

## Tervezési filozófia a BENKŐ Mérnöki Irodában

### 1. A probléma

A 10, 20, 35 és 120 kV-os villamos hálózatok stratégiai tervei (rendszer szemléletű távlati fejlesztési és felújítási tervei) prognózisokra és hipotézisekre épülnek. A prognózisok megbízhatósága és a hipotézisek realitása csak egy bizonyos határig javítható, a kiinduló adatok jelentős részénél a pontatlanságot, ill. bizonytalanságot kénytelenek vagyunk objektív adottságnak tekinteni. A távlati tervek használhatósága nagyrészt attól függ, hogy mennyire sikerül az ebből adódó nehézségeket feltárni és kezelni.

Az utóbbi években a jövőre vonatkozó információk bizonytalansága jelentősen megnőtt. Ebben az új helyzetben a stratégiai tervezéssel szembeni elvárások is szigorúbbak lettek: A távlati tervek megrendelőit és felhasználóit már nem csak a döntésre előkészített fejlesztési változatok műszaki tartalma és várható költségei érdeklik. Ma már hasonlóan fontos kérdésnek minősül az is, hogy az egyes tervváltozatok elfogadása mekkora kockázattal jár, illetve ez a kockázat egy esetleges későbbi tervkorrekcióval mennyire csökkenthető.

### 2. A megoldás főbb lépései

A BENKŐ Mérnöki Iroda az előzőekben vázolt elvárásoknak az alábbi tervezési filozófiát követve kíván megfelelni:

- 1) Behatároljuk a tervezés során vizsgálandó időszak végét, majd az így kiadódó időintervallumot felosztjuk több (N számú) szakaszra:
  - Az első szakasz (operatív szakasz) az az időintervallum, amelyre nézve már véglegesen dönteni kell a fejlesztésekről és a felújításokról: Hol és mit építünk, mit újítunk fel és miként rendezzük át a hálózatot.
  - A második és a további szakaszok (együttesen utóhatás szakasz), amelyekre nézve még a számításokat elvégezzük, de végleges döntést már nem kell hozni.

A továbbiakban minden számítást és eredményt csak a fentiek szerint behatárolt időintervallumokra, ill. az azok végét alkotó időpontokra értelmezzük.

- 2) Megfogalmazzuk azokat a műszaki és üzembiztonsági elvárásokat, amelyeknek a tervezés tárgyát képező hálózatnak meg kell felelnie a jövőben (a tervidőszak egyes szakaszainak végére tervezett állapotokban). Rögzítjük, hogy az elvárások teljesülését a számítógépes szimuláció módszerével fogjuk végezni. Meghatározzuk, hogy az adott tervezési feladat esetében:
  - melyik számítógépes szoftverrel végezzük majd a szimulációt,
  - a tervezés tárgyát képező hálózatnak mely üzemállapotait fogjuk szimulálni (normál állapotok, egyszeres hiányállapotok stb.).
- 3) Behatároljuk azokat a jövőre vonatkozó adatokat, amelyeket bizonytalanoknak tekintünk. Valamennyi bizonytalannak tekintendő kiinduló adatról feltételezzük, hogy:

- ismertek a minimálisan és maximálisan lehetséges értékei a vizsgálandó tervidőszak minden szakaszának záróévére,
- az így kiadódó sávok belsejét tekintve semmilyen további információval nem rendelkezünk (ezeket az adatokat tehát a „-tól...-ig” határok közötti sávban sem tekintjük valószínűségi változóknak).

Ha a bizonytalanak tekintett kiinduló adatnak a bizonytalansági sávon belül csak véges számú konkrét érték mellett van értelme, akkor csak ezen értékeket tekintjük adottaknak. Feltételezzük azonban, hogy a szóban forgó konkrét értékek megvalósulásának valószínűségét nem ismerjük.

- 4) Visszavezetjük a tervezési feladatot egy többlépéses stratégiai játékra és alkalmazzuk a játékelmélet által javasolt módszert a feladat megoldására. Egy olyan kétszemélyes játékról van szó, amelynél:
- az egyik játékos a TERMÉSZET (a jövőre vonatkozó és bizonytalanak tekintett külső tényezők összessége),
  - a másik játékos pedig az EMBER (a fejlesztésekről döntő vezető vagy szakértői zsűri).

