

302935

ÉPÍTŐANYAG



CEMENT, MÉSZ
TÉGLA, KERÁMIA
ÜVEG ÉS KŐIPAR

6. SZÁM

A mész- és cementipar,
az üvegipar, a finom-
kerámia-, a téglá-, cserép-
és kőbányaipar tudományos
szakirodalmi folyóirata

Felelős szerkesztő:

Egyed Zoltán

★

Főszerkesztő:

Dr. Korányi György

★

Szerkesztőségi titkár:

Hinsenkamp Alfréd

★

Szerkesztőbizottság:

Bereczky Endre

Beke Béla

Baksay Zoltán

Erdély Imre

Grofcsik János

dr. Knapp Oszkár

dr. Lehmann Edit

Mayer Károly

Németh Béla

★

Szerkesztőség:

Budapest, V., Honvéd-u. 22,

II. lépcső I. emelet 4.

Telefon: 124-438

★

Felelős kiadó:

az Építőanyagipari Könyv-

és Lapkiadóvállalat

igazgatója

★

Kiadóhivatal:

V, Kálmán-utca 16

Telefon: 121-585

TARTALOM

	Old.
Gyorségetésnél felmerülő problémák	197
<i>Szabó László:</i> Forgókemencék béléstartóssága	211
<i>Gomperz István:</i> A körkemencék hőmérlegének számítási módszere	216
<i>Csutor János:</i> Nomogrammok betonkészítéshez	224
<i>Kulikov N. I.:</i> A forgókemencék további tökéletesítésének kérdéséhez	230
Kérdés-felelet	232

Содержание:

	сторона
Вопросы скоростного обжига	197
<i>Сабо Ласло:</i> Стойкость футеровки вращающихся печей	211
<i>Гомперц Иштван:</i> Расчет теплового баланса кольцевых печей	216
<i>Чутор Янош:</i> Номограммы для приготовления бетона	224
<i>Н. И. Куликов:</i> К вопросам усовершенствования вращающихся печей	203
Вопросы-ответы	232

SOMMAIRE:

	Nos. Pages
Les problèmes de la cuisson rapide	197
<i>László Szabó:</i> Durabilité du revêtement des fours rotatifs	211
<i>István Gomperz:</i> Méthode de calcul du bilan de chaleur des fours rotatifs	216
<i>János Csutor:</i> Nomogrammes pour la fabrication du béton	224
<i>N. I. Kulikov:</i> Contribution au problème du perfectionnement des fours rotatifs	230
Questions-reponses	232

Az első oldalon lévő kép : Cserépgyári műszárítót mutat be.

Ezekben a napokban tartja ülését a Béke-Világtanács. Itt vannak országunkban a világ békemozgalmának kiváló harcosai, Nyeszmejanov elvtárs, a szovjet Tudományos Akadémia elnöke, a kiváló kémikus, Gabriel d'Arbussier a gyarmati elnyomásban élő színes emberek jogainak nagy harcosa, Ilja Erenburg a szovjet nép nagy békeharcosa, Alexandr Fagyjev az író, Kuo Mo-zso, a kínai nép kimagasló képviselője, Szajjuddin Kicslu, az indiai békemozgalom nagy férfia, Max Cosyas, a világhírű belga fizikus, Emi Sziao a költő, Ikuo Ojama a jogász és sokan mások, akik a világ békeszerető embereit képviselik, azokat, akik ma már több mint 800 millióan tömörültek, világnézetre, felekezetre és életformára való tekintet nélkül a nagy Szovjetunió köré azzal az elhatározással, hogy minden agresszió ellenében megvédik a békét.

A tudomány emberei — közöttük mi is — úgy érzik, hogy ki kell vennünk részüket a béke megvédéséért folyó harcból, sőt tudják, hogy ezekben a napokban be kell számolnunk harcuk eddigi eredményeiről. A tudomány embereinek legfőbb fegyvere ebben a harcban a munka. Nem a „steril“ tudományos munka, nem az öncélú idealista „tisza tudomány“, hanem az a tudomány, amely a néppel és a népért dolgozik. A mi szocializmust építő tudományunk az elmélet és a gyakorlat szoros dialektikus egységére épül fel. A polgári tudomány idealista világszemlélete nélkülözi az elméletnek és a gyakorlatnak ezt az egységét. A polgári tudomány elmélete szándékaiban mindig, a valóságban szinte kivétel nélkül a gyakorlat előtt kíván haladni, tagadja az elmélet és a gyakorlat tudatos és szoros egységét és ezzel megtagadja a dialektikus materializmus módszerének alkalmazását, s így öncélúvá válik.

A dialektikus materializmus módszerének a tudományban való következetes alkalmazása, az elmélet és a gyakorlat tudatos és szoros egysége, a tudomány és a szocialista építés elválaszthatatlan kapcsolata, a tudós és a kétkézi dolgozó együttműködése azt jelenti, hogy az elmélet nemcsak ad a gyakorlatnak, hanem sokszor tudatosan és sokat vár és kap a gyakorlattól.

A tudomány emberei ma már hazánkban sem élnek elefántcsonttoronyban, de sokhelyütt még nehezen mozognak a szabad levegőn. Az első tétova lépések megtételénél gondoljanak a nagy Sztálin bölcs szavaira: „... A tudomány adatait mindenkor a gyakorlat, a tapasztalat ellenőrizte. Micsoda tudomány az, amelynek megszakadt a kapcsolata a gyakorlattal, a tapasztalattal? ...“

„A tudományt éppen azért nevezik tudománynak, mert nem ismer el féltist, nem fél kezét emelni arra, ami lejárta magát, ami elavult és éberem figyel a tapasztalat, a gyakorlat szavára. Ha a dolog más-kép állna, egyáltalán nem volna tudomány, nem volna például csillagászat, hanem még mindig a Ptolemaios elvült rendszerén rágódnának, nem volna biológia, s még az ember teremtéséről szóló legendával vigasztalnánk magunkat, nem volna vegyészlet s mi még mindig az alchimisták jóslataival vesződnénk...“¹

A mi tudósaink már a Sztálin elvtárs kijelölté úton járnak. A Béke-Világtanács ülését megelőző hetekben kibontakozott hatalmas mozgalom, a békeverseny sok nagyszerű eredményét tudósok és kétkézi dolgozók válllve érték el. Ezt a versenyt százak, ezrek, tízezrek kezdeményezték. Száz, ezer, tízezer helyről indultak el a munkások, a veltük szövetséges parasztok, a haladó értelmiség — közöttük a tudomány emberei — azért, hogy még nagyobb nyomatékot adjanak a békés, boldog Magyarország szocialista építéséért kifejtett munkájuknak.

Az építőanyagipar dolgozói ezekben a napokban, ezekben a hetekben megsokszorozzák erőfeszítéseiket a terv teljesítéséért, a terv túlteljesítéséért és azért, hogy ezek az erőfeszítések állandósuljanak, azért, hogy az eredmények ne egy-egy kimagasló újító, ne egy-egy sztahanovista dolgozó, ne egy-egy kiváló tudós eredményei maradjanak, hanem hogy a gyakorlat a tudomány eredményeire támaszkodva fejlődjék, a tudomány a gyakorlat tapasztalataiból okuljon és a tudomány és gyakorlat szoros sztálini egysége együtt segítse hozzá dolgozó népünket a békéért folytatott harc leghatékonyabb fegyveréhez, az eredményesen végzett munkához.

Új cementgyáraink, téglagyáraink, előregyártó üzemünk, porcelánégető kemencéink, építőanyagiparunk soha nem látott fejlődése, öt éves tervünk és második öt éves tervünk épülő büszke alkotásai a békét szolgálják. Békealkotásaink szívünkhez nőttek, békeműveinket szeretjük, ezekben fektetett munkánkat, a békéért folytatott harcunk látható eredményét minden agresszióval szemben megvédjük.

A Béke-Világtanács ülése folyik. A Béke-Világtanács dolgozó népünket képviselő tagjai ezt az elhatározásunkat hozzák a 800 millió békétábró képviselő békeharcosok tudomására és ezzel ez az elhatározásunk fogadalommá válik.

Fogadalmunkat meg is fogjuk tartani.

¹ J. V. Sztálin: A leninizmus kérdései. Szikra 1950. 594 old.



Gyorségetésnél felmerülő problémák

A „Silikat Technik“ c. folyóirat 1952. decemberi számában megjelent közlemény

A körkemencében végbemenő folyamatok elméleti megvizsgálásánál mindenekelőtt meg kell állapítani, hogy a kemenceüzemnél milyen szerepet játszanak az egyes tényezők, vagyis, hogy milyen hatással van az égetés sebességére és ezzel kapcsolatban — általánosságban — a kemence teljesítményére a levegő hozzávezetés és a kémény-huzat változása, valamint a berakási mód. Az erre vonatkozó vizsgálatokat megnehezítette az a körülmény, hogy körkemencéknél folyamatos hőmérsékleti-, nyomás- és mennyiségi méréseket csak esetenként és ritkán végeztek és hőtechnikai vizsgálati eredmények is csak csekély számban állnak rendelkezésre. Tisztán hőtechnikaiszempontból sem vették figyelembe a körkemence különleges sajátosságát, hanem többnyire csak az általános szempontokat tekintették, amelyek az égésre érvényesek és ezeket a kemence égetési folyamataira is alkalmazták. Ez szükségszerűen ellentmondásokhoz vezetett, amikor a gyorségetést és hőtechnikailag helyes kemencekezelést elemezni kezdtük. Duvanov zseniális műve éppen abból áll, hogy ő a kemencében biztos érzéssel a gyorségetés újszerű lefolyásához szükséges legcélszerűbb körülményeket tudja megteremteni.

A gyakorlat mindenesetre megkövetelte az irodalomban rendelkezésre álló anyag beható vizsgálatát, a meglévő mérési adatok értékelését, valamint a következő kérdések beható megvitatását:

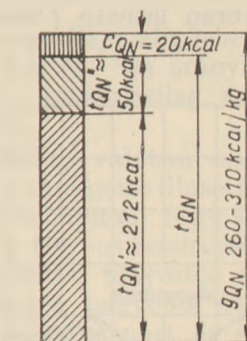
1. Az ipari kemencék, különösen a körkemencék hatásfoka.
 2. A körkemence felhalmozott hője és a falveszteségek.
 3. Az égési hőmérséklet és hőátadás a körkemencékben.
 4. Kedvezőbb légfelesleg-tényező.
 5. Füstgáz-elemzés a körkemencénél.
 6. A depresszió alakulása a körkemencében.
 7. Gyorségetés Duvanov szerint, a tűzsebesség a körkemencében.
 8. Lehet-e a körkemencében a szárítást befejezni.
 9. A tüzelőanyag bekeverése a termékbe.
 10. Milyen legyen egy ideális gyorségető kemence.
- Az itt felsorolt problémák körvonalazzák a gyorségető kemence teljes elméletét.

1. A körkemence hatásfoka

Az eddigi vizsgálatoknál a körkemence hatásfokát mindig figyelembe vették, anélkül, hogy annak közelebbi meghatározására sor került volna. Sőt számos esetben abból a feltevésből indultak ki, hogy a kemence hatásfoka minden részében

egyformán kb. 50%. Ez annyit jelentene, ha ezer téglát égetéséhez (3500 kg) elméletileg kerekén 900 000 kcal. szükséges, akkor 1 800 000 kcal-t kellene felhasználni, mert hiszen csupán 50% értékesíthető. Azt is állították, hogy a kemence eme $\eta = 50\%$ -os összhatásfokának megfelelően a hűlő részben (hűlőszakaszban) levő hőnek ugyan csak csupán 50%-a hasznosítható (1). A hűlő rész hőjének felhasználása a Duvanov eljárásnál döntő fontosságú.

A „hatásfokok“ összességének megállapításánál felmerült továbbá annak a szüksége is, hogy a *hasznos hő* fogalmát is meghatározzuk. A hasznos hő a tégláégetésnél az 1. ábra szerint a következőképpen oszlik meg:



1. ábra. 1 kg téglát égetéséhez szükséges hasznos hő

a) a száraz anyag felhevítésére szükséges részre, tehát egy fizikai részre, amelynek a lehülésnél visszanyerhetőnek kell lennie és amely gyakorlatilag az égetett cserepekben levő hőnek felel meg

$${}^1Q_N = P \cdot c_{pm} \cdot t_G \quad (1)$$

P = a kész égetett termék (tégla) súlya,

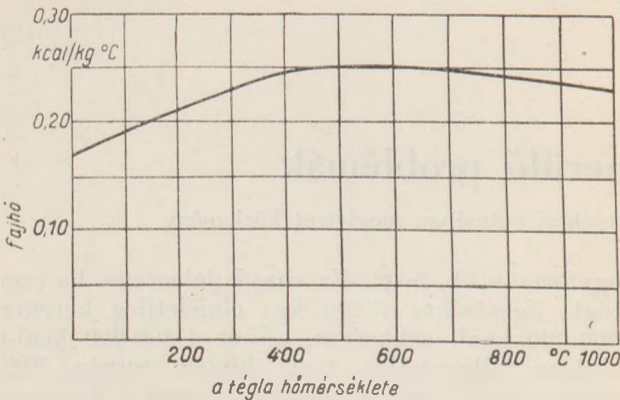
t_G = a betét hőmérséklete teljes elégésnél,

c_{pm} = a téglák átlagos fajhője $0-t_G$ -ig a 2. ábra szerint.

b) a fennmaradó víz elpárologtatásához szükséges részre. Ezt a hőmennyiséget is ki lehet számítani, ha ismerjük a nedvességet. Miersch kutatásai szerint üzemeinkben 5—8% maradék vízzel lehet számolni mesterséges szárítás esetén, míg szabadlevegőn történő szárításnál 8—12%-kal számolhatunk. Itt is ugyancsak tisztán fizikai folyamatról van szó és ekkor

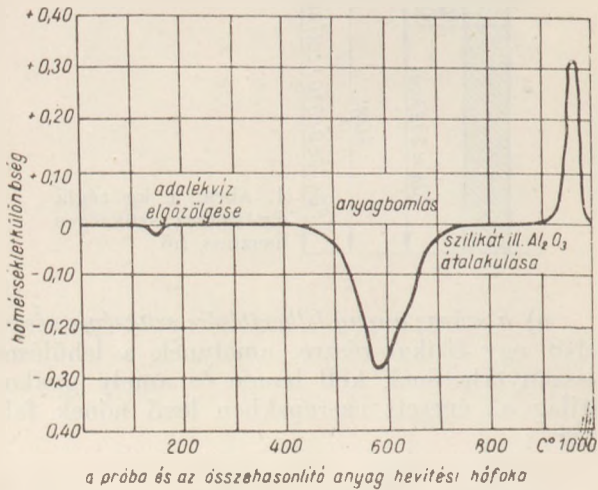
$${}^2Q_N'' = V \cdot i'' \quad (2)$$

V = a víz súlya kilogrammokban a betétben,
 i'' = a gőz hőtartalma, beleértve a párolgási hőt.



2. ábra. A téglák közepes fajhője

c) arra a részre, amelyet elő kell állítani, hogy a fizikai-kémiai és a kémiai átalakulások és reakciók lefolyása biztosítva legyen. Ezek a kristályvíz távozásánál és a CO_2 távozásának kezdetén $450-600\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet körül nagymértékben hőfogyasztók (endoterm). Viszont $900\text{ }^\circ\text{C}$ -nál valószínű szilikátképződés, illetőleg az Al_2O_3 átváltozása folytán igen nagymértékű hőleadás indul meg (exoterm folyamat). A kaolinitre vonatkozó differenciálfelhevülési görbe a 3. ábrán látható (Salmang szerint).



3. ábra. A kaolinit termidifferenciál analízise

A hasznos hőnek — Q_N —, eme része még a kénvegyületek oxidációjánál és szerves anyagoknál felszabaduló hőmennyiségeket is tartalmazza. Ez tehát mind eme folyamatok hőmennyiségének eredményét fejezi ki és nagy mértékben függ az anyag minőségétől. Ezt csak az anyag pontos ismeretében lehet megállapítani.

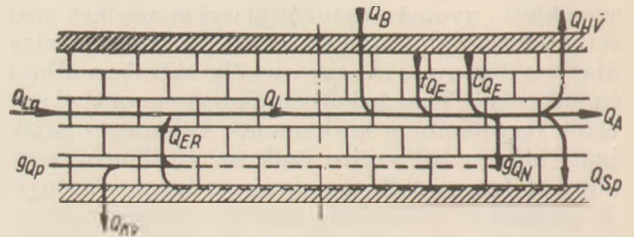
Anélkül, hogy a további részletekre kitérnénk, megállapíthatjuk, hogy a Q_N hasznos hőre vonatkozó eme ismertetéseknek megfelelően, Heiligenstaedt magyarázataira támaszkodva és az üvegiparnál szereplő hasznos hő mintájára (4) a következő meghatározásokat állapították meg:

A hasznos hő a kémiai és fizikai átalakulások lefolyásához szükséges hőmennyiség, beleértve azt a hőmennyiséget is, amelyet a betétbe kell hozzávezetni azért, hogy oly hőmérséklet legyen elér-

hető, amely a gyártásnál rendes körülmények között szükséges.

Ez a megállapítás pl. Wagener (5) véleményével ellentétben áll, aki csak a c) alatt említett részt tekinti hasznos hőnek, mégis ezt a meghatározást mondták ki helyesnek. Schuen szerint tégláknál $900\text{ }^\circ\text{C}$ égetési hőmérséklet esetén megfelelő jó értéknek veendő $900\ 000\text{ kcal}/1000\text{ tégl} = 256\text{ kcal}/\text{kg}$. Miersch szerint ez az érték az anyagtól függően 257 és $314\text{ kcal}/\text{kg}$ között mozog.

A hasznos hő fogalmának meghatározása után most már megvizsgálhatjuk a körkemencék hatásfokait, tudniillik ezeknek egész sorozata létezik. Ha hatásfokokkal számolunk, akkor ezeket pontosan meg kell magyaráznunk. Ez célszerűen a Rummel-féle (6) eljárás szerint történhet; emellett ajánlatos körkemencéknél a számításban a kemence hűtött részét annak többi részétől elkülönítve tekintetbe venni.



4. ábra. Hűtők kerámiai körkemencékben

- Q_R = a tüzelőanyag által a körkemencébe vitt összes hőmennyiség (érezhető és kémiai)
- tQ_E = a betét érezhető hője
- eQ_E = a betét bevezetett egyéb hőmennyiség (kémiai stb.)
- Q_{La} = az égési levegővel kívülről bevezetett hő.
- Q_L = a levegőnek az égési szakaszban vezetett összes hőmennyisége
- Q_{ER} = a betétből és a kemence falzatából a levegő előmelegítés révén visszanyert hőmennyiség
- gQ_N = az összes hasznos hő a megállapított meghatározás szerint
- Q_{HV} = kemencevesztések a fűtési részben (égetési, előmelegítési-szárítószakasz)
- Q_{SP} = tárolt hő, amely a hűlőszakaszban a kemence falainak, a hűlőszakaszban a levegőnek átadódik
- Q_A = füstgázok hővesztései
- gQ_P = a kész terméknek még meglévő összes hőmennyisége a kemencéből való kilépésnél
- Q_{KV} = kemencevesztések a hűlőszakaszban

Az erre vonatkozó vázlatos elrendezést a 4. ábra tünteti fel, amely általában a körkemencében lévő hőmennyiségeket is ábrázolja.

