

Sz-5 típusú kiskoaxiális kábelek műszaki paramétereinek alakulása, a legyártott vonal kábeleinek kiértékelése

ETO 621.315.212.011

A sokcsatornás hírközlőrendszer megvalósítása nálunk is szükségessé tette a koaxiális kábelek alkalmazását és gyártását. A Magyar Kábel Műveknél a koaxiális kábelek gyártása a SAT francia előírásoknak megfelelően és az általuk szállított gépek segítségével indult meg. A kész kábel és az alapanyag műszaki paramétereit is a SAT előírások tartalmazzák [4].

A gyártás megindulása óta többféle kombinált — koaxiális érpárt is tartalmazó — kábel került kifejlesztésre és gyártásra [5].

A Magyar Posta igényeinek kielégítése után felmerült a kábeltípus exportjának lehetősége is. A Szovjetunióban a KGST keretén belül kötött szerződés igen nagymennyiségű koaxiális kábel gyártását irányozza elő. A teljes hírközlő vonal elkészítése több vállalat közös munkájának eredménye lesz. E szerződés keretében 1975-ben elkészültek szovjet megrendelésre az első kb. 220 km-es vonal kábele.

A koaxiális párok jellemzői

A Magyar Kábel Művek által gyártott koaxiális kábelek ún. kiskoaxiális párokat tartalmaznak. A kiskoaxiális párban a belső vezetők 1,2 mm névleges \varnothing -jú tömör rézhuzal, a külső vezető pedig vékony rézszalagból hajlított körgyűrű keresztmetszetű cső, melynek névleges \varnothing -je 4,4 mm. A belső és külső vezető között helyezkedik el az ún. ballonszigetelés. Ez olyan vékonyfalú polietilén cső, mely egyenlő távolságokban rá van szorítva a belső vezetőre. Különleges kialakítása folytán a ballonszigetelés dielektromos állandója kicsi. Mechanikai állékonysága nagy, és megfelelő hosszirányú vízzárást is biztosít. A kiskoaxiális pár fontos szerkezeti eleme még az árnyékolás, amely a külső vezetőre tekercselt két réteg rézzel bevont acélszalagból áll.

A koaxiális párok ellenőrzése

A kész koaxiális csövekkel szemben igen szigorú elektromos követelményeket támasztanak, ezért a gyártás különböző fázisaiban méréseket kell végezni.

Mérések szigetelés közben

Az átmérő és a kapacitás folyamatos mérése.

Ellenőrzés szalagozás folyamán

A szalagozás folyamán végzett ellenőrzés a szigetelés átütési szilárdságának vizsgálatából áll, a feszültségpróbát 6000 V-os váltófeszültséggel, hibaérzékelővel végzik.

Mérések koaxiális párokon

Valamennyi koaxiális páron elvégzik a következő méréseket:

- átlagos impedancia meghatározása;
- teljes kapacitás meghatározása;
- reflexiómérés 60 nsec-os impulzussal;
- villamosszilárdság vizsgálata 4000 V egyenfeszültséggel.

Mérések a kábelen, gyártás folyamán

A gyártás különböző fázisaiban célszerű reflexióméréseket végezni, pl. a kábelsodrasi és köpenyezési művelet után.

Mérések a kész kábelen

Az alábbi méréseket a kész kábeleken végezzük, amelyeknek a pontos hosszát is ismerjük:

- belső vezető ellenállása;
- fajlagos kapacitás;
- hullámimpedancia;
- reflexiótényező;
- lezárási impedancia.

A hullámimpedanciából és a hosszegységre eső fajlagos kapacitásból célszerű kiszámítani minden hosszra a szigetelés dielektromos állandóját az alábbiak szerint:

$$Z_{\infty} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \cdot \ln \frac{D}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon}{18 \cdot \ln \frac{D}{d}}$$

ezekből $\epsilon = (0,3 \cdot C \cdot Z_{\infty})^2$

A gyártási hosszak meghatározott %-án a frekvenciafüggvényben csillapításméréseket és az egyes koaxiális párok között áthallásmérést is végzünk.

A koaxiális párokra vonatkozó előírások

Gyártáshoz használt anyagok minősége

A koaxiális pár belső vezetője tömör, 1,18 mm tényleges \varnothing -jú, sima, hengeres, hajszálrepedés nélküli, tiszta és zárványmentes rézszalag. Mind a belső, mind a külső vezető fajlagos ellenállása 20 °C-on $0,01724 \frac{\text{ohm} \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$.

A huzal átmérője a névleges értéktől $\pm 0,005$ mm-rel térhet el.

A szalag vastagsága bármely ponton mérve legfeljebb $\pm 0,008$ mm-rel térhet el a névleges vastagságtól.

Az árnyékolás anyaga rézzel bevont lágyított acél-szalag, névleges vastagsága: 0,9 mm.

Az alsó szalag névleges szélessége 10 mm, a felső szalagé 12 mm. A szalag vastagsága bármely ponton mérve legfeljebb $\pm 0,01$ mm-re térhet el a névleges értéktől. A szalagot bevonó rézréteg mennyisége $6,5 \text{ g/m}^2$, a szakítószilárdság 38 kp/mm^2 . A szakadási nyúlás 15—30%. A szigetelést képező polietilén folyási indexe: 1,8.

Villamos paraméterek

Egyenáramú ellenállás

A belső vezető egyenáramú ellenállásának névleges értéke 20°C -on $15,72 \text{ ohm/km}$. A 20°C -ra átszámított tűrésmező $15,34—16,09 \text{ ohm/km}$.

Szigetelési ellenállás

A szigetelési ellenállás 20°C -on 500 V feszültséggel mérve $1 \cdot 10^4 \text{ Mohm} \cdot \text{km}$.

Üzemi kapacitás

A koaxiális párok 800 Hz -en mért üzemi kapacitásnak névleges értéke $49,5 \text{ nF/km}$.

Áthallási csillapítás

A párok közötti áthallási csillapítás értéke 60 kHz -en mérve nem lehet kevesebb, mint

500 m-ig $13,3 \text{ Np}$,
500—1000 m-ig $12,6 \text{ Np}$.

Hullámimpedancia egyenletesség

Az impedancia egyenletességét 60 nsec -os jelszéleségű impulzussal kell meghatározni, reflexiómérővel. Az impulzus alapja közvetlenül \sin^2 függvénynek feleljen meg. A reflexió görbék maximális csúcsa a gyártott hosszak 100%-án nem haladhatja meg a $0,6 \text{ ohm}$ -ot (4%).

