

Habosított polietilén légkábel-érszigetelés élettartam-vizsgálata

ETO 621.315.24:621.315.616.96:678.742.2.—405.8

A korszerű, vazelintöltésű postai földkábelekben a kábelerek tömör polietilén szigetelését a habosított polietilén érszigetelés váltotta fel. Ennek előnyeire, műszaki paramétereire, gazdaságosságának és megbízhatóságának ismertetésére e cikk keretében nem térünk ki, csupán azt vizsgáljuk, hogy elviseli-e a habosított polietilén anyag légkábelek érszigeteléseként a felhasználási igénybevételeket, tehát alkalmazható-e erre a célra.

A habosított polietilén kábel-érszigeteléssel szemben támasztott követelmények, akár földkábelekben, akár légkábelekben kívánjuk felhasználni, közel azonosak, mindössze két pontban térnek el egymástól:

- mivel a légkábelek nem vazelintöltésűek, ezért nem kívánjuk meg a vazelin-állóságot a légkábelekben alkalmazandó habosított polietilén anyagtól, viszont
- a habosított polietilén légkábel-érszigetelő anyagként nagyobb hőigénybevételt kénytelen elviselni, mint a föld alatt, ezért nagyobb hőstabilitást kívánunk.

A habosított polietilén érszigetelés légkábelekhez való alkalmazhatóságának megítélése érdekében tehát az alábbi feladatokat kellett elvégeznünk:

- meg kellett határozni a légkábelek belső hőmérsékletének ingadozását, modellezve az üzemi körülményeket,
- meg kellett állapítani a habosított polietilén érszigetelések hőstabilitását, és
- a kísérleti eredmények figyelembe vételével választ kellett adni arra, hogy a habosított polietilén érszigetelés — 20 évi üzemeltetést feltételezve — alkalmas-e a fokozottabb igénybevétel elviselésére.

1. Légkábel belső hőmérsékletének mérése

1.1. Mérőberendezés készítése

A légkábelek belső hőmérsékletének megállapítására egy folyamatosan működő mérő és regisztráló berendezést terveztünk és építettünk.

A berendezés 4 fő részből áll:

- érzékelők,
- erősítő rész,
- tápegység,
- regisztráló.

Érzékelők

„4 TH” típusú üvegtermisztorokat alkalmaztunk, amelyeknek belső ellenállását úgy választottuk

meg, hogy az 10 k Ω -nál nagyobb legyen. Ebben az esetben a vezetékek ellenállása a mérések pontosságát nem befolyásolta.

Erősítő rész

Az erősítő panelja egy nagy érzékenységű Wheatstone-hidat, egy kétfokozatú IC-erősítőt és egy diódás egyenirányítót foglal magába. Az érzékelő termisztor hőmérséklettől függő ellenállása képezi a Wheatstone-híd egyik ágát. A híd többi ellenállását a mérés időtartama alatt 20 ± 1 °C hőmérsékletű térben tartottuk. Az általunk készített berendezés hat erősítő panelt tartalmaz, tehát egyidejűleg hat mérőhely kialakítását teszi lehetővé.

Tápegység

A berendezést külön tápegységről működtettük. Ez az AC—DC tápegység biztosította a rendszer 15 V-os egyenfeszültséggel való ellátását.

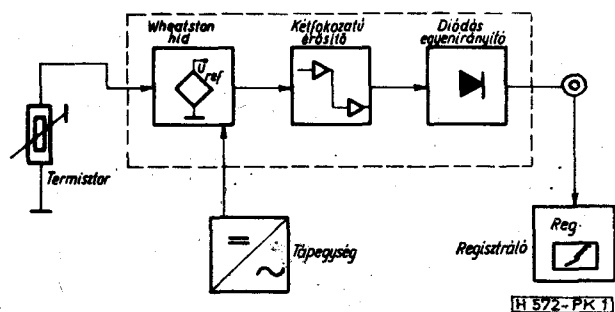
Regisztráló

Ganz gyártmányú, PCA típusú hatpontiró, melynek 4 csatornáját használtuk fel a méréshez. A regisztráló papír 24 órás beosztása megkönnyítette az eredmények értékelését.

