

Zárlati áramok csökkentésének lehetősége soros fojtótekercek alkalmazásával az ELMŰ Rt. 120 kV-os főelosztóhálózatán II. rész

Dr. Miháلكovics Tibor, Németh János



4. Soros zárlatkorlátozó fojtótekercek alkalmazása

A 3. pontban tárgyalt HSZ-ZF csak a soros hangfrekvenciás zárókörok beépítési helyén használható gazdaságosan zárlati áram korlátozására is. A hangfrekvenciás zárókört nem igénylő hálózati pontokon a következőkben ismertetett, lényegesen olcsóbb soros fojtótekercek beépítésével lehet a zárlati áramot gazdaságosan korlátozni.

A zárlati áramkorlátozás mértékének meghatározása sokoldalú vizsgálatot igénylő komplex feladat. A 31,5 és 40 kA névleges megszakítóképeségű, SF₆ gázoltású megszakítók beépítése (jelenleg kb. 45 készlet, évente további 10...15 készlet) néhány év múlva lehetővé teszi a zárlati áramok növelését. Ezt elsősorban üzemviteli és üzemirányítási szempontok teszik kívánatossá, de távlati cél lehet a 120 kV-os körzetek összekapcsolása is, ami az ellátás üzembiztonságát növeli és beruházást megtakarító hatása is lehet. Az állomáson megengedett zárlati áram értékének meghatározásakor több szempontot kell figyelembe venni:

- állomási tartószerkezetek, portálok, gyűjtősínek mechanikus igénybevétele;
- földelési ellenállás, érintési feszültség;
- zárlati áramok okozta postai zavartatás stb.

E szempontok együttes elemzése lehetőséget adhat a zárlati áramok 22...25 kA értékre való emelésére. Az üzemvitelileg kívánatos összekapcsolt körzetek 3F zárlati áramai azonban egyes hálózati konfigurációk mellett csak további soros zárlatkorlátozó fojtótekercek optimális telepítésével korlátozhatók erre az értékre.

4.1. A soros zárlatkorlátozó fojtótekerces (SZF) impedanciájának meghatározása és kialakítása

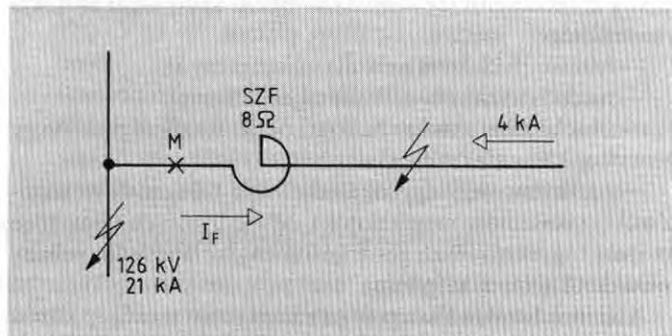
Az ELMŰ Rt. zárlatszámítási programján elvégzett elemzések azt mutatták, hogy az $X_f = 8$ ohm impedanciájú soros zárlatkorlátozó fojtótekercek (továbbiakban: SZF) beépítésével a zárlati áramok jelentős csökkentése érhető el. A számítások azt is kimutatták, hogy a SZF-ek megfelelő elhelyezésével a távvezetékek terheléseloszlásai is kedvezően befolyásolhatók. A vizsgálatok eredményeit az 5. pontban foglaljuk össze. Soros fojtók alkalmazására műszakilag és gazdaságilag legkedvezőbb megoldást a szabadtéri műgyanta-szigetelésű fojtók beépítése jelenti, amelyek jellemzői:

- műgyanta szigetelésű, természetes léghűtésű, függőleges tengelyű, hengeres tekercek, egymás melletti elhelyezéssel;
- a földhöz képest szigetelést a 120 kV-os támszigetelőkre való helyezés nyújt.

A csak névleges áramban eltérő két típus fontosabb műszaki adatai:

Névleges impedancia	8 ohm/fázis	8 ohm/fázis
Névleges áram	1000 A	1250 A
Tekercs végei közti lökőfeszültség	200 kV	200 kV
Termikus határáram	6 kA/1 s	6 kA/1s
Dinamikus határáram	15 kA	15 kA
Teljes veszteség (75 °C-on)	70 kW/fázis	87 kW/fázis
Magasság, mm	~3100	~3400
Külső átmérő, mm	2400	2400
Min. tengelytávolság, mm	4500	4500
Tömeg, kg	~1900	~2500

A megajánlott SZF egységek ára a HSZ-ZF árának kb. 20...25%-a.