A hosszak 80%-án a maximális csúcs kisebb, vagy legfeljebb egyenlő az alábbi értékkel:

- 500 m-es, vagy annál kisebb hosszánál $0,3 \text{ ohm}$ (2%),
- 500 m-nél nagyobb hosszánál $0,45 \text{ ohm}$ (3%).

A gyártási hosszak névleges értéke 500 m . Az ettől való $\pm 5 \text{ m}$ -es eltérés esetén a kábel 500 m -es hosszának minősül.

Végimpedancia

Külön-külön meghatározandó a koaxiális párok mindkét végén mért ún. bemenő, vagy végimpedancia. A két végén mért impedanciák valós része között legfeljebb $0,4 \text{ ohm}$ eltérés lehet.

Hullámimpedancia

A koaxiális kábel hullámimpedanciája valós részének névleges értéke 1 MHz -en 75 ohm . Az ettől megengedett maximális eltérés $\pm 0,75 \text{ ohm}$. A koaxiális párok hullámimpedanciája jellemezhető a végtelen frekvencián felvett értékkel is. Ebben az esetben a névleges érték $73,05 \text{ ohm}$, vagyis $1,95 \text{ ohm}$ -mai kisebb, mint az 1 MHz -re megadott érték. Ettől kell számítani a megengedett $\pm 0,75 \text{ ohm}$ -os eltérést. A kábelben belül koaxiális párok úgy sorolandók, hogy a legkisebb hullámimpedanciájú a 3. érpár legyen, ezt kövesse a 4. és a 2., és végül az 1. számú pár.

Meg kell határozni a hullámimpedancia értékét ún. rezonancia-módszerrel is. E módszerrel kapott impedanciának 1 MHz -re átszámított értékét fel kell jegyezni, de a kábelre nézve ez nem minősítő érték.

A hullámcsillapítás

A hosszegységre eső hullámcsillapítás értéke 1 MHz -en:

$617 \pm 10 \text{ mNp/km}$ 20°C -on,
 $605 \pm 10 \text{ mNp/km}$ 10°C -on.

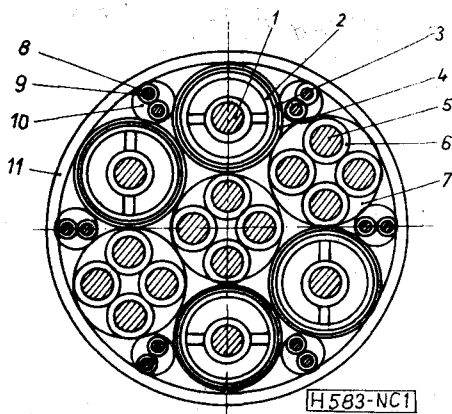
Villamosszilárdság

A koaxiális kábelben átütés nem következhet be, a koaxiális pár belső és külső vezetője közé, valamint a pároknak a kábel fémköpenyével összekötött külső vezetője, és a többi szigetelt ér vezetője közé kapcsolt 1 percig tartó, $2000 \text{ V}_{\text{eff}}$ értékű, 50 Hz frekvenciájú váltakozó fesz. (vagy 3000 V egyenfeszültség) határára.

1. táblázat

Koaxiális csövek előírásai

	SAT Magyar Posta	Deutsche Post OCITT	Sz-5 előírás	Sz-5 tényleges
Hullámimpedancia, ohm	$75 \pm 0,75$	75 ± 1	75 ± 1 (90%) $75 \pm 1,5$ (100%)	$75 \pm 0,9$ (100%)
Reflexió, %	4 (100%) 2 (80%)	4 (100%) 2,5 (95%) 2 (80%)	4 (100%)	4 (100%) 2 (80%)
Áthallási csillapítás 500 m-re, Np	13,3	13,0	12,9	13,3



1. ábra. Az Sz-5 kiskoaxiális kábel szerkezete:

- 1 — $\varnothing 1,18$ mm Cu vezető,
- 2 — polietilén ballon érszigetelés,
- 3 — rézszalag, rezezett acélzalag,
- 4 — műanyag szalag,
- 5 — $\varnothing 1,2$ mm Cu vezető,
- 6 — polietilén érszigetelés,
- 7 — csillagnégyes,
- 8 — $\varnothing 0,9$ mm Cu vezető,
- 9 — polietilén érszigetelés,
- 10 — érpár,
- 11 — óvszigetelés

Az ismertetett felépítésű és jellemzőkkel rendelkező koaxiális csöveket felhasználva minimális módosítással született meg az Sz-5 elnevezésű 4 csöves koaxiális kábel, amelynek szerkezete az 1. ábrán látható.

Az átviteli paraméterek értékelésének szükségessége

Mivel a koaxiális kábel a teljes hírközlő vonalnak csak egy része, szükséges ennek a rendszerbe való tökéletes illesztése.

A hírközlő kábelnek az információ továbbításában résztvevő valamennyi elemének átviteli tulajdonságait ismernünk és összegeznünk kell, hogy a komplett vonal összeállítható legyen (erősítő mezők válogatása, az erősítőkhöz való illesztése). Ezen túlmenően a már legyártott 220 km kábel átviteli paramétereinek ismerete azért is lényeges, mert a több ezer km-es hírközlőrendszer első fázisáról levont következtetések nemcsak a későbbi gyártás várható eredményeit adják, hanem esetleg korrekcióval optimálisabb vonal kialakítását is lehetővé teszik.

A legyártott teljes mennyiség valamennyi hosszáról vizsgálati jegyzőkönyvet készítettünk, amelyet átadásakor a megrendelő rendelkezésére bocsátottunk.

A félkész és készgyártmány műszaki paramétereit a gyártás folyamán regisztráltuk, hogy a teljes vonal főbb jellemzői tekintetében kiértékelhető legyen.

Részletes kimutatást készítettünk az alábbiakról:

- érpárkapacitás;
- négyeskapacitás;
- k_1 csatolások
- csőkapacitás;
- végimpedanciák;
- reflexió;
- gyártási hosszak.

Az eredmények értékelésére gyártási szakaszon-

ként lélekszám szerint eloszlási görbéket vettünk fel, amelyek a névleges értéktől való eltérés százalékos eloszlását mutatják.

Az eredmények értékelése

Általános értékelésként az egyes paraméterek eloszlásának tanulmányozásakor az alábbiakat állapítjuk meg.

Az érpárok kapacitása

Az üzemi kapacitások valóságos értéke 44,5 nF/km névleges érték körül mozog.

A tűrésmező alsó és felső határán átlagosan az érpárok 1,5%-a található (2. és 3. ábra).