A készülék működése

A berendezés a Wheatstone-hidat használja fel a hőmérsékletváltozás indikálására. A híd egyik ágát az érzékelő termisztor képezi. Működés során a hőmérséklet ingadozása következtében változik a termisztor ellenállása, s ez az ellenállás-növekedés vagy -csökkenés a híd kimeneti pontjain feszültségkülönbséget idéz elő. A felerősített jeleket diódás egyenirányító teszi alkalmassá a műszer, jelen esetben regisztráló berendezés működtetésére.

A mérőberendezés blokkvázlata az 1. ábrán látható.



1. ábra. A légkábelek belső hőmérsékletét mérő berendezés blokk-vázlata

1.2. A mérések lefolytatása

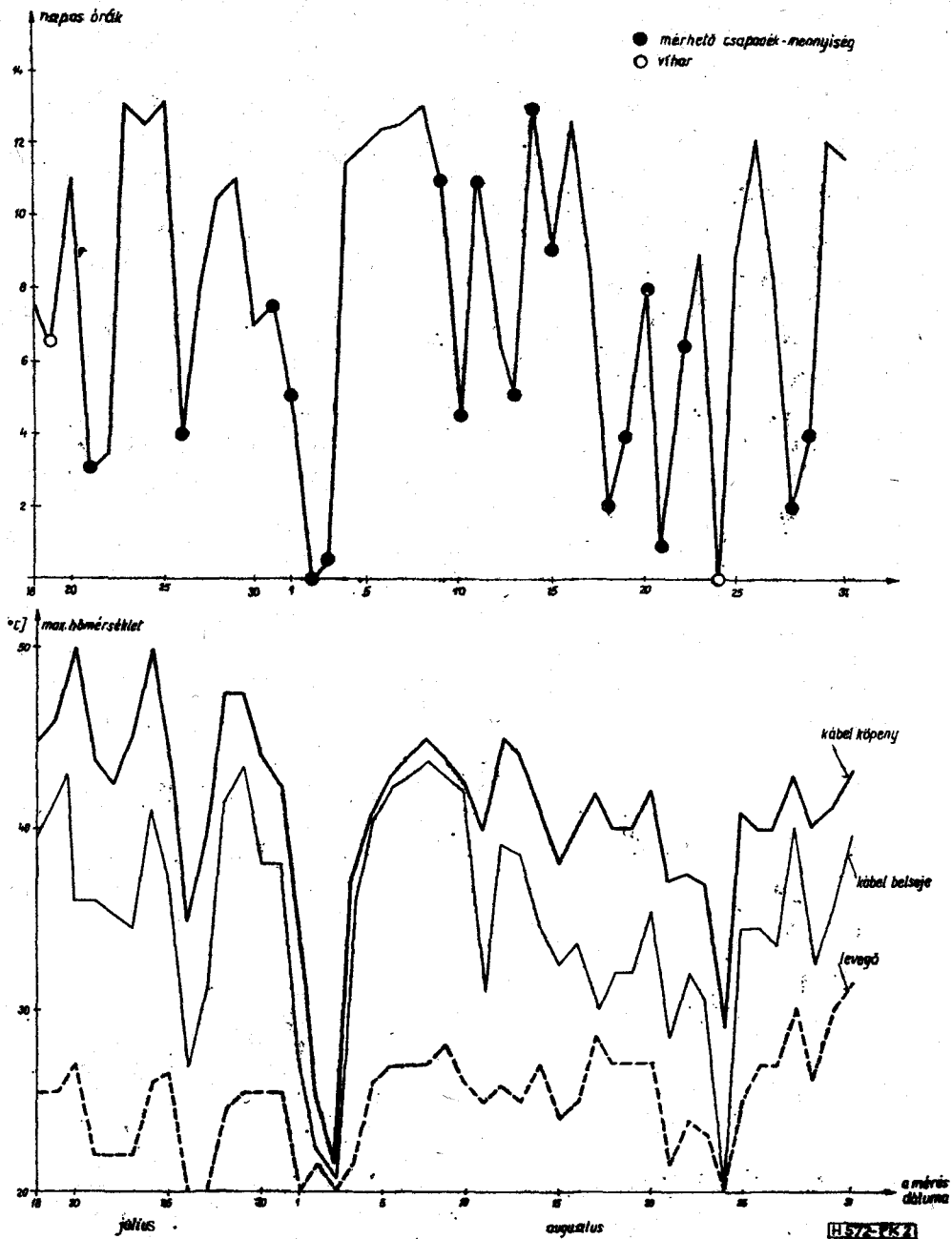
A mérések megkezdése előtt az érzékelő termisztorokat, illetve a mérőhidakat a megfelelő méréshatárra be kellett állítanunk: a termisztorokat klímakamrába helyeztük, s annak hőmérsékletét változtatva a hidak ellenállását úgy szabályoztuk be, hogy a rendszer a +20 °C-tól a +75 °C-ig terjedő tartományban dolgozzék.

