

POLIETILÉN CSÖVEK ÉLELMISZERIPARI ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

POSSIBLE APPLICATIONS OF POLYETHYLENE PIPES IN FOOD INDUSTRY

GUNCZER László

SZTE SZÉF

ÉLELMISZERIPARI MŰVELETEK ÉS KÖRNYEZETTECHNIKA TANSZÉK

ÖSSZEFOGLALÓ

Napjainkban a fém szerkezeti anyagok mellett egyre több korszerű anyagot használunk, melynek egyik legelterjedtebb csoportját a műanyagok képviselik.

A DÉGÁZ Rt. területén a földgáz szállítására kemény polietilén csöveket már a 70-es évek elejétől használ. Munkatársai meghatározzák, és részletesen vizsgálják a különböző gyártású polietilénből készített csövek mechanikai tulajdonságait (szakítószilárdság, ütőmunka, keménység, reológia, stb.), fizikai jellemzőit (pl. permeabilitás, hőrevezíós tulajdonságok és egyéb termikus sajátosságok), továbbá biológiai és kémiai tulajdonságait. Megállapítják azon vizsgálatok körét, amellyel az alkalmazott csövekben az elmúlt évek, évtizedek alatt bekövetkező változások kimutathatók. A méréseket kiválasztott minták alapján végzik laboratóriumukban.

Ebben a munkában szeretném összefoglalni az általam oktatott két területen – műszaki anyagszerkezettan és műszaki áramlástan – elért eredményeimet az ipar számára hasznosítható formában.

Publikációnkban a műanyagok élelmiszeripari alkalmazhatóságának vizsgálatát vesszük témául, melyben konkrétan a polietilén – mint műanyag altípus – játszik majd fontos szerepet. Vizsgálatunk célja, hogy feltárjuk és egyben bemutassuk a felhasználhatósági lehetőségeket, ahol az említett polietilén újszerű használatot jelentene az ipar – elsősorban az élelmiszeripar – egyes területein.

ABSTRACT

Besides metals several modern structural materials are used nowadays, the most widely spread of which are plastics.

DÉGÁZ Rt. (gas service company of south Hungary) have used hard polyethylene gas pipes since the early 70s. The company's employees keep examining the mechanical (tensile strength, impact resistance, hardness, rheology, etc.), physical (permeability, thermoresistance ability, etc.), biological and chemical characteristics of different polyethylenes. They define the types of examinations which are suitable to detect the different changes undergone in the polyethylenes during the past years or decades. The samples are being examined in the company's laboratories.

In the present paper an account of the results is given achieved in the two fields I am teaching – metallography and rheology.

In our research the possible applications of plastics – especially polyethylene – were focused on in industry, with special respect to food industry. These forms of applications are highlighted in this paper.

1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A figyelembe vett szempontok az élelmiszeriparban alkalmazott termékszállító csövekkel szemben támasztott követelmények alapján a szakirodalom feldolgozása, a személyes tapasztalat és a megkérdezettek véleménye alapján:

- ✓ a cső anyaga ne lépjen reakcióba az élelmiszerrel (pl. kémhatás, hőhatás, mechanikai hatás, biológiai vonatkozások, stb.);
- ✓ tisztítható legyen, amelynek feltételei:
 - ◆ a megfelelő belső felületi simaság;
 - ◆ a sav-, lúg-, hőállóság és a nyomásállóság;
- ✓ alkalmas legyen szerelvények, toldalékok hozzáerősítésére, azaz forgácsolható és hegeszthető legyen;
- ✓ megfelelő mechanikai tulajdonsággal rendelkezzen;
- ✓ az öregedés vagy elhasználódás minimális legyen, pl. a fénnel szembeni érzéketlenség;
- ✓ megfelelő korrózióállósággal bírjon, azaz a korrózió által okozott anyagpusztulás mértéke minimális legyen és az így keletkezett új anyag ne okozzon egészségre ártalmas hatásokat;
- ✓ megfelelő mértékben bírja el a más anyaggal való elektrokémiai kontaktust (pl. a csőökötés, csőfelfüggesztés helyén);
- ✓ feladatával arányban álló költséggel beszerezhető legyen.