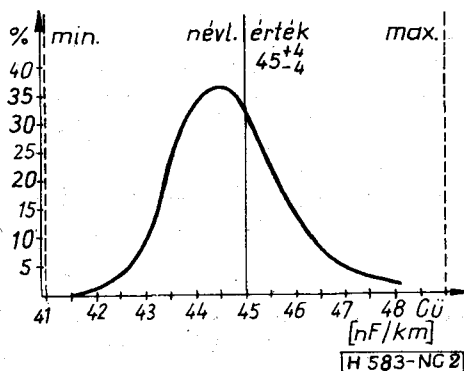
Megállapítható, hogy a gyártás beindulásakor a kapacitásértékek a teljes tűrésmezőt kihasználják, az érpárok nagyrészenek üzemi kapacitása a névleges érték fölött található.

A vizsgálati eredmények ismeretében megtett visszajelzés eredményezte a későbbiek folyamán az eredmények kisebb mértékű szórását. Az értékek névleges érték alatt változtak (4. ábra).

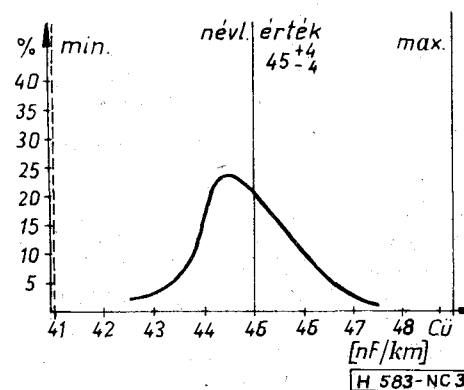
Csillagnégyesek kapacitása

Az üzemi kapacitások valóságos értéke a zöld négyeseknél 41 nF/km, a kék négyeseknél 41,7 nF/km, a piros négyeseknél 43,5 nF/km érték körül mozog.

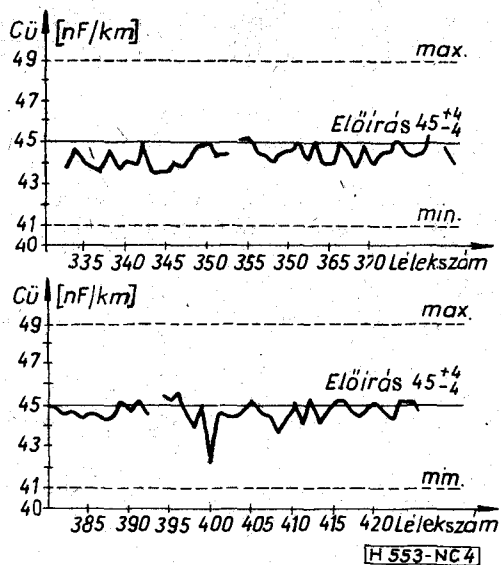
A II. és III. negyedévi gyártásnál az összes érték 5%-a a tűrésmező alsó határán található. A IV. ne-



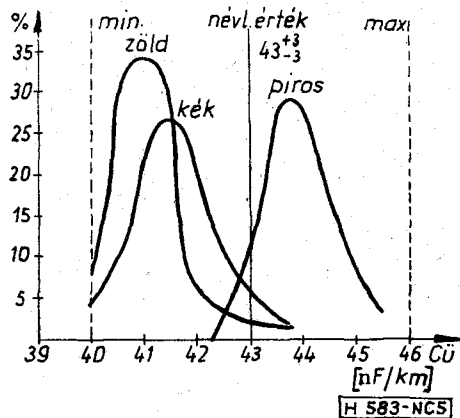
2. ábra. Érpárok üzemi kapacitásának eloszlása (II. és III. negyedév)



3. ábra. Érpárok üzemi kapacitásának eloszlása (IV. negyedév)



4. ábra. Érpárok üzemi kapacitása a lélekszám függvényében (A lélekszám a kábelhossz — kábeldarab — gyártási sorszáma, amely végigkíséri a gyártás és vizsgálat minden fázisában. Célja a gyártási hossz azonosítása)



5. ábra. Csillagnégyesek üzemi kapacitásának eloszlása (II., III. negyedév)

gyedévi gyártás valamennyi értéke a tűrésmezőn (40,5—45,6) belül van (5., 6., és 7. ábra). A gyártás későbbi szakaszában tehát szűkebb tűrésmezőt sikerült megvalósítani.

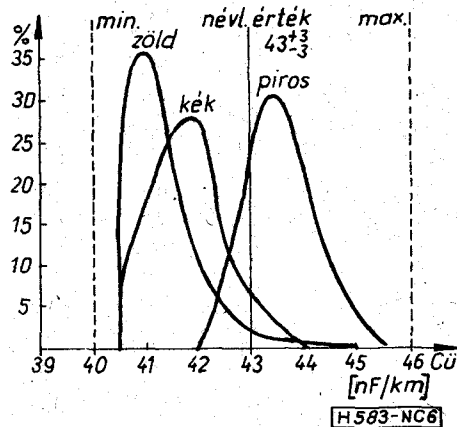
A csillagnégyesek k_1 csatolása

A csatolások értéke valamennyi érnegyest figyelembe véve max. 160 pF volt. Általában a piros négyesek maximális csatolása a többi alatt marad, kivéve a III. negyedévi gyártást (8., 9., 10., 11., 12., 13. ábra).

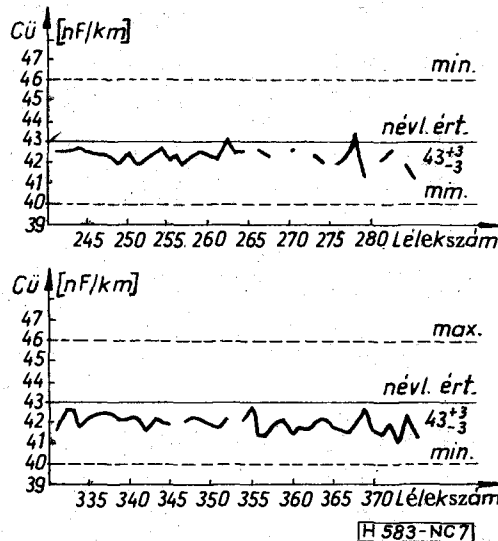
A csatolási értékek lélekszám szerinti előjelhelyes ábrázolása lehetőséget ad arra, hogy minimális csatolási értékkel és ennek következtében magas áthallási csillapítással, mint másodlagos paraméterrel rendelkező erősítő mezőket állítsunk össze, ami az információátvitel alapvető követelménye (14. ábra).