A vizsgálatot 7×4-es, polietilén köpenyű, önhordó léghézag 1 m hosszú mintadarabján végeztük. A kábel két középső érnégyesét kihúztuk, s helyébe — kb. 30–40 cm mélyre — két érzékelő termisztor helyeztünk. Az így előkészített kábeldarabot a Posta Kísérleti Intézet tetőteraszán üzemelő kitéli állomáson úgy rögzítettük, hogy a lehető legtöbb napsugárzás érje.

A harmadik termisztor, melyre előzőleg koromtartalmú polietilén csövecskét zsugorítottunk, közvetlenül a kábel mellé függesztettük fel. Ez az érzékelő mérte az ún. „fekete test” hőmérsékletet, melyből jó közelítéssel a kábelköpeny napsugárzástól függő felmelegedésének mértékére következtethetünk.

A negyedik termisztorral a levegő hőmérsékletének változását figyeltük; telepítésénél ügyeltünk arra, hogy mindenkor árnyékban és esőtől védve legyen.

A méréseket 1977. júliusában kezdtük el, s augusztus végéig folyamatosan regisztráltuk a mintakábel belsejének, felületének és környezetének +20 °C-ot meghaladó hőmérsékletét.



2. ábra. A minta-kábel köpenyének és belsejének hőmérsékletingadozása a mérési időszakban (a diagramon párhuzamosan feltüntetjük a levegő hőmérsékletváltozását, és napos órák számát is)