Itt az EMBER úgy igyekszik „játszani”, hogy kiadásai a lehető legkisebbek legyenek, míg a TERMÉSZETRŐL általában nem tételezünk fel tudatos cselekvést.

A TERMÉSZET a „játék” során a véges számú jellemző természet-viselkedés egyikét valósíthatja meg. Minden jellemző természet-viselkedés a természet-állapotok láncolataként jön létre. Egy adott természet-állapot pedig a bizonytalanak tekintett kiinduló adatok lehetséges értékeinek (sávon belüli értékeinek) egy reálisan szóbajövő konkrét kombinációja. Ha a tervezési feladat indításakor a vizsgálandó tervidőszakot N számú szakaszra osztottuk fel, akkor egy jellemző természet-viselkedés N+1 természet-állapotból áll:

- Az első természet-állapot a bizonytalanak tekintett kiinduló adatoknak a tervidőszak indításakor érvényes értékét reprezentálja. Itt arról a természet-állapotról van szó, amely a  $t=0$  időpontban ténylegesen megvalósult. Nyilvánvaló, egy adott feladat esetében minden jellemző természet-viselkedés kezdő állapota azonos.
- A második természet-állapot a tervidőszak első szakaszának végére (operatív szakaszának végére) előírányozott állapot.
- A harmadik, negyedik és további állapotok a vizsgált tervidőszak további szakaszainak végére feltételezett állapotot jelentik.

A TERMÉSZETNEK nincs konkrét célja, nem kíván szándékosan nehézségeket okozni a döntéshozóknak. Azt azonban nem tudjuk, hogy végül melyik jellemző természet-viselkedést fogja követni (milyen forгатókönyv szerint fognak alakulni a bizonytalanak tekintett külső körülmények).

Az EMBER a „játék” során különböző hálózatfejlesztési stratégiákat követhet. Ezek a stratégiák mindig részletesen kidolgozott hálózati állapotok láncolatát jelentik. Ha a tervezési feladat indításakor a vizsgálandó tervidőszakot N számú szakaszra osztottuk fel, akkor egy fejlesztési stratégia N+1 konkrét hálózati állapotból áll:

- Az első állapot mindig a hálózat jelenlegi állapota (a  $t=0$  időpontban ténylegesen megvalósult állapot).
- A második állapot a tervidőszak első szakaszának végére (operatív szakaszának végére) előírányozott hálózati állapot.
- A harmadik, negyedik és további állapotok a vizsgált tervidőszak további szakaszainak végére tervezett állapotot jelentik.

Az EMBER célja a legkedvezőbb **első fejlesztési lépés meghatározása**, figyelembe véve annak várható következményeit a tervidőszak végéig.

A tervezés során

- mind a TERMÉSZET lehetséges stratégiáit (a jellemző természet-viselkedéseket),
- mind pedig az EMBER legkedvezőbbnek mutatózó stratégiáit (a hálózatfejlesztési stratégiákat)

olyan részletességgel dolgozzuk ki, hogy az azokat alkotó állapotok számítógépen szimulálhatók és értékelhetők legyenek.

### 3. A tervezési folyamat eredményei

#### a) Döntési táblázat

Ez egy olyan táblázat, amely rendszerezetten dokumentálja a tervezők által részletesen kidolgozott hálózatfejlesztési stratégiákat (hálózati állapotok láncolatát a teljes tervidőszakra).

- A táblázat oszlopai az egyes jellemző természet-viselkedéseket képviselik (a jövőre vonatkozó prognózisok és hipotézisek bizonytalanságát tükrözik).
- A táblázat sorai pedig a tervidőszak operatív szakaszára előirányzott különböző fejlesztési változatokat reprezentálják.

A utóbbi azt jelenti, hogy a táblázat egy adott sorában csak olyan fejlesztési stratégiák találhatóak, amelyeknél az első fejlesztési lépés azonos, tehát a tervidőszak operatív szakaszának végére ugyanazt a hálózati állapotot irányozzák elő.