Koaxiális csövek üzemi kapacitása

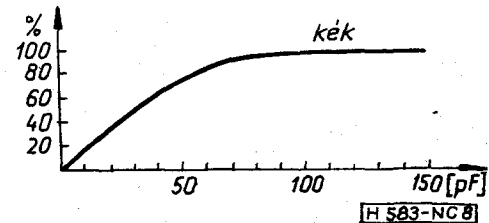
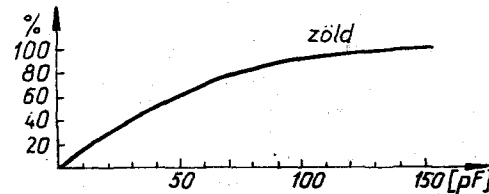
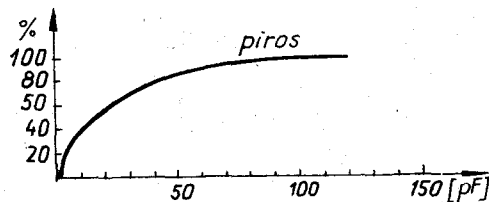
A csőkapacitások valóságos értéke 49,35 nF/km körül változik.



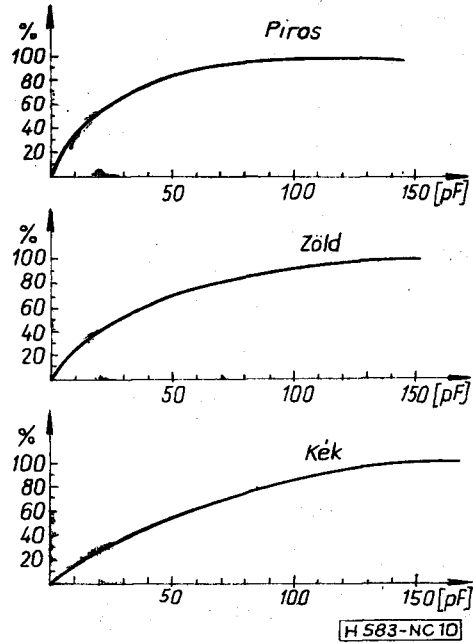
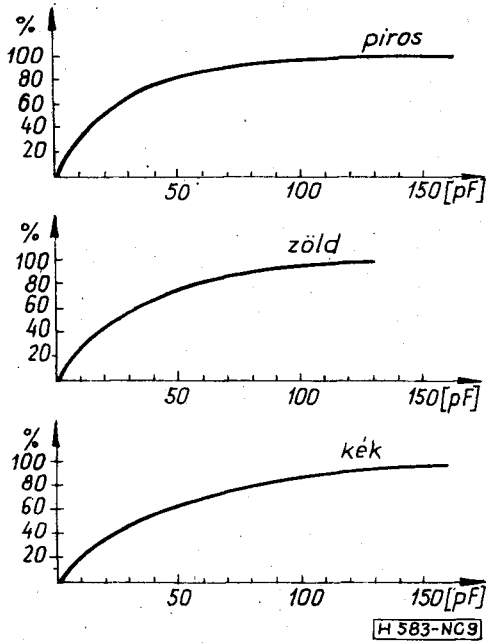
6. ábra. Csillagnégyesek üzemi kapacitásának eloszlása (IV. negyedév)



7. ábra. Csillagnégyesek üzemi kapacitása a lélekszám függvényében



8. ábra. Csillagnégyesek k_1 csatolásai abszolút értékben (II. negyedév)



9. ábra. Csillagnégyesek k_1 csatolásai abszolút értékben (III. negyedév)

10. ábra. Csillagnégyesek k_1 csatolásai abszolút értékben (IV. negyedév)

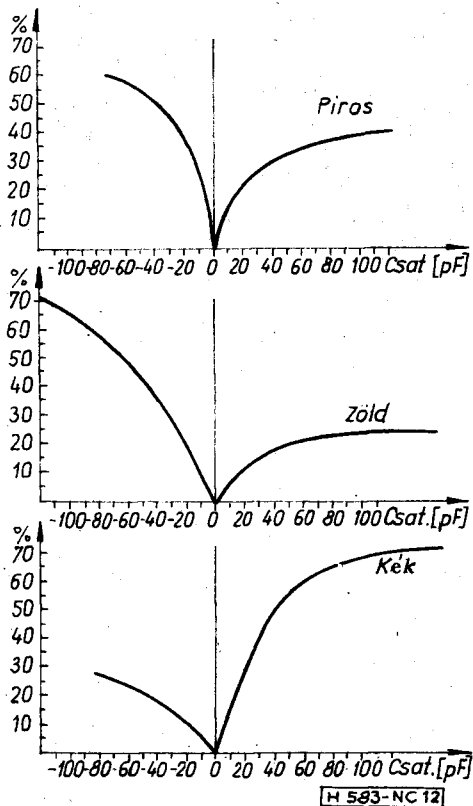
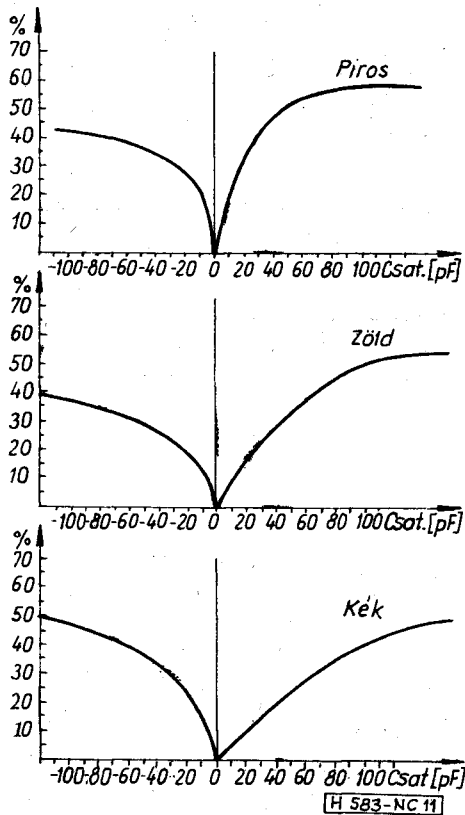
Minimális értéke 48,6 nF/km max. értéke pedig 50,1 nF/km volt.

A koaxiális párok üzemi kapacitása ugyan nem minősítő érték, de a hullámimpedanciának — mint a koaxiális csövek legfontosabb másodlagos villamos paraméternek — meghatározója. Ismerete és állandó figyelemmel kísérése elengedhetetlenül szükséges (15. és 16. ábra).