Természetesen tisztában vagyunk azzal a ténnyel, hogy a műanyagok nem helyettesíthetik a fémeket az ipar minden területén, viszont számos területen előnyösebb alkalmazhatóságot nyújtanak. A szakítószilárdság a köznapi életben a polimerek esetében 1-2 nagyságrenddel kisebb a fémekénél, a rugalmassági modulus esetében viszont csak maximum 1 nagyságrend a különbség a fémek javára. A korszerű műszaki polimerek viszont ezen arányokat alaposan elhangolják. A szuperszilárd polietilén (HPPE) szilárdsága meghaladja, míg a rugalmassági modulusa eléri az acélét.

Polimerek alkalmazásának előnyei lehetnek:

- alacsony sűrűség;
- nagy fajlagos szilárdság;
- korrózió-, valamint vegyszerállóság;
- kiváló szigetelő képesség;
- rugalmasság.

Polimerek alkalmazásának hátrányai lehetnek:

- kis hőállóság;
- gyúlékonyság.

A vizsgálatunk tárgyát a felhasználhatóság szempontjából az ún. ultranagy molekulatömegű (UHMW-PE) polietilénből készült csövek jelentik

Szabó et. al. munkáját áttekintve többek között a tisztítási technológia eljárás-paramétereinek optimális lehetőségeit vizsgáltuk, amely fontos szempontokkal egészíti ki a polietilén csövek élelmiszeripari alkalmazhatóságának lehetőségeit.

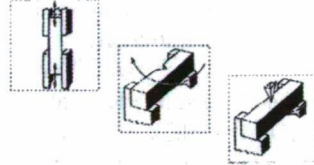
2. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A vizsgálatunk legelőször a polietilén cső anyagának mechanikai jellemzőire irányult, amely értékes paramétereket szolgáltatott a cső szilárdsági ellenőrzéséhez. Ezt követően egy áramlástechnikai mérőkört terveztünk beépített tartállyal, mérőórákkal, szerelvényekkel és

szivattyúval, amely tartós (akár több napos) üzem után megmutatja az áramló élelmiszer fizikai – kémiai tulajdonságainak a cső anyagára – főleg a polietilén csőszakasz anyagára – gyakorolt hatását, amelyek közül is elsősorban az abráziót és a kémiai hatást tartottuk a legfontosabbnak.

A mechanikai vizsgálatokkal meghatározható tulajdonságok:

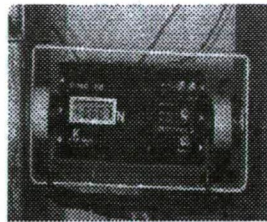
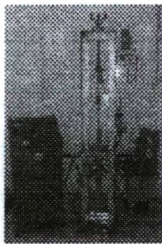
- ✓ húzó- és nyomóvizsgálat;
- ✓ ütőmunka-vizsgálat;
- ✓ dinamikus (Shore) keménységmérés;
- ✓ összetett kúszásvizsgálat;
- ✓ kifáradásra történő vizsgálat.



A vizsgálatunk mechanikai részét elsősorban a húzó- és nyomóvizsgálattal megállapított eredmények kiértékelése jelentette, mert a szilárdsági számításokhoz az elsődleges paramétereket ezek nyújtják. A tartós üzemi mechanikai vizsgálatok eredményeit (hiszen voltak értékeink) azért nem vettük számításba (kúszás illetve relaxáció, továbbá a kifáradás), mert a max. 120 °C-os tisztítási hőmérséklet a szakirodalom szerint számottevően nem befolyásolja a nevezett polimer (UHMW-PE) szakítódiagramját, illetve a megfelelő alátámasztás, meghatározott igénybevétel és a kellő falvastagság feleslegessé teszi ennek a bonyolult kiértékelésnek a szükségességét (természetesen igény szerint megoldható).

A terhelés elvétele után a nyúlás mértéke csökken, de az alakváltozás nem szűnik meg teljesen, ugyanis megmarad egy ϵ_m maradó nyúlás.

A szabvány alapján a munkadarabot egyenletes húzó-igénybevétellel 50 másodperc időtartamon keresztül az eredeti hosszhoz képest 8,4 mm-rel kellett megnövelni. A művelet eredményeit tartós (24 órás) igénybevétel után egy beépített személyi számítógépről kértük le.