4. ábra. A SZF zárlati áramának meghatározása

4.2. A SZF túlfeszültség-védelme

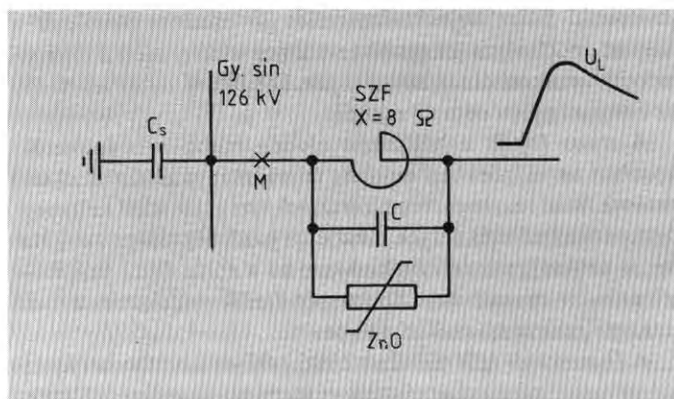
A kedvező árat többek között a névleges 550 kV lökőfeszültség helyett előírt 200 kV-os csökkentett szint is magyarázza. Ezt a tekerces végei közötti kisebb lökőfeszültség-értéket a megszakító visszaszökő-feszültség (VSF) igénybevétele miatt egyébként is beépítendő párhuzamos kondenzátor és az alkalmazott ZnO korlátozó teszi lehetővé [8].

4.2.1. A SZF-csel párhuzamosan kapcsolt kondenzátor

Az 5. ábra szerinti egyszerűsített sémán látható, hogy a SZF-csel párhuzamosan C kondenzátor és a 120 kV-os gyűjtősín egyenértékű koncentrálnak tekinthető C_s kapacitása feszültségosztót képez. A fojtó nagyobb igénybevételét okozó legnagyobb gyűjtősín kapacitást az ELMŰ Rt. ellátási területén lévő leghosszabb gyűjtősínre határoztuk meg (~ 14 pF/m):

Kaszásdűlő: 2×190 m \rightarrow 5,32 nF/f

Dr. Miháلكovics Tibor, a műszaki tudományok kandidátusa, az ELMŰ Rt. Vizsgálóállomás vezetője, a MEE tagja
Németh János, az ELMŰ Rt. Fejlesztési Aligazgatóság csoportvezetője, a MEE tagja



5. ábra. A SZF túlfeszültség-védelme

Legnagyobb transzformátormennyiségként 5 db-bal számolva, az egyenértékű eredő kapacitásuk (*Bewley-féle* helyettesítéssel):

$$C_{tre} \approx 5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2,5 \text{ nF/f} = 6,25 \text{ nF/f} \quad [5]$$

A mérőváltók eredő kapacitása [5]:

$$C_{FVe} \approx 13 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,65 \text{ nF/f} = 4,22 \text{ nF/f}$$

$$C_{\Delta Ve} \approx 13 \cdot 0,172 \text{ nF/f} = 2,24 \text{ nF/f}$$

A biztonság javára tévedünk, ha ezek térbeli távolságát elhanyagolva koncentrálnak tekintjük:

$$C_s = C_{gys} + C_{tre} + C_{FVe} + C_{\Delta Ve} = 18,03 \text{ nF/f}$$

A 120 kV-on beépített ZnO korlátozók feszültségcsökkentő hatását elhanyagolva is elegendő a SZF 200 kV-os lökőfeszültség szintje, ugyanis

$$U_{ISZF} = 550 \text{ kV} \cdot \frac{C_s}{C_s + C} = 550 \cdot \frac{18,03}{68,03} = 146 \text{ kV} < 200 \text{ kV}$$

A U_{ISZF} értékét $C = 50 \text{ nF}$ érték behelyettesítésével határoztuk meg. Egy megajánlott $C = 50 \text{ nF}$ kondenzátor főbb paraméterei:

Névleges feszültség: $15 \text{ kV} > 1250 \text{ A} \cdot 8 \Omega = 10 \text{ kV}$

