

ENERGETIKA ÉS KÖRNYEZETSZENNYEZÉS*

LÉVAI ANDRÁS**

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

Az emberi környezet legkedvezőbb kialakításával a Kormány által a közelmúltban jóváhagyott országos szintű kutatási célprogram tervtanulmány vázlata foglalkozik. A célprogram elérendő kutatási fejlesztési célként egyebek között az ember környezetének hatékony védelmére szolgáló műszaki, gazdasági és igazgatási jellegű intézkedések tudományos megalapozását jelöli meg, különösen figyelembe véve a levegőt, az élővizeket és a talajt szennyező ártalmas hatásokat. A talajszennyezéstől eltekintve, ebbe a kategóriába elsősorban az energiahordozók termelésével, azok szállításával, átalakításával, főként pedig a felhasználással járó ártalmak tartoznak.

Amikor az energetikai környezetszennyezés globális képét, a mai helyzetet és a jövőre vonatkozó trendet igyekszünk felvázolni, okvetlen célszerű előbb hazánktól elvonatkoztatva, Földünk egészére kiterjeszteni a vizsgálatot. Így annak érdekében, hogy az energiahordozók következtében keletkező környezetszennyezéseket felmérhessük, először az *energiaigények várható alakulását* kell felmérni. A különböző helyeken végzett becslések szembeállítását az 1970. évi tényfelhasználással az 1. táblázat mutatja; e szerint az évezred vé-

1. táblázat

Összenergia 10^9 t el/év

1970	2000
6,7	(20) ÷ 28 ÷ (36)

gére a jelenlegihez képest mintegy 3–5-ször annyi lesz az összenergia felhasználás [1, 2, 3].

Az *energiahordozók százalékos megoszlását* jelenleg, illetve az évezred végére a 2. táblázat jelzi [1, 4]; a szénhidrogének, ill. a nukleáris energiahordozók irányába történő fokozatos megoszlás-eltolódásnak a környezetszennyezés szempontjából nagy, a későbbiekben bővebben tárgyalandó jelentősége van.

* A Műszaki Tudományok Osztályának 1972. május hó 9–10. tudományos ülésén elhangzott előadás.

** Prof. Dr. Lévai András, 1022 Budapest, Fillér u. 56.

2. táblázat

Energia hordozók megoszlása, %

	1966	2000
Szilárd	39,7	15
Folyékony	36,0	32
Gáznemű	17,6	27
Nukleáris	} 6,7	22}
Egyéb, víz		4}

3. táblázat

Energiahordozó-készletek, 10^{12} t et

Szilárd	6,3 — (8,5 ÷ 12)
Szénhidrogén	0,6 ÷ 1,0
Nukleáris	0,3 ÷ 0,7 ÷ 2,5 (300 ÷ 2000)

Annak érzékeltetésére, hogy a várható igényekkel szemben milyen *készletek* állnak rendelkezésre, tájékoztatásul szolgálhat a 3. táblázat. Ehhez az alábbi megjegyzéseket lehet fűzni:

— a *szilárd energiahordozókra* jelzett készlet a 2000-ik évig becsült fogyasztás és az évenként 2,3%-os növekedés figyelembevételével kb. 2100–2200-ig elegendő természetesen abban az esetben, ha újabb nagy készleteket nem fedeznek fel [1, 5];

— a *szénhidrogén készletek* változnak tudvalevőleg a legdinamikusabban. A jelenleg geológiailag lehetségesnek tartott készletek, amelyeket a fenti táblázat jelez, a jelenlegi 8,5%/éves fogyasztás növekedésnél lényegesen kisebb (mintegy 5 ÷ 6%-os) fogyasztás növekedés mellett is 40 ÷ 50 év alatt elfogynának, de bizonyára fognak még újabb jelentős készleteket találni [3, 6]; az emberi környezet szempontjából nem közömbös azonban, hogy az újonnan feltárt mezők zöme tengerek alatt van, a kitermelés potenciális veszélyt jelenthet;

— az igények és készletek szembeállításánál a legnehezebb a *nukleáris energiahordozók* problémaköre. Kiindulva abból a tényből, hogy ma a világon mintegy 33 000 MWe atomerőmű üzemel és ez a kapacitás 1980-ig mintegy 300 000 MWe-re, 2000-ig becslésszerűen 0,8 ÷ 5 millió MWe-re fog növekedni [7, 8], megbecsülhető lenne az alapanyag fogyasztás, ha tudnók távlatilag a villamosenergia egységéhez szükséges uránmennyiséget számítani. A mai legelterjedtebb, ún. nyomottvizes típusú atomreaktorok a betáplált hasadóképes anyag energiatartalmának csak mintegy 4 ÷ 5%-át hasznosítják. Ha a betáplált üzemanyagról visszszámolunk az uránérc fémtartalmára, tehát figyelembe vesszük az érc- és urándúsítás veszteségeit, az atomerőmű hatás-

fokát, az újrafeldolgozás és tárolás veszteségeit, továbbá az újonnan épülő atomerőművekben lekötött mennyiségeket, akkor azt kapjuk, hogy az ércben levő hasadóanyag ún. anyaghasznosítási hatásfoka ma csupán $0,16 \div 0,24\%$ [9]. Ez a rendkívül alacsony érték az ún. *egyensúlyi*, tehát termikus és gyors (szaporító) reaktorokból álló rendszer esetén legjobb esetben kb. 20-szorosára, tehát $3 \div 6\%$ -ra nő [9]. De még ennél a bizonytalanságnál is sokkal nagyobb a készletek nagyságában rejlő bizonytalanság. A ma gazdaságosan kitermelhetőnek tartott mintegy 700 000 tonna U_3O_8 tartalmú uránérc-készlethez hozzávéve a kb. ugyanilyen nagyságrendű közel gazdaságos készleteket [2], az a fent említett atomerőmű építési program és a számított anyaghatásfokok figyelembevételével mostantól számítva 20 ÷ 30 év alatt elfogy. Nyilvánvaló azonban, hogy egyrészt a gazdaságos készletek a bejelentetteknél sokkal nagyobbak, másrészt a tengervizekben levő mintegy 5 milliárd tonna, technológiailag már megközelítőleg kidolgozott eljárásokkal kinyerhető uránkészlet — nem is beszélve a földkéregben becsült mintegy 100 billió tonnáról — reálissá teszi azt a feltételezésünket, hogy amennyiben az energiahordozók összetételében a 2. táblázaton jelzethez képest eltolódás fog bekövetkezni, az a nukleáris energia irányában lesz, ami annyit is jelent, hogy a környezet-szennyezés ismertetendő globális értékei inkább felülről való megközelítését jelentik a problémának.

Ezek szerint a következő évtizedekben nem az energiaforrások kimerülése lesz az emberiség fő gondja, hanem az, hogy miként lehet a természet bőséges energiaforrásait hasznosítani anélkül, hogy a normális élet feltételeit a Földön megszüntessük.

A környezetet szennyező *energiahordozók kibocsátásai*, amelyek kutatási célprogramunk szerint a környezetet zavaró hatások forrásai, a 4. táblázat szerint csoportosíthatók. Minthogy az *emisszióból* a térfogategységre eső fajlagos

4. táblázat

Energetikai környezetszennyezők

Vegyai	CO_2 , CO, CH, SO_2 , NO_x
Fizikai	Korom, pernye, hó
Nukleáris	Radioakt. sug. anyagok

szennyezésre (*immisszió*) kell következtetni, itt megint feltételezésekkel kell élni. A globális, nagy térre vonatkozó számításoknál nyugodtan feltételezhetjük, hogy az energiahordozók nagyobb részét Földünk északi féltekéjének $30 \div 60$ -ik szélességi foka között használjuk fel, a kibocsátott szennyezések a 10 km vastagnak felvett troposzférába kerülnek (ennek térfogata mintegy 800 milliárd km^3 , a Föld egész troposzférájának kb. 16% -a. Ebben a térben mintegy 0,15 trillió tonna oxigén, 0,52 trillió tonna nitrogén és 0,32 billió tonna széndioxid van.) A lokális és regionális hatásokra is kitérve, feltételez-

hető, hogy a rövid életű szennyezések (szénhidrogének, kéndioxid, nitrogén-oxidok és a későbbiekben egyes radioaktív hulladékanyagok) a fent jelzett gömbhéj-szeletre egyenletesen oszlanak el, a hosszabb életű szennyezések (széndioxid, egyes radioaktív hulladékok) viszont az egész troposzférába kerülnek.

A vegyi szennyezések közül mennyiségileg a legjelentősebb a *széndioxid*. (A kibocsátott mennyiség ma mintegy 20 milliárd, 2000-ben $60 \div 100$ milliárd tonna évente). Minthogy feltételezhetjük, hogy ma még a természetes kibocsátások (rothadási termékek, vulkanikus gázok stb.) és a fotoszintézis által bekövetkező felhasználás egyensúlyban vannak, kiszámítható, hogy az emberi tevékenység következtében a levegő széndioxid-tartalma lassan, az évszázad végéig mintegy 5%-kal nő. Amellett, hogy ennek a környezetre előnyös hatása is lehet, egyes elméletek szerint lehetséges, hogy következményként a légkör hőmérsékletének emelkedése, más elméletek szerint annak csökkenése fog bekövetkezni. (Így pl. már ma megállapítható nagymennyiségű széndioxidot kibocsátó ipartelepek, repülőterek közelében a napsugárzás gyengülése a CO_2 és a vízgőz hatására.) Az ún. növényházhatás jellege és következménye még vitatott. Ettől függetlenül a széndioxidot ma még nem számítják az aktív levegőszennyezők közé és így az immisszió értékre sem állapítanak meg határt.