1. ábra. Az alkalmazott szakítógép és annak erőmérő műszere

Hogy milyen tulajdonsággal bírnak a koptató (abrazív) hatású folyadékok a velük érintkező anyagokkal? Ennek bemutatásához tekintsük meg a 2. ábrát, ahol az abrazív szemcse forgácsoló hatásának mechanizmusa, továbbá egy ~ KO 33 korrózióálló acélból készült tejipari homogénező (STORK) homogénező dugattyúját figyelhetjük meg hosszú ideig tartó kakaóital homogénezése után.

Ha az áramló folyadék szuszpendált szilárd részecskéket tartalmaz, ezek mechanikai hatása kézenfekvő és a kopás mértéke főleg az adott alkatrészen az áramló szemcse keménységétől és energiájától függ és csak kismértékben az adott alkatrész alakjától vagy keménységétől.



2. ábra. Az abrazív hatású folyadékok roncsoló hatása

A kopást befolyásolja továbbá, hogy az áramló közegben lévő szemcsék milyen szöghelyzetben ütköznek a súrlódó felülethez. A legkedvezőbb ebből a szempontból, amikor a koptató szemcsék párhuzamosan mozognak a felülettel, ami lamináris áramlást tételez fel. Szivattyús rendszerben az áramlás gyakorlatilag minden esetben turbulens (örvénylő vagy gomolygó), így a szögbeccsapódás növeli a kopást, amely értéke még a koptató szemcse rugalmasságától is függ, illetve milyen kemény a súrlódó felület. A rideg felületek nagyobb szögbeccsapódás esetén jobban kopnak. A kavitáció a koptató hatást fokozza. A nagy sebességgel áramló folyadékok felületi roncsoló hatása közismert, amelyet a kavitáció okozza, szemcsék jelenléte nélkül is. A kavitáció – amint az köztudott – egy dinamikus jelenség, amelyet az áramlás hidrodinamikai és a folyadék fizikai tulajdonságai határoznak meg.

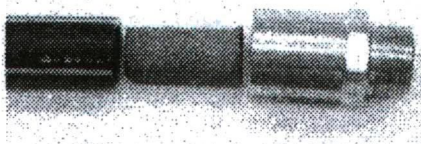
Az alkatrészek (gépelemek) kopásának – abráziós kopásának – vizsgálatát szemrevételezéssel, abszolút kopásméréssel (tömegmérés előtte, utána), illetve relatív kopásméréssel (azonos körülmények között egy adott anyagból készül azonos geometriájú gépelem hányszor kopik gyorsabban, illetve lassabban, mint a másik) fogjuk majd mérni.

A fentiekből következik, hogy mind a mechanikai, mind a vegyszerállósági és bakteriológiai tulajdonságok miatt van lehetőség a polietilén csövek élelmiszeripari alkalmazására. Az anyag tulajdonságai miatt azonban meg kell határozni a lehetséges funkciókat és a területeket, a lehetőségeket gondosan mérlegelni kell.

A peremfeltételek meghatározásánál

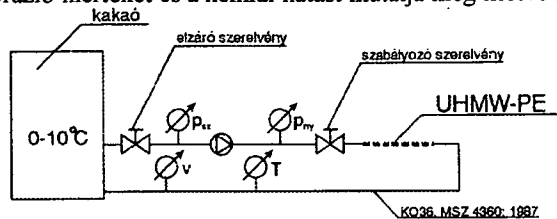
- a csöveget terhelő belső vagy külső nyomást;
- az üzemi hőmérsékletet;
- és a hővezető képességet;

tartjuk a legfontosabbnak. Az első két tulajdonság együttesen hat, hiszen a polietilén cső szilárdsági, mechanikai tulajdonságai hőfokfüggők. A hővezető képesség az alkalmazási környezetet befolyásolja. Mindezt egybevetve van még egy fontos szempont, ez pedig a csökkötések, elzáró-szerelvényekhez való csatlakozás technikai megoldásainak elemzése és kiválasztása, mert nem hagyhatjuk figyelmen kívül egy nagyobb rendszerben (gép, feldolgozó gépsor, szállítóegység) a rendszer minden elemére azonosan megkövetelt élelmiszerhigiéniai követelményeket. (Tisztítható és csírátlanítható kell legyen a folyamatban résztvevő elemek felülete.) Az acél és a polietilén csőelemek átváltásának, összeerősítésének egyik lehetséges technikai megoldása a 3. ábrán figyelhető meg.