Az összes hőfolyamatok megfigyelésénél mindig $0\text{ }^\circ\text{C}$ -t kell alapul venni.

A kemence hatásfoka egész általánosságban az összes hasznos hőmennyiségnek viszonya az összes bevezetett hőmennyiséghez.

$$\eta_0 = \frac{gQ_N}{Q_B + Q_{ER} + Q_{La} + tQ_E}$$

E képletből azonban nem sokat következtethetünk a kemence egyes részeire, különösen vitás az a kérdés, hogy mennyit tesz ki Q_{ER} .

Ha csak az égési szakaszt vesszük figyelembe az ahhoz csatlakozó előmelegítő szakasszal együtt (a — — vonaltól jobbra fekvő részt), akkor az

egész η_H fűtött rész összes hatásfoka az összes bevezetett hőnek az összes hasznos hőhöz való viszonya:

$$\eta_H = \frac{Q_N}{Q_B + Q_L + Q_E} \quad (3)$$

Az ú. n. tüzeléstechnikai hatásfok — η_I — megmutatja, hogy a bevezetett hő a Q_A kemencegázok okozta hővesztés levonása után milyen arányban áll a bevezetett hőhöz. Miután a Q_A veszteség mindig fennáll, mert a kemencegázoknak 0° fölött kell eltávoznuk, az η_I bizonyos mértékben megadja, hogy a bevezetett hőnek hányadrésze használható fel, az elérhető legalacsonyabb gázhőmérsékleten

$$\eta_I = \frac{Q_B + Q_L + Q_E - Q_A}{Q_B + Q_L + Q_E} \quad (4)$$

A kemencetér hatásfoka megadja, hogy a kemencébe bevezetett hő mely része hasznosítható, figyelembe véve a füstgázban előálló elkerülhetetlen veszteségeket.

$$\eta_r = \frac{Q_N}{Q_B + Q_L + Q_E - Q_A} \quad (5)$$

A fűtött rész összhatásfoka:

$$\eta_H = \eta_I \cdot \eta_r \quad (6)$$

Összehasonlításképpen *W. Schuen* egyik közleményéből vettük át az értékeket, ahol 1000 téglára a számok 10^3 kcal-ban értendők.

$$Q_N = Q_B + Q_L + Q_E - (Q_{HV} + Q_{S_p}) - Q_A$$

$$900 = 1100 + 350 - 490 - 60$$

157 kg felhasznált kőszénmennyiség füstgáz vesztesége kereken 60 000 kcal, a légefelesleg $\lambda = 1,5$ a füstgáz mennyisége $a = 11,6 \text{ Nm}^3/\text{kg}$. Szén és a füstgáz hőmérséklete $t_A = 100^\circ$. Q_E -t egyszerűség kedvéért 0-nak vesszük (a téglák nem hoznak hőt a kemencébe). Ha 1000 téglából — miként azt mindig állítják — csak 350 000 kcal nyerhető vissza, akkor: (a számok ismét 10^3 kcal-ban veendő)

$$\eta_H = \frac{900}{1100 + 350} = 0,62,$$

$$\eta_I = \frac{1100 + 350 - 60}{1100 + 350} = 0,96,$$

$$\eta_r = \frac{900}{1100 + 350 - 60} = 0,65,$$

vagy pedig $\eta_H = \eta_I \cdot \eta_r = 0,96 \cdot 0,65 = 0,62$.

Ez a kemence ama részére vonatkozik, amely az égetési szakasztól a füstgáz eltávozásáig terjed (fűtési rész).

Már ebből a levezetésből kiviláglik — szemben az általános véleménnyel — hogy a körkemencében uralkodó alacsony hőmérsékleten a füstgáz okozta hővesztés csekély. Még abban az esetben is, ha a levegő-felesleg következtében a füstgáz mennyisége a kétszeresére növekedett volna, a teljes hatásfok, η_H , 8% hővesztés esetén is ($\eta_I = 0,92$) csupán 2%-kal (0,60-ra) rosszabbodik. Erre még a levegőtényező tárgyalásánál is ki fogunk térni.

A körkemence hűlő részére (hűlőszakasz) a

4. ábrán a — — vonaltól balra levő vázlatot kell megfigyelni. Itt ismét az a kérdés merül fel, hogy valójában 1000 téglánként csupán 350 000 kcal nyerhető-e vissza a hűtőlevegő segítségével. Az 1000 db téglá hőtartalma az (1) egyenlet szerint, figyelembe véve hogy a téglá végső hőmérsékletét még nem érte el, kereken 700 000 kcal. A kemence összhatásfoka a fenti számok alapján ismét

$$\eta_0 = \frac{900}{1100 + 700} = 50\%,$$

míg a hűlő rész kihasználási tényezője, f_K , a betétből visszanyert hőnek Q_{ER} (állítólag 350 000 kcal) a forró betét érezhető hőjéhez Q_E való viszonya.

$$f_K = \frac{Q_{ER}}{Q_E} = \frac{350}{700} = 50\% \quad (7)$$

Mindenesetre figyelembe kell venni, hogy a hűtő-rész hatásfokát (η) akként kell meghatározni, hogy Q_{ER} alatt — miként azt a séma mutatja — a betétből származó hő, valamint a kemence falából származó hő értendő, tehát

$$\eta_K = \frac{Q_{ER}}{Q_E + Q_{S_p}} \quad (8)$$

Mint hogy Q_{S_p} -t alig lehet pontosan meghatározni, míg Q_{ER} és Q_E aránylag pontosan megállapíthatók, gyakorlatilag a (7) egyenlettel számolhatunk.

Ha f_K valóban csak 50% volna, akkor az egész gyorségetés illuzorikus lenne. Ezért igen fontos megbizonyítani, hogy a körkemencének többször idézett 50%-os összhatásfoka ellenére, a hűlő rész kihasználási tényezője nem 50%, hanem annál lényegesen nagyobb. Csakis igen hanyag üzem mellett csökkenhet ez erre az alacsony értékre, ha a tömítetlen szűrőlyukak, a huzatzáró harangok stb. által a hűlő szakaszban (Q_{KV}) nagyobb veszteségek állnak elő.

A hűlési viszonyok tisztázására a léghevítőknél már pontosabban kivizsgált folyamatait vizsgálatainknál figyelembe kell vennünk, miként azt *Schuen* javasolta.

A léghevítőben és a körkemencében lejátszódó hőtechnikai folyamatok nagy mértékben hasonlítanak egymáshoz, ha a léghevítő periódusát, — amelynek rácszatát előbb felmelegítik és azután a hőt a nagyolvasztó levegőjének előmelegítésére használják — összehasonlítjuk a körkemencénél az égési és hűlő szakasz térbeli elválasztásával (v. ö. 5. ábra). A hővisszaadás periódusára a 6. ábrán feltüntetett η_K hatásfok veendő. Ez a hatásfok kereken 76—84%-ig terjed. A 7. ábra összehasonlításképpen az f_K -ra szerkesztett görbéket tünteti fel. Ez a tényező természetesen nagyobb, mint η_K miután a (7) egyenletben a nevezőben csupán Q_N áll, míg a (8) egyenletben $Q_N + Q_{S_p}$. Elővigyázatosságból egyelőre csak $f_K = 0,82$ -t vettünk számításba. *Avenhaus* (7) 201,0 oly körkemencét említ, amelynél Q_N — 688 214 kcal/h mellett a levegő a hűlő szakaszban 522 577 kcal/h-t vett fel s így f_K az esetben 0,76.

Ezzel tehát az η_H (fűtőrész hatásfoka) az η_K (hűlőrész hatásfoka), valamint az f_K hatástényezője értelmileg meg vannak állapítva.

A körkemence η_0 összhatásfokának összefoglalásánál figyelembe kell venni, hogy a hasznos hőmennyiségbe foglalt érezhető hő (Q_E), a gyártásnál tényleg felhasznált energiának kell tekinteni. Ha azt visszanyerjük, akkor ezt a folyamatot a hőmérlegben úgy kell tekinteni, mintha idegen energiaforrásból vezetünk volna hőt az égési folyamathoz. A téglá az égetési hőmérsékletnél valóban az egész hasznos hőt felvette. Ha elképzeljük, hogy e pillanatban — ily forrón — kivesszük a kemencéből az égési levegőt és a kemencén kívül hevíti fel, az egész hatásfokszámítás ugyanaz marad. A hővisszanyerés tehát hatásfokszámítás szempontjából csak véletlenül történik a kemencében, Q_E tehát a kemencébe juttatott járulékos energia. Ennélfogva a kemencébe bevezetett összes hőmennyiség

$$Q_0 = Q_B + Q_N + Q_{La} + Q_E \quad (9)$$

és ezzel az összhatásfok

$$\eta_0 = \frac{Q_E}{Q_0} = \frac{Q_E}{Q_B + Q_N + Q_{La} + Q_E} \quad (10)$$

A η_0 , η_H és η_K közötti összefüggéseket felismerhetjük, ha (3) képletből a Q_N értékét

$$Q_N = (Q_B + Q_L + f_K Q_N + Q_E) \cdot \eta_H$$

a (10) képletbe behelyettesítjük, és így

$$\eta_0 = \frac{(Q_B + Q_{La} + f_K Q_N + Q_E) \cdot \eta_H}{Q_B + Q_N + Q_{La} + Q_E} \quad (11)$$

Ha e példa helyes számértékeit a különböző egyenletekbe (10^3 kcal/1000 téglá) — behelyettesítjük, akkor a (4) képlet szerint

$$\eta_H = \frac{1100 + 575 - 60}{1100 + 575 + 0} = 0,963.$$

Az (5) képlet szerint

$$\eta_r = \frac{900}{1100 + 575 - 60} = 0,557.$$

A (3) és a (6) képlet szerint

$$\eta_k = \frac{900}{1100 + 575} \cdot 0,963 \cdot 0,557 = 0,537.$$

A (10) képlet szerint

$$\eta_0 = \frac{900}{1100 + 700 + 0 + 0} = 0,50 \quad (Q_{La} = 0),$$

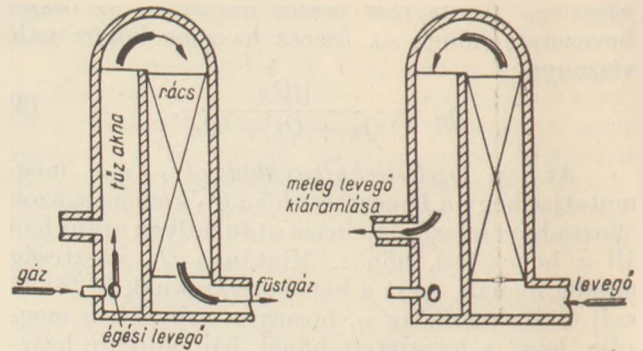
$$\eta_K = 0,82.$$

A (11) képlet szerint

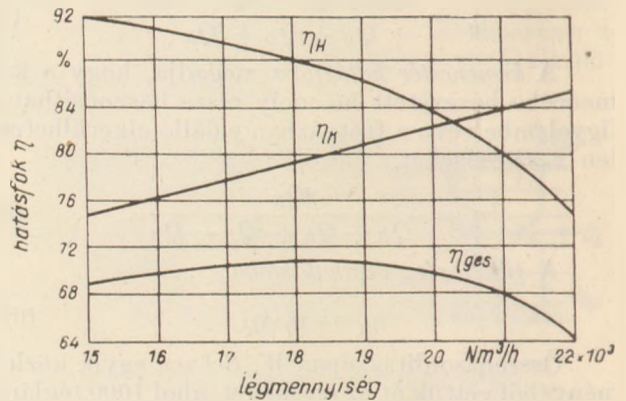
$$\eta_0 = \frac{(1100 + 0 + 0,82 \cdot 700 + 0) \cdot 0,537}{1100 + 700 + 0 + 0} = 0,5.$$

Ily módon tiszta képet nyerünk a kemence viszonyairól és világosan látszik, hogy az 50%-os összhatásfok ellenére, a hűlőrész hatásfoka 82%. A Duvanov-kemencére Hack—Kalantar (8) mérései alapján a következő mérési számok érvényesek :

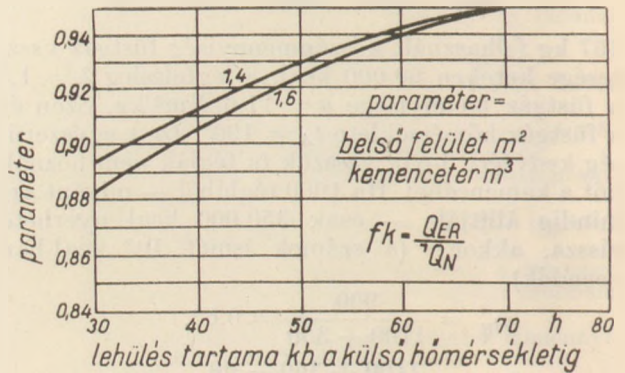
$$\begin{aligned} \eta_H &= 0,88 & \eta_K &= 0,82 \\ \eta_r &= 0,87 & \eta_0 &= 0,69 \end{aligned}$$



5. ábra. A léghevítő vázlatja a körkemence felhevítési időszakához hasonlítva



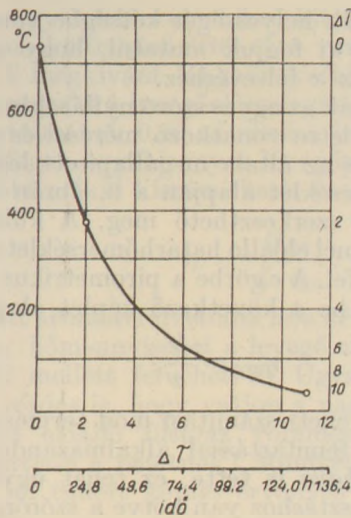
6. ábra. A léghevítő hatásfoka különböző légssebességnél, de egyforma léghőmérséklet mellett



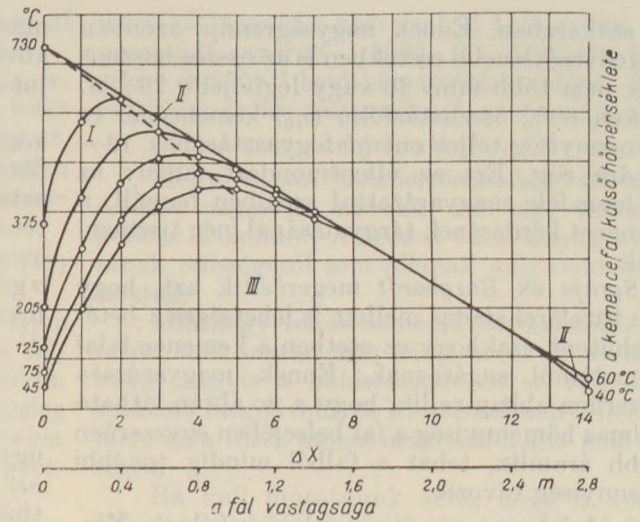
7. ábra. A körkemence hűlő szakaszának hatásfokgörbéi

A tárolt hő és a falvesztéssel:

Már rámutattunk arra, hogy a tárolt hőre vonatkozó adatok mindig bizonytalannak látszanak, de feltétlenül külön kell választani ama tárolt hőt, amelyet csak egyetlen egyszer — gyakorlatilag tehát a kemence begyújtásánál kell a kemencébe bevezetni — attól a hőmennyiségtől, amelyet minden tűz áthaladásnál a falzatba és a kemence aljába be kell vezetni, ami azután a kihülésnél a levegőnek átadódik. Az elsőnek említett hőmennyiség, amely a 4. ábrán nincs említve, ugyan tekintélyes nagyságú, azonban a kemencében végbemenő folyamatban nem vesz részt. Az áramlásba résztvevő tárolt hő — Q_{S_0} —, az összes hasznos hőnek mintegy 10—20%-át teszi ki (260 000 kcal-t/1000 téglá).



8a ábra. A belső fal hőmérsékletének időbeli változása a hűlőszakaszban



8b ábra. A hőmérsékletváltozás a falban Schmidt megközelítő számítása szerint



8c ábra. A hő áramlása a betét és kemence falán a hűlési periódusban

8. ábra. Tárolt hő, falveszteségek, hőmérsékletek a falban, a kemence hűlő periódusában

A 8. ábrán feltüntetett görbék ezt szemléltető módon világítják meg. Ez esetben ugyanis igen vastag falakkal rendelkező körkemencéről van szó, igen lassú tüzelőhaladással. Ezek a folyamatok azért oly különösen világosak, mert a fal igen nagy mennyiségű hőt képes felvenni és a hűlő periódus elég hosszú. *J. Schreiber* mérései kimutatták a belső fal egyik helyén lefolyó hőmérsékletváltozást a hűlés alatt (8a ábra). A hőmérsékleti görbék alapján az *E. Schmidt*-féle közelítő eljárással időbelileg változó hőmérsékleti területen a hűlési időszak minden egyes időpontjára nézve meg lehet szerkeszteni a görbéket (8b ábra). A lehűlés kezdetén a fal belsejétől annak külsejéig előálló hőmérsékletsüllyedés, az itt lévő igen lassú tűz előrehaladásánál meglehetősen pontossággal lineárisnak vehető akkor is, ha a szigetelőréteg hővezető képessége nem egyenletes.

Ekkor a kemence belső felületén a hőmérséklet a 0 időnél 730° -tól, $\Delta t = 2 \triangle 24,8$ ó és 375° stb. egészen $\Delta t = 10 \triangle 124,0$ ó és 45° -ra süllyed. Ugyanezen idő alatt a külső fal hőmérséklete 60° -ról 45° -ra csökken, míg a falzat belsejében mintegy 450° marad a hőmérséklet.

A III-mal jelölt terület az utolsó görbe alatt $\Delta t = 10$ mellett a falban megmaradt hőmennyiséget tünteti fel. Az I-el jelölt terület, amelyet még a görbék csomópontjait összekötő vonal határol

el, a kemencébe visszaáramlott Q_{S_p} hőmennyiséget tünteti fel. A II-vel jelölt felületek a falveszteségként eltávozott Q_{KV} hőmennyiséget mutatják. A 8c ábrán látható újból a hőáramlás sematikus ábrázolása. A felületeknek planimetrálásával a hőmennyiségek viszonyai megállapíthatók. Csekély különbség a különböző hőmérsékleteknél eltérő c_{pm} -nél mutatkozik: 1. 2. ábra. Ha egyidejűleg a szóbanlevő esetre Q_{S_p} értékét igen nagyra, kerekén a hasznos hő 25%-ára vesszük, a III-mal jelölt területnek megfelelő tárolt hőmennyiség kerekén 80%-ot tesz ki. Ez oly számérték, amely *Avenhaus* (7) és *Bolin* (9) által egész más úton kiszámított értékekkel meglepően egyezik. A II. terület kerekén 4%. Ez mindenesetre oly érték, amely teljes összhangban áll a falveszteségre vonatkozó kísérleti értékekkel.