PERÉNYI K.: HABOSÍTOTT POLIETILÉN LÉGKÁBEL ÉRSZIGETELES ÉLETTARTAM VIZSGÁLATA

I. táblázat

A 29. hét adatai

Mérőhely	Óra		METEOROLÓGIA																						
	perc		°C	napst- tés	eső	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	M	A	X			
HELYŐ	L	—	20	20	21,5	24	24	24	24	24	24	25,5	24	24	24	24	24	24	24	25,5	20	25,5	26	7,5	
	F	—	37	37,5	37,5	45	45	45	45	42,5	45	45	45	45	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	45	35	45	37,5		
	B ₁	—	27	28,5	28,5	39	39,5	39,5	36	30,5	36	38	38	38	34,5	34,5	34,5	30,5	30,5	30,5	22,5	30,5	28,5		
	B ₂	—	25	28	28	38	38	37	36	30	66	30	38	38	28	28	66	28	28	30,5	25	30,5	26		
KEDD	L	20	20	20,5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	25,5	20	25,5	26	6,5	X
	F	37,5	40	37,5	38	38	38	38	32	40	32	32	32	38	40	35	40	38	40	46	32	46	37,5		
	B ₁	28,5	28,5	28,5	29	25	25	25	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	24,5	21,5	21,5	21,5	33,5	20,5	33,5	26,5		
	B ₂	28	26	28	30	23	23	30	21,5	28	23	21,5	21,5	21,5	27	23	23	28	27	68	20	68	26		
SZERDA	L	20	20	24	27	24	24	24	25	25,5	25	25	25	24	24,5	25,5	25,5	25,5	25,5	27	21,5	27	27,5	11	
	F	38	38	48	50	45	45	45	42,5	47,5	45	45	46	45	41	47,5	47,5	47,5	47,5	50	37	50	37,5		
	B ₁	23,5	23,5	30,5	43,5	38	42,5	42,5	34,5	38	38	40	40	38	30,5	34,5	34,5	34,5	34,5	43,5	25	43,5	27		
	B ₂	21,5	26	30	42,5	37	40,5	40	35	37	33	40	40	37	30	37	34	30	30	42,5	26	42,5	30		
CSÜTTÖRŐK	L	—	20	20	20	20	20	20	22	21,5	22	21	21	20	20	20	20	20	20	22	20	22	27	3	X
	F	—	38	44	33,5	31	30	30	31	29	31	30	30	31	31	29	29	29	30	44	23	44	30		
	B ₁	—	28	34,5	23,5	21,5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	35,5	20	35,5	20,5		
	B ₂	—	28	34	23	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	36	20	36	20,5		
PÉNTEK	L	—	20	20	20	20	20	20	21,5	20	20	22	22	20	20	20	20	20	20	22	20	22	24	3,5	
	F	—	31	42,5	41	40	40	40	40	37	40	42,5	42,5	42,5	37,5	41	37,5	37,5	42,5	42,5	31	42,5	35		
	B ₁	—	20,5	30	31,5	30,5	33	34,5	32,5	27,5	30	34,5	34,5	33,5	27	30,5	30,5	30,5	36	36	20,5	36	21,5		
	B ₂	—	20	34	30	30	35	34	32	27	30	34	34	34	30	30	27	28	27	35	20	35	23		
SZOMBAT	L	20	20	20	20,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	22	21,5	21,5	20	20	21,5	21,5	21,5	21,5	22	20	22	27	13	
	F	32	35	41	45	44	44	44	39	42	42	42	42	42	41	37,5	40	35,75	42	45	32	45	35		
	B ₁	21,5	23,5	33,5	34,5	35,5	34,5	30	30	28,5	32	33,5	33,5	32	26,5	28,5	26,5	25	34,5	20,5	34,5	20,5	22,5		
	B ₂	20	21,5	30	33,5	34	34	28	28	27	32	33,5	33,5	32	26	27	26	23	21,5	84	20	84	21,5		
VASARNAP	L	20	20	24	25	25	25	25	26	25,5	26	25,5	25,5	23,5	23,5	25	25,5	25,5	25,5	26	20	26	28	12,5	
	F	40	37,5	41	42	47	47	47	45	43	45	45	45	40	40	42	42	42	43	50	35	50	37,5		
	B ₁	23	27	30,5	39,5	39,5	39,5	39,5	38,5	38	38	36	36	32	29	32	32	32	32	42	20	42	25		
	B ₂	21,5	25	30	39,5	38	38	39,5	37	34	34	36	36	37	40	34	34	34	34	40	23	40	25		

Megjegyzés: L levegő hőmérséklete
F „fekete test” hőmérséklete
B₁, B₂ kábel belsejének hőmérséklete