3. ábra. Poliétilén és acélcsövek, továbbá idomok átváltásának technikai megoldása

A polietilén cső élelmiszeripari alkalmazhatóságát vizsgáló mérőkör elvi vázlata a 4. ábrán látható, amely az abrázio mértékét és a kémiai hatást mutatja meg illetve modellezi.



4. ábra. A polietilén cső élelmiszeripari alkalmazhatóságát vizsgáló mérőkör modellezése

A hidraulikai számítás kiinduló összefüggése:

$$H_{cs} = H_{st} + \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{\ell_i}{d_i} \cdot \frac{v_i^2}{2g} + \sum_{j=1}^m \xi_j \frac{v_j^2}{2g} \quad [m].$$

ahol:

- H_{cs} : a mérőkör veszteségmagassága [m];
- H_{st} : a mérőkör statikus veszteségmagassága [m];
- λ_i : az egyenes csőszakaszok csőúrlódási tényezője;
- ℓ_i : az egyes egyenes csőszakaszok hossza [m];
- d_i : az egyes csőszakaszok átmérője [m];
- $v_{i,j}$: az áramlási sebesség az egyes szakaszokban [m/s];
- ξ_j : az egyes szerelvények veszteségtényezője.

A fenti egyenlet némiképpen egyszerűsödik, hiszen a geometriai szintkülönbség a szívó és a nyomó ág között zérus, továbbá számottevő nyomáskülönbség a nyomóágban nincs (pl. hőcserélő nem üzemel itt). A csőátmérők mindenhol ugyanakkorak, így a kontinuitás törvénye értelmében a sebességek sem változnak. Tehát:

$$[m].$$

A hidraulikai számítás elvégzése után és a csőrendszer paraméteres egyenlete segítségével felrajzolt jelleggörbe révén lehetőségünk fog nyílni a mérőkör szivattyújának kiválasztására, amely a WILO-NORM egyfokozatú épületgépészeti örvényszivattyúk közül kerül kiválasztásra, amelynek anyaga Öv 250 lemezgrafitos vasöntvény az MSZ 8280:1991 szabvány szerint. Ez az anyagminőség viszonylag jó korrózióálló védelmet biztosít a szivattyú számára. A termék védelméről jelen esetben nem kell gondoskodnunk, hiszen a termék a kísérlet után már nem kerül felhasználásra.

3. A MÉRŐKÖR HIDRAULIKAI ELLENŐRZÉSE

A korrózióálló acélcső méretei:

- külső átmérő: $d_k = 50 \text{ mm}$;
- falvastagság: $s = 1 \text{ mm}$;
- belső átmérő: $d_b = d_k - 2s = 48 \text{ mm}$;
- hossza: $= 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$.

A cső varratnélküli hidegen alakított acélcső az MSZ 2898-1:1980 szerint, anyaga: X12CrNiTi189 MSZ 4360 (KO36 Ti).

A vizsgált (UHMW-PE) poliétilén cső méretei:

külső átmérő: $d_k = 52 \text{ mm}$;
falvastagság: $s = 2 \text{ mm}$;
belső átmérő $d_b = d_k - 2s = 48 \text{ mm}$;
hossza: $= 0,2 \text{ m} = 200 \text{ mm}$.

$1,2 \text{ m} = 1200 \text{ mm}$.

A cső belső térfogatának kiszámítása:

tehát a tervezett 5 literes tartály megfelel, miután $V_{\text{tartály}} \cong 2 \cdot V_{\text{cső}}$.

A hidraulikai számítás menete

A Reynolds-szám (Re):

ahol:

d_b - a cső belső átmérője: $0,048 \text{ m}$;
 v - az áramlási sebesség: 1 m/s ($1-3 \text{ m/s}$ között választva);
 ρ - a folyadék sűrűsége: 1025 kg/m^3 (a tej átlagos sűrűsége);
 η - a folyadék dinamikai viszkozitása: $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Pas}$ (a nyerstej átlagos dinamikai viszkozitása).

Így:

Ahogy vártuk $Re > Re_{\text{kritikus}} = 2320$, így az áramlás turbulens.