Koaxiális csövek végimpedanciája

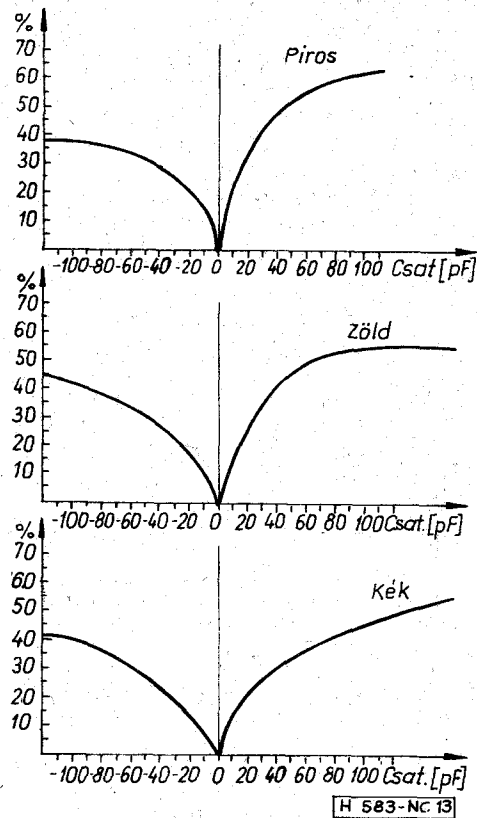
A végimpedanciák mért értékei 75,35 ohm érték körül változnak. Az értékek jóval a tűrésmezőn belül találhatóak, a mért min. érték 74,2 ohm, a max. pedig 76,1 ohm volt (17. és 18. ábra).

A végimpedanciák ismerete lényeges azért, mert a kábelek kötésekor ügyelni kell a minimális reflexió-

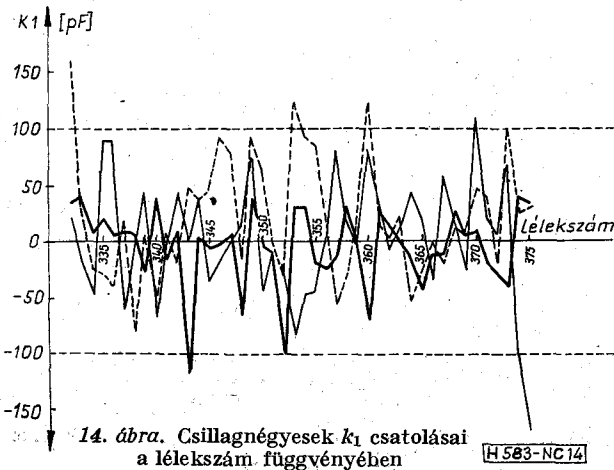
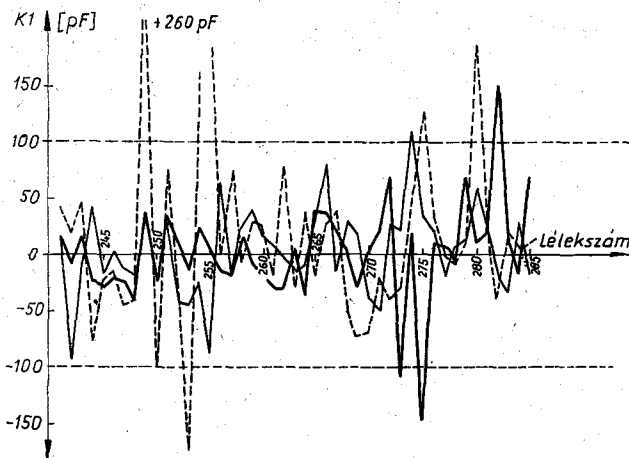


11. ábra. Csillagnégyesek k_1 csatolásai előjeles értékekben (II. negyedév)

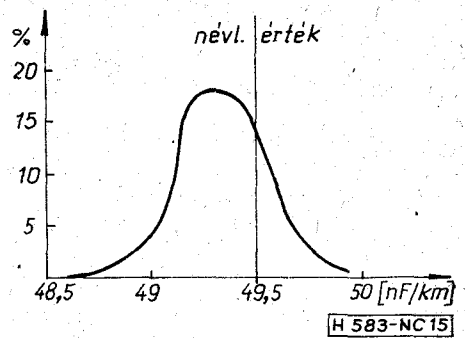
12. ábra. Csillagnégyesek k_1 csatolásai előjeles értékekben (III. negyedév)



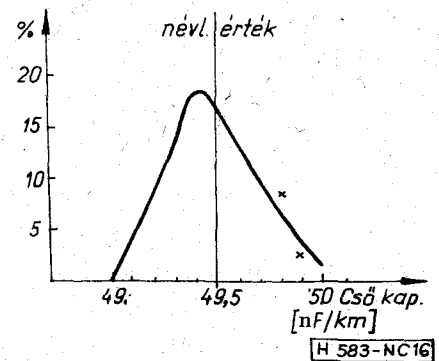
13. ábra. Csillagnégyesek k_1 csatolásai előjeles értékekben (IV. negyedév) [H 583-NC 13]



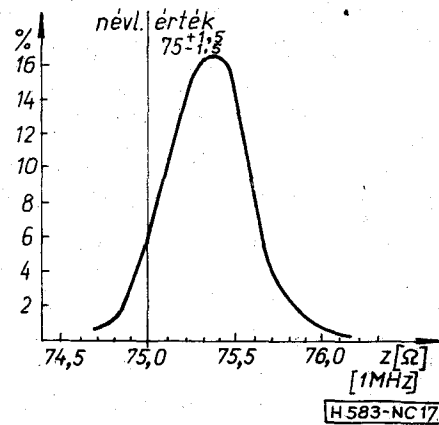
14. ábra. Csillagnégyesek k_1 csatolásai a lélekszám függvényében [H 583-NC 14]



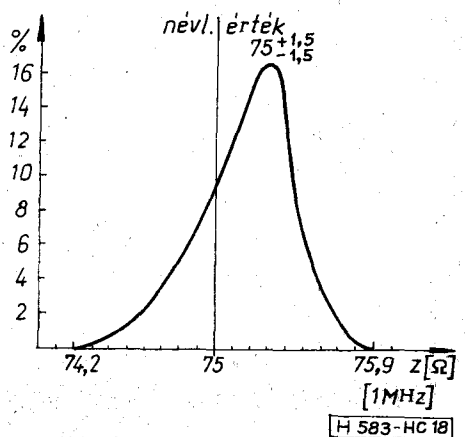
15. ábra. Koaxiális csövek üzemi kapacitásának eloszlása (II., III. negyedév) [H 583-NC 15]