Annál súlyosabb a helyzet a mérgező gázok között első helyet elfoglaló és a tökéletlen égés eredményeképpen kapott *szénmonoxidnál*. Az 1970-ben kibocsátott mennyiség (mintegy 200 millió tonna) a légkör természetes szénmonoxid-tartalmának (mintegy 600 millió tonna) nagyságrendjében van (5. táblázat) [10]. Azt a körülményt, hogy ennek ellenére nem mutatható ki a levegő szénmonoxid-tartalmának növekedése, egyes, a talajban levő mikroorganizmusok hatásával magyarázzák [11].

A szénmonoxid legfőbb kibocsátói az 5. táblázat szerint a gépjárművek, ezeken belül a benzinüzemű motorok, amelyeknél a levegőhiányos égés következtében a kipufogógázokban $1 \div 4$, szélső esetben $6 \div 8$ térfogatszázalék

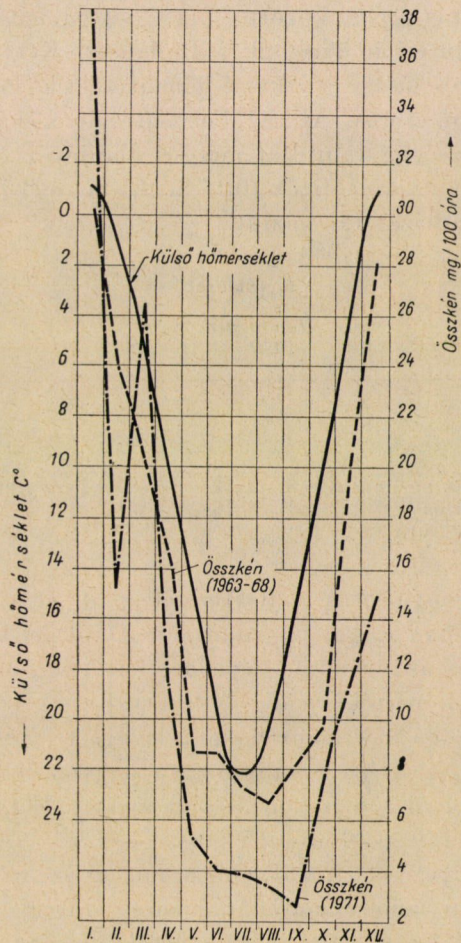
5. táblázat

Levegőszennyező kibocsátások 10^6 t/év
(1970)

	CO	CH	SO ₂	NO _x	Szilárd	Össz	%
Erőművek	2	—	50	8	10	70	15,5
Ipar	4	10	10	20	20		
Gépjármű	200	40	2	20	2		
Fűtés	4	10	6	2	2	24	15,3
Szemét	2	20	3	2	2	29	6,5
Összesen	212	80	71	52	36	451	100

szénmonoxid található. Jellemző, hogy Los Angelesben a levegő szénmonoxid tartalma és a forgalomsűrűség között 0,9 indexű, tehát igen szoros korrelációt mértek [12]. Az immissziós normákban rögzített átlagosan 1,0 csúcserőben 3,0 mg/m³ értéket a nagyvárosok nagy forgalomsűrűségű helyein már többszörösen túllépi, főként kedvezőtlen időjárási körülmények között.

A mennyiséget tekintve közvetlenül a szénmonoxid után következnek a nehéz szénhidrogének, amelyeknek fő kibocsátói ugyancsak a gépjárművek, elsősorban azonban a Diesel-üzeműek. Hatásukat a füstköd képződésben egyöntetűen kimutatták, állítólag bizonyított rákkeltő hatásuk is. Ebbe a csoportba tartozik a levegőhiányos égés disszociációs termékeként jelentkező korom is, melynek megengedett határértéke nálunk 0,05 mg/m³.



1. ábra. Összkeén-szennyezettség és külső hőmérséklet Budapesten

A *kéndioxid*, mint elsősorban az erőművi tüzelőanyagokban jelenlevő kén égési terméke, ma talán a legtöbb gondot okozó energetikai környezet-szennyező. Már a jelenlegi, mintegy évi 50 millió tonnát kitevő erőművi SO_2 -kibocsátás körülbelül 100-szor akkora, mint a levegő természetes kéndioxid tartalma [10], mennyisége az évezred végéig még legalább egy tizes nagyságrenddel nőni fog, ha a mai hőfelszabadítási technológiák változatlanok maradnak. Ha azzal a kedvező feltételezéssel élünk, miszerint a kéndioxid az atmoszférában egyenletesen oszlik el, akkor is a számítási alapul vett gömbhéjszeletünkben az immisszió értéke már ma a toleranciahatáron van.

A valóságban az SO_2 diffúzió útján vagy mint aerosol a nehézségi erő hatására aránylag gyorsan a föld felszínére kerül és ott regionálisan, vagy lokálisan fejti ki káros hatását. Ilyen összefüggések egyöntetűen bizonyíthatók. Így az 1. ábra szerint Budapesten a külső hőmérséklet lefolyása és a 100 óránkénti összkénkibocsátás görbéi között 10 évre visszamenőleg azonnal látható összefüggés van. A fűtési időszaknak a Budapesti KÖJÁL méréseivel [13] meghatározott kénkibocsátása és a külső hőmérséklet közötti korreláció indexszáma 0,96, azaz igen szoros. Az SO_2 -koncentráció középértéke Budapesten az Országos Közegészségügyi Intézet mérései alapján [14] a fűtési időben a megengedett átlagos ill. csúcserték (0,15 ill. 0,5 mg/m^3) 5 ÷ 10-szeresét elérte. Az eloszlásról a 6. táblázat tájékoztat.

6. táblázat

SO_2 Budapesten, mg/m^3
1958–60

	Átlag		Max.
	tél	nyár	tél
Mért érték	0,72	0,26	1,0–5,0
Imm. norma	0,15	0,15	0,5

Az energetikai hasznosítás melléktermékeként jelentkező *nitrogénoxidok* kibocsátásáért elsősorban megint a gépjárműmotorok felelősek, ott adottak a nagy hőmérsékleten a nitrogénoxid-képződés feltételei, az erőművi gőzkazánokban ma még kisebb mértékben (5. táblázat). Ennek a füstködképződésben primér szerepet játszó gáznak mennyisége a levegő természetes nitrogénoxid-tartalmának kb. 25%-át eléri, lokális hatása nagyon jelentős lehet. Így pl. Los Angelesben 1968-ban 135 napon át volt a mért NO_x -tartalom nagyobb, mint az 1 órára tolerált 0,20 mg/m^3 [10].

A fizikai szennyezések közül elsősorban a széntüzelésű gőzkazánok *pernyéjét* kell említeni, amely ma már évente mintegy 30 millió tonnával szennyezi a levegőt. Az évezred végéig becslésszerűen kb. 80 ÷ 100 millió tonna lesz a kibocsátott mennyiség (7. táblázat), figyelembe véve, hogy a ne-

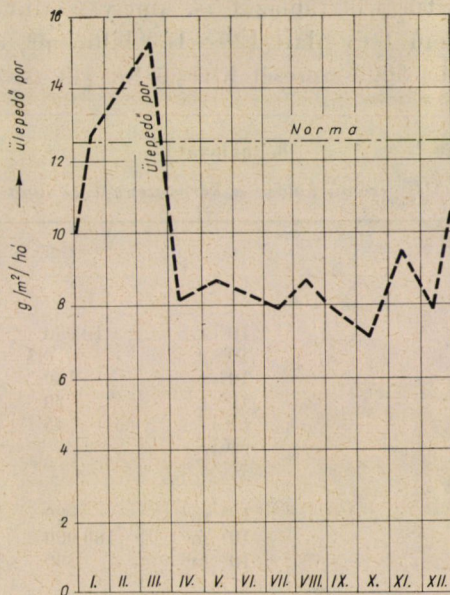
héz olajtüzelésű kazánokban is van szállóhamuképződés, aminek leválasztása a füstgázokban levő kéndioxid miatt külön problémaként jelentkezik. Az összes ülepedő — nagyrészt nem energetikai származású — porokra a budapesti viszonyokat 5 évre (1963—1968) a 2. ábra mutatja, megjelölve a ma normalizált értéket is. A *hő* formájában jelentkező fizikai szennyezéssel HELLER László foglalkozott bőven előadásában.

7. táblázat

Kazánok pernyeterhelése

	1970	2000
10 ⁶ t/év	30	80—100

Indokolatlanul sokat beszélnek újabban az atomerőművek gyors elterjedésével kapcsolatban a környezet radioaktivitás okozta szennyeződésének lehetőségéről is. A potenciális veszély lehetőségét természetesen nem lehet és nem szabad tagadni. (Ha feltételezzük, hogy pl. egy lökhajtásos repülőgép egy üzemben levő atomerőműre zuhanva annak összes védelmi berendezését szétzúzza és a reaktorban levő sok millió curie aktivitás a környezetbe kerülhet, akkor ugyanilyen alapon nem lenne szabad nagy embertömeget pl. egy sportstadionba engedni, mert hiszen oda is zuhanhatna a repülőgép és ez leg-



2. ábra. Ülepedő por Budapesten 1963—68

alább akkora pusztítást okozna emberéletben.) Reálisan számolni kell azonban egyes *nemesgázok*, valamint *halogénelemek* és egyéb gázok kibocsátásával, amelyek bizonyos reaktortípusokból üzemszerűen (trícium), vagy a kiégett üzemanyagoknak újrafeldolgozásakor (krypton 85) vagy reaktorbalesetknél (jóid 129 és 131) léphetnek ki. Ellenőrző számítások szerint aránylag a legnagyobb sugárterhelést a környezetben az aránylag hosszú felezési idejű krypton 85 jelenti, de mennyisége a 2000-ik évre felvett 5,5 millió MWe atomerőmű (a jelenleg üzemben levőknek mintegy 160-szorosa) mellett is a megengedett dózis 3/1000-ed részét eredményezné csupán. Ilyen nagyságrendben lehet a jódfertőzés is, a tríciumé ennél még sokkal kisebb [8, 15]. Tényként kell viszont említeni, hogy a ma üzemelő mintegy 33 000 MWe atomerőmű környezetében — tehát a rövid élettartamú izotópokat is beleértve — sehol sem mértek a természetes háttérnél $1 \div 2\%$ -kal nagyobb sugárterhelést, jóllehet a ma érvényes — igaz, több szempontból vitatott — normák 70% -ot engednek meg. (Csupán 2 USA erőműnél érték el rövid ideig a megengedett dózis 50% -át).