Bár ezeket az eredményeket további mérések révén még meg kell erősíteni, mindazáltal már most kimondhatjuk, hogy:

1. a körkemence betétjéből a falakon nem vész el hőmennyiség a hűlőszakaszban (legfeljebb — miként már jeleztük — a tömítetlenség következtében). Ez annál több ok arra nézve, hogy f_K -nak lehető kedvezőnek kell lennie.

2. A falban felhalmozott összes hőmennyiségből a hűlőszakaszban csak egy rész adódik át az égéshez szükséges levegőnek, illetőleg vész el az

üres szakaszban. Ennek nagyságrendje azonban a legkedvezőtlenebb esetekben is az összes hasznos hőnek nem több mint 20 vagy legfeljebb 25%-a. Kereken 60% összzhatásfokú (η_0) kemencénél ez a hőmennyiség teljes energiafogyasztásának 12—15%-ára rúg. Ezt az ellentmondást, amely az Avenhaus-féle magyarázattal szemben fennáll, a hőátmenet kérdésének tárgyalásánál még tisztázni fogjuk.

Sgraja és Burghardt megerősítik azt, hogy gyors tüzelőrehaladás mellett is lehetséges a betétet lehűteni, csakhogy ez esetben a kemence falai kellemetlenül sugároznak. Ennek magyarázata egyszerűen abban rejlik, hogy a 8c ábrán látható hatalmas hőmennyiség a fal belsejében egyszerűen tovább áramlik, tehát a falból mindig további hőmennyiség távozik.

3. A falvesztések aránylag csekélyek. Mindig szem előtt kell tartani, hogy a körkemencén, dacára a nagy külső felületeknek, a külső levegőhöz mért hőmérsékletesés eléggé csekély. A falvesztések kiszámítása igen egyszerű, ha a következő képletet használjuk :

$$q = \alpha \cdot \Delta t$$

Itt a q a méter² külső felületre óránként eső hővesztés, a Δt a külső fal és a külső levegő közötti hőmérséklet különbség; a α a teljes hőátmeneti szám, (sugárzás és konvekció) kcal/m²·h·C°-ban, amely az alábbi képletből számítható ki (3) 166,0 (10).

$$\alpha = 6,8 + 0,046 tw,$$

$tw = 200$ C° falhőmérsékletig.

3. Égetési hőfok és hőátmenet a körkemencében

A körkemencében végbemenő folyamatok megismerésére fontos volna az égetési szakasz legmagasabb hőmérsékletének biztos meghatározása. Legmagasabb hőmérséklet alatt nem az egyes helyeken véletlenül fellépő csúcsértékek értendők, hanem az égési szakasz legmelegebb részének átlagos hőmérséklete. Magában ezen a téren meg kell különböztetnünk lánghőmérsékletet — t_{Fl} — és az égetési hőmérsékletet, amelyet a termékben elérhetünk (t_G). A léghevítő és regenerátorok analógiájára feltehetjük, hogy a t_G és t_{Fl} között mintegy 100 C° különbség áll fenn.

Az elégségnél az elérhető határhőmérséklet — t_G — tudvalevőleg nem áll elő. Azáltal, hogy a láng hőszugárzása is azonnal megindul, a határhőmérsékletnek csak egy tört részével lehet számolni, amelyet a pirometrikus hatásfokkal jellemezünk.

$$\eta_{pyr} = \frac{t_G}{t_{Fl}} \quad (12)$$

A pirometrikus hatásfokot egyelőre 0,68-ban állapították meg. Ez a szám a rostélytüzelésnél szokásos értékek felel meg; miután a körkemencénél a betéten azonnal élénk hőleadás kezdődik, ezért az alsó határt választották (11., 116 o.). Minthogy a Duvanov eljárás megvitatása folya-

mán a 0,68 érték helyességét kétségbe vonták, a következőkben ki fogjuk mutatni, hogy miként jutottunk ehhez a feltevéshez.

Avenhausnak az egyes szóró nyílásokban uralkodó hőmérsékletre vonatkozó mérései és számításai alapján és az általa megállapított legmagasabb lánghőmérséklet alapján a 9. ábrán feltüntetett b görbe szerkeszthető meg. A különböző levegőtényezőknél előálló határhőmérsékleteket az a görbe tünteti fel. A c görbe a pirometrikus hatásfokot mutatja be a következő képlet alapján.

$$\eta_{pyr} = \frac{b}{a}$$

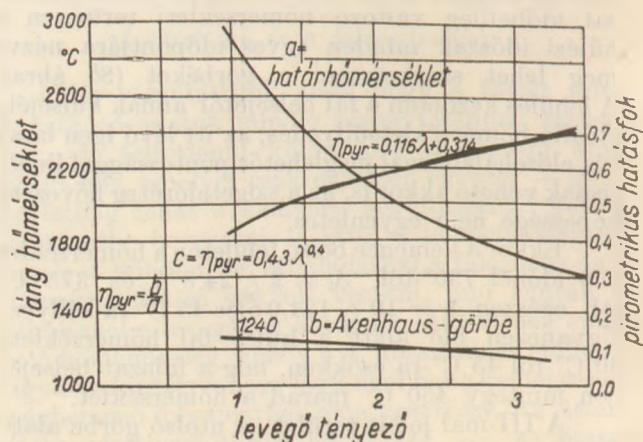
Ez az átmeneti számítási mód természetesen ugyanazzal a fenntartással alkalmazandó, mint azt már Avenhaus is tette, ez tehát ugyanazon tüzelőanyagelosztáshoz van kötve a szórónyílások sorainál, minden esetben kereken 1000 C°-ra előmelegített levegőre stb. E tekintetben még tisztázni kell a kérdést további mérések révén, különösen a tényleges levegő és füstgáz hőmérséklet megállapítására. Mindamelllett figyelemreméltó az a körülmény, hogy η_{pyr} a λ növekedésével javul. Ez azzal magyarázható, hogy a kisebb levegőtényezőknél melegebb láng már keletkezésénél gyorsabban adja át a hőt környezetének. A η_{pyr} lefolyása eléggé pontosan a következő görbének felel meg :

$$\eta_{pyr} = 0,43 \cdot \lambda^{0,4}$$

Szűkebb területen mintegy $\lambda = 1,5$ -től $\lambda = 3,5$ -ig mint megközelítő egyenletet, a következőt vehetjük alapul :

$$\eta_{pyr} = 0,116 \lambda + 0,314$$

ez pl $\lambda = 3$ -ra $\eta_{pyr} = 0,663$ -öt eredményez. Különböző nehézségek, különösen c_{me} függvénynek a levegőfelesleg kiszámítására vonatkozó egyenletekbe való behelyettesítésénél, arra vezettek, hogy irányérték gyanánt egyelőre 0,68-at vegyünk fel. Belátható, hogyha a megkívánt levegőfelesleget az Avenhaus-féle hőmérsékleti görbe révén számítjuk ki, akkor nehézségek fognak felmerülni. Ez a görbe ugyanis a λ -tól függően olyan laposan fut, hogy egy keletkezett másodfokú egyenlet a megoldás folyamán felmerülő csekély mértékű fel-



9. ábra. A pirometrikus hatásfok megállapítása körkemencénél az égési szakasz legmagasabb hőmérsékleteinél

felé vagy lefelé való kikerekítés folytán azonnal egészen különböző értékekre vezet λ -ra nézve.

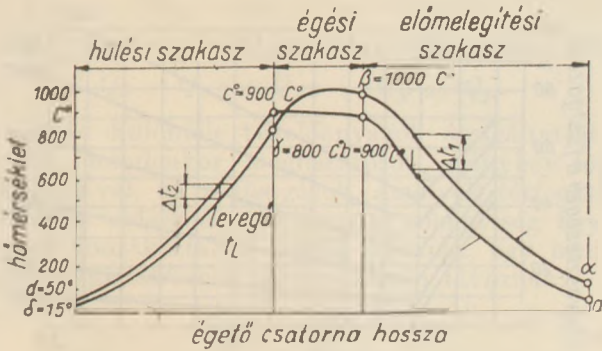
A megkívánt láng hőmérséklet feltétele a lehető nagyfokú levegőelőmelegítés. Miután a betét hőtartalmának 0,82-ed része a levegőbe megy át, ennél fogva egy bizonyos levegőtényezőre minden további nélkül kiszámítható az elérhető előmelegítés:

$$t_L = \frac{Q_{ER}}{L \cdot c_p L} \quad (13)$$

Itt azonnal felvetődik az a kérdés, hogy vajjon a Q_{ER} hőmennyiséget a levegő a hűlőszakasz feltetelei mellett felveheti-e? Ugyanúgy felvetődik az a kérdés is, hogy vajjon a nagy levegőfelesleg mellett előálló füstgáz volumen hőmennyiséget átadhatja-e a betétnek? Mindkét esetre a következő jól ismert képlet érvényes:

$$Q = F \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (14)$$

ahol Q az átviendő hőmennyiség kcal/h-ban,
 F a hőátadó felület m^2 -ben,
 α a hőátmeneti tényező kcal/ $m^2 \cdot h \cdot C^\circ$,
 Δt a hőmérsékletkülönbség C° -ban,
 az első esetben a betét és a levegő között,
 a második esetben a kemencegáz és a betét között.



10. ábra. A hőmérsékletváltozás a kemencében

Miután az égési folyamatnál bizonyos meghatározott hőmérsékleteket kívánunk meg, szükségszerűen a hőmérséklet lefolyása is meg van állapítva és ezzel Δt értéke is. Ha a 10. ábrán megadott értékeket vesszük alapul, akkor az ugyanott idézett képletek szerint

$$\Delta t_1 = \text{kerekén } 82 \text{ } C^\circ \text{ és}$$

$$\Delta t_2 = \text{kerekén } 62 \text{ } C^\circ$$

Δt érték tehát aránylag alacsony, különösen az olvasztókemencékkel összehasonlítva.

A hőátadást a hűlő részben, ahol csak levegőről van szó, csak konvekció okozza. A levegő sebességek a Duvanov-kemencében is számítás szerint csak 0,32 m/s-t tesznek ki.

Eme kis sebességekre jól alkalmazhatók a Kistner-féle hőátmeneti számok (12) és a Heiligenstaedt-féle értékek is (3,127). Akkor hozzávetőlegesen

$$\alpha_{L1} = 13 \text{ kcal}/m^2 \cdot h \cdot C^\circ$$

Az égetési szakaszban és a füstgáz oldalon a hőátmeneti tényezőhöz konvekció következtében, amely közel ugyanolyan mértékű, még α_{Str} is hozzájön. (Sugárzási hőátmeneti tényező.) Az α_{Str}

mértékét azonban nem szabad túlbecsülni. Heiligenstaedt szerint 1000 C° füstgáz hőmérséklet és 800 C° betéthőmérséklet mellett, $\lambda = 2,0$ és 10 cm széles csatornánál az α_{Str} így alakul:

$$\alpha_{Str} = 14 \text{ kcal}/m^2 \cdot h \cdot C^\circ$$

Hogy vajjon szénporrészeszkék ezt az α_{Str} értéket mennyire növelik, azt még külön meg kellene állapítani. A szilárd tüzelőanyag sugárzásának erősségéről sem állanak még rendelkezésre adatok.

Mint hogy tehát nemcsak Δt , hanem α is kis érték, nem marad más hátra, mint F értékét növelni, vagyis a hűlőszakaszt és az előmelegítőszakaszt megnövelni és itt mutatkozik a nehézség, mert ez a rossz huzatviszonyok miatt nem lehetséges.

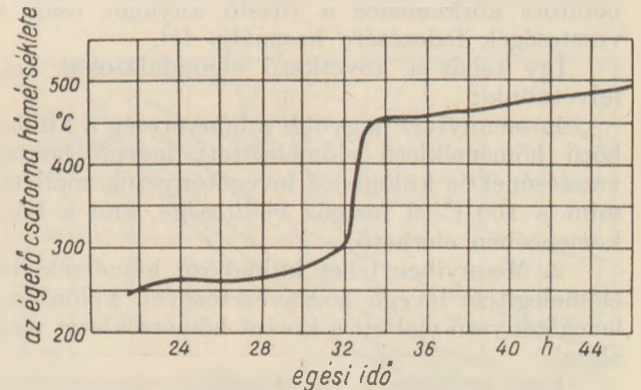
Rá kell mutatnunk arra, hogy a kemence falazatának hőátadó felülete az égetendő termék felületéhez arányítva kicsiny; annak csupán 10%-át teszi ki. Mármint a belső felület sugárzás által valamelyes meleget vissza fog juttatni a betéthez, ha az a hűlőszakaszban a levegő lehülése következtében hidegebb lett volna, mint a kemence fala, de az nem lehetséges, hogy a teljes hőátmeneti tényező sugárzás és konvekció következtében mintegy $10 \cdot \alpha_L$, vagyis kerekén 130 kcal/ $m^2 \cdot h \cdot C^\circ$ legyen. Már pedig ennek az esetnek kellene előállni, ha a betét és a fal hőtartalma (Avenhaus szerint) kb. egyforma lenne (7·201,0)

A körkemencében a hőátvitel főként konvekció révén történik és ezért okvetlenül szükség van nagy áramlási sebességekre és nem túl kicsiny hőátadó felületekre. Ennek határa azzal van megadva, hogy a huzat előállításához szükséges teljesítménye, amely tudvalevőleg nagy sebességnél a sebesség harmadik hatványával növekszik, túl nagy lesz, az energiafelhasználás nem lesz gazdaságos. A hőátmeneti számok megközelítőleg a következők:

$$\alpha_L = 13 \text{ kcal}/m^2 \cdot h \cdot C^\circ \text{ a hűlőszakaszban,}$$

$$\alpha_B = 30 \text{ kcal}/m^2 \cdot h \cdot C^\circ \text{ közvetlenül az égési szakasz előtt,}$$

$$\alpha_A = 17 \text{ kcal}/m^2 \cdot h \cdot C^\circ \text{ az előmelegítő szakaszban.}$$



11. ábra. Hőmérsékletugrás a papír elégetésénél

4. A legkedvezőbb légfelesleg-tényezők

Általánosságban érvényes az az elv, hogy a technikai tüzelés hatásfoka akkor a legnagyobb, ha az elméleti hőmennyiséggel — L_s — dolgozunk

vagy valamivel több levegővel, hogy biztosítsuk azt, hogy nem egészen ideális keverési folyamatnál is a tüzelőanyag a tüzelésnél teljesen elégjen.

Hogy eleve kizárjunk minden félreértést, le kell szögeznünk, hogy: L_s az a levegőmennyiség, amely a tökéletes égéshez szükséges, ekkor $\lambda = 1,0$ légfelesleg-tényezővel számolunk.

A hőfolyamat jobb követésére ajánlatos a füstgázt, illetőleg annak hőtartalmát szétválasztani arra a részre, amely $\lambda = 1,0$ mellett a füstgázokban van — Q_{AB} —, továbbá arra a részre, amely a fölös levegővel a füstgázba megy át — Q_{AL} — és végül ama részre, amely esetleg a betétből még hozzáadódik.

A 12. ábra a levegő és a füstgáz útjait tünteti fel. Ismeretes, hogy levegőfelesleg csökkenti az égési hőmérsékletet, mivel a kémiai reakciónál felszabaduló hőenergia mindig az egész égési levegőt kell, hogy hevítse és nemcsak azt a részt, amely közvetlenül részt vesz az elégésben.

Ismeretes továbbá, hogy a füstgázban a hőveszteségek a nagyobb levegőtényezővel növekednek. Ez a növekedés azonban különösképp a távozó gáz hőmérsékletétől függ. A 13. ábrán látható, hogy oly hőmérsékleteknél, amelyeknél a füstgáz ipari kemencéknél gyakran távozik — tehát 300—500 C°-nál — erősen, 100—200 C° között már kevésbé növekszik, növekvő λ -val.

Ezek szerint okvetlenül $\lambda = 1,0 - 1,5$ értékekkel kellene dolgozni, mint az kazánoknál és olvasztókemencéknél szokásos.

De mindama kemencéknél, amelyeknél az égési levegővel a betét lehűtését is végzik, további tényező is hozzájárul. A levegő itt már nemcsak az égésnek reakciójában vesz részt, hanem a hűlőrészben a meleget lehetőleg 100%-ra fel kell venni és azt az égési folyamatba bevezetni. Azt lehetne mondani, hogy eme hőtartónak tulajdonképpen nem is kell éppen levegőnek lenni, hanem az bármely inert (semleges) gáz is lehet, pl. nitrogén, vagy hélium, amennyiben az az égést nem befolyásolja.

Helyes Riedelnek az állítása, hogy az egyszer befűtött körkemence a tüzelő anyagot csak a veszteségek fedezésére használja fel.

Így tehát a következő elgondolásokat kell felvetnünk:

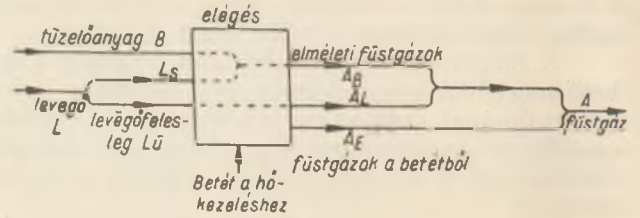
1. mennyivel nagyobb a hőnyereség a különböző hőmérsékletű előmelegített levegő hozzávezetésénél és különböző levegőtényezők mellett, mint a 100 C°-ú füstgáz vesztesége, ami a körkemencében elérhető.

2. Mennyiben lehet különböző hőmérsékletű előmelegített levegő hozzávezetésével, különböző levegőtényező mellett a kívánt hőmérsékletet még elérni?

Eme problémák megoldására is matematikai megoldást kell keresnünk. A következőkben ismeretjük az erre vonatkozó levezetést.

A Q_A -nak és Q_{AB} és Q_{AL} -re való szétosztása, miként az a 12. ábrán jelezve van, a 4. ábra sémájába is bevezetendő, amely egyébként változatlan marad

$$Q_A = Q_{AB} + Q_{AL} \quad (15)$$



12. ábra. Az égési folyamat fogalmainak magyarázata

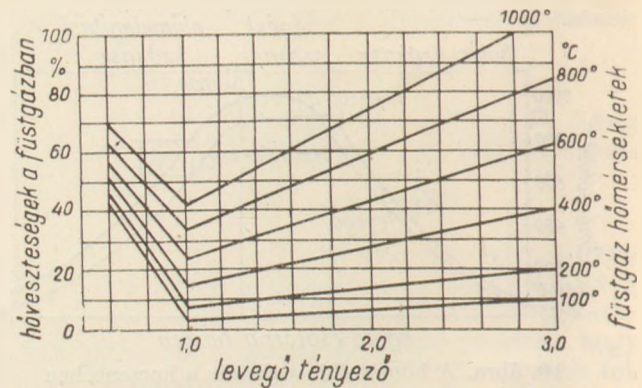
A következő elméleti feltevéseket vesszük még alapul:

Az összes folyamatokat 0 C°-ra vonatkoztatjuk.