1 perces próbafeszültség

(50 Hz): $50 \text{ kV} > 6 \text{ kA} \cdot 8 \Omega = 48 \text{ kV}$

Lökőpróbafeszültség: $150 \text{ kV} > 146 \text{ kV} > 120 \text{ kV}$

(120 kV a beépítendő ZnO korlátozó védelmi szintje, lásd a 4.2.2. pontban)

Kivitel: szabdátéri, porcelán szigetelőben,

mágneses térbe helyezhető

Tömeg: ~40 kg

4.2.2. A SZF-csel párhuzamosan kapcsolt ZnO korlátozó

Az SZF és a párhuzamosan kapcsolt védőkondenzátor további hatásos túlfeszültség-védelmét lehet párhuzamosan kapcsolt ZnO túlfeszültség-korlátozóval kialakítani. Egy alkalmazható 10 kA — 1. osztályú típus jellemző adatai:

— Folyamatos üzemi feszültség: $36 \text{ kV} > 1250 \text{ A} \cdot 8 \text{ ohm} = 10 \text{ kV}$

— Névleges feszültség: 45 kV

— Üzemi frekvenciájú túlfeszültség - idő jelleggörbéből

$$U_{t=0,2s} = 1,4 \cdot 36 \text{ kV} = 50,4 \text{ kV} > 6 \text{ kA} \cdot 8 \text{ ohm} = 48 \text{ kV}$$

— A védelmi jelleggörbe jellemző pontjai:

2000 μs		8/20 μs	
500 A	5 kA	10 kA	20 kA
88,7 kV	112 kV	120 kV	134 kV

A 120 kV-os védelmi szint (10 kA—8/20 μs) biztonsággal védi a kondenzátort és a fojtótekereszt. A túlfeszültség-védelmet ellátó kondenzátorok és ZnO túlfeszültség-korlátozók együttes ára a soros fojtók árának mindössze kb. 1,5%-a.

4.3. A SZF leágazási megszakítójának visszaszökő feszültség-igénybevétele

A 4. ábra M jelű megszakítója $I_f \approx 6 \text{ kA}$ zárlati áramot szakít meg.

Mivel a fojtótekereszt önkapacitása igen kicsi ($C_f \approx 1200 \text{ pF/f}$), a megszakító fojtóoldali pontján nagy frekvenciájú (f) visszaszökő feszültség lép fel:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_e}} = \frac{10^6}{2\pi\sqrt{25,5 \cdot 1,1}} \approx 30 \text{ kHz},$$

ahol a C_e egyenértékű kapacitás:

$$C_e = \frac{1}{2}C_f + C_{\Delta V} + \frac{1}{2}C_{FV} = 600 \text{ pF} + 172 \text{ pF} + 325 \text{ pF} \approx 1,1 \text{ nF}$$

A fojtóoldali rezgés amplitudója:

$$U_{VSF} = \gamma \cdot \sqrt{2} \cdot I \cdot X_f = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 6 \cdot 8 = 115 \text{ kV}$$

A fojtóoldali VSF meredeksége (m):

$$m = \frac{U_{VSF}}{0,85 \cdot 1/2f} = 8,2 \text{ kV/}\mu\text{s}$$

A beépített 31,5 kA névleges zárlati megszakítóképeségű megszakítóra $6/31,5 = 0,19$ -szeres zárlati áramon a [6] IEC Publikáció 6.104.5.4 és 6.104.5.5 pontjaiban előírt szabványos VSF meredekségek interpolációjával $m_{IEC} = 5,5 \text{ kV/}\mu\text{s}$ meredekség adódik. A beépített $C = 50 \text{ nF}$ kondenzátor a VSF frekvenciáját (f'), így meredekségét (m') biztonságos értékre csökkenti:

$$f' = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C+C_e)}} = 4,4 \text{ kHz} \rightarrow m' = 1,19 \text{ kV/}\mu\text{s} < 5,5 \text{ kV/}\mu\text{s}$$

Tehát a SZF-csel párhuzamosan kapcsolt védőkondenzátor a megszakító működését is üzembiztossá teszi.