Összehasonlítva az atomerőművek által okozott radioaktív szennyezéseket a konvencionális üzemanyagú erőművek által kibocsátott szennyezésekkel, nyugodtan megállapíthatjuk, hogy ha csupán a 2000. évre számításba vett atomerőművek helyett pl. olajtüzelésű erőműveket építenének, egyedül a kéndioxid hatására bekövetkező szennyezés a toleranciadózist sokszorosán túllépné az egész világon, nem is beszélve a már ma megengedhetetlennek minősített lokális, vagy regionális effektusokról. S hogy milyen nagyságrendű tömegekről van szó, bizonyítja a 8. táblázat is, amely szerint egyetlen, 1000 MWe teljesítőképességű erőmű 1 év alatt 120–180 billió m^3 , az égéshez szükséges levegőmennyiségnek $4 \div 6000$ -szeresét kitevő levegőt tesz használhatatlanná.

8. táblázat

1000 MW erőmű hatása a környezetre 1 év alatt

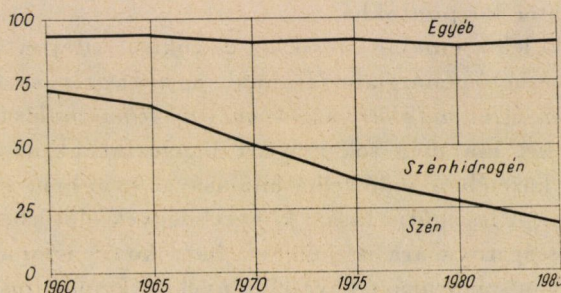
		Szénerőmű	Olajerőmű	Atomerőmű
<i>Szennyező anyagok</i>				
CO ₂	10 ³ t	10 000	10 000	—
CO	10 ³ t	0,5	0,01	—
SO ₂	10 ³ t	140	55	—
NO _x	10 ³ t	20	20	—
Ra ²²⁶	mCi	48	0,15	—
Kr ⁸⁵	mCi	—	—	8 000
<i>Levegőszükséglet</i>				
Égéshez	10 ⁹ m ³	29	29	—
Füstgáz hígításhoz	10 ⁹ m ³	180 000	120 000	—
Radioakt. szenny-hez	10 ⁹ m ³	500	1,5	0,08
<i>Vízszükséglet</i>				
	10 ⁹ m ³	0,55	0,55	0,75

Maga az oxigénfogyasztás az égés következtében nem túl jelentős, a bevezetőben bemutatott összes energiahordozó felhasználása esetén is a troposzféra teljes O_2 tartalmának csak 1 milliomod részét venné igénybe. Az atomerőműnél a hígító levegő mennyisége kevesebb, mint 1/1 000 000-od része a fosszilis üzemanyagú erőműének. Ugyanakkor az atomerőművek hátrányaként kell megemlíteni — legalábbis a ma elsősorban elterjedt nyomottvízes típusoknál — a rosszabb erőmű-hatásfok következtében adódó, mintegy 40%-kal nagyobb hűtővízszükségletet, ill. általánosabban a környezet nagyobb termikus terhelését. Nem 100%-osan megoldott kérdés továbbá a kiegészítő üzemanyagalemelek és egyéb radioaktív hulladékok biztonságos tárolása sem.

Áttérve az energiahordozók által okozott szennyezések csökkentésének gyakorlati lehetőségeire, elsősorban az energiahordozók cseréjét, illetve azok helyes kiválasztását kell említeni, természetesen feltételezve, hogy a készletek, szállítási lehetőségek és nem utolsósorban a gazdasági körülmények az ilyen cserét lehetővé teszik. Ily módon elsősorban a kéndioxid- és a pernyeszennyezés ellen lehet harcolni, ha egyelőre a fosszilis üzemanyagoknál maradunk.

A magyarországi energiaszerkezet összetételének változását az utolsó 10, ill. az előttünk levő 15 évben a 3. ábra érzékelteti; hasonló jellegű, de még radikálisabb Budapest energiaellátási szerkezetének módosulása (4. ábra). Már ma is tapasztalható a fővárosi levegő kéndioxid-szennyezésének jelentékeny csökkenése 1960-hoz képest a fűtési idényben (1. ábra). Ennél sokkal átütőbb eredményeket bizonyít az 5. ábra, amely az angol nagyvárosok levegőjének a paraméterként megadott kéndioxid-szennyezését mutatja az idő függvényében, ill. azon napok számát évente, amidőn a szennyezés meghaladta a jelölt értékeket [16].

Az átütő siker tulajdonképpen az ún. „tiszta levegő törvénynek” indirekt következménye, mert a törvényben előírt tüzelőszervezeti tökéletesítések mellett egyúttal áttértek a szénről a tüzelőolajra, vagy más nemesebb energiahordozóra, esetleg a villamosenergiával való fűtésre. New Yorkban az 1960 évi, kereken 1 millió tonnás kéndioxid-kibocsátás 1970-re 230 000 tonnára csökkent annak következtében, hogy a fűtőolajok kéntartalmát a kezdetben



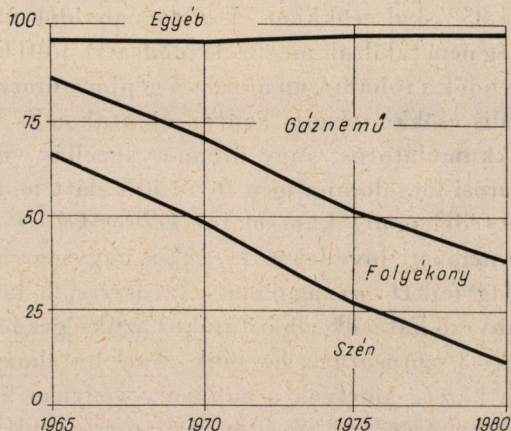
3. ábra. Magyar energiaszerkezet

engedélyezett 2,5%-ról 1, ill. 1971-ben már 0,37%-ra csökkentették. Az eljárás természetesen súlyos műszaki és gazdasági kérdéseket vet fel. Tudvalevőleg régóta kísérleteznek a *füstgázok kéntelenítésével* anélkül, hogy eddig nagyüzemben kikísérletezett megoldás állna rendelkezésre. (A kipróbált gázmosóberendezések rendkívül költségesek, beruházási költségük eléri az erőmű teljes beruházási költségének 20 ÷ 40%-át, amihez még 10 ÷ 15% üzemköltségtöbblet is járul, ezenfelül súlyos szennyvízproblémák keletkeznek járulékosan [17].) Jelenleg különböző száraz eljárásokkal kísérleteznek, ill. épülnek ilyen prototípus berendezések, tartós üzemi tapasztalatok azonban még nincsenek.

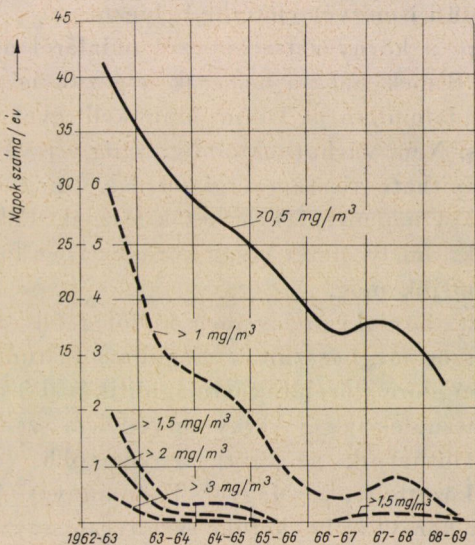
Újabban ezért előtérbe kerül *a nyers tüzelőanyag kéntartalmának csökkentésére* irányuló kutatás. Irodalmi adatok szerint egy ilyen telep beruházási költsége valamivel több, mint fele a füstgázkéntelenítő telepének [18]. De felmerül a kérdés, hogy vajon nem lenne-e akkor helyesebb már, ha pl. egy 2000 MW-os erőmű, amelynek tüzelőanyagfogyasztása egy évben eléri a 3 millió tonnát, saját maga intézné el a fűtőolaj kéntelenítését nagynyomású és hőmérsékletű hidrogénezéssel, ami jó hatásfokú kombinált gőz—gáz erőművi körfolyamatot tenne lehetővé, igaz, az üzemi szakemberek által nem szívesen látott bonyolultságok árán.

A környezet vegyi és egyúttal termikus szennyezése csökkentésének igen hatékony útja a *kapcsolt hő- és villamosenergia-fejlesztés* alkalmazása, elsősorban a távfűtés kiterjesztése, amint azt Moszkva, Bukarest, Varsó és más nagyvárosok példája egész egyértelműen bizonyítja [19]. Az eljárással kapcsolatos gazdasági előnyök azonban csak akkor érvényesülnek, ha nagy hőkoncentrációt sikerül egyesíteni, nagy, a villamosenergiaipar szempontjából is értékelhető egységek épülnek, a kémények legalább 200 ÷ 300 m magasak [20]. A 6. ábra Budapest északi részének ellátására építhető, mintegy 2000 Gcal/h hőigényt ellátó távfűtőrendszer építése esetére mutatja be a leghidegebb téli hónapra a kéndioxid-szennyezés várható alakulását 1990-ben, szembeállítva az 1970 január havi ténylegesen mért értékekkel. Az összehasonlítás önmagáért beszél. Még kedvezőbbek lennének a viszonyok akkor, ha az erőmű a fővárostól mintegy 30 ÷ 50 km távolságra épülne (pl. a tatabányai szénmedencére) és a fűtési hőt olcsón, ún. egycsöves rendszerben szállítanák a fogyasztói központokba.