A tüzelőanyag, a levegő és a betét hőmérséklete kezdeti stádiumban 0 C° legyen, $Q_B = Q_{L_0} = Q_E = 0$. A tüzelőanyag a levegő és betét nedveség mentesek. A betétből nem keletkeznek kemencegázok, $Q_{AE} = 0$. Ez alapon

$$Q_B + Q_L = {}^sQ_N + Q_{HV} + Q_{S_p} + Q_{AB} + Q_{AL} \\ {}^sQ_N + Q_{S_p} = Q_L + Q_{KV} + {}^cQ_N + {}^tQ_P \quad (16)$$

$$Q_B = Q_L + Q_{KV} + {}^cQ_N + {}^tQ_P + Q_{HV} + Q_{AB} + \\ + Q_{AL} - Q_L = Q_{KV} + Q_{HV} + Q_{AB} + Q_{AL} + \\ + {}^cQ_N + {}^tQ_P$$



13. ábra. Füstgáz hőveszteségei különböző légfelesleg és füstgázhőmérséklet mellett

Már ebből is következik, hogy a tüzelő anyag csak a veszteségek fedezésére és a hasznos hő ama részére szolgál, amely nem nyerhető vissza.

$$Q_L = {}^sQ_N + Q_{S_r} - Q_{KV} - {}^cQ_N - {}^tQ_P \quad (17)$$

$$\frac{Q_L}{Q_B} = \frac{{}^sQ_N + Q_{S_r} - Q_{KV} - {}^cQ_N - {}^tQ_P}{Q_{KV} + Q_{HV} + Q_{AB} + Q_{AL} + {}^cQ_N + {}^tQ_P} \quad (18)$$

Ennek a kifejezésnek (18) maximumnak kell lennie, vagyis a levegővel (Q_L) lehetőleg nagy mennyiségű hőt és a tüzelőanyaggal (Q_B) lehető csekély meleget szabad az égési szakaszba bevinni.

Ez a követelmény fennáll, ha:

Q_{KV} a hűlőszakasz kemenceveszteségei lehető csekélyek, mert ez esetben a számláló nagyobb és a nevező kisebb. De ha ezeket a veszteségeket szándékosan növelik, amennyiben gyorsabb lehűlés céljából felnyitják a szórónyílásokat stb. akkor természetesen nagyobb lesz a tüzelőanyagfogyasztás.

Q_{S_p} vagyis az a tárolt hőmennyiség, amely körforgásban vesz részt és a faltól a levegőre átadódik, nagy lesz (a falak hőszigetelése).

Q_{HV} a hűlőrészben a falveszteségek lehető kicsik (szigetelés).

Q_{KV} és Q_{HV} mint ismeretes, gyorsabb tűz előrehaladásánál kisebbek.

Q_N „a kémiai stb. hasznos hő” rész, az érezhető hasznos hővel szemben csekély. Ez az eset áll fenn a téglánál.

Q_P a kész téglák érezhető melege lehetőleg csekély, tehát azok hidegen kerülnek ki a hűlőzónából.

Q_{AB} és Q_{AL} a füstgáz veszteségek csekélyek.

Q_{KV} , Q_{S_p} , Q_{HV} oly mennyiségek, amelyeket a kemence felépítési módja határoz meg. Ezek a tulajdonképpeni égési folyamatól teljesen függetlenek, amiért is a további vizsgálatoknál ezeket nem vesszük figyelembe. Így tehát ideális kemencét tételezünk fel, amely sem nem tárol hőt, sem nem ad át hőt kifelé. Ezt a 14. ábra sémája mutatja be.

Ez esetben

$$Q_B + Q_L = \sigma Q_N + Q_{AB} + Q_{AL}$$

$$\sigma Q_N = Q_L + {}'Q_N + {}'Q_P$$

$$Q_B = Q_L + \sigma Q_N + Q_{AB} + Q_{AL} - Q_L + {}'Q_P \quad (19)$$

$$Q_B = Q_{AB} + Q_{AL} + {}'Q_N + {}'Q_P$$

Q_B -t különféle tüzelőanyagok szolgáltatják, de Q_{AB} mindenkor meghatározott arányban fog állni Q_B -vel, ha a füstgázok, amelyek térfogata tökéletes elégésnél tüzelőanyag mennyiség egységére vonatkoztatva mindig ugyanaz, egy bizonyos meghatározott hőmérsékleten távoznak.

$$m = \frac{Q_B}{Q_{AB}} \quad (20)$$

$$Q_B = \frac{Q_B}{m} + Q_{AL} + {}'Q_N + {}'Q_P \quad (21)$$

A Q_L hőmennyiség azonban nincs még elegendő módon meghatározva, mert azt akár alacsony hőmérsékletű sok levegő révén, vagy pedig magas hőmérsékletű kis mennyiségű levegő révén lehet hozvetetni. Ettől függ Q_{AL} , ha a füstgázokat ismét egy bizonyos meghatározott hőmérsékletre hűtjük. Ennélfogva :

$$Q_L = \lambda \cdot L \cdot c_{pL} \cdot t_L \quad (22)$$

$$Q_{AL} = (\lambda - 1) L_S \cdot c_{pL} \cdot t_A \quad (23)$$

ahol L_S = a levegőtérfogat tökéletes elégésnél,

t_L = az előmelegített levegő hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$ -ban,

t_A = a füstgázok hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$ -ban,

c_{pL} = a levegő átlagos fajhője t_L hőmérsékletnél,

c_{pL} = ugyanaz t_A hőmérsékletnél.

Általánosan használt egyszerűsített kifejezés szerint :

$$L_S \cdot c_{pL} \cdot t_A = A_B \cdot c_{pA} \cdot t_A = \frac{Q_B}{m} \quad (24)$$



14. ábra. Egyszerűsített hűtők az égési folyamat kiszámítására

Csupán csekély eltérés adódik, miután $L_S > AB$ -nél és $c_{pL} > c_{pA}$ -nál, amely különbséget kiigazítási tényezővel ki lehet küszöbölni. Ez itt elmaradt, mert ebben az elvi megoldásban nem játszik szerepet.

A felvetett kérdés megoldásához akként juthatunk el, hogy megvizsgáljuk vajjon mely λ légfelhasználási tényezővel lesz a Q_B értéke a legkisebb, ahol $c_{pA} \cdot t_L$, a levegő előmelegítésének tényezője mint paraméter szerepel.

$$Q_B = f \cdot (\lambda) \text{ ill. } Q_B = f_2 (C_{pL} \cdot t_L)$$

$$Q_B = \frac{Q_B}{m} + (\lambda - 1) \frac{Q_B}{m} + {}'Q_N + {}'Q_P \quad (25)$$

$$Q_B = \frac{Q_B}{m} + \frac{Q_B}{m} - \lambda - \frac{Q_B}{m} + {}'Q_N + {}'Q_P$$

$${}'Q_P = {}'Q_N - Q_L - {}'Q_N \quad (26)$$

$$Q_L = \lambda \frac{Q_B}{H_u} \cdot L \cdot c_{pL} \cdot t_L \quad (27)$$

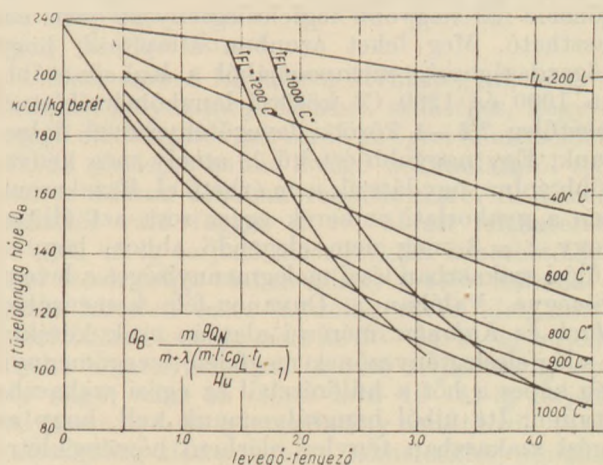
$l = Nm^3/\text{kg}$ -ban kifejezett tüzelőanyag kg -kénti levegő térfogat tökéletes égésnél.

$$Q_B = \frac{\lambda Q_B}{m} + {}'Q_N + \sigma Q_N - {}'Q_N - \frac{\lambda Q_B}{H_u} \cdot l \cdot c_{pL} \cdot t_L$$

$$Q_B - \frac{\lambda}{m} Q_B + \frac{\lambda l}{H_u} \cdot Q_B \cdot c_{pL} \cdot t_L = \sigma Q_N \quad (28)$$

$$Q_B = \frac{\sigma Q_N}{1 - \frac{\lambda}{m} + \frac{\lambda \cdot l}{H_u} \cdot c_{pL} t_L}$$

$$Q_B = \frac{m^2 Q_N}{m + \lambda \left(\frac{m \cdot l \cdot c_{pL} \cdot t_L}{H_u} - 1 \right)} \quad (29)$$



15. ábra. A Q_B elméleti hőfogyasztás összefüggése a λ levegőtényezővel és a t_L levegő előmelegítésével. A t_{F_1} láng hőmérsékletek görbéi

Eme görbe jellegét a következő általános képlet határozza meg:

$$y = \frac{a}{b + cx}$$

az $X'Y'$ eltolt koordinátákra

$$b \cdot y' + c \frac{x' - b}{c} \cdot y' - a = 0, \\ x' \cdot y' = a$$

Ez tehát egy egyenlő oldalú hyperbola, ahol az új tengelyek az asszimptóták.

Ebből az egyenletből egyértelműen következik, hogy növekvő λ levegőtényezővel a tüzelőanyag által bevezetendő Q_B hőmennyiség kisebb lesz. Ezt a görbe jellegéből is láthatjuk. Tehát alapvető követelmény, hogy a körkemencében meglehetősen nagy levegőfelesleggel kell dolgozni.

A különböző c_{pL} és t_L -re görbe nyaláb szerkeszthető; tüzelőanyag: barnaszén brikettek 15% H_2O -val

$$H_u = 4800 \text{ kcal/kg,}$$

$$m = 24,6,$$

$$t_A = 100 \text{ C}^\circ \text{ (kemencegáz hőmérséklet),}$$

levegő: $l = 5,30 \text{ Nm}^3/\text{kg,}$

$$t_L = 200, 400, 600, 800, 1000 \text{ C}^\circ,$$

$$c_{pL} = 0,315, 0,320, 0,325, 0,332, 0,335, 0,338,$$

betét: $Q_N = 220 \text{ kcal/kg}$ ($t_G = 950 \text{ C}^\circ$ -nál) ha $\lambda = 2$ és $t_L = 800 \text{ C}^\circ$.

$$\text{akkor } Q_B = \frac{24,6 \cdot 220}{24,6 + 2 \left(\frac{24,6 \cdot 5,3 \cdot 0,332 \cdot 800}{4800} - 1 \right)} = 146 \text{ kcal.}$$

A 15. ábra görbéi fenti példa adatainak felelnek meg.

Természetesen a levegőtényezőnek az egység alatti értéke csak elméletileg értékelhető. Viszont λ -t nem lehet bármekkora növelni. Ennek határa az a levegőarány, amely mellett a lángnak pl. 1000 C° hőmérséklete még elérhető. A 15. ábrán eme határgörbék különböző hőmérsékletekre ugyancsak fel vannak tüntetve. Ebből következik, hogy mintegy 800 C°-ra előmelegített levegőnél 3-nál nagyobb légfeleslegtényező nem választható. Meg lehet azonban állapítani, hogy hűgazdaságosság szempontjából a legkedvezőbb, ha 1000 és 1200 C° közötti lánghőmérsékletnél lehetőleg 2,5–4 közötti levegőtényezővel dolgozunk. Egy nagyobb értékű λ , amely még kedvezőbb volna, úgy látszik nem érhető el. Ezzel szemben a gyakorlati emberek egész sora azt állítja, hogy $\lambda = 3$ még nem elegendő ahhoz, hogy a hűlési szakaszban lévő melegmennyiséget a levegő felvegye. Valóban a Duvanov-féle kemencében Hack és Kalantar mérései alapján csak kereken 4-s légfeleslegtényezőnek megfelelő levegőmennyiség képes a hőt a hűlőrészből az égési szakaszba átvinni. Itt újból hangsúlyoznunk kell, hogy az égési szakaszban tényleg elérhető hőmérsékletre vonatkozó ismereteink még hiányosak. A lánghőmérséklet (15. ábra) görbéit ama képlet alapján szerkesztették meg, amely az égési hőmérsékletnek

a disszociációnak figyelembevétele nélkül való kiszámítására érvényes.

E szerint

$$t_g = \frac{H_u + l \cdot c_{pL}' \cdot t_L' + L_{\bar{u}} \cdot c_{pL}' \cdot t_L}{a \cdot c_{pa} + L_{\bar{u}} c_{pl}''} \quad (30)$$

ahol t_g = elméleti hőmérséklet C°-ban,

l = levegőmennyiség/kg tüzelőanyag tökéletes égésnél Nm^3 ,

$L_{\bar{u}}$ = levegőfelesleg/kg tüzelőanyag Nm^3 ,

c_{pL}' = a levegőnek t_L hőmérséklet melletti közepes fajhője,

t_L = az előmelegített levegő hőmérséklete C°-ban,

a = füstgázvolumen tökéletes égésnél tüzelőanyag kg-ra Nm^3/kg ,

c_{pa} = a füstgázok közepes fajhője t_g hőmérséklet mellett,

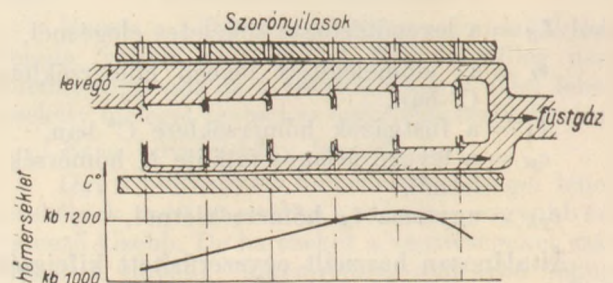
c_{pl}'' = a levegő közepes fajhője t_g mellett.

Feltételezzük, hogy a $\lambda = 2,5 - 3,5$ ig terjedő térben a helyes pirometrikus hatásfokot 0,68-ra vettük fel, úgy hogy a t_{FL} lánghőmérséklet a körkemencében

$$t_{FL} = 0,68 t_g \quad (31)$$

Mint hogy *Avenhaus* méréseinek eredményei rendelkezésre állanak, a 0,68-nak talált arány minden további nélkül behelyettesíthető, anélkül — hogy amiként azt javasolták — a maximális hőmérsékletet fokról-fokra állandó csökkenő levegőfelesleggel és mindig magasabb levegő hőmérsékletnél ki kellene számítani. *Avenhaus* ezt a számítását már elvégezte és ebből adódott a 9. ábra szerint az égési szakaszban tényleg fellépő maximális hőmérsékletnek a határhőmérséklethez való aránya: 0,68 (l. 16. ábra). Igaz, hogy az *Avenhaus*-féle mérés még eléggé bizonytalan. Ha a pirometrikus hatásfok 0,68-nál nagyobb lenne, a 15. ábrán látható határgörbék jobb felé tolnának el, tehát nagyobb λ -val lehetne dolgozni. Az $\eta_{pyr} = 0,68$ nagyságot kétségbe vonták, ami nem változtat azon a tényen, hogy nagy levegőfelesleggel kell dolgozni. A λ értéke azonban biztosan nem állapítható meg.

Ha a füstgázokban levő hőt a kemencében nem értékesítik, akkor helyesebb ezeket a gázokat elszívni. A hűlőszakaszból kb. 300 C°-nál (magasabb hőfokot nem bírnak a ventilátorok) kivont levegő éppen a hűlőszakasz melegebb részéből hiányzik, ahol arra a gyors lehűlés céljából szükség volna. Másképpen áll a helyzet magasabb égetési hőmérsékletnél, tehát ha $\lambda = 1,5 - 2$, a levegő, amely



16. ábra. A körkemence égetési szakasz levegőfogyasztásának egyszerűsített vázlatja, továbbá a hőmérséklet lefolyásának görbéje

a hűlőszakaszon áramlik át, nem képes a tégl teljes hőmennyiségét felvenni. Ez esetben célszerű a hűlőszakasz végén nagyobb mennyiségű levegőt átszívni és ezt a meleg levegőt más helyen hasznosítani. Legjobb természetesen, ha a hőt magában a kemencében lehet értékesíteni.

Ezek a megmondások mindama kemencékre vonatkoznak, amelyeknél az égési levegőt a hűlőszakaszban a késztermékek hőjével melegítik fel.

Bár a fent mondottak erősen elméletinek látszanak, azok mégis gyakorlatilag is fontosak. Az itt megállapított arányok ugyanis a gyakorlatban is fennállanak, ahol tárolt hő, falveszteségek, gázok a betétből stb. hőt adnak át. Ezeket a mennyiségeket a fogyasztott szénmennyiséghez hozzá kell adni, azok tehát a szénfogyasztásnak csak abszolút mennyiségét változtatják meg.

Ha azonban a kemencéről hőgyenleget készítenk, ahol Q_{HV} , Q_{Sp} stb., a Q_B és Q_L függvényeként szerepelnek, egy bizonyos kemencére vonatkozólag azonnal kiszámítható a legcélszerűbb égetési mód.

5. Füstgázanalízis a körkemencénél

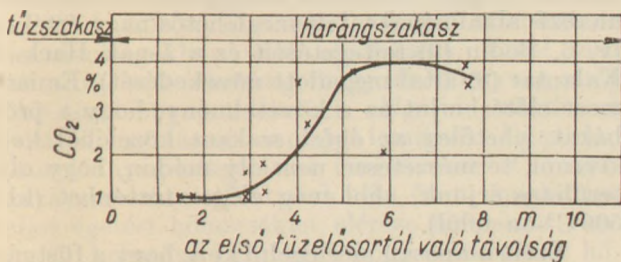
Az irodalomban mindig hivatkoznak a körkemencék analízisének nehézségére és megbízhatatlanságára. E tekintetben a következőket kell megfontolni:

1. A körkemence szórótüzelésénél nem egyetlen tüzelőhelyről van szó, hanem számos különálló égési helyről. A tüzelőanyag itt elsősorban a kemence alján ég el.

2. A szénsavnak a karbonatokból (mész, magnezit stb.) eredő egy része minden esetben csak az égetési szakaszban vagy közvetlenül az előtt szabadul fel.

