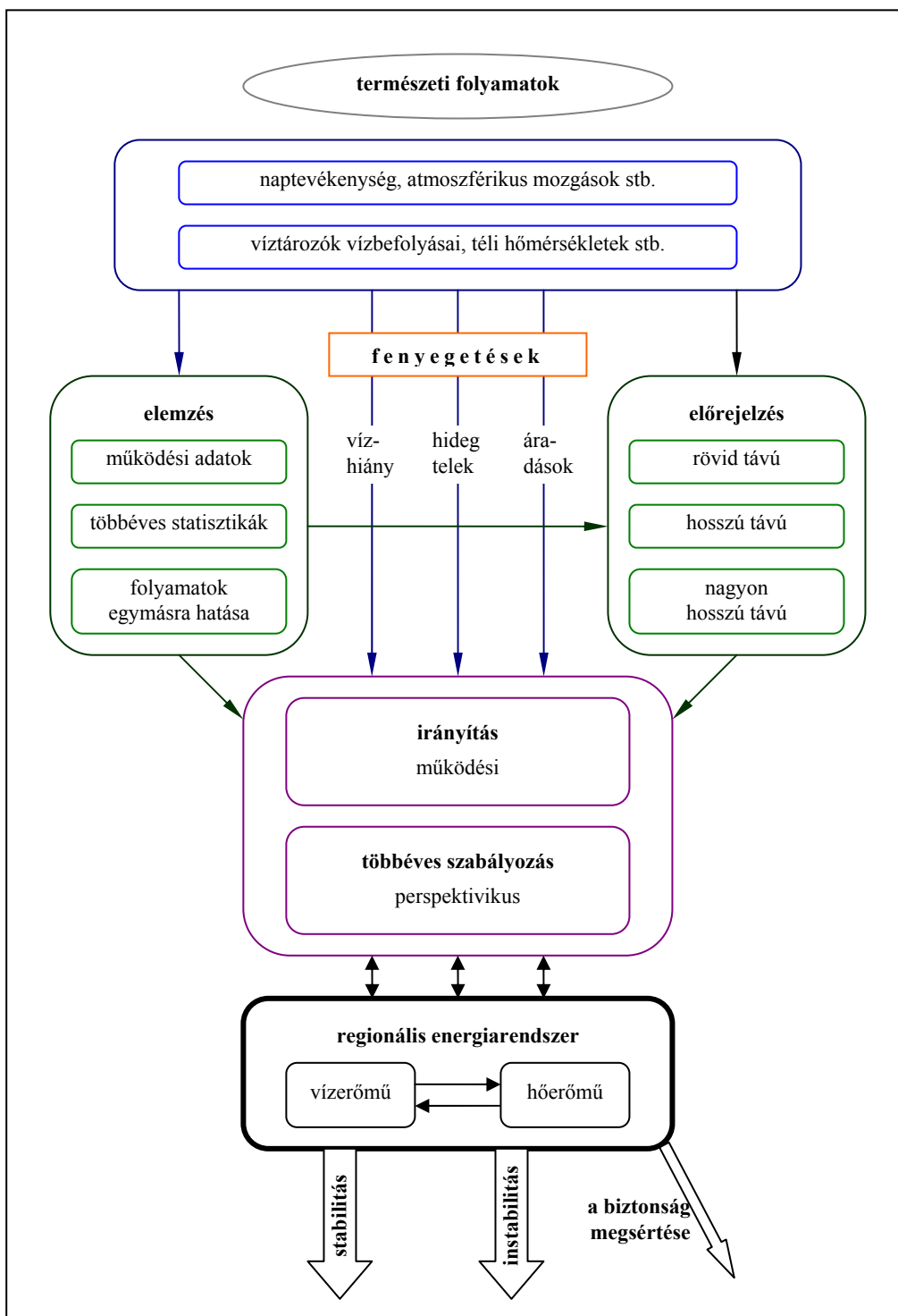
hosszú távú hidrometeorológiai előrejelzéseken alapult. A természeti folyamatok adatainak analízisén és a speciális előrejelzési módszerek alkalmazásán nyugvó megoldások beiktatása a diszpécseri eljárási rendbe erősen lecsökkentné a természeti jelenségek nemkívánatos következményeit. Ez még akkor is igaz, ha e korszerű eljárások gyakorlati alkalmazása a hosszabb távú előrejelzések pontosságának és megbízhatóságának javítását tenné szükségessé.

## **Következtetések**

Az energiarendszerek működtetéséhez a hosszú távú előrejelzések szükségességét a jelenlegi feltételek között sok szempont indokolja. Ilyen a szoros kapcsolati rendszer a különféle vízfogyasztók és -felhasználók között; a megszigorított környezetvédelmi előírások akár regionális, akár szövetségi vagy világ-(UNESCO-) szinten; az egységes energiarendszerek felbomlása regionális rendszerekre; az észak-kelet-ázsiai országok energiaszállítást érintő beruházási tervei; a hosszú távú előrejelzések eddigi eredményes alkalmazása.

A sokféle fizikai törvényszerűség figyelembevételével kidolgozott módszerekkel, így a





3. ábra Az energiarendszerek irányítása a természeti folyamatok behatásának figyelembevételével

'GIPSAR' programrendszer segítségével is a szélsőséges hőmérsékletek, illetve a folyók vízhozamainak szélsőségesen alacsony és magas értékei jól előrejelezhetőek, így az irányítás megfelelő intézkedésekkel megelőzheti a vészhelyzeteket és katasztrófákat.

**Összeállította: dr. Breuer Pál**

## Irodalom

- [1] Fukushima, A.: Energy outlook and the role of hydro and coal in Northeast Asia. = <http://enen.iej.or.jp/en/data/pdf/264.pdf> [The Institute of Energy Economics, Japan (IEEJ) 2004 október]
- [2] Berejnyik, T., Abaszov, N.: The increasing role of long-term forecasting of natural factors in energy system management. = International Journal of Global Energy Issues, 20. k. 4. sz. 2003. p. 353–363.



## **BME-OMIKK MUNKAVÉDELEM - ERGONÓMIA**

- jogi szabályozás
- munkabiztonság
- foglalkozás-egészségügy
- üzemi balesetek
- foglalkozási megbetegedések
- munkahelyek kialakítása

***BIZTOS, AMI BIZTOS...***

[mgksz@info.omikk.bme.hu](mailto:mgksz@info.omikk.bme.hu)

tel.: 457-5322