A csőúrlódási tényező (λ) a Moody-diagramból:

k - abszolút érdesség: $0,02 \text{ mm}$;

- relatív érdesség:

Ezen adatokból és a diagram segítségével: $\lambda = 0,03$.

A veszteségi tényezők (ξ) értékei (Böhl, W, 1983):

2 db 90° -os ív: $0,15$;

2 db elzáró- szabályzó szerelvény: $\xi = 20,7$ ($\varphi = 45^\circ \Rightarrow$ közbenső érték);

4 db nyomásmérő, illetve sebesség- és hőfokmérő csatlakozás: $= 0,1$;

1 db kilépő csőcsatlakozás: $\xi = 3,0$;

1 db belépő csőcsatlakozás: $\xi = 3,0$;

Az egyenlet átalakítása a csővezeték jelleggörbéjének felvétele céljából:

azaz:

⇒ áramlástechnikai szempontból állandó (c), így:

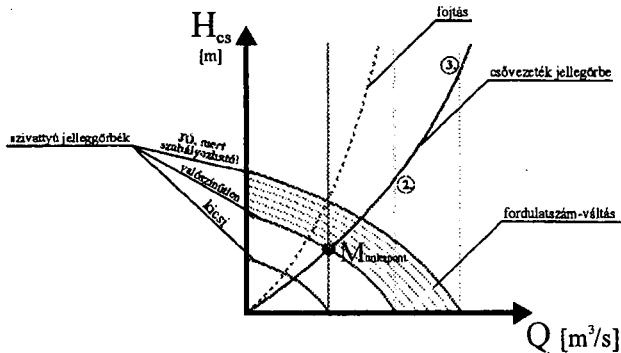
Az állandó értéke (c):

A csővezeték jelleggörbéjének felvétele: $v = 1$ m/s; 2 m/s és 3 m/s sebességekkel meghatározható térfogatáramok esetén:

I. táblázat A csővezeték jelleggörbéjének ábrázolásához felvett pontok koordinátái

v	Q	H _{cs} [m]
1	$1,81 \cdot 10^{-3}$	≈2,43
2	$3,61 \cdot 10^{-3}$	≈9,75
3	$5,43 \cdot 10^{-3}$	≈21,9

A pontok alapján megszerkeszthető a csővezeték $H = f(Q)$ jelleggörbéje és berajzolható a munkapont (M) helye is (5. ábra). A számított és a becsült értékek alapján a munkapont koordinátái:



5. ábra. A csővezeték és a szivattyú $H = f(Q)$ jelleggörbéje a szivattyú kiválasztásához

A szilárdsági számítás összefüggése:

A munkánk során több, más feladat mellett szükséges az alkalmazott polietilén cső szilárdsági méretezése, amelyet az egyszerűsített kazánformula segítségével végeztünk el, azaz:

$$[N/m^2]; \text{ ebből következik: } \quad , [m];$$

ahol:

- σ - az anyagra 20 °C-on megengedett feszültsége [Pa];
- p - a közeg nyomása [Pa];
- d_k - a cső külső átmérője [m];
- v - a cső falvastagsága [m].

A szerkezeti anyagok (nyersvas, acél) tömegegységre vonatkoztatott ára alacsonyabb, mint a feldolgozható műanyagoké, viszont a legelterjedtebb műanyagok (PVC, PE, fenolplasztok) térfogategységre vonatkoztatott ára nem éri a színesfémek vagy saválló acélok árát. Ha tehát a műszaki szempontok megengedik a műanyagok használatát a fémek helyett, akkor viszont műanyag-felhasználás gazdaságosabbnak mutatkozik. Bizonyos esetekben a műanyagból gyártott termékek illetve féltermékek hulladékmentesebb és olcsóbb feldolgozást eredményeznek, mint a hagyományos anyagok, ahol több munkamenetben és nagyobb hulladékképződéssel gyártanak.

4. GAZDASÁGOSSÁGI SZÁMÍTÁS

II. táblázat. Az 1. eset: a mérőkör csőelemei KO36 rozsdamentes acélból

Nettó ár	Bruttó ár
Σ 105 042 Ft	Σ 131 302,5 Ft

Az árak a Ventil Kft. (Szeged, Bakay N. u.) árlistái alapján lettek összeállítva.