3. A kemence tömítetlen, az égetési szakasz és a füstgáz mintavételi helye között hamis levegő áramlik be, ami az eredményt megváltoztatja.

Fel lehet tételezni, hogy a kemence különböző égési stádiumában lévő égési helyei összességükben együttvéve a tüzelőanyag tökéletes elégésének felelnek meg. Az első sorba adagolt szén mindig többé-kevésbé parázslani fog és amellet gázokat fejleszt. De ha nem „feketén” szórják rá a szenet, akkor ezek a gázok meggyulladhatnak. A gázanalízishez szükséges próbavételnek azonban oly helyen kell történni, ahol ez az elégés is végbe ment, úgy hogy csak tényleg el nem égett CO-t mérjük. Az analízisre szánt próbát a helyes keverés miatt sem szabad az égési szakasz közvetlen közeléből venni. E tekintetben nagyon tanulságos a 17. ábra, amely a CO₂ tartalmat tünteti fel a



17. ábra. A füstgáz CO₂ tartalma téglakörkemence boltozata alatt Schreiber mérései szerint

boltozat alatt az első tüzelt sortól különböző távolságban. Hogy a CO₂ a távolsággal növekszik, a következőkből magyarázható:

a) A téglá égetési zsugorodása következtében a boltozat alatt az ismert szabad tér keletkezik, amelyben aránylag több levegő áramlik át. Ezzel a CO₂, amely fűtőakná felső részén égő szénből származik, erősen ritkul.

b) Az égés — miként már említettük — nagyjában a kemence alján megy végbe és a CO₂-ben gazdagabb meleg gázok csak néhány méter után emelkednek fel és keverednek a levegőtartalmú felső füstgázzal.

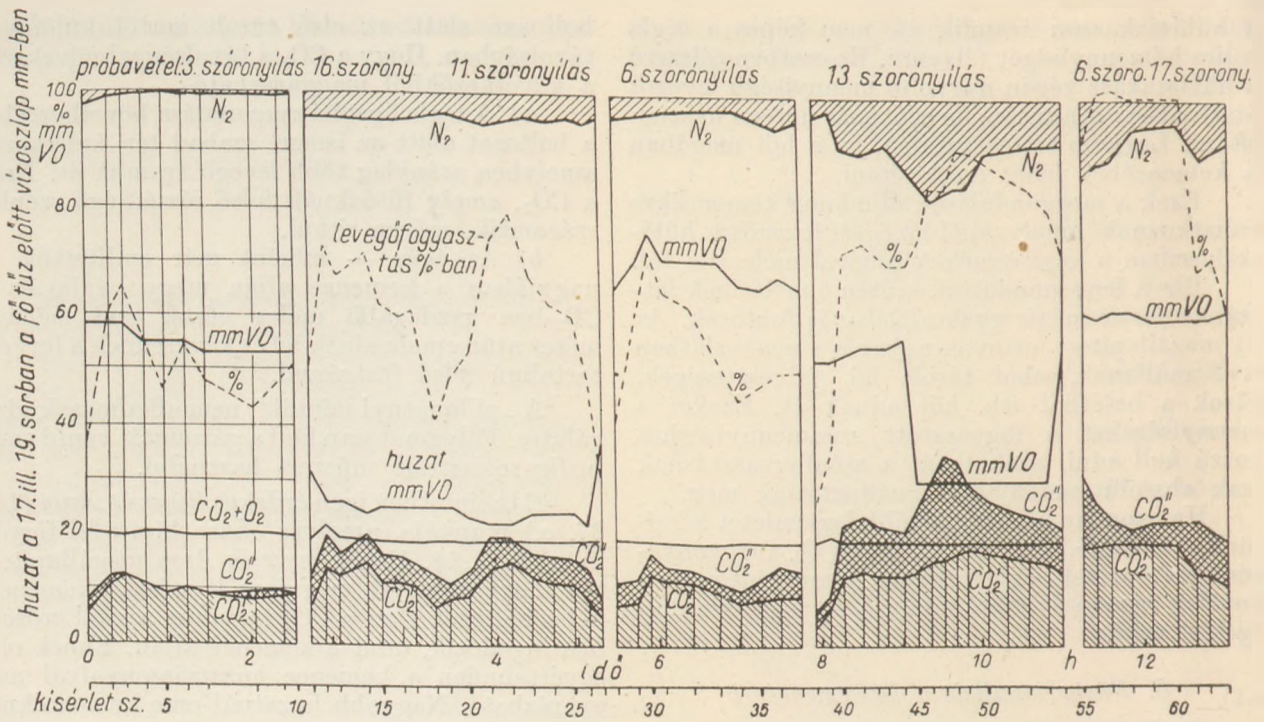
A „pillanatnyi minták” nem alkalmasak vizsgálatra. Folyamatosan kell a gázmintát venni vagy pedig regisztráló műszert használni.

E tekintetben igen érdekes *Seger* és *Aron* (15., 67. o.) munkája, amelyre *Shuen* hívta fel figyelmünket (l. 18. ábra). *Seger* és *Aron* megállapították, hogy az egyik megvizsgált mészkörkemencénél a boltozat alatt a CO₂ tartalom sokkal erősebben ingadozik, mint a kemence alján. Ennek oka egyértelműen a kemence huzatviszonyaival magyarázható. Nagyobb huzatnál eme kemencénél nagyobb mennyiségű levegő áramlik át a boltozat alatt, ami a füstgázokat e helyen ritkítja és bizonyos körülmények között a betét felső részének hőmérsékletét is csökkenti. Erős huzatnál mind a CO₂, amely az elégésből származik (az ábrán egyszerűen vonalazva), mind pedig a mészkből kivált CO₂ (kétszeres vonalazás) százalékos tartalma csökken. Azt lehetne feltételezni, hogy a kemence teljesítménye minden esetben kevesebb levegőfelesleggel — ami nagyobb „levegőfogyasztásnak” felel meg — növekszik. *Seger* a következő reciprok értéket használja:

$$\text{Levegőfogyasztás} = \frac{L_s}{L_s + L_a}; \text{ a jelzéseket}$$

v. ö. 12. ábra jelzéseivel. De ez nem mindig áll fenn; a görbékől ugyanis világosan felismerhető, hogy a CO₂ görbéi és a „levegőfogyasztás” görbéi között közvetlen függés áll fenn olyképp, hogy kétszeres levegőfogyasztás mellett — tehát kisebb levegőfelesleggel — a CO₂ tartalom is kerekén a kétszeresére emelkedik. A kemence tényleges teljesítményingadozásait a CO₂ és CO₂ közötti arány eltérése okozza.

Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a kemence helyes megítéléséhez szükséges, hogy a levegő előmelegítés mérvéről, az égési hőmérsékletéről, az esetleges hamis levegő beáramlásáról stb. pontos adatok álljanak rendelkezésre. A hőmérséklettől való függés a 18. ábrán feltüntetett 38—54. sz.-ig terjedő kísérletekből ismerhető fel, ahol öt sor teljes tűzben állott. A 44-es számnál a huzat hirtelen esése látszólag rövid ideig tartó hőtorlódást okozott, mert az 50—54. sz.-ig terjedő kisebb kéményhuzatnál látható teljesítmény épp oly nagy, mint az előtte levő 40—43-ig terjedő helyeken. 55—60-ig levegőhiány mutatkozik, tehát valószínűleg alacsonyabb a hőmérséklet, amiáltal különösen az 57—59-ig a teljesítmény csökken. (Ez bizonyára a füstgázba lévő CO-nak nagyobb parciális nyomása miatt is csökken.) Amint több



18. ábra. Seger és Aron mérései mészkörkemencén

levegő áll rendelkezésre, mint a 60. sz.-tól kezdődőleg, a teljesítmény ismét ugyanannyi, mint a 40—44-es periódusoknál.

A betétből kiáramló CO₂ meghatározását *Seger* és *Aron* a nitrogén-egyenleg révén állapította meg. Ha az általuk végzett számítási eljárást képletbe foglaljuk, akkor a következő jól kezelhető egyenlethez jutunk

$$CO_2'' = CO_2' \frac{(N_2' - \frac{1}{21} O_2') CO_2 \max}{79}, \quad (33)$$

ahol CO₂'' = a betétből származó szénsav százalékbán,
 CO₂' N₂' O₂' = a füstgáz analízisének értékei százalékbán,
 CO₂ max. = a füstgáznak elméletileg legalkalmasabb CO₂ tartalma százalékbán.

Ez a képlet a kemencében majdnem mindig fennálló oxidáló atmoszférára és oly tüzelőanyagokra érvényes, amelyeknek nitrogéntartalma igen csekély.

Generátorgáznál bonyolultabb képletet kell alkalmaznunk, amely még csekély redukciónál is (kerekén 5% CO-ig) elég pontos.

$$(CO_2' + CO' + O_2') - CO_2'' = CO_2 + \frac{(\lambda - 1) \cdot l \cdot 0,21}{a + (\lambda - 1) \cdot l + CO_2''} \quad (34)$$

$$(CO_2'')^2 + \left(\frac{CO_2'}{CO_2' + CO'}\right) CO_2'' - A \cdot CO_2'' = \frac{CO_2}{CO_2' + CO'} \cdot (A - 0,21) + 0,21a - CO_2, \quad (35)$$

CO₂'' = a betétből származó szénsav Nm³/Nm³-ban,
 CO₂' CO' = a füstgáz analízisének értékei Nm³/Nm³-ban,
 CO₂ = 1 kg, vagy 1 Nm³ tüzelőanyagnak

tökéletes elégsénél a füstgázban lévő szénsav Nm³-ban.

A = CO₂' CO' O₂' összege Nm³/Nm³-ban,
 a = az elméleti füstgázmennyiség Nm³-ban 1 kg, vagy 1 Nm³ tüzelőanyagra.

Ez az egyenlet eléggé indomitalannak látszik, de amint behelyettesítjük az értékeket, mint négyzetes egyenlet 4 sorban megoldható.

Tehát a betétből származó CO₂ tartalmat mindenesetre meg lehet állapítani. Ezzel a levegőtényező is minden további nélkül kiszámítható a következő képlet alapján (ismét mintegy 5% CO-ig)

$$\lambda = \frac{1}{l} \left(\frac{CO_2}{CO_2' + CO'} + l - a \right), \quad (36)$$

ahol l = az a levegőmennyiség, amely 1 kg, vagy 1 Nm³ tüzelőanyagnak elégséhez szükséges, Nm³-ban.

Egyéb jelzések ugyanazok, mint a 35. képletnél.

Ha ily módon sikerül az 1 és 2 alatt fentebb említett hibaforrásokat kiküszöbölni és ez alapon az elégsénél levegőtényezőt kiszámítani, akkor még fennmarad a bizonytalanság a hamis levegő kérdésében. Nem lehet tudni, vajjon a λ az égési szakasz mögött beáramló levegő által éri-e el az analízis alkalmával talált meglehetősen nagy értéket (v. ö. Bodin (9) fejtegetéseit és a λ-nak Hack—Kalantar (8) által megadott növekedését). Emiatt most előtérbe jut az a követelmény, hogy a próbákat lehetőleg az égési szakasz közeléből kell kivenni, természetesen nem oly módon, hogy oly területre érjünk, ahol még elégs történhet (kb. 500 C°-on felül).

Ezért alaposan mérlegelni kell, hogy a füstgáz analízis, milyen adatokat hamisít meg. Ennek a problémának beható feldolgozása csak számos

mérés útján fog további tisztázást nyújtani. Bizonyos eredmény olyképp is elérhető, ha a körkemencénél a levegőt kísérletképpen a hűlőszakaszba nyomják, úgy hogy az égési szakasz mögött egész csekély nyomáskülönbség mellett ± 0 mm v. o. körül hamis levegő alig juthat a kemencébe.

6. Huzatviszonyok a körkemencében

A huzat változása kifejezhető a következő képlettel:

$$\Delta p = 0,0035 w_0^2 \cdot T_m \quad (37)$$

ahol Δp = nyomásvesztés az égető csatorna m -re v. o. mm-ben,

w_0 = a levegő, ill. füstgázsebesség 760 Hg mm és $0^\circ C$ mellett m/mp -ben,

T_m = a levegő, ill. a füstgáz középhőmérséklete $^\circ C$ -ban.

A képlet helyességét további mérésekkel ellenőrizni kell. Különösen ki kellene mutatni a berakási mód és sűrűsége hatását. Fenti képlet rendkívül fontos, mert egyedül ennek révén méretezhető a gyorságások tervezésénél a kémény vagy a szükséges szívóventilátor. Sajnos téglagyárakban ritkán végeznek huzatra vonatkozó méréseket. Itt tehát új feladatkör vár a kutatómunkára.

7. A Duvanov-féle gyorségetés, tűz-előrehaladás a körkemencében

Eredményes gyorségetés előfeltételei gyanánt a következő pontokat kell figyelembe venni:

1. Az égetett termék hőtartalmát lehetőleg teljesen hasznosítani kell a kemencében. Hogy azonban a hűlő szakasz ne legyen túl hosszú, sok levegőt kell a rendszernél nagyobb sebességgel (mert ezzel a hűtadás javul) a betétet keresztül fujni, vagy szívítani. Ha az a levegő az égési szakaszba jut, nagyobb levegő felesleggel dolgozunk.

2. Az égetési szakasz hőmérsékletét a levegőfelesleg határozza meg. Túlsok levegő esetén a hőmérséklet a kiégetéshez szükséges hőfok alá süllyed.

Ha az 1. és 2. pont alattiakat összeegyeztetjük, a legnagyobb teljesítményt érjük el és kevesebb tüzelőanyagot fogunk fogyasztani.

A gyorségetésnél tehát a következő feltételeket kell teljesíteni:

1. Elegendő kéményhuzat (természetes vagy mesterséges), hogy nagyobb levegőmennyiség jusson a kemencébe. A kémény működését a helyes berakási mód megkönnyíti.

2. A szórónylásoknak elegendő számban és kis távolságokban való elhelyezése. Ezzel meg van adva az a lehetőség, hogy az idegység alatt több tüzelőanyagot lehessen elégetni, mintha a nyílások egymástól távolabb lennének. Ilymódon a tüzelőanyag adagolása a megnövekedett levegőhozzávetéshez alkalmazkodik és a megkívánt teljes égetési hőmérséklet elérése biztosítva van.

3. Lehetővé kell tenni, hogy a füstgázok hőtartalmukat (füstgázok + levegőfelesleg) az előmelegítendő terméknek átadják, hogy — figyelem-

mel a kondenzációs jelenségekre — a megengedhető legalacsonyabb füstgázhőmérsékletet érjük el. Ehhez elegendő hosszú előmelegítő szakasz szükséges.

Ha ezeket az elméleti elgondolásokat összehasonlítjuk a gyakorlatban megvalósított Duvanov-féle gyorségetési eljárással, felismerjük az általa bevezetett eljárás helyességét.

Rendkívül tanulságos most már a hőfogyasztási számokat összehasonlítani, miként azt Sgraja kiszámította és ahogy azok az 1. táblázatban láthatók. A második harangnál uralkodó huzat állandóan 4 mm v. o. volt.

Sgraja újból rámutat a hosszú előmelegítő szakasz fontosságára, amelyben a füstgázok hője jól kihasználható.

8. Teljes szárítás a körkemencében

Célszerű volna a nyersárut a kemencében szárítani, mert így hőtechnikai szempontból a legkisebbek a veszteségek.

Erre azonban csak szükség esetén kerülhet sor. Különösen Sgraja hangsúlyozta, hogy nedves betét esetén igen könnyen megtörténhetik, hogy a nedvesség kamráról-kamrára terjed. Miersch megemlítette a gőzvolumen által történő nagy kéménymegterhelést és mindenekelőtt azt a tényt, hogy nagy kemencekeresztmetszet mellett egyenletes száradás nem lehetséges. Burghardt felhívta a figyelmet a Szovjetunióban ez irányban tapasztalható fejlődésre. A gyorségetés után, mint következményképp előálló szükségességet, Kartavcev a gyorszárást is bevezette. De ha mégis a kemencében kell szárítani, ehhez a művelethez igen jól begyakorolt égető személyzet szükséges.

Ahhoz, hogy a gyorségetésnél a legjobb eredményeket érjük el, a téglaiparban is több mérést kell végezni. Ez egyik legfontosabb előfeltétele a munkák sikeres teljesítésének.

9. Tüzelőanyagoknak bekeverése az agyagba

Riedel sikerrel lefolytatott nagyméretű kísérletekről számol be, melyeknél téglánként 80 g tüzelőanyagot keverték be. A bekevert tüzelőanyag növeli a tűz előhaladását, sőt az is megtörténhet, hogy — miként Sgraja tapasztalta — a tűz sebessége már nem szabályozható. Burghardtnak sikerült könnyűtéglát gázkamrakemencében 50%-os szénporral kiégetni, anélkül, hogy a kamrában a gázt meg kellett volna gyújtani. Miersch hangsúlyozta, hogy csak gázmentes tüzelőanyagok használhatók erre a célra, mert különben $500^\circ C$ hőmérséklet alatt, tehát a gázok gyulladási hőmérséklete alatt, nagymérvű tüzelőanyagvesztés áll elő a tüzelőanyag elgázosodása miatt.

Technológiai szempontból nézve azáltal keletkeznek nehézségek, hogy zsíros anyagok ehhez az eljáráshoz kevésbé alkalmasak. A likacsos téglánál a nyomószilárdság is csökken némileg, úgy hogy a normaelőírások bizonyos körülmények között nem teljesíthetők. Miersch véleménye

szerint azonban a normában megkívánt nagy nyomószilárdság nem indokolt.

A tüzelőanyag kérdésénél még általánosságban meg kell jegyezni, hogy alkalmas szénadagoló berendezések használatát mindig újra, meg újra meg kell követelni.

10. Gyorségetési kemence

Ami a téglagyárak építési módját illeti, meg kell állapítani, hogy a téglauzemek teljesítőképessége racionális égetéssel, tehát gyorségetési eljárással növelendő. Új építkezéseknél megfontolandó, hogy ne lenne-e célszerű alagút-kemencékre áttérni. *Miersch* ezt már a munkásokra való tekintettel is követeli, akik a körkemencékben való munkájukat a nagy hőségben és poros levegőben, az elképzelhető legkedvezőtlenebb körülmények között végzik. Alagút-kemence tervezésénél fontos szerepe van a legalkalmasabb kemencekeresztmetszet megállapításának. Itt is figyelembe kell venni a legkedvezőbb levegőtényező kérdését. Ujból meg kell állapítanunk, hogy a legközelebbi kutató munkánk sikeres folytatása céljából kísérleti kemencéről kell gondoskodni. Ezt a kemencét azután az égetőszemélyzet részére oktatási kemence céljára is fel lehet használni. Ez az üzem általában kutatóintézet keretében arra is szolgálhat, hogy ott az összes újító módszereket (melegen való megmunkálás stb.) alaposan lehessen tanulmányozni.

Összefoglalás

A körkemence hatásfoka nem egyforma a kemence minden részében, a hűlőszakaszban mindig lényegesen nagyobb, mint az égetési és előmelegítési szakaszban.