5. A soros fojtókkal végzett rendszervizsgálatok eredményei

A bevezetőben említett előzmények és okok miatt vizsgáltuk, hogy az ELMŰ Rt. meglévő, ill. 1995-re tervezett 120 kV-os hálózatán az alaphálózati táppontok nagy/nagyfeszültségű transzformátorainak 120 kV-os oldalán feltételezett, különböző reaktanciájú (4, 8 és 12 ohm) soros fojtótekeresztsekkel, vagy a 400/126 kV-os transzformátoroknál 12 ohmos, a 220/126 kV-os transzformátoroknál 16 ohmos csillagponti fojtókkal milyen mértékben csökkenthetők a 120 kV-os zárlati áramok. Mivel lényegesen befolyásolja a zárlati áramok nagyságát, itt is megjegyezzük, hogy a számítások során az ELMŰ Rt. 120 kV-os hálózatának jelenlegi normál üzemviteli állapotában alkalmazott hálózatbontásokat vettük figyelembe. A vizsgálatok

részleteit, feltételeit a [7] tanulmány tartalmazza. A teljesítményeloszlási és zárlati árameloszlási számítások a *NETCALC* hálózatszámító programmal készültek, modellként pedig az országos alap- és főelosztóhálózatot (természetesen beleértve az *ELMŰ Rt.* hálózatát) képezték le. A számítások eredményét a *Táblázat* tartalmazza.

Táblázat

Állomás	Fojtó nélküli		Csillagponti fojtók		Soros fojtók						A feszültség szögeltérése fokban 8 ohmos fojtóval
					4 ohmos		8 ohmos		12 ohmos		
	zárlati áramok kA-ben										
	FN	3F	FN	3F	FN	3F	FN	3F	FN	3F	
Albertfalva B-sín	20,6	16,8	19,4	16,8	18,4	15,0	17,0	13,7	15,9	12,8	1,6
K-sín	18,4	16,0	16,6	16,0	16,2	14,2	14,9	12,9	13,9	12,0	1,5
DHV Albertfalvai oldal	18,6	17,0	15,7	17,0	16,1	15,0	14,7	13,7	13,6	12,7	1,5
Soroksári oldal	17,9	15,5	14,3	15,5	15,4	13,6	14,0	12,4	13,1	11,6	2,4
Göd B-sín	21,0	17,5	14,0	17,5	16,0	14,1	13,5	12,1	11,9	10,8	2,9
K-sín	20,1	16,9	15,5	16,9	15,9	14,1	13,8	12,5	12,5	11,3	2,5
Soroksár	16,2	14,4	14,5	14,4	14,6	13,0	13,6	12,1	12,8	11,4	2,3
Zugló	17,4	13,1	15,1	13,1	14,9	11,5	13,2	10,3	12,0	9,4	2,5

A számítási eredmények igazolták a korábbi vizsgálati eredményeket, hogy a csillagponti fojtó elsősorban a táppontokban csökkenti jelentősebben az FN zárlati áramokat. A csökkenés mértéke az alaphálózati táppontokban átlagosan megfelel a 4 ohmos soros fojtóval elérhető FN zárlati áramkorlátozásnak, de a soros fojtók a 3F zárlati áramokat is mérséklék. A táppontoktól távolodva azonban jelentősen nagyobb zárlati áramkorlátozás érhető el a soros fojtókkal. Azokban az alaphálózati állomásokban, ahol nincs 120 kV/középfeszültségű transzformátor (*Göd*), a csillagponti fojtó hatása megközelíti a 8 ohmos soros fojtó zárlatkorlátozó hatását. A 8 ohmos soros fojtó a táppontokban 4...14%-kal nagyobb mértékű FN zárlati áramcsökkenést eredményez, mint a korábban javasolt csillagponti fojtók és közel azonos mértékű a 3F zárlati áram csökkenése is.

A számítási eredmények ismeretében olyan döntés született, hogy a 12 ohmos soros fojtótekercest a hálózati veszteség, a feszültségese további növekedése miatt nem célszerű az *ELMŰ Rt.* hálózatán beépíteni; a 4 ohmos soros fojtótekerics zárlatsökkentő hatása pedig gyakorlatilag azonos a csillagponti fojtóéval.

Az előzők alapján azokban az állomásokban, ahol a HFKV zárókör beépítése tervezett, 8 ohmos, a hangfrekvenciás zárókörrel egybeépített fojtótekercest alkalmazunk.