Itt megint ki lehet emelni a jövő, az előzőkben kifejtettek szerint szinte korlátlanul nevezhető energiaforrásának, a *nukleáris energiának az erőművekben és ezeken belül a fűtőerőművekben való felhasználását* [21]. Azok az aggályok, amelyeket ma még sok helyütt hangoztatnak az atomenergiának nagy települések közelében való felhasználásával szemben, idővel bizonyára meg fognak szűnni. A levegőtisztasági követelmények előtérbe fognak kerülni, még a gazdaságosság rovására is, jóllehet, ha a konvencionális erőművekkel szemben ugyanolyan szigorúságú követelményeket támasztunk, mint az atomerőműveknél, akkor utóbbiaknak ma még mutatkozó beruházási költségtöbbség-



4. ábra. Budapesti energiaszerkezet

5. ábra. Angol városok SO₂ szennyezettsége

lete jórészt kiegyenlítődik és a lényegesen kisebb üzemköltség abszolút gazdaságosságot is biztosít [17].

Az energiastruktúrát javító központi intézkedéseken kívül egyéb módokon is be tudnak avatkozni a hatóságok. Így pl. a 7. ábra az USA gépjárműveiből évente összesen kibocsátott levegőszennyező termékek mennyiségének alakulását mutatja. Az 1960-as évek végén hozott szigorú rendelkezések hatására az egy gépjárműből kibocsátott szénmonoxid mennyisége eddig 68%-kal,

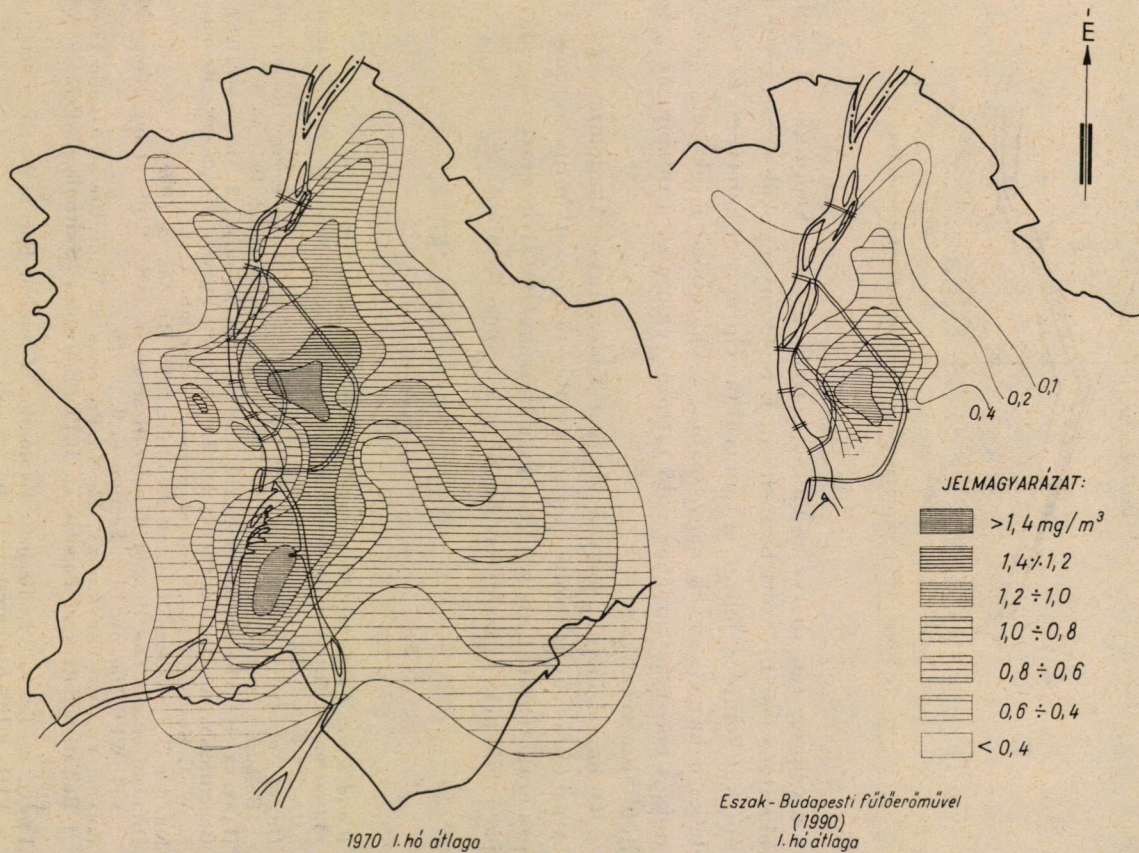
a szénhidrogéneké 85%-kal csökkent. A nitrogénoxidok mennyiségének csökkentésére eddig még nem találtak megfelelő módszert. [10] Ezek az intézkedések azonban nem elegendők a rohamosan növekvő gépjárműforgalom okozta levegőszennyezés radikális csökkentésére, hanem új utakon is kell járni. Itt csak megemlítem az akkumulátoros, vagy üzemananyagcellás villamos járműveket, amelyek a nagyvárosi forgalomba igen rövid idő alatt be fognak törni.

A környezetvédelemmel kapcsolatos *költségeket* az energiaiparral kapcsolatban a teljes nemzeti jövedelem $1 \div 2\%$ -a nagyságrendben szokták megbecsülni az iparilag fejlett országokban. Az összes, a környezetet — tehát a talajt is — szennyező hatások elhárításához szükséges beruházások összegét fenti arányszám $2 \div 3$ -szorosára is becsülik. Eme hatalmas összegekkel szemben állnak azok a károk, amelyek a hatékony védelem következtében elmaradnak és amelyek nagyságát pl. Svédországban az évenkénti nemzeti jövedelem $0,68\%$ -ában jelölik meg [22]. Másrészt ilyen kérdésben, amidőn egyszerűen az életfeltételek fennmaradásáról is lehet szó, nyilván nem szabad a klasszikus gazdaságosság egyedüli ismervét előtérbe helyezni.

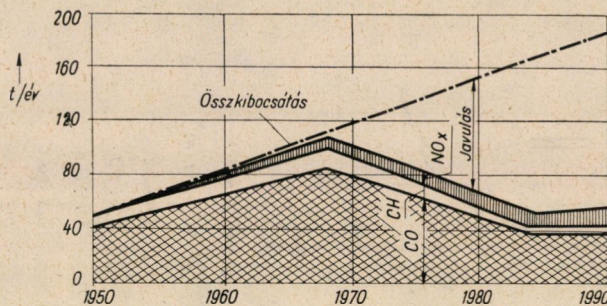
Az emberiségre a környezetszennyezés oldaláról nagy, egyre növekvő nyomás nehezedik. Ennek hatása nemcsak a gazdasági életben tükröződik, hanem az egész társadalomban is. Tükröződnie kell egyebek között az oktatásban és nevelésben is. Nem várhatunk addig, amíg a jövő nagy, eddig műszakilag még nem irányítható tiszta energiaforrásai (mint amilyenek a term nukleáris reakció, vagy napenergia) elérhetők lesznek. Felelősséggel tartozunk annak az ifjúságnak, amely életét olyan környezetben fogja leélni, amelynek adottságait mi teremtjük meg.

Elhamarkodott, következményeiben kellőleg fel nem mért létesítések a múltban is többször megbosszulták magukat. Céltudatos, tudományosan megalapozott, hosszú időre előrelátó energiapolitikával és az energiaátalakítóknak, valamint felhasználóknak a környezetvédelem szempontjából is helyes kialakításával megállíthatjuk az egyre fenyegetőbb veszélyt. Tudatosítanunk kell egyebek között itt, a Magyar Tudományos Akadémián is, hogy sokkal helyesebb a környezetbe kerülő szennyező anyagok mennyiségének csökkentésére irányítani a kutatást, a licencapolitikát, a beruházást stb., mint a szennyezőket kiengedve költséges mérőhálózattal regisztrálni azok jelenlétét és nagy összegeket fordítani a hatások kutatására és azok elhárítására. Ezzel természetesen semmiképpen sem kívánom csökkenteni SZENT-ÁCOTHAJ akadémikus kitűnő előadásában elhangzottak jelentőségét és a biológiai kutatások fontosságát, csupán nyomatékosan szeretném javasolni, hogy a „megelőzés” tényleg előzze meg a „regisztrálást” és az utólagos „elhárítást”.

Amint a jóváhagyott központi célprogram megállapítja, a környezetvédelem sürgető megoldásának alapvető feltétele az országban rendelkezésre álló tudományos kutató kapacitás szervezett, célirányos felhasználása, ame-



6. ábra SO₂-szennyeződés Észak-Budapesten



7. ábra. USA gépjárművek szennyeződéskibocsátása

lyet a célprogram, illetve az ennek keretében folyó koordinációs szintetizáló tevékenység lesz hivatott biztosítani. E tevékenység szükségességét indokolja a témakör komplex jellege, a témával (a célprogram keretében és azon kívül) foglalkozó hazai szervek nagy száma, a különböző megközelítési szemléleti módok, a más-más tárcához való tartozás, valamint a rohamosan gyarapodó külföldi ismeretanyag.

Örömmel látjuk, hogy a Magyar Tudományos Akadémia is tárcaszintű kutatási főirányként jelölte meg „Az ember természeti környezetének védelme (bioszféra)” témát. Ebbe a munkába a Műszaki Osztályhoz tartozó szakemberek teljes erejükkel, készségesen be fognak kapcsolódni.