Ezzel lehetségessé válik aránylag sok levegőt előmelegíteni és az égetési szakaszba bevezetni. Nagyobb levegőtényezővel az égetés minden esetre gazdaságosabb, miután ez a levegő járulékos energiát juttat a kemencébe. A határt az égetési hőmérséklet elérése szabja meg. Ezekre a folyamatokra adva vannak a matematikai képletek és ezek alapján megfigyeléseket végeztek a hőátadásra és lánghőmérsékletre.

A füstgázelemzések eredményei alapján még nem lehet egyértelmű következtetéseket levonni. Ezért e tekintetben még üzemi kísérleteket is kell folytatni, hogy a kérdést tisztázhassuk.

1. táblázat

Üzemi adatok különböző rakási sűrűségnél

Rakási sűrűség db/m ³	Tűzsebesség m/nap	Hőszükséglet kcal/kg téglá
300	6—7	320
260—280	10	
240—260	12	
240	12	240
220	24	(bekevert tüzelő- anyaggal)

IRODALOM

- (1) *Schuen W.*: Hozzászólás H. Burghardt, H. Leissner és G. J. Lenz: Gyorségetés a samott iparban. *Silikattechn.*, 3. évf., (1952) 6. sz., 283—285 old.
- (2) *Salmang H.*: A kerámia fizikai és kémiai alapjai. II. kiadás. Springer kiadásban, 1951.
- (3) *Heiligenstaedt W.*: Hőtechnikai számítások ipari kemencék részére. III. kiadás. *Stahleisen* kiadásában, Düsseldorf, 1951.
- (4) *L. W.*: Hasznos hő az üvegolvasztásnál. *Silikattech.* 3. évf., (1952) 7. sz., 291—294. old.
- (5) *Wagener*: Gáz használata a téglai iparban. *Ziegelindustrie*, 4. évf., (1951) 6. sz., 163—169. old.
- (6) *Rummel K.*: Adatok a hőgazdaságban, 4. kiadás. *Stahleisen* kiadás, Düsseldorf, 1947.
- (7) *Avenhaus W.*: Kerámiai kemencék tervezése és üzése.
- (8) *Hack B. N.* és *Kalanter G. A.*: Mérési értékek a Duvanov-féle eljárás alkalmazásánál. *Silikattechn.* 2. évf. (1951) 7. sz., 216—217. old.
- (9) *Bodin V.*: A körkemence hőegyenlege. *Bull. Soc. Franc. ceram.* (Paris) 1951., 12. sz., 24. old. *Silikattechn.* 3. évf., (1952) 10. sz., 474. old.
- (10) *Günther R.*: Kemenceépítés az üveghutákban. *Glastechn. Ber.* 22. kötet (1948) 3—4. sz., 50—57. old.
- (11) *Müller Graf*: A tüzelőanyagok technológiájának kézikönyve, I. kiadás. *Deuticke* kiadása. Wien, 1939.
- (12) *Kistner H.*: Tanulmányi célokra épített regeneratív kamrán végzett üzemi kísérletek. II. rész. *Mitteilg. No. 13. g. der Wärmestelle des Vereins deutscher Eisenhüttenleute.*
- (13) *Elegendő-e a meglévő kéményhuzat a gyorségetéshez?* *Silikattechn.* 3. évf., (1952) 7. sz., 332—335. old.
- (14) *Konzultáció*: Füstgázelemzés az üvegosztókemencén. *Silikattechn.* 3. évf., (1952) 11. sz., 523—525. old.
- (15) *Segér*: Összegyűjtött közlemények, II. kiadás, 1908

Az Éa. M. Építőanyagipari Könyv- és Lapkiadó Vállalat kiadásában e hó végén jelenik meg

M. Sz. Nyeginszkij:

CEMENTGYÁRAK TERVEZÉSE

című kiadványunk — Terjedelme kb. 500 oldal —

Ára kb. 70— Ft — Előjegyzéseket elfogad:

ÉPÍTŐANYAGIPARI KÖNYV- ÉS LAPKIADÓ VÁLLALAT

Budapest, V., Kálmán-utca 16. — Telefon: 121-585

Forgókemencék béléstartóssága

SZABÓ LÁSZLÓ

A cementtermelés szűk keresztmetszete a klinkerégetés, a kemencék kapacitásának növelése tehát *cement-többtermelést* eredményez. A kapacitásnövelés mellett a kemencék teljesítménye lényegesen fokozható a valóságos üzemidő növelésével, vagy ami ennek megfelelő, az állásidők csökkentésével. Az állásidők legfőbb okozója a kemence bélésének meghibásodása. Minél ritkábban és minél rövidebb ideig kell a kemencebélést javítani, annál kevesebb az állásidő, annál több a termelés.

A közeli multban jelent meg magyarul Szokolov könyve a forgókemencék béléstartósságának növelésére szolgáló módszerekről. Ez a könyv igen sok gyakorlati tanácsot, utasítást tartalmaz, melyek betartása révén a bélés tartóssága növekszik, a javítási állásidő csökken. A könyvet valamennyi cementgyár több példányban beszerezte és minden mérnöknek, technikuskának, szakmunkásnak, aki forgókemencével foglalkozik, ismernie kell ezt a munkát, mely a Szovjetunió cementiparának idevonatkozó tapasztalatait gyűjti össze és adja át a műszaki világnak közérthető módon.

A forgókemence bélése a hőmérsékleti, vegyi és koptató hatáson kívül erős mechanikai igénybevételnek van kitéve a kemence mozgása folytán. A kemencét hideg állapotban pontosan lehet beállítani úgy, hogy egyenletesen feküdjék fel a támasztó görgőkön. Amikor azonban a kemence felmelegszik, akkor hőmérséklete az egyes zónákban számottevően eltérő lesz és ezzel együtt átmérője is megváltozik a különböző mérvű hőkiterjedés miatt. A meleg kemencének pontos felfekvésre való beállítása igen nehéz és ott, ahol a felfekvés a támasztó görgőkön nem tökéletes, a kemence ostorozó mozgást végez, vagyis a bélés minden fordultnál felváltva kifelé és befelé irányuló hajlítási igénybevételnek van kitéve. A meghajtásnál kellő merevítés híján erős befelé irányuló hajlítási igénybevétel lép fel a bélésnek a meghajtó fogaskerék felé forduló részén.

A hőmérsékleti és vegyi igénybevétel legerősebben a zsugorító zónában jelentkezik. Szokolov szerint a legnagyobb igénybevétel a kemencefejtől 5—8 m távolságban lép fel. A különböző mérvű hőmérsékleti és mechanikai igénybevételnek megfelelően a kemence egyes zónái különböző bélésanyagot igényelnek.

Az előmelegítő zónában a hőmérséklet alacsony, a beadagolt anyag iszap, vagy finom porból képezett granália, tehát intenzív koptató hatás nem lép fel. Az ide beépítendő bélésanyaggal kapcsolatban különösebb minőségi igények nincsenek, mindössze bizonyos koptató szilárdsággal kell bírnia, mely esetben a szakszerűen készített falazat évekig eltart. Leginkább alacsony tűzállóságú samottot szokás itt felhasználni. A tatabányai gyár jó eredménnyel alkalmazza a bazaltbélést.

A kalcináló zóna elején még aránylag alacsony a hőmérséklet, itt is megfelel az alacsony tűzálló-

ságú, megfelelő szilárdságú samott-tégla. Megfelelő szilárdság alatt minimálisan 150 kg/cm^2 hideg nyomószilárdság értendő, de kívánatos, hogy a szilárdság 200 kg/cm^2 felett legyen. A kalcináló zónának a zsugorító zónával szomszédos szakaszában már magasabb a hőmérsékleti igénybevétel és itt nagyobb tűzállóságú samott-ra van szükség. Különösen a zsugorító zóna magnézitbéléséhez csatlakozó 1—2 m hosszúságú szakaszon intenzív az igénybevétel és itt legalább SK 33 tűzállóságú anyagot kell beépíteni, mellyel kapcsolatban a szilárdsági követelmény is fokozott. Hogy a szilárdságnak és tömörségnek milyen nagy a befolyása a tartósságra, arra jó példa a Tatabányán szerzett tapasztalat. A zsugorító zóna előtti kúpos részben a régebben beépített samott-téglák 6 havi üzemi időt kiszolgáltak, ezzel szemben a két legutóbbi szállítmányból készült bélés 2, illetve 1 hónapig tartott. Az utóbbi szállítmányok anyagának szilárdsága kisebb, porozitása nagyobb volt, mint az előzőké. A Budapesti Tűzállóanyaggyár részéről Nagy kts. a soksamottos eljárás szerint gyártott anyagot hozta javaslatba és ezzel az anyaggal próbafalazat fog készülni, melynek tartóssága valószínűleg ezen a helyen alkalmazott minden egyéb anyag tartósságát felülmúlja. Ez az anyag nagy szilárdságával és tömörségével tűnik ki.

A zsugorító zóna bélésanyaga okozza a legtöbb gondot. Itt a magas hőmérsékleti igénybevétel mellett igen erős vegyi behatás is jelentkezik és védőréteg hiányában a samottbélést a magas hőmérséklet folytán órák alatt tönkreteszi. Bár a védőréteg a különleges magnézit-bélésanyagnál is kívánatos, ez az anyag hosszabb időn át képes a fellépő igénybevételnek ellenállni. Nálunk a hazai gyártású Miagonit II elnevezésű krómmagnézitanyag nyer felhasználást a klinkerégető forgókemencék zsugorító zónájában. Ezzel az anyaggal szemben eltérőek az egyes üzemek tapasztalatai. A vegyi behatásnak általában jól ellenáll, de nem kielégítő az ellenállása a mechanikai és hőmérsékletingadozási igénybevétellel szemben. Ezzel az anyaggal kapcsolatban a jelenleginél fokozottabb szilárdsági kívánalmakat kell támasztani és hideg nyomószilárdságának legalább 200 kg/cm^2 -nek kellene lennie, melynél a valóságban sokkal kisebb. Cementiparunk változó eredménnyel alkalmazta a RADÉX-A megnevezésű külföldi timföldmagnézit-gyártmányt, mellyel egyes esetekben többéves tartósságot sikerült elérni, de más esetekben néhány hónap, sőt néhány hét után is már tönkrement. Régebben a Miagonit II-vel is sikerült kivételesen többéves tartósságot elérni és egyes üzemekben ma is kielégítő ezen anyag tartóssága. Mint a továbbiakban erre rátérek, a magnézit-bélés tartósságát nagy mértékben befolyásolja a beépítés módja, a köpeny stabilitásától függő mechanikai igénybevétel és az üzemeltetés módja. Ez azonban még fokozottabb feladatot ró a tűzálló építőanyag-

iparra, hiszen addig is, míg gyenge konstrukciójú és rossz állapotban lévő kemenceköpenyeinket kicserélni tudjuk, üzemeltetni kell ezeket a kemencéket. Így tehát jobb minőséggel lehet bizonyos fokig ellensúlyozni a fokozott igénybevételt.

A rövid hűtő illetve kiömlőzóna belésanyaga jóminőségű samott. Magnezit alkalmazása nem volna célszerű, mivel itt a hőmérsékletingadozás nagyobb mérvű. Legalább SK 33 tűzállóságú és 200 kg/cm²-nél nagyobb hideg nyomószilárdságú anyag kívánatos, mivel a klinker koptató hatása erősen igénybeveszi a belést.

A hűtő belésanyagaként nagyszilárdságú samottot kell alkalmazni, a tűzállósággal kapcsolatban a követelmény viszont enyhe. Még a 200 kg/cm² hideg nyomószilárdság sem kielégítő és valószínű, hogy a hűtők belésére a soksamottos eljárás szerint gyártott, alacsony tűzállóságú samott fog leginkább megfelelni.

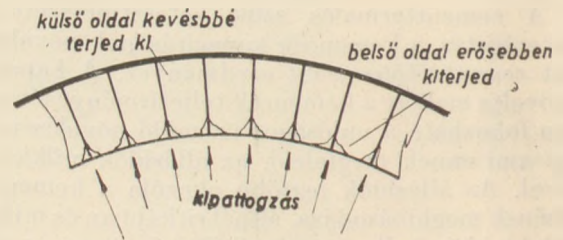
Az egyes zónák tűzálló anyagát és a zónák hosszát úgy kell megválasztani, hogy a tartósságok egymásnak egész-számú többszöröse legyenek.

Ezt a követelményt Szokolov állítja fel említett munkájában és igen szemléltetően igazolja annak fontosságát. Ha az egyes szakaszok belésének tartósságai egymásnak egész-számú többszöröse, akkor a javítások egybeesnek és nincs szükség egy-egy szakasz javítása után néhány héttel egy másik szakasz javítása miatt a kemence leállítására, hanem egyszerre bonyolítható le több szakasz javítása. A többszöri leállítás pedig nem csak termelékiesést okoz, hanem a belés — elsősorban a magnezitbelés — tönkremenetelének meggyorsítását idézi elő a leállítással kapcsolatos hőmérsékletváltozás miatt.

A napokban fog megjelenni egy miniszteri utasítás a cementipari forgókemencék falazatával kapcsolatban, mely többek között előírja egy olyan nyilvántartás és ezzel összefüggő grafikus ábrázolás vezetését, melyből kitűnik, hogy melyik szakaszt mikor javították. Az ábrázolás lényegileg azonos a Szokolov által ajánlottal és igen szemléltetően mutatja, hogy milyen mértékben sikerül a javítások időpontjait a fenti szempontnak megfelelően összevonni.

A belés tartósságának lényeges előfeltétele a gondos és szakszerű falazás, valamint a falazáshoz felhasználásra kerülő téglák, idomok alakjának és méreteinek helyes megválasztása. Mivel a falazat váltakozó hajlító igénybevételnek van kitéve, nem szabad merevnek lennie. Túlságosan nagyméretű idomok alkalmazása esetén a falazat túl merev, a hézagok száma és térfogatuk elégtelen. A nagyméretű idomok önmagukban is kevésbé állnak ellen a hőmérsékletingadozásnak és az egyoldalú felmelegedésnek, illetve lehülésnek. Ha a kerület irányában hosszúak a beléstéglák, akkor a belső oldal erősebb felmelegedése folytán a hátsó résszel szemben számottevő hőkiterjedés áll elő és a téglák belső élei mentén lepattogzások keletkeznek, amint ezt az 1. ábra érzékelteti. Ha a téglák kerületirányú mérete rövid, akkor a hézagok a fokozott belső kiterjedést felveszik és nem áll elő túlzott feszültség a téglákban. Hasonló oknál fogva nem célszerű az alkotóirányú méretet túl nagyra venni.

Igen szerencsésnek mondható a tatabányai téglák méretezése. A belésre éktéglákat használnak, melyek alkotóirányú hossza samottonál 150 mm, magnezitnél 125 mm. A téglák átlagos vastagsága 70 mm körül van.



1. ábra.

Az Építőanyagipari Minisztérium számára javaslatot dolgoztam ki a forgókemence-beléstéglák főméreteinek egységesítésére, melyhez a tatabányai méreteket vettem alapul. Ilyen méretek mellett a hézagok száma olyan nagy, hogy a falazatnak megfelelő hajlékonysága van és a téglák kitöredezése minimális, ha a hézagvastagság nem túl kicsiny. A kemencék üzemeltetőinél általános az a felfogás, hogy a hézagok számát és térfogatát minél kisebbre kell szorítani, mert a vegyi behatás elsősorban a hézagokban jelentkezik. Ez kétségtelenül igaz, azonban csak ott érvényesíthető, ahol a falazat nincs hőmérsékletingadozásnak és a forgókemencékhez hasonló mechanikai igénybevételnek kitéve. Ilyen pl. az üveglvasztó kemencék kádja, melyet nagyméretű tömbökből falaznak kevés hézaggal. A kádak nincsenek hőmérsékletingadozásnak kitéve és a falazat állandó nyomóigénybevételre gyakorló terhelésen kívül mechanikai igénybevételnek sem, tehát itt a falazat engedékenysége nincs olyan mértékben szükség, mint a forgókemencénél. Utóbbinál kompromisszumot kell kötni és a nagyobb igénybevétel ellen kell elsősorban védekezni. Ha a tapasztalat egy-két esetben mégis azt mutatja, hogy a kemence bizonyos helyén elsősorban az Unax-típusú kemence kiömlő nyílásainál — a nagyobb méretű idomok is elég tartós falazatot adnak, akkor ezek alkalmazásánál meg kell maradni. Nyílásoknál ugyanis a kisebb idomokból történő falazásnál fennállhat egyes idomok kiesésének veszélye.

A belés legnagyobb részben üreges hengeralakú falazatból áll. Ennek kiképzésére elméletileg ú. n. körtéglákat kellene alkalmazni, de a téglák vastagsága a kerülethez képest jelentéktelen lévén, a sokkal könnyebben legyártható éktéglák alkalmazása teljesen kielégítő. Az éktéglák ékeltségének a köpenyátmérővel összhangban kell lennie, vagyis olyan sokszöget kell kiadni, melynek külső köre a belső köpenyátmérő. Ha a belső köpenyátmérő D , a belső belésátmérő d , akkor a téglák hossza

$$l = \frac{D - d}{2}.$$

Ha továbbá az éktégla nagyobb vastagsága a_1 , kisebb vastagsága a_2 , a hézagszélesség s , akkor a következő összefüggés áll fenn a két vastagság és az átmérők között:

$$\frac{a_1 + s}{a_2 + s} = \frac{D}{d}.$$

Ha közepes téglavastagságnak a_k -t választjuk, akkor

$$a_1 = \frac{2a_k D + s(D - d)}{D + d}$$

és

$$a_2 = \frac{2a_k d - s(D - d)}{D - d}$$

Közepes téglavastagságnak pl. 70 mm-t választathatunk. Ha a hosszúságot és szélességet valamennyi hazai forgókemence számára egységesen állapítjuk meg, akkor ugyanazon présformában sajtoltatható valamennyi téglá, csupán a nyomólapok lejtőszögét kell változtatni. A már említett tatabányai méretek igen jól megfelelnek. A téglák hosszáról a továbbiak folyamán emlékezem meg.

Szokolov által is ajánlott módszer a kétféle ékeltségű téglával történő falazás. Ez esetben a nagyobb ékeltségű megfelelhet a legkisebb köpenyátmérőnek, a kisebb ékeltségű pedig a legnagyobb. A különböző kemencék számára a köpenyátmérőtől függően különböző arányban kell a kétféle ékeltségű téglát beépíteni és így ugyanazon zóna valamennyi hazai kemencénél ugyanazon két téglával falazható, csak az arány változik. Ez nagymértékben leegyszerűsíti a gyártást és lehetővé teszi, hogy egyik cementgyár a másikat falazó anyaggal kisegítse.