Az elkészült döntési táblázat áttanulmányozása és kvalitatív elemzése már önmagában véve is rendkívül hasznos a döntéshozók számára:

- tömören ismerteti a reálisan szóbajövő hálózatfejlesztési változatok műszaki tartalmát a tervidőszak operatív szakaszának végéig, továbbá
- könnyen átlátható módon szemlélteti ezen változatok megvalósulásának következményeit a távolabbi jövőben (a tervidőszak második, harmadik stb. szakaszának végéig).

A döntési táblázatban csak olyan fejlesztési stratégiák, ill. hálózati állapotok szerepelhetnek, amelyek a táblázat adott cellája szerinti természet-viselkedés mellett megfelelnek a műszaki és üzembiztonsági elvárásoknak a tervidőszak minden szakaszának végén. Ezt a táblázat felépítésekor a számítógépes szimuláció módszerével ellenőrizzük.

Egy döntési táblázat legalább 2 oszlopból és 2 sorból áll, tehát minimum  $2 \times 2 = 4$  hálózatfejlesztési stratégiát tartalmaz. A gyakorlatban csak nagyon ritkán van lehetőség  $8 \times 8 = 64$  elemnél több elemet tartalmazó döntési táblázat felépítésére.

#### b) Költségmátrixok

A költségmátrix a döntési táblázat alapján kiadódó mátrix. Sorainak és oszlopainak száma megegyezik a döntési táblázat oszlopainak, ill. sorainak számával. A költségmátrix elemei a döntési táblázatban szereplő hálózatfejlesztési stratégiákhoz rendelt költségek.

Egy adott hálózatfejlesztési stratégiához (konkrét hálózati állapotoknak egy adott láncolatához) többféle költség is rendelhető. Ezért többféle költségmátrix is képezhető. A gyakorlatban leginkább elterjedtek:

- a fejlesztési + felújítási költségek mátrixa,
- az üzemeltetési + veszteségek költségek mátrixa,
- a fejlesztési + felújítási + üzemeltetési + veszteségek költségek mátrixa, továbbá

ugyanezen költségeknek a tervidőszak kezdőévére ( $t=0$  időpontra) diszkontált értékeit tartalmazó mátrixok.

#### c) Racionális fejlesztési változat(ok)

A játékelméletből ismert döntési kritériumok alapján (pl. minimax kritérium, Hurwitz kritérium, Bayes-Laplace kritérium, Savage kritérium) kiválasztjuk a költségmátrixok egyik sorát. Ez a sor az adott kritérium szerinti legkedvezőbb (racionális) fejlesztési változatot képviseli a tervidőszak operatív szakaszának végéig.

A tervezők a gyakorlatban rendszerint több költségmátrixot és több döntési kritériumot használnak. Ezért az esetek többségében több fejlesztési változat (az operatív szakasz végéig értelmezett hálózatfejlesztési változat) bizonyul racionálisnak.

Minden racionálisnak bizonyult hálózatfejlesztési változatot részletesen dokumentálunk.

- A részleteket is bemutató rajzokon (hálózati térképeken és sémarajzokon) szemléltetjük:
  - az operatív szakasz végéig megvalósítandó fejlesztéseket, felújításokat és hálózatátkötéseket,
  - az operatív szakasz végére kialakítandó hálózatképet,
  - az operatív szakasz végére előírányzott hálózaton várható áram- és feszültségeloszlást (a hálózat javasolt normál üzemállapotaiban és egyszeres hiányállapotaiban)
- Áttekintő rajzokon szemléltetjük (a jellemző természet-viselkedésektől függően):
  - a tervidőszak második, harmadik stb. szakaszában szükségesnek látszó fejlesztéseket, felújításokat és hálózatátkötéseket,
  - a tervidőszak második, harmadik stb. szakaszának végére kialakítandó hálózatképeket,
  - a tervidőszak második, harmadik stb. szakaszának végére előírányzott hálózaton várható áram- és feszültségeloszlást (a hálózat javasolt normál üzemállapotaiban).

#### d) A megvalósításra javasolt változat

Ha a tervezők által alkalmazott döntési kritériumok mindegyike a vizsgált költségmátrixra nézve ugyanazt a mátrixsort hozza ki racionálisnak, akkor a helyzet egyértelmű. Az adott sornak megfelelő hálózatfejlesztési változat megvalósítását kell javasolni a tervidőszak operatív szakaszának végéig.