A soros fojtók beépítésének azonban van egy olyan (nem minden esetben elhanyagolható) hatása is, hogy jelentős nagyságú reaktanciája miatt lényegesen befolyásolhatja a teljesítményeloszlást. Ez a hatás a beépítés helyétől függően lehet hasznos, de lehet káros is. Kedvezően, ill. kedvezőtlenül befolyásolhatja a párhuzamosan járó transzformátorok, egy körzetet tápláló INF/NF-ű táppontok, ill. a feszültség szintek közötti teherelosztást. Természetesen e hatás csak akkor jelentkezik, ha ugyanazt az együtt járó 120 kV-os körzetet több transzformátor vagy táppont is táplálja, és nem mindegyik transzformátor 120 kV-os oldalára építenek be soros fojtót, ill. ha ugyanazon állomások között több feszültség szintű kapcsolat

is létezik. Ez a teljesítményterelés jó esetben csökkenti a hálózat veszteségét (nagyobb feszültség szintre tereli a teljesítményt), kompenzálva ezzel a fojtón keletkező veszteséget, így az összességében nem növekszik.

A soros fojtók a hálózaton elvileg bárhova beépíthetők, azonban az előzőekben említett teljesítményterelést is okozó hatásuk miatt részletes, rendszerszintű vizsgálatokkal kell meghatározni a beépítés helyét. Részletes gazdaságossági vizsgálatok is szükségesek lehetnek akkor, ha a soros fojtó beépítése jelentős, a szomszédos áramszolgáltatók hálózatát terhelő tranzit teljesítmény-szállítást okoz.

A *Dunamenti Hőerőműben* 1996–97-es üzembe helyezésével tervezik beépíteni a második gázturbinás egységet. Ehhez az erőművi beruházáshoz kapcsolódóan meg kell erősíteni az *ELMŰ Rt.* 120 kV-os hálózatát tápláló *Soroksár* állomás 220 kV-os hálózati kapcsolatát, és be kell építeni a második 220/126 kV-os transzformátort. E hálózatfejlesztés a zárlati áramokat az állomás megengedett zárlati szintje fölé emeli ($I_{FN} = 21,2$ kA, $I_{3F} = 19,3$ kA). A korábbi tervek a 120 kV-os gyűjtősín bontását javasolták. Vizsgálataink szerint a két *Dunamenti HE-Soroksár* 120 kV-os vezetékbe beépített egy-egy 8 ohmos soros fojtó $I_{FN} = 19,1$, ill. $I_{3F} = 16,9$ kA-re csökkentené a zárlati áramokat. Ezentúl mintegy 15 MW-tal több teljesítményt szállítana a 220 kV-os hálózat, jobban terhelődne a soroksári 220/126 kV-os transzformátorok, ezáltal elkerülhetővé, vagy mérsékelhetővé válik a *Dunamenti HE* transzformátorainak üzemzavari túlterhelődése. Igaz, kb. 6...7 MW-tal nagyobb teljesítmény terheli a *DÉDÁSZ Rt.* — *ELMŰ Rt.* közötti *Dunaújváros-Soroksár* 120 kV-os kapcsolatot. Mivel a soroksári állomásban is felmerülhet HFKV zárókörök és így a *HSZ-ZF*-ek telepítése, további vizsgálatok szükségesek a megvalósítandó zárlatkorlátozási mód kiválasztásához.

A Táblázatban feltüntetett — a 8 ohmos fojtótekerics alkalmazása mellett a 120 kV-os feszültségen várható — szögelfordulás mértéke azért lehet lényeges, mert az *ELMŰ Rt.* jelenlegi üzemviteli gyakorlata szerint a 10 kV-os feszültség szinten világosáttérés mellett történik az átterhelés az egyik transzformátorról a másikra, azaz rövid időre a két transzformátor 10 kV-on is párhuzamosan üzemel. A villamosan távoli pontokból táplált középfeszültségű hálózat világosáttérésénél a szögeltérés feszültség- és áramlökéseket, lengéseket okozhat. A táblázatban szereplő értékek arra engednek következtetni, hogy ilyen szögeltérések mellett ez a hatás elhanyagolható, a soros fojtótekerics alkalmazhatóságát nem befolyásolja.

A vizsgálatok és azt követően gyártókkal folytatott tárgyalások eredményeképpen megállapítható, hogy a soros fojtó (*HSZ-ZF* és *SZF*) a technológia előrehaladtával (méret, üzembiztonság, veszteségcsökkentés stb.) hatékony zárlatkorlátozó eszközzé válhat. Nagy előnye, hogy az FN és a 3F zárlati áramokat közel azonos mértékben csökkenti. Az *ELMŰ Rt.* hálózatán az egyébként is szükséges HFKV zárókörökkel egybeépített soros fojtókkal viszonylag kis többletköltséggel érhető el 2...3 kA-es zárlati áramcsökkenés, megteremtve a lehetőséget a különjáró 120 kV-os körzetek esetleges összevonására. Az *ELMŰ Rt.* területén elsőként az *Albertfalva* állomás 220/126 kV-os transzformátorainak HFKV záróköréinél került sor *HSZ-ZF*-ek beépítésére.