IRODALOM

1. *World Power Conference, Survey of Energy Resources*, 1968.
2. FEINBERG, S. M.: Atomic Power Stations, VII. WEC Moscow, 1968, General Report — Section C. 3.
3. *United Nations — Resources and Transport Division: World Energy Requirements and Resources in the Year 2000*, ICP UAE Geneva, Switzerland, 1971 — A/Conf. 49/p/420.
4. HARTLEY, H.: The Future of World Energy, *New Scientist*, 13 November 1969.
5. BESCHINSKY, A. D.—VOLFBERG, D. B.: National Survey of Energy Resources, VII. WEC Moscow, 1968, General Report — Section A. 1.
6. KRAUSE W.: Sicherer Kurs auf das Jahr 2000. *Bergbau* 20 (1969) 3, 68—70.
7. DILLARD et al.: The Role of Breeder Reactors in U.S., Utility Long Range Planning, VII. WEC Moscow 1968, Section C. 3, p. 166.
8. IZRAEL, YU. A.—TEVEROVSKY, E. N.: Prospects of Wide Use of Atomic Energy with Radiation Safety of Population, ICP UAE Geneva, Switzerland, 1971 — A/Conf.49/p/684.
9. LÉVAI, A.—CSOM, GY.: Realistic Evaluation of Nuclear Fuel in Atomic Energy Systems, VIII. WEC Bucharest 1971, p. 2.4—51.
10. MYERS, P. S.: Automobile Emissions — a Study in Environmental Benefits versus Technological Costs — Society of Automotive Engineers Inc., New York 1969.
11. Wo bleibt das Kohlenmonoxid? *Chemie Ingenieur Technik*, 43 (1971), Nr. 17.
12. COLUCCI, J. J.—BEGEMAN, C. R.: Carbon Monoxide in Detroit, New York, and Los Angeles Air — *Proceedings Air Pollution Control Association*, (1967), 67—182.
13. FEHÉR, V.: Budapest levegőszennyezettségének képe a Fővárosi KÖJÁL 1963—68 évek között végzett üledék por és összkén mérései alapján — *Budapesti Közegészségügy* (1970) 1.

14. VÁRKONYI T.: A levegő kéndioxid tartalmának regisztrálása Budapesten, *Egészségtudomány* (1971) 15, 10–51.
15. *World Health Organization: Public Health Implications of Radioactive Waste Release*, ICP UAE Geneva, Switzerland, 1971 — A/Conf.49/p/652
16. FRASER ROSS, F.: Air Pollution Sense and Nonsense, Part I. — *Environmental Pollution Management*, Vol. 2., No. 2.
17. VANN, H. E.: et al.: Factors Affecting Historical and Projected Capital Costs of Nuclear Power Plants in the United States, — *ICPUAE* Geneva, Switzerland, 1971 — A/Conf.49/p/037
18. SQUIRES, A. M.: Die Bindung von Schwefel bei der Energieerzeugung, *Chemie — Ingenieur Technik* 44 (1972), Nr. 1 + 2.
19. BÜKI, G.: A kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés fejlődése és energetikai hatékonysága a Szovjetunióban, Romániában és Magyarországon, — *Energia és Atomtechnika* 25 (1972) 1. 1–13.
20. LÉVAI A.—BÜKI G.: Észak-Budapest egységes távhőellátó rendszere. Tanulmány, BME Hőerőművek Tanszék 1971.
21. LÉVAI, A.: Intergation of Nuclear and Conventional Dual-Purpose Power Stations for Use in District Heating Systems and in Electric Grids, — *ICPUAE* Geneva, Switzerland, 1971 — A/Conf.49/p/322.
22. HAAS, H. et al.: Development Trends of Large Power Generating Machinery, VIII. WEC Bucharest, 1971, p. 2.1–58.

Energetics and Surroundings Pollution. The most favourable shaping of the human surroundings is outlined in the program for a special research and development plan on a national scale, approved recently by the Hungarian Government. Aims to be attained by the special program are, amongst others, the scientific foundations for the technical, economical and administrative measures for the efficient protection of human surroundings. Besides soil pollution, these categories include first of all the damages connected with production, transport, transformation and use of energy carriers. Present paper deals with these questions.

Energiewirtschaft und Umweltverschmutzung. Mit der günstigsten Ausgestaltung der menschlichen Umwelt befaßt sich der von der ungarischen Regierung vor kurzem genehmigte Grundriß eines gesamtstaatlichen Forschungsprogramms. Unter anderem werden im Programm als Forschungs- und Entwicklungsziele die wissenschaftliche Fundierung der für den wirksamen Schutz der menschlichen Umwelt erforderlichen technischen, wirtschaftlichen und administrativen Aufgaben festgelegt, unter besonderer Berücksichtigung der schädlichen Einwirkungen, welche die Luft, die fließenden Gewässer und den Boden verschmutzen. Abgesehen von der Bodenverschmutzung gehören in diese Kategorie in erster Reihe die Schäden welche mit der Erzeugung, dem Transport, der Umwandlung, hauptsächlich aber mit der Verwendung der Energieträger verbunden sind. Diese Fragen werden in vorliegender Arbeit behandelt.

TÜZELŐBERENDEZÉSEK OKOZTA LEVEGŐSZENNYEZÉS*

BASSA GÁBOR**

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

A levegőszennyezést okozó égéstermékek mennyisége a gazdaságosság határain belül optimálisra csökkenthető. A korszerűség és levegőtisztaság követelményei megfelelő égőtípusokkal, égőkialakításokkal, illetve jó szabályozással és a szabályozási tartomány szélesítésével biztosíthatók.

Az égéstermékek okozta levegőszennyezés a tüzelőberendezések *üzemének* befolyásolása révén, illetve bizonyos *kiviteli megoldások* előtérbehelyezésével tüzelőanyagcsere nélkül is csökkenthető.

A *tökéletes égés* gázhalmazállapotú égéstermékeit, a CO_2 -t és H_2O -t nem minősítjük károsnak a környezet szempontjából, annál inkább az egyidejűleg keletkező SO_2 -t, illetve a légfeslelegtől függően az SO_3 -t, továbbá az NO_x -et. Tökéletes égést feltételezve, található még a távozó füstgázban N_2 gáz és levegőfelesleg is.

A füstgázokban a szilárd halmazállapotú *elégetlen* lebegve található: ilyen termék szénportüzelés esetében a szállókocsz. A szintén lebegő állapotú szállóhamu rendszerint éghető anyagot is visz magával és a kazán huzamain keresztüláramolva egyrészt — a durvább szemcsézetűt — a pernyeleválasztó visszatartja, az őrlemény legfinomabb szemcseméretfrakcióiból származó, az átlagosnál általában nagyobb hamutartalmú rész a leválasztási határfoktól függő mennyiségben távozik a kéményen keresztül. A nagy fajlagos felületű szemcsézetten a gázokban levő savgőzök lecsapódnak és a környezeti ártalmat fokozzák.

E jelenségnek az az oka, hogy az alacsonyabb hőmérséklettartományban a lebegő állapotú részecskék kedvező sugárzási tulajdonságuk miatt alacsonyabb hőmérsékletűek, mint az őket körülvevő gáz, és ezért a harmatpont környezetében a kénsavgőzök rákondenzálódnak a pernyerészecskékre. Ezért kisebb mértékű a harmatpont-korrózió szénportüzelésű kazánoknál, mint akár olaj-, vagy rostélytüzelésnél. A környezeti savártalom csökken, ha a pernye bázikus, mert a részecskéken kondenzálódó savat közömbösíti.

Miután a leválasztóból mindig kerül ki pernye a környezetbe, kívánatos a magas kémény, ez nagyobb területen osztja el a lerakódást.

* A Műszaki Tudományok Osztálya 1972. május hó 9–10-én tartott tudományos ülészakán elhangzott korreferátum.

** Prof. Dr. Bassa Gábor., 1136 Budapest, Balzac u. 15

Megállapítást nyert, hogy az égéstermékben a *nitrogénoxidok* (NO és NO₂, jelölésük NO_x) nem elhanyagolható mennyiségűek (a gépjárművek kipuffogógázaiban jelen levő NO_x mennyiséghez képest) és a füstköd képződést („smog”) nagymértékben elősegítik.

A stöchiometrikus számításokban korábban mellőztük az NO_x képződést, márpedig lánghőmérsékleten — 15000 ÷ 2000 °C tartományban — az NO_x nem elhanyagolható mennyiségben képződhet. A képződés reverzibilis és a másik irányba is fordulhat. Általában a bomlás egyensúlyi állandója nagyobb: 2000 °C-nál 150-szerese a képződésnek, 1500 °C környezetében 8000-szerese. A hőmérsékletcsökkenés mellett a légfelcsökkenés az NO_x képződés ellen hat.

Ködképződési gócnak kell tekinteni az igen kisméretű, lebegő állapotú részecskéket; ezek közé tartozik az éghető gázok bomlási termékeként keletkező *korom*. Tüzelés szempontjából nem egyértelműen káros, mert karburáló hatása miatt javítja a sugárzó hőtadást a tüztérben. Miután a korom elemi carbonium, teljes elégetésekor nincs égési maradványa, ez nagy előny volna a környezeti ártalom szempontjából, de sajnos ez nem mindig sikerül. Egészségre nem káros módon szennnyessé teszi a környezetet és előnye a gáz halmazállapotú éghetőkkal szemben, hogy legalább látható, hamarabb felhívja magára a figyelmet és intézkedést tesz lehetővé. A nem világító lángok esetében a *CO képződés* nem észlelhető közvetlenül, ugyanúgy léghiánynál, tökéletlen égésnél keletkezik, mint a korom.

(A „nem világító” láng kékszínű, ha az égés hideg környezetben folyik. Pl. háztartási égők, Bunsen égő. Ilyenkor OH gyökök képződnek, mint közbelső égési termékek, és ezek teszik a lángot kék színben világítóvá. A láng kék színe meleg környezetben, — pl. tűzálló falazatú kemencében — eltűnik, teljesen átlátszóvá válik, az OH gyökök eltűntek, nem is képződnek.)