Ha a legnagyobb köpenyátmérőnek megfelelő éktégla vastagsága a_{1n} , illetve a_{2n} , a legkisebb köpenyátmérőnek megfelelő a_{1k} , illetve a_{2k} , akkor a fekvőhézagvastagság mellett egy D belső köpenyátmérőjű és d belső bélésátmérőjű kemence egy-egy körének kifalazásához szükséges N kisebbékeltségű és K nagyobbékeltségű tégladarabszámot a következőképpen számíthatjuk:

$$N = \frac{D\pi(a_{2n} + s) - d\pi(a_{1n} + s)}{(a_{2n} + s) \cdot (a_{1k} + s) - (a_{1n} + s) \cdot (a_{2k} + s)}$$

$$K = \frac{D\pi(a_{2k} + s) - d\pi(a_{1k} + s)}{(a_{1n} + s) \cdot (a_{2k} + s) - (a_{2n} + s) \cdot (a_{1k} + s)}$$

A bélés engedékenységevel, hajlékonyságával kapcsolatban támasztott követelménnyel szoros összefüggésben van a hézagok szélessége. Ha a hézagok túl keskenyek, akkor nem áll megfelelő térfogat rendelkezésre az egyes idomok hőkiterjedésének a felvételére és a nyomás kiegyenlítésére. Bár a szoros hézagokon át a bélést a klinker kevésbé képes megtámaszni, az engedékenység hiánya ugyanazokkal a következményekkel jár, mint a túlnagyméretű idomokkal történő falazás. A megfelelő számú és szélességű hézagok feladata, hogy helyet adjon az idomok egymás felé való elmozdulása számára akár hőkiterjedés, akár időszakosan fellépő összenyomódás esetén. Ennek hiányában az idomokban olyan feszültségek léphetnek fel, melyek kipattogzásra, széttöredezésre vezetnek. A magnezit béléstéglákat 3—4 mm széles ütköző és 2—2,5 mm széles fekvő hézagokkal célszerű falazni, a samottot 2—3 mm-es fekvő és ütköző hézagokkal. Magnezitnek lemezzel való hézagkitöltése esetén a fenti hézagszélesség csak bordázott lemezekkel vagy drótháló-betéttel biztosítható, mivel ilyen vastag lemezekkel való falazás túlságosan költséges volna.

Hézagkitöltő anyagként cementiparunk főleg vaslemez használ a magnezitbélés falazásánál. Ennek a módszernek előnye, hogy a nedvességre érzékeny magnezit nem nedvesedik. A nálunk alkalmazott lemezek azonban túl vékonyak és így túl kis hézagszélességet adnak. Helyesebb volna bordázott lemezekkel vagy huzalhálóval falazni. Az előbbiekre a bélés felületére merőleges irányú bordák vannak belesajtolva és ezáltal vékonyabb lemez is megfelelő hézagszélességet biztosít. Szokolov könyve ismerteti a bordázott lemezt. A lemezek legyenek valamivel hosszabbak, mint a bélésvastagság és néhány mm-re nyúljanak túl a bélés felületén. Ilyen módon elősegítik a kemence üzembehelyezése után a védőréteg megkapaszkodását. Szokás a magnezitbélést habarccsal is falazni és nézetem szerint ez a helyesebb, feltéve, hogy a falazást gyorsan végzik és befejezése után azonnal megkezdik a felfűtést a magnezit hidratációjának megakadályozására. Habarcsként vízűveges magnezitliszt ajánlható, de jó eredménnyel alkalmaznak magnezit mellett egyéb soványító anyagot pl. samottlisztet, mely a magnezitre gyakorolt vegyi behatás folytán a habarcs jó bekötését segíti elő. A habarcs tűzállósága jóval kisebb, mint a falazati idomoké, de ez előnyös, mert a habarcs bizonyos mérvű meglágyulása biztosítja a hézagokon keresztül a falazat hajlékonyságát.

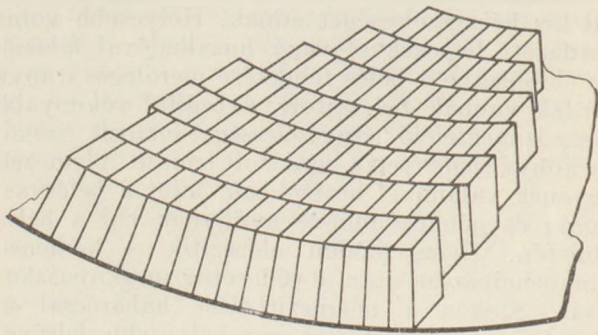
A samott befalazására tiszta cementhabarcsot szokás alkalmazni és ez jól beválik. A cement és a samott között magasabb hőmérsékleteken fellépő vegyi behatás folytán jó kötés jön létre. Szokolov azonban felhívja a figyelmet arra, hogy a cementhabarcs a hőmérsékleti behatás miatt dehidratizálódik, elveszti szilárdságát és kipereghet a hézagokból. Ez a jelenség inkább mérsékelt hőmérsékleten következhet be, amikor a cementben még nem képződik olvadék. Ahol ilyen előfordul, ott samothabarcsot kell alkalmazni.

A hézagok gondosan kiképezve, egyenletes szélességűek és teljesen kitöltöttek legyenek. Az egyenletes fekvőhézagszélesség biztosítása céljából az egy sorba kerülő téglákat vastagság szempontjából kell összeválogatni. Erre nagy gondot kell fordítani, mert a téglák vastagsága a mérettűrés határain belül változhat és ha egy sorba különböző vastagságú téglák kerülnek, akkor a hézagok szélessége tégláról téglára változik. Az összeválogatás és az annak megfelelő falazás jó szervezéssel oldható meg.

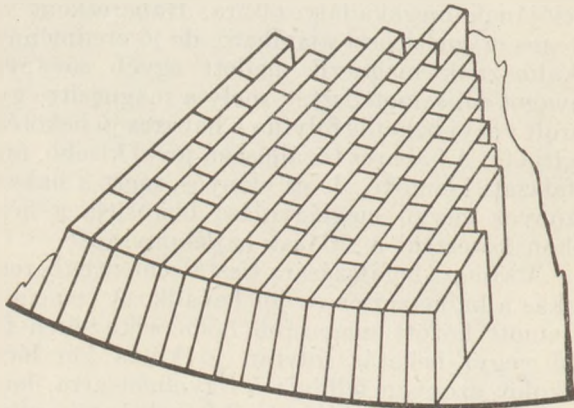
Az ütközőhézagokkal kapcsolatban fontos követelmény, hogy ne keskenyedjenek a bélés belső felülete felé, hanem inkább szélesedjenek. A téglák belső oldala melegszik és terjed ki erősebben, tehát itt valamivel nagyobb hézagszélességre van szükség, mint a köpeny közelében. Ezt a célt szolgálja bordás lemezeknél a bordák lejtős kiképzése. Ha a hézag befelé keskenyedik, akkor előállhat az 1. ábrán feltüntetett jelenség.

Ennek a követelménynek a teljesítése nem a falazó kőművestől, hanem a téglák ékeltségétől függ és ezért is fontos az átmérőnek megfelelő ékeltségű téglák alkalmazása, illetve kétféle ékeltségű téglá befalazása esetén a megfelelő arány betartása.

A hengeres rész kifalazásával kapcsolatban sokat vitatott kérdés, vajjon gyűrűben vagy kötésben falazzunk-e. A gyűrűben falazott bélést a 2. ábra, a kötésben falazottat a 3. ábra mutatja.



2. ábra.



3. ábra.

A gyűrűben történő falazás előnye, hogy a bélés valamely szakaszának javításakor minden nehézség nélkül tetszésszerűen számú gyűrűt kicserélhetünk anélkül, hogy a szélső gyűrűkkel határos bélésrészt meg kellene bolygatni. Egyedül az utolsó gyűrű zárótéglájának beillesztése okoz nehézséget és nem végezhető szabályosan. Ezzel szemben a kötéssel készült bélés valamely szakaszának cseréje alkalmával az új bélésrészsel határos régi rész csorbázata miatt az utolsó körre való téglák csak akkor építhetők be boltozat módjára, ha a szomszédos csorbázatot lefaragjuk. Ez csak akkor nincs így, ha a béléscserét tágulási hézagig terjedőleg végezzük. A gyűrűben készült bélés hátránya viszont, hogy a gyűrű egyetlen téglájának kiesése az egész gyűrű beomlását idézheti elő, míg a kötésben készült bélésnél egy-egy téglák kiesése nem okoz beomlást. Meg kell említeni, hogy a kötésben történő falazás útján készült bélés egyes téglái gyakran a középben hosszában elrepednek a szomszédos ütköző hézagok folytatásaképpen. Mégis egyre inkább az a felfogás kerekedik felül, hogy kötésben kell falazni a beomlási veszély elkerülése végett. A béléscserét megkönnyíti, ha a tágulási hézagok nincsenek egymástól túlságosan nagy távolságra.

A kötésben való falazást csak ú. n. másfeles vagy háromnegyedes téglák alkalmazásával lehet szakszerűen elvégezni. Másfeles téglák alkalmazása

esetén minden második sort másfeles téglával kezdve biztosítjuk a féltéglával való soronkinti eltolást. A sorok a tágulási hézagoknál kezdődnek. Szokolov a háromnegyedes téglákat ajánlja. Ezekkel úgy kell falazni, hogy minden második sort két db háromnegyedes téglával kezdünk. Ezáltal a második háromnegyedes téglát után féltéglányi eltolódás áll két szomszédos sor között elő.

A falazat tartóssága és engedékenysége szempontjából fontos szerepük van a tágulási hézagoknak. Ezeknek az a rendeltetésük, hogy a bélés egyes szakaszai önálló hőkiterjedésére helyet adjanak. A tágulási hézagok szélessége 10–15 mm, vagyis a falazat bizonyos távolságban ilyen széles kerületmenti hézagok által van megszakítva. A tágulási hézagokat annál kisebb távolságban kell egymástól kiképezni, minél magasabb az illető szakasz hőmérséklete és minél nagyobb a bélés anyagának a hőkiterjedése. A magnezitbélésnél mindkét szempont a legnagyobb mértékben jelentkezik és ezért itt 2, de legalább 4 méterenként célszerű tágulási hézagokat létesíteni. A samottbélést nagyobb távolságban kell tágulási hézagokkal ellátni, de még a hidegebb zónákban sem célszerű 10 m távolság fölé menni. A tágulási hézagokba a falazáskor 10–15 mm vastag faléceket szokás helyezni és ezeket a hézag teljes kerületének kifalazása után eltávolítani. Ekkor azonban a hézagot papírossal vagy szalmával kell kitölteni, nehogy nyersliszt vagy klinker kerüljön bele, mielőtt a bélés felmelegedése folytán a hézagok záródnak.

Fontos kérdés a bélés vastagsága. Általában 200 mm vastag bélést szokás készíteni. Ezt samottfalazatnál 200 mm hosszú téglák alkalmazásával érik el. A magnezitbélés mögé, vagyis a köpeny és a magnezitbélés közé 30–40 mm vastag samottszigetelést szokás falazni. Ennek az a rendeltetése, hogy a magnezit nagy hővezetőképességét bizonyos mértékig ellensúlyozza és ezzel részben a hővesztésedet csökkentse, részben a köpeny túlságos felmelegedését megakadályozza. A szigetelő réteget radiál-lapokkal vagy közönséges síklapokkal készítik. Utóbbiak is teljesen megfelelnek, ha nem túlságosan szélesek és jól vannak habarcsba beágyazva. Ha a samottreteg vastagsága 40 mm, akkor a magnezitbélés vastagságát 160 mm-re szokták venni, vagyis 160 mm hosszú téglákat falaznak a samottretegre. A mai irányzat egyre inkább a samottszigetelés kiküszöbölése felé mutat, ami különösen a köpenynek vízzel való hűtése esetén természetes is. Ez esetben ugyanis éppen az az egyik célunk, hogy a vízűtés által a bélést is hűtsük és egyrészt ezáltal hőmérsékleti igénybevételét csökkentjük, másrészt a védőréteg rátapadását elősegítjük. A szigetelő réteg alkalmazása azzal a veszéllyel jár, hogy a magnezitbéléshez képest elcsúszik és fokozatosan összemorzsolódik. Ennek következtében a magnezittéglák kilazulnak és a bélés beszakad. Az elcsúszás elkerülésére célszerű a magnezitbélést bizonyos távolságokban teljes bélésvastagságnyi hosszúsággal bíró téglák beépítésével a samottbélésbe bekötni. E célra a bélés belső átmérőjének és a köpenyátmérőnek megfelelő ékeltségű, 200 mm hosszú magnezit-

téglákat alkalmaznak. A veszélyt ez sem szünteti meg teljesen és lényegesen bonyolultabbá teszi a falazást.

Samott helyett kovaföldidomokból is szokás szigetelő réteget készíteni nemcsak a magnezit-, hanem a samottbélés mögé is. Ezen anyag kis szilárdsága miatt azonban az elmorzsolódási veszély még nagyobb és ezért ma már ilyen szigetelést alig alkalmaznak.

Vizhűtés alkalmazása esetén a szigetelő réteg nélkül falazott magnezitbélés vastagságát 2,5 m-nél nagyobb átmérőjű kemencéknél 180, ilyen, vagy ennél kisebb átmérőjűeknél 160 mm-re lehet készíteni.

A lábatlani üzem tapasztalatai azt mutatják, hogy az előmelegítő zónában felesleges 200 mm vastag samottbélést alkalmazni, hanem 120, sőt 100 mm bélésvastagság mellett is több éves tartósság adódik. A megfigyelések szerint a 200 mm vastag samottbélés aránylag rövid idő alatt a fenti mértékre vékonyodik valószínűleg a termikus feszültség okozta letöredezés folytán. E tapasztalat alapján a forgókemencék béléstégláinak egyszerűsítésére vonatkozó, említett javaslatomban az előmelegítő zóna számára 100 mm vastag bélést ajánlottam. Hasonló vastagságú bélés nyer alkalmazást a legtöbb hűtőben.

Lencsefejú szegecsekkel történő szegecselés esetén 10 mm-rel rövidebb téglákat célszerű alkalmazni a szegecsek felett, hogy a faragást elkerüljük. Szokolov mint egyik megoldást azt ajánlja, hogy a szegecsek fölé normális hosszúságú téglákat falazzunk, amikor is azok a bélés belső felületéből kiállnak. Utóbbi körülmény a bélés jóságát nem befolyásolja, sőt a védőréteg megkapaszkodását elősegíti, azonban ez a falazási mód a hézagképzés szabályosságát rontja, amennyiben befelé szélesedő hézagokat okoz és a téglák kilazulásának veszélyét rejti magában. A szegecsek fölé falazandó rövidebb téglák alkalmazását javaslatomban szintén ajánlottam.

A kúpos szakaszok kifalazására legcélszerűbb a csökkenő, illetve növekedő átmérőnek megfelelő különféle kúptéglák alkalmazása. Ez ugyan mintakészítési többletköltséggel jár, de gyorsabb és tökéletesebb falazást tesz lehetővé, mint az éktéglákból faragás útján nyert idomok beépítése. Szokolov utóbbira szintén igen jó megoldást ajánl, azonban ennek keresztülvitele sokkal körülményesebb a kúptéglákkal történő falazásnál.

A bélés, különösen a zsugorító zónabélés legjobb védelme a védőréteg. Ennek mielőbbi képződésére és állandósítására kell törekedni. A megfelelő vastagságú védőréteg elsősorban megvédi a bélést a betét kopató hatásától, megvédi továbbá az egyre megújuló vegyi behatástól. Hőszigetelése folytán a bélés hőmérséklete alacsonyabb marad és így hőmérsékleti igénybevétele is csökken.

A védőréteg olvadákképződés folytán keletkezik. Az olvadék reagál a bélés anyagával és ráköt. Ilyen reakció hiányában is képződik védőréteg a betét bizonyos mérvű képlékenysége és egymáshoz való tapadása folytán, de a bélésre való

rákötés hiányában kevésbé állandó. A magnezitbélésen a védőréteg kevésbé tapad éppen a csekély vegyi affinitás miatt. A krómmagnezit ebből a szempontból kedvezőbb anyag, mint a timföldmagnezit, mivel a krómvegyületek a klinkerrel valamelyest reagálnak. Abból a célból, hogy mielőbb védőréteg képződjék, a kemence üzembehelyezésekor kezdetben alacsonyabb olvadáspontú, erősebben lágyuló nyerslisztet célszerű adagolni. A kezdetben képződött védőrétegre könnyebben tapad rá az állandó jellegű, kevésbé lágyuló anyag. Az ily módon létesített első védőréteg tapadása erősebb. Szokolov a nyerslisztnek vasban való dúsítását ajánlja a védőréteggépződés elősegítésére, míg szerinte a másik klinkeresedést elősegítő anyag, a folyópát, a védőréteg képződését nem befolyásolja előnyösen.

A védőréteg gyakran üzem közben leválik és ilyenkor a bélés igénybevétele megnő. A levált védőréteg mielőbbi pótlására kell törekedni. Lehűléskor a védőréteg eltérő hőkiterjedése folytán kisebb-nagyobb darabok pattanhatnak le a bélésből különösen akkor, ha a béléstéglák rétegzetek, „struktúrás“-ak. Ezért is fontos a téglák egyenletes szerkezettel való gyártása, ami sajtolás esetén meglehetősen biztosítva van.

Nedvesen falazott, vagyis habarccsal készült magnezitbélés esetén a falazás befejezte után azonnal meg kell kezdeni a felfűtést és arra kell törekedni, hogy mielőbb 200°-ra hevítsük a magnezitbélést. Különösen veszélyes a nedvesen készült magnezitbélést a szomszédos kemencék okozta mérsékelt hőmérsékletemelkedésnek tartósan kitenni, mert a magasabb hőmérséklet nagymértékben meggyorsítja a hidratálódást. Ezért kell mielőbb a nedvességet teljesen kiűzni. A hidratálódás ugyanis térfogatnövekedéssel és a magnezit szerkezetének lazulásával jár. A felfűtést a begyújtás után 6—8 órával kell befejezni.

Különösen a magnezitbélés érzékeny a hőmérsékleti ingadozásra és ezért arra kell törekedni, hogy minél egyenletesebb hőmérsékletet biztosítsunk a kemencében. Jó szervezéssel mindent el kell követni, hogy porszén-, vagy iszaphiány és egyéb okok miatt a kemence üzemének beszüntetését elkerüljük. Azt az egyes üzemekben lábra kapott gyakorlatot, hogy néha egy-két napon belül többször is leállítják és újból üzembe helyezik a kemencét, meg kell szüntetni.

Látjuk, hogy a forgókemencék bélésének tartósságával kapcsolatban milyen sokirányú gondosságra van szükség és a tartósság a tűzálló építőanyag minőségétől, a bélés helyes szerkesztésétől, a falazás gondosságától és szakszerűségétől, a béléstéglák méreteitől és alakjától, a kemence beállításától és üzemeltetésétől milyen nagy mértékben függ. A béléstartósság érdekében tehát a tűzálló építőanyagok gyártóitól az üzemeltető cementtechnikusig valamennyi szakközegnek a maga területén a legkedvezőbb feltételek biztosítására kell törekednie. Csakis együttes erőfeszítéssel, a tapasztalatok kicserélésével és értékesítésével lehet a béléstartósság döntően fontos kérdését kedvezően megoldani.