Mivel a booster transzformátorok üzemszerű terhelése általában 50...60%, a soros fojtón keletkező veszteség pedig a

terhelőáram négyzetével arányos, a boosterekhez beépítésre javasolt 8 ohmos soros fojtókon várható üzemszerű 20...25 kW-os veszteség a zárlatkorlátozás előnyös hatásához képest elhanyagolható.

Összefoglalás

A cikk az *ELMŰ Rt.* 120 kV-os főelosztóhálózatát tápláló 400/120 és 220/120 kV-os nagytranszformátorokhoz beépítendő *csillagponti fojtókkal elérhető* FN zárlati áramkorlátozást a *soros fojtótekerccsekkel elérhető* FN- és 3F zárlati áramcsökkenéssel *hasonlítja össze*. Az *optimálisnak* tűnő 8 ohmos soros fojtótekerccsek önállóan telepítve és hangfrekvenciás soros zárókörrrel kombináltan kerülhetnek beépítésre.

A szerzők a soros fojtók kialakítása mellett azok túlfeszültség-védelmét és a visszaszökő-feszültségre gyakorolt *hatását* is vizsgálták.

Irodalom

- [1] *Dr. Benkő I., Gőnczi P., Kámán J., Szécsényi L.*: Az FN zárlati áramok korlátozása a hazai 120 kV-os és nagyobb feszültségű hálózaton. *Elektrotechnika*, 1982. 11. szám, 401—408. o.
- [2] Budapest térség alap- és főelosztóhálózatának 1990. évi csillagpontkezelési tanulmányterve. *ERŐTERV-Hálózattervezés* (1986)
- [3] *MVMT OVRAM*: Az X_0/X_1 viszonya és a fellépő 3F és FN zárlati áramok arányainak alakulása az *ELMŰ* területén. 1987. 09. 14.
- [4] Kelenföld — Laczkovich u. — Csarnoktér 120 kV-os kábel. Zárlati és hálózati csatlakozási vizsgálatok. *ETV — ERŐTERV HBRI* 09/1035;1993. 09. 10.

- [5] *Dr. Mihákovics Tibor*: Nagyfeszültségű hálózatok visszaszökő feszültségének számítása. Tanulmány, *ELMŰ Rt.*, 1991. szeptember
- [6] *IEC Publication 56*: High — voltage alternating current circuit — breakers (1987)
- [7] *Gurszky Zoltán, Németh János*: A zárlati teljesítmények csökkentésének lehetősége speciálisan kialakított soros fojtótekerccsekkel az *ELMŰ Rt.* 120 kV-os főelosztóhálózatának betáplálási pontjaiban. Tanulmány, *ELMŰ Rt.* 1994. április
- [8] *Dr. Mihákovics Tibor*: Soros zárlatkorlátozó fojtótekerccsnek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata az *ELMŰ Rt.* 120 kV-os hálózatán. II. Tanulmány, *ELMŰ Rt.* 1995. május
- [9] *Bertalan A., Gurszky Z., dr. Mihákovics T.*: Soros fojtótekerccsek alkalmazása az *ELMŰ Rt.* 120 kV-os körzeteinek zárlati áram korlátozására I. Tanulmány, *ELMŰ Rt.*, 1994. március

VILLANYSZERELÉSI CIKKEK és ALKATRÉSZEK ÁRUHÁZA

Ha a minőség mellett az ár is számít...

1996-ban is

KEZDJE NÁLUNK...

- széles áruválasztékkal
- kedvező árral
- parkolási lehetőséggel

...VÁRJUK ÖNÖKET!



R-UDVAR KERESKEDELMI KFT.
1091 Budapest, Üllői út 47-49.
Tel.: 216-4467 Tel./fax: 217-1046
Nyitva: hétfőtől péntekig: 7.30-16 óráig

Megnyitottuk új üzletünket

1085 Budapest, Baross u. 19.

Telefon: 134-0916

Nyitva: H—P: 8-17 óráig, SZ: 8-12 óráig