Az égési folyamat *megindítása* hideg környezetben, hűtött felületek között átmenetileg többlet veszteséget okoz az állandósult állapothoz képest. Indítási hibának kell tekinteni, ha olajgőz *szag*, vagy éghető tüzelőanyag-gáz nagyobb mennyiségben kerül ki a tüzelőberendezésből. Az üzemeltetés kezdeti hiányosságai okozta veszteségnövekedés nem elhanyagolható, ha sok berendezésről és sokszor indított berendezésről van szó. Ez magyarázatul szolgál ahhoz, hogy háztartási tüzelőberendezések, noha égők és tüzelőberendezésük kialakítása korszerű és állandósult üzemállapotban az összes üzemeltetési és levegőhigiéniai követelményeket kielégíti, mégis állandó begyűjtásuk, kioltásuk miatt szennyező hatásuk a legnagyobb. Utánuk következnek az ipari tüzelőberendezések és végül legkisebb mértékű a hőerőművek levegőszennyezése. Az NO_x képződés sorrendje — az említett hőmérséklet függőség miatt — éppen fordított. A tüzelés hőmérsékletszintje ugyanis általában a mérettel együtt növekszik.

A korszerű tüzelőberendezésekkel szemben támasztott igényeket tekintve a hatások nem feltétlen elsőbbséget jelentő szempont, inkább az üzembiztonság, olcsóság és levegőtisztaság játszik szerepet a megítéléskor. Az üzembiztonság és levegőtisztaság kérdéséhez sorolhatjuk a tartós üzemben a pernye v. koromtartalom okozta *lerakódásokat*, azok következményeként mutatkozó ellenállásnövekedést és a kihordott lebegő anyagtartalom növekedését. Ez utóbbi veszteségtöbbletet az okozza, hogy a huzatviszonyok romlása a kezdetben tökéletes égést megzavarhatja. Az olcsóság követelményei ismét mások: nagy intenzitású, jó hőátadási tényezőkkel dolgozó tüzelő- és kazánberendezések kívánatosak.

Bizonyos tüzelőberendezés-megoldások különösen alkalmasak az elmondott igények optimális kielégítésére.

Egyik megoldás az *égés megosztása egy gázosítási és egy égési fokozatra*. A porlasztott olaj nyomban gáz- illetve gőzhalmazállapotba megy át, gáz-tüzelőanyaghoz válik hasonlóvá és égése is gáztüzelés jellegű. Ez a kétfokozatú égés, első lépcsőben gázosítás, vagy olajgőz előállítás, tulajdonképpen előkészítés, amely lehetővé teszi, hogy a második fokozatban homogén reakciók játszódhassanak le; gázfázisban jobb a keveredés, ez pedig a tökéletes égést segíti. Az előkeveréses égő tökéletesen korommentesen ég ilyenkor, igen kis légfeslelleggel, $14 \div 15\%$ CO_2 tartalommal. Még hosszú üzemeltetési idő után sem fedezhetők fel a kazán fűtőfelületeken koromlerakódás nyomai. Ez nem csak gazdaságos, hanem levegőtisztasági szempontból is előnyös. Hátrány, hogy a jó keveredés érdekében nagy levegősebességek és ennek megfelelően nagy levegőnyomások kívánatosak. További nehézség: a viszonylag olcsó fotocella lángőr helyett — fényességihiány következtében — csak a lényegesen drágább UV diodát lehet alkalmazni, amely ennek a kéklángú égőnek a versenyképességét csökkenti a sugárzó égőkkel szemben.

Egyik legfontosabb szempont a *szabályozási tartomány szélesítésének szükségessége*, ez a törekvés azonban stabilitási problémákba ütközik. Mint megoldási lehetőség említhető a kerámikus anyagok célszerű alkalmazása, nemcsak „égőkő” — gyújtófelületként, hanem olyan elrendezésben, amelyben az egész égési folyamatot is befolyásolja. Ilyen pl. a *felületi katalízis*: porózus kerámia test belsejében az égésfolyamat igen intenzíven, rövid úthosszon tökéletes kiegészéssel, koromképződés és látható láng nélkül megy végbe, a koromsugárzás helyébe jól irányítható szilárd test sugárzás lép. Hasonló hatás érhető el, ha az égést egy forgástest homorú felületére irányítjuk. Mind olaj, mind gáz eltüzelésekor intenzíven sugárzó felületet, nagy tűztér- és felületterhelést érhetünk el. A teljesítmény széles határok között szabályozható, a tüzelés huzatváltozásra nem érzékeny. A helyes üzemeltetés szempontjából ezért kívánatos a *stabilitási határok* meghatározása égőtípusonként a teljesítmény függvényében.

Összefoglalásként megállapítható, hogy levegőszennyezést okozó égés-

termékek keletkezése tüzelőberendezéseknél elkerülhetetlen. Vannak ezek között az egészségre káros, gázok, gőzök és „smog”-képzők, továbbá szennyezést okozók, mint korom és pernye. Mindezek mennyisége a gazdaságosság határain belül optimálisra csökkenthető.

A korszerűség és levegőtisztaság követelményei összeegyeztethetők megfelelő égőtípusokkal, égőkialakításokkal, illetve jó szabályozással, a szabályozási tartomány szélesítésével.

Az üzemeltetési viszonyok optimuma jól értékelhető olyan diagramokban, amelyek a stabilitási határok és tüzelési hatások egyidejű változását mutatják a teljesítmény függvényében.

Air Pollution Caused by Combustion Systems. The quantity of combustion products causing air pollution can be reduced to an optimum within the limits of economy. Requirements of modernity and air purity can be fulfilled by using suitable types of burners of appropriate design, by good regulation and by extending the control range.

Durch Feuerungseinrichtungen verursachte Luftverschmutzung. Die Menge der luftverschmutzenden Verbrennungsprodukte kann innerhalb der Grenzen der Wirtschaftlichkeit auf ein Optimum reduziert werden. Die durch Zeitgemäßheit und Luftreinheit gestellten Anforderungen können durch entsprechende Brennertypen, Brennerausbildung bzw. durch gute Regelung und durch Erweiterung des Regelbereichs erfüllt werden.

VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS ÉS KÖRNYEZETVÉDELEM MAGYARORSZÁGON*

FORGÓ LÁSZLÓ**

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

A távlatban erőteljesen növekvő villamosenergia-termelés Magyarországon is felveti a környezetvédelem ezzel kapcsolatos problémáit. A levegő szennyeződése hazánkban a városok és ipartelepek körzetében már ma is jelentős mértékű. Ezért elsősorban a lokális levegőszennyezés csökkentésére kell törekedni. Ezt a ma is ismert megoldások mellett a léghűtésű kondenzáció szélesebb körű alkalmazásával is elő lehet segíteni. A jövőben a villamosenergia-termelés gazdaságossági kérdései mellett nagy súlyt kell helyezni a környezetvédelem követelményeinek kielégítésére is.

HELLER Lászlónak és LÉVAI Andrásnak az előzőekben közölt tanulmányai általános képet nyújtanak az energiátalakítással kapcsolatos emberi tevékenység kihatásáról környezetünkre. Nem kétséges azonban, hogy az emberiség további fejlődése csak az energetikai létesítmények megfelelő arányú kiépítésével együttjáróan képzelhető el. Meg kell tehát oldani e fejlődés során az energiaellátás biztosítását anélkül, hogy közben környezetünket a megengedhető mértéknél erősebben szennyezzük. Önként adódik a kérdés, miképpen jelentkeznek ezek a problémák Magyarországon és milyen lehetőségek mutatkoznak a kielégítő megoldásra hosszabb távlatra előre mutatóan.

E kérdés-komplexum megvilágítására a Magyar Tudományos Akadémia megbízásából egy kislétszámú munkabizottság alakult. Az alábbiak az ennek keretében előirányzott munkákat és módszereket kívánják röviden ismertetni, de természetesen anélkül, hogy a készülőben levő tanulmány várható eredményeit előre vetítenék.

Ismeretes, hogy Magyarország vízenergia készletei igen csekélyek és így a jövőben gyakorlatilag csak hőerőművek, ill. atomerőművek jöhetnek számításba a villamosenergia előállítása tekintetében. Ezeknél 1 kWh villamosenergia előállítása során mintegy $1100 \div 1800$ kcal hőmennyiséget kell az erőművek kondenzátoraiából alacsony hőmérsékletszinten a környezetbe elvezetni. Egy pl. 1000 MW villamos teljesítményű hő- vagy atomerőmű esetében ez óránként $1,1 \div 1,8 \cdot 10^9$ kcal hőterhelést jelent viszonylag szűk földrajzi körzetben. Ilyen nagyságrendű hőmennyiségeket kell tehát a környezet-

* A Műszaki Tudományok Osztályának 1972. május 9–10-i tudományos ülészakán elhangzott korreferátum.

** Forgó László, 1055 Budapest. Néphadsereg u. 14.

nek, azaz a vízrendszernek vagy a légtérnek átadni. E hőmennyiségeken kívül a tüzelőanyagok égéstermékeiből, ill. az atomerőműveknél felszabaduló radioaktív gázok révén a levegőbe szennyező anyagok is belekerülnek. Mindezek kihatásai nagyrészt ismeretesek, éppen ezért az alábbiak csupán vázlatosan foglalják össze azokat a főbb ártalmakat, amelyeket nagy teljesítményű hő- vagy atomerőművekkel kapcsolatban a természetes környezet káros megváltoztatása miatt a legfontosabbaknak kell minősíteni. Egyben rá kívánunk mutatni azokra a különbségekre is, amelyek hő- és atomerőművek részére ma számításba vehető hűtési (hőelvezetési) rendszerek között, a környezetre való kihatásuk tekintetében mutatkoznak.

A környezetvédelem hosszabb távra érvényes főbb irányelveinek kidolgozásához szükség van az ezzel kapcsolatos nagyszámú adat, ill. körülmény olyan csoportosítására, olyan kategóriák meghatározására, amelyek segítségével rendszerezett munka végezhető. Ez a rendszerezés vázlatosan az alábbi módon alakítható ki.