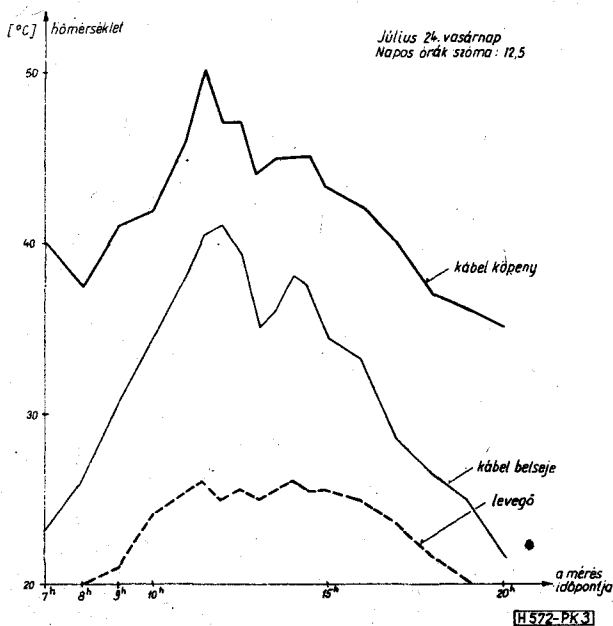
1.3. Az eredmények értékelése

Az érzékelők kalibrációs diagramjainak segítségével a regisztrált műszerkitéréseket °C értékekre számoltuk át, és az így nyert adathalmazt összefoglaló táblázatban heti, napi és óra bontásban fektetjük fel. Az 1. táblázatban példaképpen a 29. hét mérési eredményeit mutatjuk be. A táblázat reggel 7 órától este 20 óráig óránként — a legmelegebb napszakban félóránként — tünteti fel a négy érzékelő °C-ra átszámított kitéréseit. Külön rovatban található az általunk mért napi maximális hőmérsékleti értékek, és a Meteorológiai Intézet által kiadott „Időjárás havijelentés” alapján megállapított napi maximális hőmérséklet, a napos órák száma és az esetleges csapadék is.

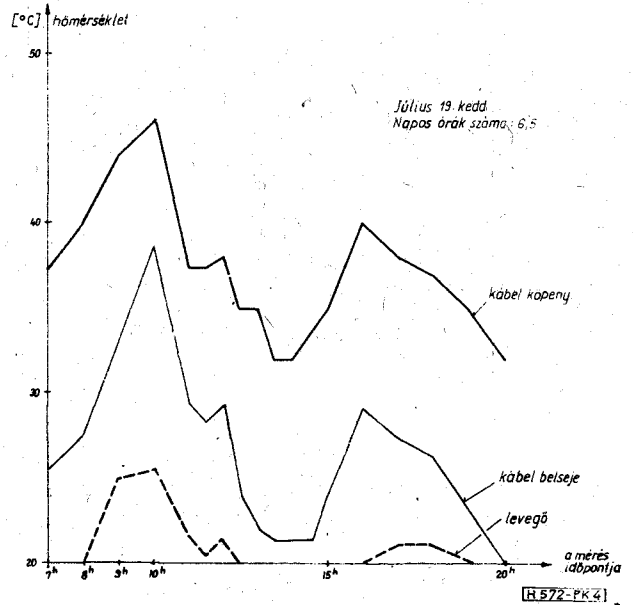
A következtetések levonásának megkönnyítése céljából az érzékelők által mért napi legmagasabb hőmérsékleteket és a napos órák számát közös diagramon ábrázoltuk (2. ábra).

Az 1. táblázat és a 2. ábra adatait értékelve megállapíthatjuk:

- a kábelköpenyt a közvetlen napsugárzás — a mérési időszakban — nem melegítette fel +50 °C fölé;
- a kábel belsejének hőmérsékletét a kábelköpeny és a környezet hőfoka együttesen befolyásolja. Közvetlen napsugárzás hatására a kábelköpeny gyorsan felmelegszik, a környezeti hőmérséklet és a „fekete test” hőmérséklet-különbsége meghaladhatja a +20 °C-t is. A kábel belsejének hőmérséklete mindig alacsonyabb, mint a köpenyé. A kábel köpenyének, és ezzel összefüggésben a kábel belsejének a napsütéstől való függését egy napos és egy esős napon a 3. és a 4. ábrán bemutatott diagramok szemléltetik;
- a mérési időszakban a kábelköpenyen mért napi maximális hőmérsékletek átlaga 41 °C, míg a kábel belsejében 35 °C, a környező levegőnél pedig 25 °C ez az érték.



3. ábra. A levegőnek, a minta-kábel köpenyének és belsejének hőmérsékletváltozása egy derült napon



4. ábra. Átúzó vihar hatása a légekábelben mért hőmérsékletre

Összegezve a megállapításokat kimondhatjuk, hogy a habosított polietilén légekábel-érszigetelések élettartamának becslésénél elsősorban a légekábel belsejének a hőmérsékletét kell figyelembe venni. Ez az érték napsütésnek kitett légekábelek esetében mintegy 10 °C-szal magasabb, mint a környező levegő hőfoka, s csak felhős időben, árnyékos területre telepített kábelek esetében, illetve éjszaka veszi fel a környezet hőmérsékletét.