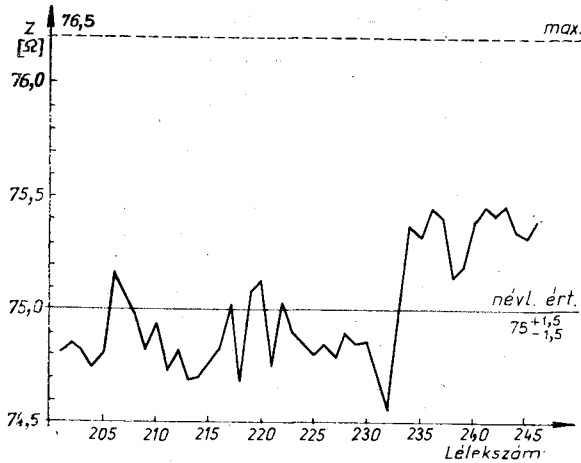
16. ábra. Koaxiális csövek üzemi kapacitásának eloszlása (IV. negyedév) [H 583-NC 16]



17. ábra. Koaxiális csövek végimpedanciáinak eloszlása (II., III. negyedév) [H 583-NC 17]



18. ábra. Koaxiális csövek végimpedanciáinak eloszlása (IV. negyedév) [H 583-NC 18]



19. ábra. Koaxiális csövek végimpedanciái a lélekszám függvényében

ra. Jóllehet a végimpedanciák a tűrésmezőn belül találhatók, a szélsőértékek távolsága miatt bármelyik kábel nem köthető bármelyikkel. A lélekszám szerinti impedanciaváltozást figyelve megállapítható, hogy a gyártás beindulásakor többnyire a névleges alatt mozogtak az értékek, a későbbiek folyamán viszont a névleges fölé tolódtak (19. ábra).

Koaxiális csövek kábelként maximális reflexiója

A mért névleges érték 0,3 ohm, a vizsgált 120 kábelből 46 db max. reflexiója volt 0,3 ohm. A min. érték 0,1 ohm, a max. pedig 0,6 ohm volt (20 ábra).

Külön felvettük a vizsgált csövek max. reflexiójának alakulását is (21. ábra).

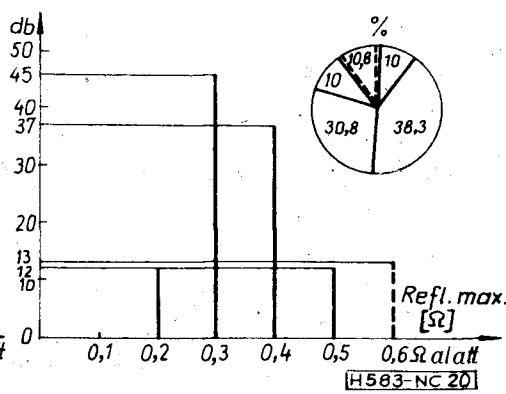
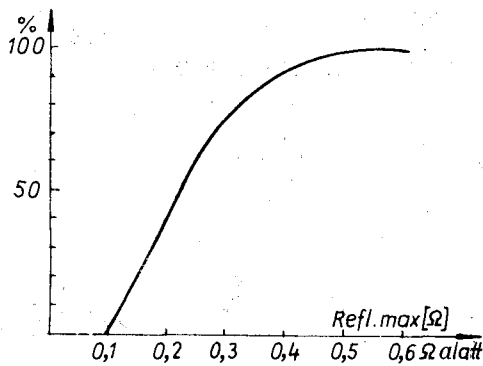
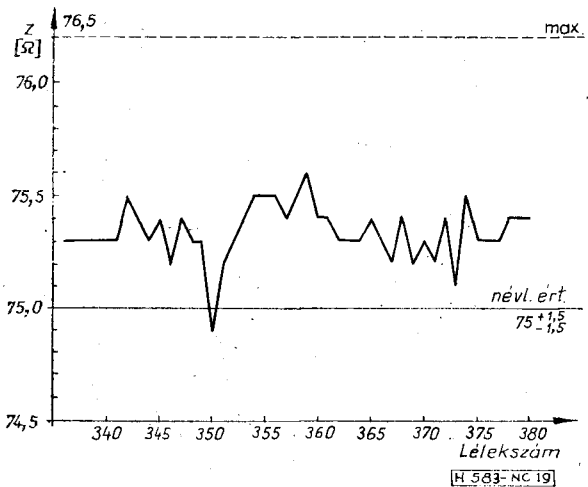
Gyártási hosszak alakulása

Ennek a figyelemmel kísérése azért volt szükséges, mivel a rendelés és a vonatkozó szabvány szigorúan megszabja a szállítható rövid hosszak számát.

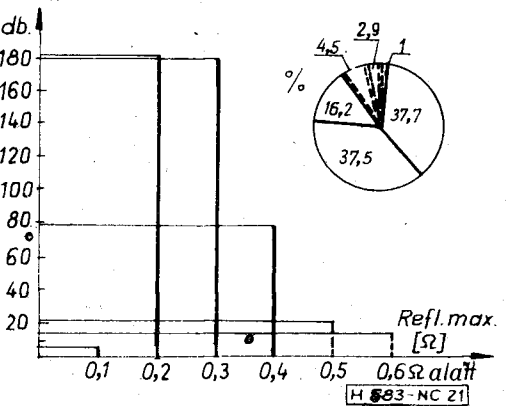
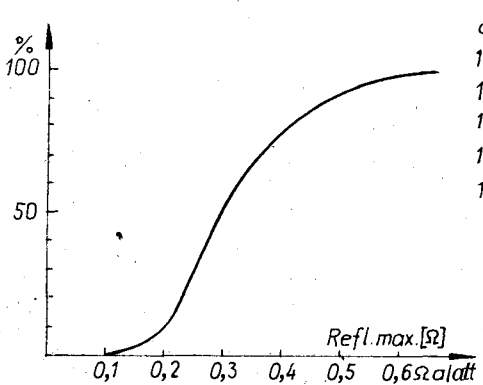
A teljes mennyiség 80%-a 500, ill. 1000 m-es hosszakban került szállításra, a fennmaradó 20% volt az ún. rövid hossz, ez lényegesen kevesebb a megengedett 30%-nál (22. ábra).