Ha a tervezők által alkalmazott döntési kritériumok alapján kettő, vagy annál több hálózatfejlesztési változat (a tervidőszak operatív szakaszának végéig értelmezett változat) bizonyul racionálisnak, akkor szakértői megfontolások alapján választjuk ki a megvalósításra javasolt változatot. Ilyenkor meghatározó szerepe van:

- egyrészt, a döntési táblázatban szereplő hálózatfejlesztési stratégiák kvalitatív elemzésének és összevetésének,
- másrészt, a mérnöki intuíciónak és tapasztalatnak.

A kiválasztást részletes szöveges magyarázattal támasztjuk alá.

## 4. Néhány megjegyzés

- a) Az előzőekben vázolt tervezési filozófiával és műszaki tartalommal készülő terveket a hazai szakirodalom általában **adaptív szemléletű terveknek** nevezi. Ez utalás arra, hogy:
- a kiinduló adatok bizonytalansága szervesen beépül magába a tervezési eljárásba,
  - az elkészült dokumentáció a megvalósításra javasolt hálózatfejlesztési változat módosítási lehetőségeit („rugalmasságát”), valamint továbbfejlesztési lehetőségeit is bemutatja és számszerűsíti.
- b) Az általunk követett tervezési filozófia akkor igazán hatékony, ha ahhoz egy könnyen átlátható és egy kellően rugalmas dokumentációs rendszer is tartozik. A BENKŐ Mérnöki Iroda kialakított egy ilyen dokumentációs rendszert, azt folyamatosan pontosítja, szükség esetén továbbfejleszti.
- c) Az általunk követett tervezési filozófia következetes megvalósítására csak ritkán van lehetőség. Egy adaptív szemléletű terv elkészítése ugyanis jóval több mérnöki munkát, és felkészültebb kollektívát igényel, mint egy hagyományos távlati tervé (amely a kiinduló adatok bizonytalanságát explicit módon nem veszi figyelembe). Ezért az adaptív tervek drágábbak és elkészítésük általában tovább tart.

Az előzőekben ismertetett tervezési filozófia egyes elemeit azonban akkor is alkalmazzuk, amikor nyilvánvalóan nincs idő még egy  $2 \times 2 = 4$  elemből álló döntési táblázat felépítésére sem. Ezeknek az „átmentett” elemeknek az alkalmazása ez idáig mindig hasznosnak bizonyult, az elkészült anyagok áttekinthetőbbek és a későbbiekben könnyebben átdolgozhatóak lettek.

Minden munka indításakor és dokumentálásakor arra törekszünk, hogy az szükség esetén egy adaptív fejlesztési terv részévé válhasson, vagy egy adaptív tervhez közvetlenül felhasználható legyen.

- d) A „sávós bizonytalanság”-ot feltételező, és a villamos hálózatok távlati tervezését egy játékelméleti feladatra visszavezető filozófia hazai megismertetésében és elterjesztésében jelentős szerepe volt a BENKŐ Mérnöki Iroda alapítójának dr. Benkő Kálmánnak.

Benkő Kálmán 1971 novemberétől 1975 decemberéig aspiránsként az oroszországi Irkutszkban lévő Szibériai Energetikai Intézetben (Szovjet Tudományos Akadémia, Szibériai Tagozat) dolgozott. Azokban az években ez az intézet „az energetikai rendszerek távlati fejlesztési terveinek kidolgozása a kiinduló adatok bizonytalanságának figyelembevételével” témakörben a világ egyik vezető kutatóhelye volt.

Az ottani munkát lezáró kandidátusi disszertáció (megvédve 1976. december 23-án a Novoszibirszki Elektrotechnikai Intézetben) volt az egyik első dolgozat, amelyik részletesen ismertette, és egy konkrét példán keresztül be is mutatta a játékelméleti megközelítésben rejlő lehetőségeket a villamos elosztóhálózatok tervezésénél.

A szóban forgó tervezési módszer később folyamatosan tovább lett fejlesztve és kialakult a hozzá tartozó dokumentációs rendszer is. Ebben jelentős szerepe volt azoknak a mérnököknek, akik az 1990-es évek elején a Magyar Villamos Művek Tröszt Hálózati Igazgatóságán az átviteli hálózat rendszer-szintű tervezését végezték, továbbá a Budapesti Elektromos Művek több munkatársának is.