Hő- és atomerőművek esetében a kondenzációs hő elvezetéséhez a mai technikának megfelelően — a következő hűtési rendszereket alkalmazzák:

1. frissvízhűtés
2. hűtés hűtőtóval
3. hűtés nedves hűtőtoronnyal
4. léghűtésű kondenzáció

ad 1. Frissvízhűtés esetén a természetes vízforrás (folyó, tengerből) vízének hőmérséklete nagy kiterjedésű területen növekszik, a korábban kialakult biológiai egyensúly megbomlik, a víz oxigéntartalma és ezzel öntisztítóképesége csökken, a fokozott párolgás következtében vízvesztés áll elő, a vízpárak a levegőbe kerülnek, elősegítik a ködképződést, a szomszédos utak (repülőterek) esetleges eljegesedését, égéstermékekkel szennyezett — a növényzetre káros — csapadékok keletkezését. Bár a vízpárak nagyobb területen eloszolva kerülnek a levegőbe, a ködképződés és kísérelése helyenként erősek lehetnek.

A turbinák kondenzátoraiban felmelegített vizet egyes javaslatok szerint a vízforrásba való visszavezetés előtt, többszörös mennyiségű friss vízzel lehet hígítani (dilution) a túlmelegítés csökkentésére. Nyilvánvaló azonban, hogy ily módon a párolgás okozta vízvesztés és következményeit nem lehet elkerülni, továbbá a víz oxigéntartalmának csökkenését sem lehet megakadályozni.

ad 2. A helyzet, néhány értelemszerűen nyilvánvaló eltéréstől eltekintve, az előbbihez hasonló azzal a különbséggel, hogy a hőmérsékletnövekedés, következményeivel együtt a mesterséges hűtőtó egészére kiterjed.

ad 3. A nedves hűtőtorony az erőmű veszteséghőjét nagyrészt párolgás útján vezeti el a légkörbe. A vízrendszernek tehát csupán a párolgás

okozta vízvesztéséget kell pótolnia anélkül, hogy a vízforrás maga is felmelegednék. A hűtővíz párolgása a hűtőtorony belsejében következik be, a keletkező igen nagy gőzmennyiség koncentráltan kerül a környező levegőbe és az ebből származó, a frissvízhűtésnél már felsorolt jelenségek, a ködképződés, eljegesedés stb. szűkebb térben, de ennek megfelelően sokkal erőteljesebben mutatkoznak.

ad 4. A léghűtésű kondenzáció alkalmazása esetén a hő- és atomerőművek veszteség hője teljes egészében a légtérnek adódik át a vízrendszer igénybevétele nélkül. A rendkívül nagy mennyiségű, mintegy 20 °C-al felmelegített (de nem szennyezett) levegő a légtérben felemelkedik és nagy magasságokban széteszlik. Minthogy a hőelvezetés vízvesztés, ill. vízpárolgás nélkül megy végbe, az ezzel kapcsolatos káros kísérőjelenségek elmaradnak.

Ha a léghűtésű kondenzációs berendezés az eddigi gyakorlatnak megfelelően természetes felhajtóerővel működő nagy méretű hűtőtoronnyal épül fel, akkor lehetővé válik a hőerőmű égéstermékait, vagy az atomerőmű radioaktív gázait elvezető kéményt a torony közepébe elhelyezni és ezáltal a szennyező anyagokat a felfelé áramló meleg légoszlop segítségével igen nagy magasságba felszállítani. E megoldásnak különösen akkor van nagy jelentősége, ha az erőmű felállítási helyén gyakran keletkeznek inverziós légállapotok, amelyek az ún. smog képződését elősegítik. A léghűtésű kondenzáció alkalmazása tehát a vegyi levegőszennyezés koncentrációjának csökkentését is lehetővé teszi, noha magától értetődően a szennyező anyagok keletkezését nem szünteti meg.

A fentiekben elmondottakat összefoglalja és szemlélteti az I. táblázat. Ebből látható, hogy a különböző hűtési rendszerek mennyire döntően és milyen módon befolyásolják a villamos erőművek kihatását a környezetre. Ezért a hűtési rendszerek helyes megválasztása az erőműépítés távlati programjának egyik sarkalatos kérdése. A táblázatban + jel mutatja azokat a káros hatásokat, amelyeket az erőművek a kiválasztott hűtési rendszernek megfelelően a környezetre gyakorolnak. A — jel azt jelenti, hogy a rovatnak megfelelő hatás elmarad. A ± jel együttes alkalmazása a szóban levő hatás csökkentését, de nem teljes kiküszöbölését érzékelteti.

I. táblázat

Hűtési rendszerek	A vízrendszer megterhelése		Levegőszennyezés	
	A vízforrás felmelegítése	Vízvesztés	Vízgőzzel	Égéstermékkel v. radioaktív gázokkal
1. Frissvízhűtés	+	+	±	+
2. Hűtőtavak	+	+	±	+
3. Nedves hűtőtoronyok	—	+	+	+
4. Léghűtésű kondenzáció	—	—	—	±

Amint a táblázat mutatja, ha egyedül a környezetvédelem szempontjait tekintenénk döntőnek, a léghűtésű kondenzáció adná egyértelműen a legjobb megoldást. Az előbbiekből 1–4. pontok szerint osztályozott különböző hűtési módok beruházási, ill. évi költségei azonban jelentősen eltérnek egymástól. Legkisebb költséggel a frissvízhűtés valósítható meg, legköltségesebb a léghűtésű kondenzáció. Ha azonban figyelembe vesszük, hogy ez utóbbi alkalmazása esetében nagy lépést tehetünk előre a környezetvédelem érdekében, a többletköltség viselése sok esetben indokolt lehet. Ami ennek a többletköltségnek számszerű értékét illeti, az irodalomban számos becslést találhatunk. Ezek közül csupán azt az egyet említjük meg, amelyet Nyugat-Németországban a *Battelle Institut* készített [1]. Eszerint a léghűtésű kondenzáció többletköltsége a nedves hűtőtoronyhoz képest az előállított villamosenergia költségére vetítve mintegy 3,5%, ami azt jelenti, hogy ugyanez az elosztóhálózat végén a fogyasztóknál már csak kb. 1,75%. Ez a többletköltség a frissvízhűtéshez hasonlítva kerekén 6%-ra tehető, ill. a fogyasztóknál mintegy 3%-ra.

A léghűtésű kondenzáció ezen többletköltségei természetesen csak abban az esetben mutatkoznak, ha az erőmű tervezett telepítési helyén a szükséges vízmennyiség gazdaságosan rendelkezésre áll. Ha azonban a vízbeszerzés költségei jelentősek, akkor a léghűtésű kondenzáció többletköltsége csökken, bizonyos esetekben teljesen el is tűnik, sőt negatív értéket is felvehet.

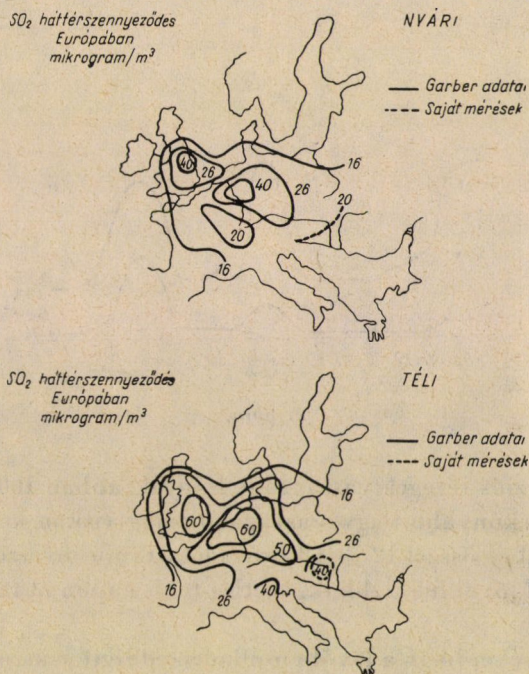
Az előrebocsátottak, továbbá a magyar villamosenergiaipar távlati erőműépítési programja alapján meg lehet becsülni, melyek azok a hőmennyiségek, ill. szennyezőanyagok, amelyeket hosszú távlatban a környezetnek át kell adni. Ezek kihatását a magyarországi adottságok figyelembevételével lehet meghatározni.

E feladat megoldásához elsősorban fel kell mérni az országnak, mint környezetnek földrajzi adottságait. Eközben mérlegelni kell, hogy vízrendszerünk összefügg a szomszédos országokéval és, hogy a közös légtér nemcsak hazánk, hanem kontinensünk határain is túlterjed. A magyar villamosenergia rendszer kihatásait tehát az ily módon értelmezett környezetre kell vonatkoztatni.

A hazai vízrendszer tekintetében, nagy teljesítményű erőművek telepítése szempontjából elsősorban a Duna és a Tisza jöhetnek számításba. E folyókkal kapcsolatban már számos vizsgálat folyt, amelyekre ezúttal nem kívánunk kitérni. Csupán annyit jegyzünk meg, hogy a jövőben építendő igen nagy teljesítményű hő- és atomerőművek telepítésénél még az olyan bővízű folyók, mint a Duna esetében is, a hűtési rendszer kiválasztásához gondos vizsgálatokat kell végezni.