A gyártás hatása a villamosparaméterekre

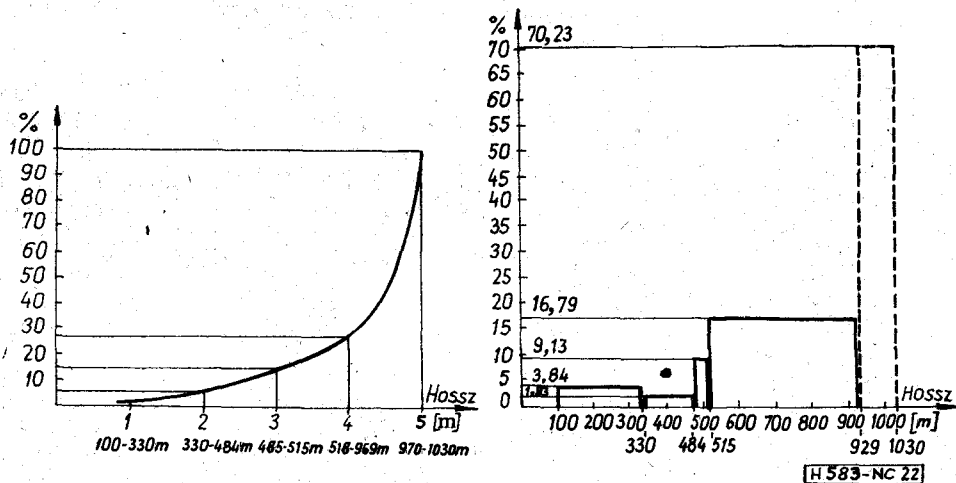
Egy kiemelt 10 km-es gyártási hosszon vizsgálatokat folytattunk arra vonatkozóan, hogy a gyártás



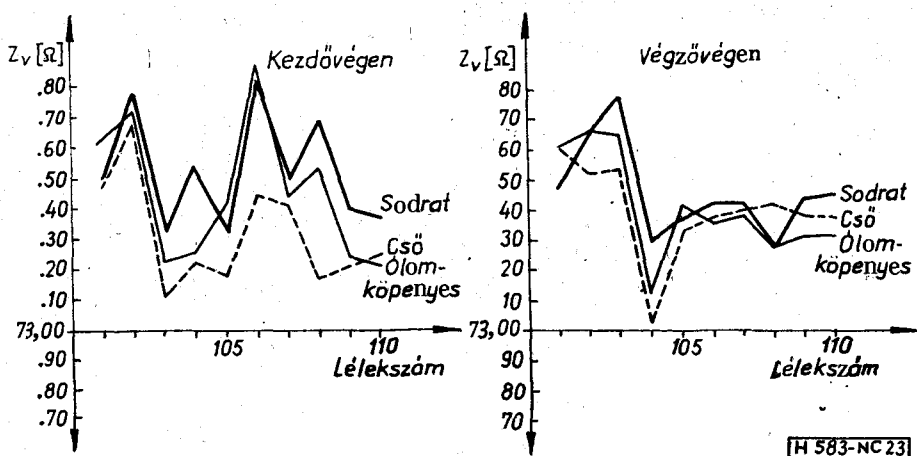
20. ábra. 120 db kábel max. reflexióinak eloszlása



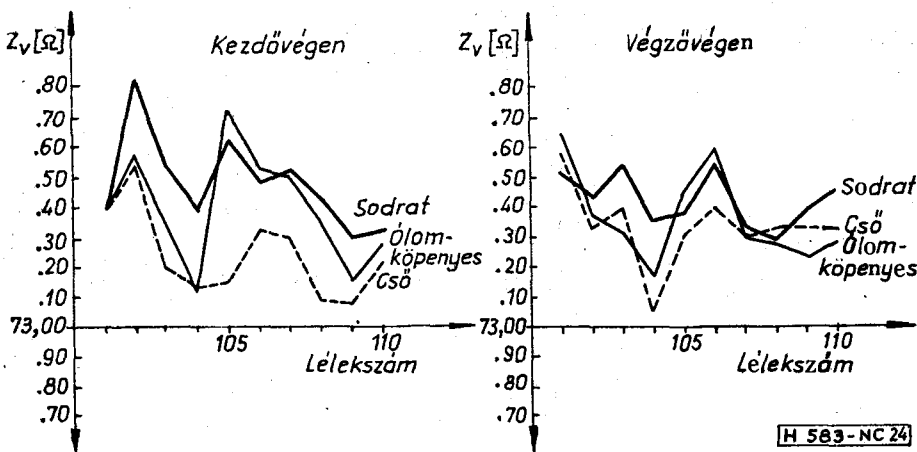
21. ábra. 480 db cső max. reflexióinak eloszlása



22. ábra. Kábelek hosszainak megoszlása



23. ábra. Az 1. cső végimpedanciái a gyártás különböző fázisaiban



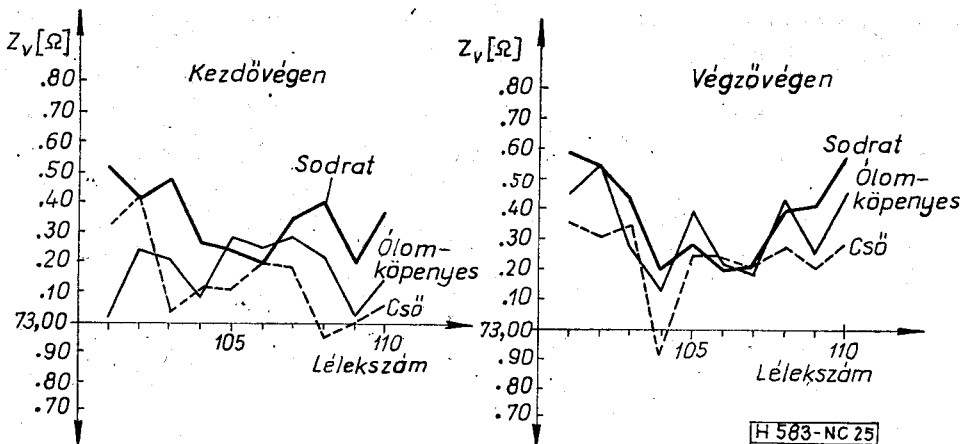
24. ábra. A 2. cső végimpedanciái a gyártás különböző fázisaiban

különböző szakaszaiban hogyan változnak a kábel főbb villamos paraméterei.