2. Habosított polietilén érszigetelések hőstabilitásának megállapítása

A habosított polietilén érszigetelések hő hatására történő öregedésének (hőstabilitásának) megállapítására szolgáló vizsgálatokhoz magukat a gyárilag előállított érszigeteléseket használtuk mintaként: 100–120 mm hosszúságú darabokra vágott szigetelt erekből eltávolítottuk a rézhuzalokat, és az így előkészített „üres”, habosított polietilén szigeteléseket egy függőleges tengely körül forgó hordozó keretre felerősítve 100 °C hőmérsékletű laboratóriumi szárítószekrényben öregítettük.

A szárítószekrényből hetente vettünk mintákat, azokat először 24 órán keresztül 20 °C-on és 65% relatív páratartalmú klímaszekrényben állandósítottuk, majd szakítógépen 250 mm/perc sebességgel elszakítottuk. A próbatetek befogási hossza 50 mm volt. A szakítás során regisztráltuk a próbatetek szakadási nyúlását, s azt viszonyítottuk az eredeti, nem öregített minták szakadási nyúlásához.

A minták élettartamának azt az időt tekintettük, amelynek elteltével a megállapított szakadási nyúlások átlaga az eredeti átlagérték 50%-a alá süllyedt. Az a tény, hogy az öregített próbatetek szakadási nyúlása az eredeti nyúlásnak csak 50%-a, még nem jelenti a leöregedett anyagok használhatatlanságát a vizsgálat időpontjában. A polimer anyagoknak ilyen módon definiált élettartama önkényes — de a műanyag-

iparban elfogadott és alkalmazott — megállapodás következménye; a tapasztalat ugyanis azt bizonyítja, hogy a szakadási nyúlás ilyen arányú lecsökkenése után a vizsgált műanyag viszonylag gyorsan tönkremegy, rendeltetésszerű felhasználásra alkalmatlanná válik.

Esetünkben a nem öregített habosított polietilén érszigetelés-minták szakadási nyúlásának átlagértéke 460% volt; a hőregítést 12 hétig folytatva a minták szakadási nyúlásának átlaga 270%-ra csökkent. Ez azt jelenti, hogy a habosított polietilén érszigetelés élettartama 100 °C-on végzett hőregítés után 12 hét felett van. A későbbiekben látni fogjuk, hogy ez az eredmény a habosított polietilén érszigetelés alkalmazhatóságát bizonyítja!

3. Habosított polietilén érszigetelés alkalmazhatóságának elbírálása

A kémiai reakciók sebessége exponenciálisan függ a hőmérséklettől, annak növelése gyorsítja, csökkenése pedig lassítja a lejátszódó folyamatokat [3].

A reakciósebesség hőmérséklet-függését az alábbi képlet fejezi ki:

$$k = A e^{-\frac{E}{RT}},$$

ahol k a szóbanforgó reakció sebességi állandója, E a reakció aktiválási energiája $\left(\frac{\text{cal}}{\text{mól}}\right)$, T az abszolút hőmérséklet Kelvin-fokban $(273 + t \text{ °C})$, R az egyetemes gáz-állandó $\left(1,99 \frac{\text{cal}}{\text{fok mól}}\right)$, A állandó, ún. akciókonstans.

Ha ismerjük egy kémiai reakció aktiválási energiáját, akkor ki tudjuk számítani azt, hogy az adott kémiai reakció egyik hőmérsékleten hányszor gyorsabban vagy lassabban játszódik le, mint egy másik hőmérsékleten. (Ebben az esetben A értékének ismeretére nincs szükségünk).

Ezt a lehetőséget használjuk ki, amikor 100 °C-on végzett öregítési vizsgálatok eredményeiből következtetünk az anyag természetes felhasználási viszonyok között várható élettartamára.