III. táblázat. A 2. eset: A mérőkör polietilén csőszakaszokból áll

Nettó ár	Bruttó ár
Σ 102 472 Ft	Σ 128 090 Ft

Ebben az esetben az árak a Ventil Kft. (Szeged, Bakay N. u.) és a KOL-KER Kft. (Szeged) árlistái alapján lettek összeállítva.

A második esetben a polietilénből készülő mérőkörben, a számított szükséges csőhossz: 1,2 méter ellenére csak minimum 6 méteres kiszerezésű szálak állnak rendelkezésünkre. Mivel a mérőkör finansziális okokból nem valósult meg, így csak elméleti szinten tudunk foglalkozni a kidolgozással. Amint azonban ez a műszaki gond az érintet intézmények közül bárkinek fontossá válik, úgy e probléma kidolgozása további fejlesztésre kerülhet.

Feltételezéseink szerint a polietilén cső élelmiszerezszállítás szempontjából bizonyos folyékony élelmiszerekre alkalmas (pH-tól függetlenül), de szemcsés anyagokat szállítóira nem.



IRODALOM

1. Bodor, Géza – Vas, László M.: Polimer anyagszerkezettan. *Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.*
2. Böhl, Willi: Műszaki áramlástan. *Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.*
3. Ember, Mihály szerk.: Mezőgazdasági gépek javítása. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1983. A Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karának jegyzete.*
4. Forgács, E., Korányi, M., Szabó, G. (1995): Tisztítási technológia eljárás-paramétereinek optimalizációs lehetőségei. *Szakmai Szimpózium'95 (Scientific Symposium'95), KÉE Élelmiszeripari Főiskolai Kar, Szeged. 1995. január 26.*
5. Frischherz, Adolf szerk.: Fémtechnológiai táblázatok. *B+V Lap- és Könyvkiadó Kft. Budapest, 1997.*
6. Kalácska, Gábor szerk.: Műszaki műanyagok gépészeti alapjai, *Minerva-Sop Bt., 1997.*
7. Kovács, Lajos szerk.: Műanyag zsebkönyv. *Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979.*
8. Mirzoev, R. G.: Gépelemek műanyagból. *Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.*
9. M+T KKT, Mészáros és tsai szerk.: Polietilén KPE nyomócsövek és nyomócső rendszerek építése, *Budapest, 1996.*
10. Pálfi, Zoltán: Vegyipari készülékek szerkesztési atlasz, *Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1986.*
11. Szabó, Miklós: Gépészeti tervezési segédlet. *Sigma 3000 Bt. Szombathely, 2000.*
12. Szabó, G., Koltai, A. (1996): Ipari üzemek sűrített levegőhálózatának energetikai mérése. *Szakmai Szimpózium'96 (Scientific Symposium'96), KÉE Élelmiszeripari Főiskolai Kar, Szeged. 1996. február 12.*
13. Szabó, G., Balogh, S. (2000): Innovációk és az élelmiszeripari minőségügy kapcsolata. *Az európai unió agrárgazdasága 10. Sz. Pp. 12-17.*
14. WILLO terméktájékoztatók közül a szaniter katalógus (Wilo-szivattyúk, szivattyú-rendszerek és tartozékok) 2000/2001: <http://www.wilo.hu>
15. Magyar Élelmiszertkönyv (Codex Alimentarius Hungaricus): 1-2-90/128 számú előírás: Az élelmiszerekkel érintkezésbe kerülő műanyagok és műanyag tárgyak; 1-2-89/109 számú előírás: Az élelmiszerekkel érintkezésbe kerülő anyagok és áruk minőségi követelményei; 1-2-82/711 számú előírás: Az élelmiszerekkel érintkezésbe kerülő műanyagok és műanyag tárgyak komponenseinek kioldódási vizsgálatai.
16. A Nemzeti Szabványok Jegyzéke 2001.: ICS kód 23.040.20: Műanyag csövek; 23.040.45: Műanyag csőidomok; 67.250 Élelmiszerekkel érintkező anyagok és cikkek; 83.080.01 Műanyag általában; 83.080.20 Hőre lágyuló műanyagok; 83.140.30 Műanyag csövek, csőszerelvények és szelepek.