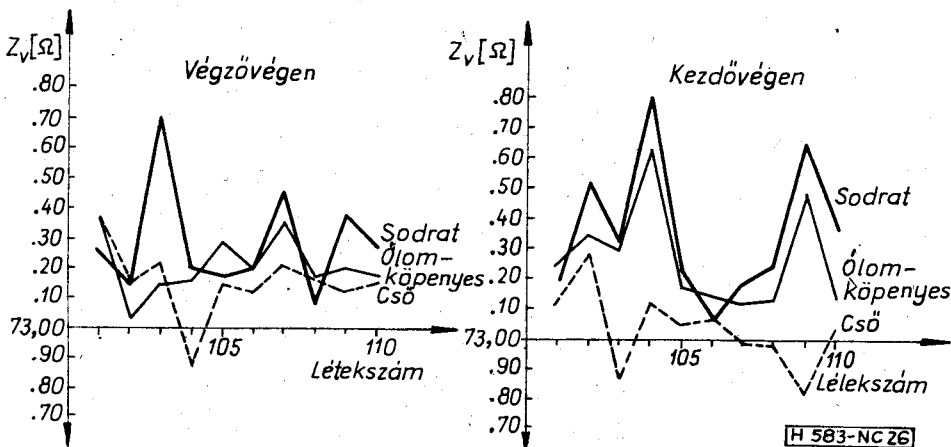
Külön végigkísértük a kezdő és végimpedanciák alakulását cső-, sodrat-, és ólomköpenyes állapotban (23., 24., 25., 26., és 27. ábra). Kimutatást készítettünk a kábelben levő érnégyesek és érpárok üzemi kapacitásának alakulásáról, sodrat- és ólomköpenyes állapotú kábelek esetén (28. és 29. ábra).

A levonható következtetések igen hasznosak lesznek a további gyártás folyamán, hiszen előzetes becslést adnak az indulási paraméterek megválasztására.

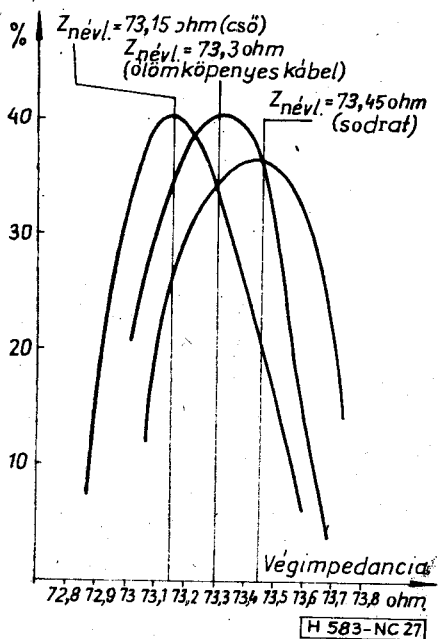
Általános értékelésként mondhatjuk, hogy a kezdő és végimpedanciák átlagértéke 10 km-es gyártási periódust vizsgálva sodráskor kb. 0,3 ohm-mal nőtt, az ólomköpeny rásajtólása után viszont ez a növekedés átlagosan csak 0,15 ohm.



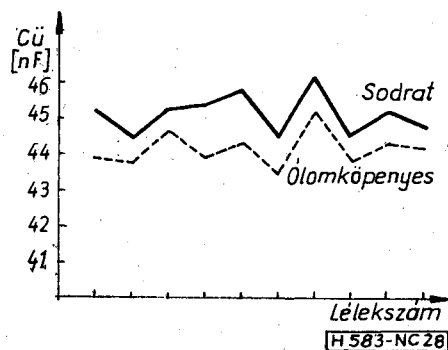
25. ábra. A 3. cső végimpedanciái a gyártás különböző fázisaiban



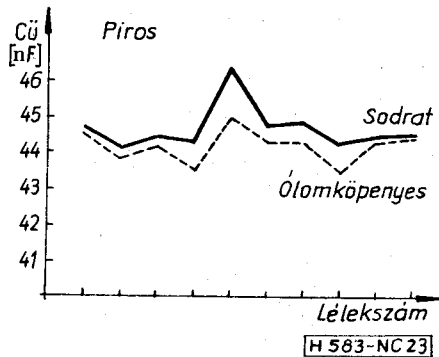
26. ábra. A 4. cső végimpedanciái a gyártás különböző fázisaiban



27. ábra. Az impedanciák eloszlás-függvénye



28. ábra. Érpárok kapacitásváltozása a gyártás egyes fázisaiban



29. ábra. Csillagnégyesek kapacitásváltozása a gyártás egyes fázisaiban

A kapacitások viszont átlagosan 0,5 pF csökkenést mutatnak a sodrott és az ólomköpenyes állapotokat vizsgálva.

Összefoglalás

A műszaki paraméterek vizsgálata és értékelése csak a villamos tulajdonságok eloszlásgörbéjének felvételére terjedt ki, hiszen ezek az átviteli tulajdonságok főbb meghatározói. Nem foglalkoztunk e kábelek tartósságának vizsgálatával, és a várható meghibásodási valószínűség megállapításával sem.

A kábelek tartóssága egyrészt a villamos paraméterek állandóságát, másrészt az alkalmazott védelem hatásosságát jelenti.

A kész kábelt egy sorozat statikus és dinamikus terhelésnek kell alávetni. Az impedanciaváltozásokat, az esetleges reflexiókat az időfüggvénybe regisztráló reflektométerrel kell meghatározni.

Hasonlóan folyamatos mérést kell végezni a kábel fektetése előtt, közben és után. E mérések laboratóriumi meghatározására módszert dolgozunk ki, hogy a várható igénybevételek rekonstruálásával a kábel megbízhatóságára, esetleges meghibásodási valószínűségére mérőszámot alkothassunk.

Az elkészült teljes mennyiség átviteli jellemzőit

vizsgálva megállapíthatjuk (figyelembe véve a minimális selejtet is), hogy egyes jellemzőiben igen jó tulajdonságokkal rendelkező kábeleket készítettünk. Az érpárok, érnégyesek paraméterei, a koaxiális csövek impedanciái, üzemi kapacitása mind cső-, mind pedig készkábélállapotban megfelel a nemzetközi előírásoknak. A csövek maximális reflexiója az egyes gyártási műveletek elvégzése után bizonyos fokú emelkedést mutat, átlagértéke a gyártás minőségének javításával csökkenthető.

A csövekre vonatkozó fontosabb jellemzők előírásait az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Mindent összevetve a fejlődésre még van lehetőség, mind a gyártás, mind az értékelés területén.

I R O D A L O M

- [1] *Béres György*: Magyarországi koaxiális kábelgyártás. Kábelipari Közlemények MKM. 1971. p5.
- [2] *Béres György*: A koaxiális kábelgyártás fejlődése, távlatai a MKM-nél. Kábelipari Közlemények MKM. 1973. p18.
- [3] *Halász László*: A nyugati fő irány kiskoaxiális kábelének mérése. Műszaki Közlemények MKM. 1970. 3/4
- [4] *Détáry György*: Koaxiális kábelek. Műszaki Közlemények MKM. 1963/2
- [5] MKM. Gyártmányismertető; 86.5.1. lap.
- [6] *Kuti Edit*: Sorolási modellek. Kábelipari Közlemények MKM. 1968. p11.