Esetünkben a polietilén termikus aktiválási energiája a szakirodalomban szereplő adatok alapján [4]:

$$E = 12\,000 \frac{\text{cal}}{\text{mól}}.$$

A reakció keresett sebességi állandója a gyorsított hőregítés hőmérsékletén:

$$k_{100 \text{ °C}} = A e^{-\frac{12\,000}{1,99(273+100)}} = A \cdot 9,53 \cdot 10^{-8}.$$

A Meteorológiai Intézet adataiból [5] ismerjük Magyarország évi átlagos középhőmérsékletét (10,7 °C) és a napsütés átlagos mennyiségét (5,4 óra/nap). Saját méréseinkből kiszámítottuk, hogy napsütéses időben a légekábel belső hőmérséklete átlagosan 10 °C-szal haladja meg a környezeti hőmérsékletet; felhős időben, illetve napnyugtától napkeltéig pedig a légekábel belső hőmérsékletét a környezeti hőmérséklet határozza meg, azzal megegyezik.

A habosított polietilén érszigetelés termooxidációjának (hőöregedésének) sebessége az évi átlagos középhőmérsékleten, 10,7 °C-on:

$$k_{10,7 \text{ °C}} = A e^{-\frac{12\,000}{1,99(273+10,7)}} = A \cdot 5,87 \cdot 10^{-10},$$

napsugárzásnak kitett légekábel esetében pedig, 20,7 °C belső átlaghőmérsékletet véve figyelembe (10,7 °C + 10 °C):

$$k_{20,7 \text{ °C}} = A e^{-\frac{12\,000}{1,99(273+20,7)}} = A \cdot 1,21 \cdot 10^{-9}.$$

Ez azt jelenti, hogy 10,7 °C-on 162-szer, 20,7 °C-on 79-szer lassabban öregszi a vizsgált minta, mint 100 °C-on.

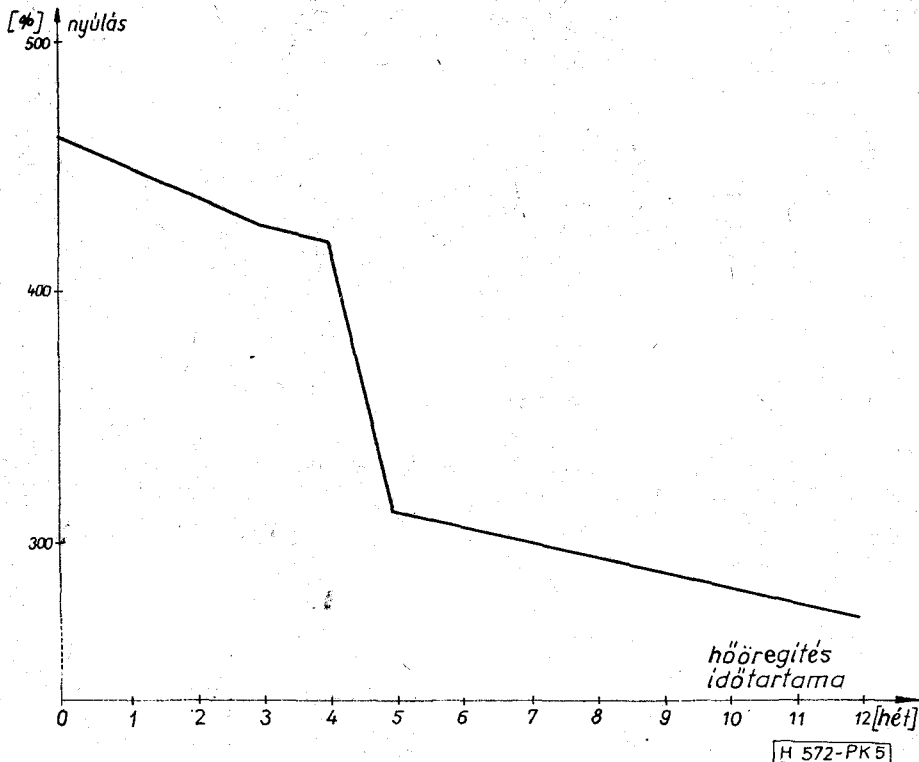
Amennyiben a habosított polietilén érszigetelés-től 20 év élettartamot kívánunk meg, akkor a számítás további menete a következő:

- 20 évben 1040 hét van (52 hét/év);
- az 1040 hétből 234 hét időtartam napsütéses $\left(\frac{5,4}{24} \cdot 1040\right)$, amikor a kábel belsejének átlaghőmérséklete 10 °C-szal magasabb, mint az átlagos környezeti hőmérséklet, tehát 20,7 °C;
- 20 év alatt 806 hétnak megfelelő ideig nincs napsütés, ekkor a légekábel hőmérséklete megegyezik a környezeti átlagos hőmérséklettel, ami 10,7 °C;
- a termooxidáció különböző hőfokra számított sebességi állandóinak figyelembe vételével 234 hét hőöregedés 20,7 °C-on megfelel 3 hét 100 °C-on végzett hőregítésnek, míg a 806 hét 10,7 °C-on 5 hétig tartó hőigénybevétellel egyenlő; ez összesen 8 hét 100 °C-on lefolytatott mesterséges öregítést jelent.

Másképpen fogalmazva: amennyiben a légekábelben a habosított polietilén érszigetelés-től 20 év élettartamot várunk el, akkor a 100 °C-on hőregített próbatetek szakadási nyúlásának átlaga csak 8 hetes igénybevétel után csökkenhet le a kiindulási átlagérték 50%-a alá.

A légekábel érszigetelése várható élettartamának becslésénél ezenkívül figyelembe kell venni az alábbi „könnyítéseket”:

- 100 °C-on a hőöregedés a polietilén teljes térfogatában játszódik le, míg 90 °C alatt a termooxidáció csak az anyag felületét érinti, s ez lényegesen kisebb igénybevételt jelent [6];
- a légekábel belsejének és a szárítószekrényben felfüggesztett próbateteknek az oxigénellátása között különbséget tételezünk fel; arra gondolunk, hogy mivel a levegő-cirkuláció a kábelerek között gyakorlatilag nulla, ezért a „beépített” érszigetelés oxidatív bomlása valójában lassabban megy végbe, mint a szárítószekrényben felfüggesztett mintáké;
- a leglényegesebb különbség a matematikai összefüggésből számított várható élettartam és a természetes igénybevételnek kitett kábel-érszigetelések valódi élettartama között abból adódik, hogy a laboratóriumban végzett hőöregítés során a termooxidáció izoterm légterben játszódik le, üzemi körülmények között viszont — a napi hőmérséklet-ingadozás



5. ábra. Habosított polietilén kábel-érszigetelés szakadási nyúlásának változása 100 °C-on végzett hőregítés hatására

következtében — szakaszos, részletekben történő hőközléssel kell számolnunk. Márpedig — mint tájékoztató méréseinkből kitűnt — a polietilén a szakaszos hőigénybevételt tovább bírja, mintha ugyanazzal a hőmennyiséggel egyhuzamban terhelnénk.

Összefoglalva: megállapítottuk, hogy a vizsgált próbatestek szakadási nyúlása még 12 hét termooxidáció után sem csökkent a kiindulási érték 50%-a, azaz 230% alá. (A szakadási nyúlás—hőregítési idő összefüggést az 5. ábra szemlélteti.)

Laboratóriumi vizsgálataink alapján kimondhatjuk tehát, hogy légkábélek ereinek szigetelésére lehet habosított polietilént alkalmazni. Az érszigetelések várható élettartama természetes igénybevételi viszonyok között több, mint 20 év, s ha az előbbie-

ben felsorolt „könnyítések” is figyelembe vesszük, úgy még hosszabb felhasználási időtartamra számíthatunk.

IRODALOM

- [1] Perényi Károly: Polietilén vizsgálatok (kutatási jelentések, nem publikált anyag).
- [2] „Időjárás havijelentés” 1977. július és augusztus. Országos Meteorológiai Intézet kiadványa.
- [3] Erdey-Grúz Tibor: A fizikai kémia alapjai. Műszaki Könyvkiadó, 1969.
- [4] Verdu: Comportement des films en polyéthylène b. d. Plastiques modernes et élastomères, 1973. mars.,
- [5] Klimatizáció. Híradástechnikai tájékoztató közlemények. HIKI. 1958.
- [6] Sztoljarov: IV spektroszkópiai módszer alkalmazása nagymolekulájú vegyületek oxidációs folyamatainak tanulmányozására. OMKDK ford. 166940.