Kontinensünk erősen iparosított területeinek hatásaképpen a levegő hazánk légterébe már jelentős ún. „háttérszennyeződéssel” érkezik, amelynek mértékét általában a levegőben kimutatható kéndioxid mennyiségével jel-

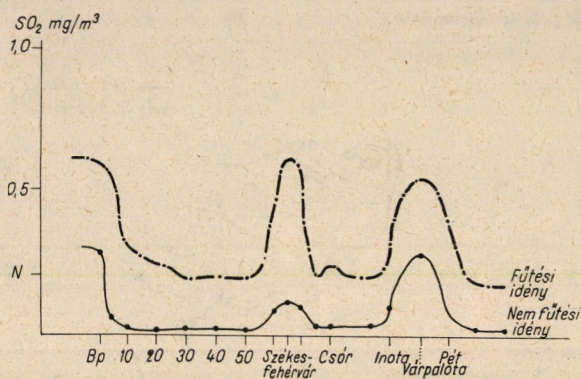
lemzik. Ehhez adódnak hozzá azok a szennyező anyagok, amelyek Magyarországon keletkeznek. Az európai háttérszennyeződés jelenlegi mértékét egy GARBER által közzétett térkép alapján ítélni meg [2]. Ezt a térképet mutatja az 1. ábra, amelyet VÁRKONYI közleményéből [3] vettünk át. Az ábra felső része a nyári, az alsó része a téli helyzetet tünteti fel. Szaggatott vonalak jelzik a hazánkban mérhető értékeket. Ha figyelembe vesszük a higiénás norma SO_2 -re vonatkoztatott $150 \text{ mikrogram/m}^3$ szintjét, megállapítjuk, hogy az



európai háttérszennyeződés télen ennek $1/3$ -át helyenként máris meghaladja és hazánkban is nagyobb a norma $1/4$ -énél. VÁRKONYI említett közleményében további érdekes adatok találhatóak a hazai levegőszennyeződés jelenlegi mértékére vonatkozóan. Ezek közül csupán példaképpen mutatjuk be a 2. ábrát, amely az SO_2 szennyeződés szintjét a Budapest—Székesfehérvár—Várpalota vonalon tünteti fel. Eszerint a levegő SO_2 szennyezettsége télen sehol sem kisebb a diagram függőleges tengelyén megjelölt norma értékénél, a városok és ipartelepek körzetében pedig lényegesen nagyobb. Ez azt jelenti, hogy különösen a lokális levegőszennyeződés mértéke igen nagy, tehát elsősorban ennek csökkentésére kell törekedni. Nyáron, a fűtési időnyen kívül, a helyzet kedvezőbb, de az erőteljes helyi szennyeződések hatása szintén mutatkozik.

Különösen súlyosak lehetnek a lokális levegőszennyezés következményei bizonyos meteorológiai körülmények között, amikor a talajközelségben nagy

kiterjedésű nyugvó légtömegek — ún. hőmérsékleti inverziók — alakulnak ki, amelyek elősegítik a napi sajtó útján is ismertté vált „smog” (füstköd) képződését. Az ilyen esetek egyáltalán nem ritkák és előfordulásuk gyakoriságáról a szakirodalomból nyerhetünk tájékozódást. Például Budapest területe felett 1960—64. években végzett vizsgálatok [4] kimutatták, hogy a szóbanlevő 5 év alatt télen és nyáron azonos számú, 574 talajinverzió fordult elő.



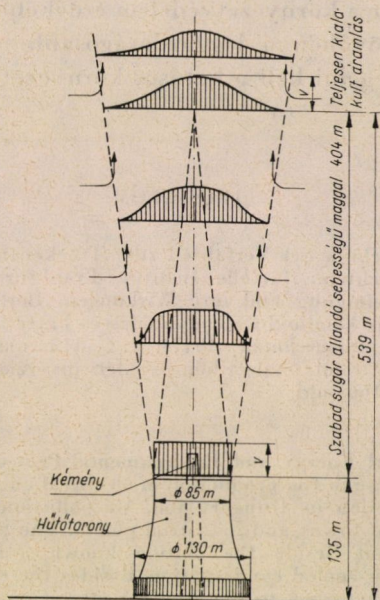
2. ábra.

A talajközeli inverziós rétegek vastagsága leggyakrabban 100 és 500 m között alakul ki, ennél vékonyabb vagy vastagabb réteg ritkán keletkezik. Nyáron rövidebb, tavasszal és ősszel 12 ÷ 18 órás időtartamú inverziók is észlelhetők, míg télen 24 óránál jóval hosszabbak, esetleg több napon át tartók is előfordulnak.

Figyelembe véve, hogy a jövőben minden eddigit sokszorososan meghaladó teljesítményű erőműveket fognak építeni, különösen fontossá válik, hogy az ezek által okozott lokális levegőszennyeződést csökkentsük. Ennek megvalósítása lehetséges a ma ismeretes megoldással, vagyis megfelelően magas kémények építésével, vagy léghűtésű kondenzáció alkalmazásával, a torony közepében elhelyezett alacsonyabb kéménnyel. Ez utóbbi megoldás főbb jellegzetességeit, valamint azokat az előnyöket, amelyeket levegőszennyeződés csökkentése szempontjából nyújt, az alábbiak foglalják össze.

A 3. ábra egy léghűtésű kondenzációval működő példaképpen 600 MW teljesítményű hőerőmű hűtőtornyát ábrázolja, amelyből a torony tetején egy függőlegesen felfelé-áramló szabad légsugár lép ki. Az ábra az egyszerűség okából egy, a környező levegővel azonos hőmérsékletű légsugár áramlási viszonyait tünteti fel. Első közelítésként tehát figyelmen kívül hagyjuk, hogy a torony levegője mintegy 20 °C-kal melegebb a környezeténél. Egy ilyen szabad légsugár áramlási viszonyai oly módon alakulnak ki, hogy a torony tetején egyenletesnek feltételezett kilépő sebesség a légsugár magjában,

egy felfelé szűkülő kúpon belül állandó marad, ezenkívül azonban az ábrán látható módon csökken. Amint a szakirodalomból ismeretes, az állandó sebességű mag a kilépési keresztmetszet átmérőjének mintegy $4 \div 5$ -szöröséig terjed, majd ezután a sugár közepében is megkezdődik az áramlási sebesség csökkenése. Ha tehát az erőmű kéményét a hűtőtorony közepébe helyezzük el, akkor ezek a szennyező anyagok gyakorlatilag a környező levegővel való



3. ábra. Léghűtésű kondenzációval működő 600MW teljesítményű hőerőmű hűtőtornyából felemelkedő légsugár

keveredés nélkül kerülnek az áramlási mag emelkedési magasságáig, és hígítódásuk csupán efelett kezdődik meg. Ez a magasság, a torony példaképpeni méretei mellett mintegy 500 m. Nyilvánvaló, hogy ezt szokványos kéménnyel nem lehet elérni. Még kedvezőbb a helyzet, ha figyelembe vesszük, hogy a légsugár a valóságban melegebb a környezeténél, tehát felhajtóerővel rendelkezik, ami a szállítómagasságot növeli. Közelítő számítások azt mutatják, hogy egy ilyen légsugár több száz méter vastagságú inverziós rétegen is át tud törni, amiáltal a szennyező anyagok az inverziós réteg felett oszlanak szét. Nyilvánvaló, hogy ily módon a lokális szennyeződés mértéke lényegesen csökkenthető.

A 3. ábra a toronyból felszálló levegősugarat szélcsendes időben ábrázolja. Szeles időben azonban a levegősugár a szél irányának és sebességének megfelelően elhajlik. Erős szél a légsugarat össze is keverheti és ezzel szállítóképeségét megszüntetheti, de ugyanekkor a szennyező anyagok felhígítását

is elvégzi. Erős szél ezenkívül inverzió keletkezését megakadályozza. Mind-ebből megállapítható, hogy a helyi légszennyezés csökkentésére a hűtőtorony közepébe épített kémény éppen akkor a leghatásosabb, amikor inverzió, vagy legalábbis szélesend van, vagyis amikor a szennyező anyagok felhígítása a legnehezebb.

Az elmondottak csupán megvilágítani kívánták azokat a szempontokat, amelyeket Magyarországon a villamosenergia-termelés távlati programjának részletes összeállításakor a környezetvédelem érdekében figyelembe kell venni. Nyilvánvaló, hogy a jövőben a leggazdaságosabb megoldások kiválasztása mellett, gondosan mérlegelni kell a hatásos környezetvédelem követelményeinek kielégítését is.

IRODALOM

1. WOLF, H.: Stand und Technik der Verfahren zur „Troddenen Rückkühlung“ sowie deren wirtschaftliche Aussichten. Battelle Institut, Frankfurt am Main, November 1971
2. GARBER, K.: Luftverunreinigung und ihre Wirkungen, Berlin 1967, 40–48 old.
3. VÁRKONYI T.: A regionális kéndioxid-szennyeződés és háttérkoncentráció mérése Magyarországon *Energia és Atomtechnika* (1971), 412–413. old.
4. VENTURA, E.: A Budapest fölött észlelt hőmérsékleti inverziók jellemzői. *Időjárás* (1968) május-juniusi füzet, 166. old.

Generation of Electrical Energy and Environmental Protection in Hungary. The perspective of a substantial increase in the production of electrical energy rises the pertinent problems of environment protection in Hungary too. Air pollution in Hungary is already very strong in the surroundings of towns and industrial plants. The primary aim, therefore, is the reduction of local air pollution. Besides the solutions known to-day, this can also be attained by the wide-spread use of air-cooled condensation. Besides the economy of energy production great importance should be attached to the requirements of environment protection too.

Elektrische Energieerzeugung und Umweltschutz in Ungarn. Die perspektivisch steil ansteigende Elektroenergieerzeugung wirft auch in Ungarn die damit verbundenen Probleme des Umweltschutzes auf. Die Luftverschmutzung ist in Ungarn in der Umgebung der Städte und Industrieanlagen schon heute von bedeutendem Ausmaß, weshalb vor allem die Verminderung der lokalen Luftverschmutzung anzustreben ist. Neben den heute bekannten Lösungen kann dies auch durch zunehmende Anwendung der Luftkondensation erzielt werden. In Zukunft muß neben den wirtschaftlichen Fragen der Elektroenergieerzeugung auch den Forderungen des Umweltschutzes größere Bedeutung beigemessen werden.