A körkemencék hőmérlegének számítási módszere*

GOMPERZ ISTVÁN

Az a feladat, hogy kétórás előadás keretében mutassam be az elvtársaknak, milyen módon lehet egy *téglaégető körkemence* hőmérlegét egyszerű eszközökkel, a téglagyári gyakorlatban keresztül-vihetően meghatározni. Mielőtt azonban a hőmérleg számszerűségeire kitérnék, szeretnék néhány szót szólni a hőmérleg céljairól és jelentőségéről.

Miért van egyáltalán szükség arra, hogy bonyolultnak látszó tüzeléstechnikai számításokkal bajlódjék egy téglagyár műszaki dolgozója, akinek ötéves népgazdasági tervünk feszített feladatai amugyis elég gondot adnak? A tőkés gazdálkodás idején is égettünk téglát, igyekeztünk akkor is minél kevesebb tüzelőanyag felhasználásával elérni célunkat, a körkemencék hőmérlegét azonban nem készítettük el; alig egynéhány nagy gyár műszaki vezetője ismerte saját üzemét ebből a szempontból. Így természetes, hogy a tüzeléstechnikai vonatkozású intézkedések — még akkor is, ha eredményre vezettek, — ötletszerűek, tervszerűtlenek voltak.

A szocialista üzemvezetésben nem engedhető meg sem az ötletszerűség, sem a tervszerűtlenség — még kevésbé bízhat a szocialista üzem vezetője bármit is a véletlenre. Ha a tőkésnek fontos volt, hogy tüzelőanyagot takarítson meg azért, hogy a versenyben le ne maradjon és így magasabb profitot hozjon, akkor nem nehéz megérteni, mennyire fontos ez most, szocializmust építő népgazdaságunk számára, amikor minden tonna megtakarított szénnel több áram előállításához, új üzemek szénellátásához járulhatunk hozzá, amikor minden megtakarított forint gazdagítja dolgozó népünket, erősíti a béke hatalmas táborát. A szénrel való takarékos gazdálkodásra vonatkozóan pártunk és kormányunk több határozatot hozott.

Mi tehát a hőmérleg? A hőmérleg elvben hasonlít a pénzügyi mérleghez és éppen annyira szükséges. Összeállítja az egyes számlákat, szembe helyezi az aktívát a passzívával, a bevételeket a kiadásokkal.

Ezáltal válik a hőmérleg azzá az eszközzé, mely lehetővé teszi, hogy üzeink kalórikus technológiai folyamatait részleteiben vizsgálhassuk és megállapíthassuk, hol rejlenek tartalékok, hol vannak hiányosságok, amelyeket operatív intézkedésekkel fel kell tárnunk, illetőleg ki kell küszöbölünk.

A *körkemencék égetőfolyamatát* tekintve az a célunk, hogy a felhasznált hőenergiának minél nagyobb hányadát tegyék ki a hasznos ráfordítások és minél kisebb hányadát a különböző veszteségek. Egyszóval: a tüzelés minél jobb *termikus hatásfokát* biztosítsuk. Nyugodtan elmondhatjuk, hogy építőanyagiparunk minden egyes tüzelőberendezésénél tág tere nyílik a hatásfok javításának.

* Az Építőanyagipari Tudományos Egyesületben 1953. márc 12-én megtartott előadás.

A hőmérleg egyik oldala a kemencébe tüzelőanyag égésével és más úton bevitt hőmennyiségeket tartalmazza, másik oldala egyrészt a produktív felhasználást mutatja, másrészt azokat a hőmennyiségeket tünteti fel, melyek — számunkra haszontalanul — a kemencéből távoznak.

A hőmérleg, bár a kemence gazdaságossági elbírálásának alapja, arról nem nyújt teljes képet. Ahhoz, hogy teljes képet kapjunk, *valumennyi körülményt* — tehát a külső körülményeket is — figyelembe kellene vennünk (pl. feltétlenül szerepet játszik a körkemence működésének gazdaságosságában a ventilátor vagy az automatikus szénadagoló berendezés energiaigénye). Ezekkel a külső körülményekkel a hőmérleg nem foglalkozik.

A hőmérlegben szereplő számadatokat természetesen valamilyen egységre kell vonatkoztatnunk; ezt az egységet szabadon választjuk meg. Az adatok vonatkozhatnak a tüzelőszer egységnyi mennyiségére (pl. 1 kg szénre) vagy vonatkozhatnak bizonyos időszakaszra (pl. 24 órára). A mi esetünkben a legelőnyösebb, ha a hőkezelendő termék *1000 db-os egysége a vonatkozási alap*. Ennek a módszernek számos más előnye közül megemlíthjük azt az egyet, hogy az így kapott eredmények közvetlenül felhasználhatók az önköltségszámítás tényezőjeként.

Most térjünk rá konkrétan a körkemence hőmérlegére. Akkor járunk el a leghelyesebben, ha a számítás menetét valóságos számadatokkal vezetjük végig.

Tételezzünk fel egy kis szelvényű körkemencét, amelynek napi teljesítménye 10 000 db kis méretű téglá és 5000 db hódfarkú cserép. A szárítás műszárítóban történik.

A kemence 18 kamrás, a kamrák hossza 5,75 m, az égetőcsatorna keresztmetszete 5,1 m².

A présnedves téglá súlya 4,4 kg, ebből 0,8 kg formázási víz.

A présnedves cserép súlya 1,9 kg, ebből 0,35 kg formázási víz.

Az égetés hőmérséklete megfelel az SK 07a jelű Seger-gulának, tehát 960 C°-ra vehető fel.

A felhasznált szén fűtőértéke 4920 kal/kg.

1000 db termék égetéséhez 215 kg szenet használunk fel.

A szén összetétele a következő:

karbónium	51,5%
hidrogén	4,2%
oxigén	13,9%
nitrogén	1,2%
éghető kén	3,2%
nedvesség	4,0%
hamutartalom	22,0%
	100,0%

Az elégetés, mint a füstgázelemzésből megállapítható volt, 2,45-szörös levegőfelesleggel történt.

Az agyag kaolinit-tartalma 52%.

Az agyag szén-savas mésztartalma 22%.

Először is számítsuk ki a naponta hőkezelendő vegyestermék (15 000 db) átlagos darabsúlyát.

A kemencébe berakásra kerülő termék súlya:

$$\text{tégla: } 10\,000 \cdot (4,40 - 0,8) = 36\,000 \text{ kg}$$

$$\text{cserép: } 5\,000 \cdot (1,90 - 0,35) = 7\,750 \text{ kg}$$

égetendő naponta összesen: 43 750 kg termék.

$$\text{Átlagos darabsúly tehát: } \frac{43\,750}{15\,000} = 2,92 \text{ kg/db.}$$

Víztartalom:

$$\text{tégla: } 10\,000 \cdot 0,8 = 8\,000 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$\text{cserép: } 5\,000 \cdot 0,35 = 1\,750 \text{ kg H}_2\text{O}$$

formázási víz

$$\text{naponta} \dots 9,750 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$\text{Átlagos víztartalom tehát: } \frac{9750}{15\,000} = 0,65 \text{ kg H}_2\text{O}$$

A hőmérleg felállításakor számbavesszük az égetés folyamán lejátszódó valamennyi folyamatot. A lényeg az, hogy csak azokat a hőenergiaforrásztó folyamatokat állítsuk be a mérleg „kiadási” oldalába, amelyek a kemenceszerkezet adottságai folytán mint rekuperált hőmennyiség nem állnak állandóan minden égetési szakaszban ismét és ismét a hőfolyamat rendelkezésére.

Foglalkozzunk előbb a mérleg „bevételi” oldalával, azaz a bevitt hőmennyiségekkel. Vegyük sorba ezeket a tételeket:

Bevitt hőmennyiségek:

1. a tüzelőszer fűtőértéke,

2. a tüzelőszer hőtartalma,

3. az égéshez betáplált levegő hőtartalma,

4. a hőkezeléskor lejátszódó exoterm folyamatok által termelt hőmennyiség.

Ha a hőmérleg alaphőfokául nem a 0 °C-ot, hanem mint elfogadható középértéket a 20 °C-ot választjuk, akkor a tüzelőszer hőtartalmát, valamint az égési levegő hőtartalmát nem kell figyelembevennünk.

Az exoterm folyamatokkal termelt hőmennyiség megállapítása a téglagyárban ezidőszent nem megoldható feladat, sőt az ipar vizsgáló laboratóriumai sem alkalmasak ilyen feladat elvégzésére. Ezt a vizsgálatot termoanalitikus úton lehet elvégezni, amely út azonban nem áll az általános téglagyári gyakorlat rendelkezésére. Nem követünk el nagy hibát, ha az exoterm folyamatokkal termelt hőmennyiségeket figyelmen kívül hagyjuk, mert olyan csekély mennyiségről van szó a közönséges falitégla égetésénél, amely a hőmérleg clénktárta képet egyáltalában nem befolyásolja.

Maradt tehát — mint bevitt hőmennyiség — egyedül a felhasznált tüzelőszer fűtőértéke. Ha feltételezzük, hogy a tüzelés helyesen történik — tehát a salak nem tartalmaz éghető alkatrészeket, vagy csak gyakorlatilag elhanyagolható mennyiségben tartalmazza azokat — akkor a bevitt hőmennyiség:

$$215 \cdot 4920 = 1\,057\,800 \text{ kal/1000 db.}$$

Ez az a hőenergia, amelyet az égetési folyamathoz kívülről juttatnunk kell. A feladatunk az, hogy

megállapítsuk, hogy használja fel a hőkezelési folyamat a fenti energiát.

Ezt megtudjuk, ha elkészítjük a mérleg felhasználási oldalát.

Először vegyük sorra valamennyi hőigényt, amely a kemencében fellép, de már most megjegyezzük, hogy ezek nem fognak kivétel nélkül szerepelni a hőmérlegben:

1. A száraz termék higroszkópos, vagyis légszáraz állapotban még tartalmaz vizet. Ezt a vízmennyiséget a kemencében fel kell melegítenünk és el kell párologtatnunk.

2. Az égetés során a színagyag bomlik. Minden molekula színagyagból két molekula szerkezeti víz szabadul fel és kerül gőz alakjában a füstgázba. Ez a bomlás hőfogyasztással jár.

3. Ugyancsak hőigényes (endoterm) reakció az agyagban lévő karbonátok bomlása. A bomláskor keletkező széndioxid a füstgázba kerül.

4. Fel kell melegítenünk a száraz terméket a kívánt (égetési) hőmérsékletre, a mi esetünkben 960 °C-ra. Ennek a hőmennyiségnek egy része veszendőbe megy azáltal, hogy a kihordott termék melegebb a külső környezetnél; javarésze — mint látni fogjuk — visszanyerhető.

5. Fel kell melegítenünk a beszórt szenet a tüztér hőmérsékletére.

6. Elkerülhetetlen, hogy égetés közben a kemence falazta is felmelegedjék. Az ehhez szükséges melegmennyiséget is biztosítanunk kell. A falazat felmelegítésére fordított hőmennyiség egy része a falfelületek sugárzása és vezetése, valamint a talaj felé való vezetés útján távozik; az égetési folyamat szempontjából elvesz.

7. Az égéshez levegő szükséges, amely a nyitott ajtókon keresztül a környezetből áramlik a kemencébe. Ezt a levegőmennyiséget fel kell melegítenünk.

8. A füstgázak melegen távoznak a kemencéből. A tüztérből távozó füstgázokban felhalmozott meleg egy része elvesz, miután a füstgázak a környezetnél magasabb hőmérsékleten távoznak a kéményen keresztül.

9. A tűzzóna után a 8. szórólyuksortól kezdődően a szórólyukak nyitva vannak, rajtuk keresztül meleg levegő áramlik ki. A kiáramló levegő hőt tartalmaz.

Most meg kell állapítanunk, hogy a fenti hőfelhasználások közül mi kerül a hőmérlegbe. Induljunk ki abból az elméleti megfontolásból, hogy ha a kemencében tényleges hőfelhasználás és hőveszteség nem volna, akkor a távozó füstgázok hőtartalmának egyenlőnek kellene lennie a bevitt hőmennyiséggel. Ez így is lenne, ha egyrészt a kemencében nem folynának le olyan reakciók, melyek által felhasznált hőenergia rejtett hőmennyiség, tehát nem jelentkezik a füstgázokban érezhető meleg formájában, másrészt nem veszne el a kemencéből bizonyos hőmennyiségek más úton is.

Nyilvánvaló, hogy a hőmérlegbe beállítandó hőmennyiségek a következők (a fenti megfontolás alapján):

1. A higroszkópos víz (pórusvíz) párolgási

hője. A víz felmelegítésével itt nem számolunk, mert ezt a füstgázmelegben vesszük számításba.

2. Endoterm reakciók I. Az agyag kaolinitjének bomlási hője.

3. Endoterm II. reakciók. Az agyagban lévő karbonátok bomlásának hőenergiaszükséglete.

4. A távozó füstgázak érezhető melege.

5. A kemencéből kihordott, kiégetett késztermék és szénhamu hőtartalma.

6. A kemence falzatának vezetési és sugárzási vesztesége a külső környezet felé, a kemencefenék vezetési vesztesége a talaj felé és egyéb veszteségek.

7. Nyitott szórólyukakon kiáramló levegő hőtartalma.

Mielőtt ezeknek a hőmennyiségeknek a meghatározására rátérnénk, meg kell határoznunk több adatot, amelyekre a hőmérleg felállításánál szükségünk lesz.

Az agyag higroszkópos víztartalmát mérések segítségével állapítottuk meg, átlag 6%-ban.

Ez azt jelenti, hogy 1000 db termékre vonatkoztatva az agyag higroszkópos nedvessége:

$$1000 \cdot 2,92 \cdot 0,06 = 175,2 \text{ kg } H_2O/1000 \text{ db}$$

Ebből a száraz termék súlya:

$$2,92 - \frac{175,2}{1000} = 2,75 \text{ kg/db.}$$

Az agyag szénsavas mésztartalma a száraz agyagra vonatkoztatva 22%, azaz

$$1000 \cdot 2,75 \cdot 0,22 = 605 \text{ kg } CaCO_3/1000 \text{ db.}$$

A szénsavas mész bomlási reakcióegyenlete: $CaCO_3 = CaO + CO_2$. Miután a $CaCO_3$ molekulásúlya kerekén 100, a CO_2 molekulásúlya pedig 44, a szénsavas mész mennyiségének 44%-a kerül a füstgázakba CO_2 alakjában:

$$605 \cdot 0,44 = 266,2 \text{ kg } CO_2/1000 \text{ db.}$$

A száraz agyagban 52% a kaolinit, 1000 db-ban tehát:

$$1000 \cdot 2,75 \cdot 0,52 = 1430 \text{ kg kaolinit van.}$$

A kaolinit $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, molekulásúlya 258, ebből a szerkezeti víz ($2H_2O$) molekulásúlya 36. A szerkezeti víz tehát a kaolinit súlyának $\frac{36}{258}$ -ad része, azaz

$$1430 \cdot \frac{36}{258} = 199,5 \text{ kg szerkezeti víz}/1000 \text{ db.}$$

A fentiekből kiszámíthatjuk a kiégetett termék súlyát:

a kemenébe rakott termék súlya 2,92 kg/db ebből levonandó

$$a) \text{ higr. nedvesség } \dots \frac{175,2}{1000} = 0,1752 \text{ kg}$$

$$b) \text{ szerk. víz } \dots \frac{199,5}{1000} = 0,1995 \text{ ,,}$$

$$c) \text{ } CO_2 \text{ a szénsavas mész bomlásából } \dots \frac{266,2}{1000} = 0,2662 \text{ ,,}$$

Levonandó összesen ... 0,6409 kg/db

A késztermék súlya tehát:

$$2,92 - 0,6409 = 2,2791, \text{ kerekén } 2,28 \text{ kg/db.}$$

A távozó füstgázak mérés alapján megállapított közepes hőmérséklete 164 C°.

A kemencéből kihordott termék hőmérséklete 60 C°.

A füstgázalkatrészek közepes fajhője 0° és 200° között kal/Nm³ fokban:

CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂	Levegő
0,427	0,364	0,543	0,313	0,315

Meg kell még állapítanunk a képződő füstgázok mennyiségét és összetételét. Az égési reakciók sztöchiometrikus kiszámítása útján az alábbi táblázat adódik:

	Szén összetétele		Levegő-szükséglet		Füstgázmennyiség Nm ³			
	%	kg	Nm ³	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂	
C	51,5	0,515	4,56	0,96	—	—	3,60	
H ₂ d	4,2	0,025	0,67	—	0,28	—	0,53	
H ₂ nd		0,017	—	—	0,19	—	—	
O ₂	13,9	0,139	—	—	—	—	—	
N ₂	1,2	0,012	—	—	—	—	0,01	
S	3,2	0,032	0,11	—	—	0,02	0,09	
H ₂ O	4,0	0,040	—	—	0,05	—	—	
Hamu	22,0	0,220	—	—	—	—	—	
	100,0	1,000	5,34	0,96	0,52	0,02	4,23	

Az elméletileg 1 kg szénből képződő füstgázok mennyisége tehát: $0,96 + 0,52 + 0,02 + 4,23 = 5,73 \text{ Nm}^3$.

A füstgázba kerül a felesleges égési levegő. A levegőfelesleg a fentiek szerint 2,45-szörös, tehát az 1 kg szénre eső

$$\text{felesleges levegő } 1,45 \cdot 5,34 = 7,74 \text{ Nm}^3.$$

$$\text{az összes égési levegő } 2,45 \cdot 5,34 = 13,08 \text{ Nm}^3.$$

Mivel a levegőt nem száraz állapotban használjuk fel, a füstgázba belekerül a levegő vízgőztartalma is. Jelen esetben 760 mm légnyomás mellett 50% telítettségű levegőt használtunk fel. A levegő hőmérséklete 20° volt.

A telített vízgőz nyomása 20°-on 17,54 mm Hg. o., tehát 50%-os telítettség esetén a vízgőz *parciális nyomása* 8,77 mm. A levegő *parciális nyomása* tehát $760 - 8,77 = 751,23 \text{ mm}$. 1 m³ 20°-os levegő száraz levegőtartalma tehát

$$\frac{751,23}{760} \cdot \frac{273}{293} = 0,92 \text{ Nm}^3,$$

vízgőztartalma pedig

$$\frac{8,77}{760} \cdot \frac{273}{293} = 0,0108 \text{ Nm}^3,$$

1 Nm³ száraz levegőre tehát

$$\frac{0,0108}{0,92} = 0,0117 \text{ Nm}^3 \text{ vízgőz jut.}$$

A kiszámított füstgázmennyiség még szaporodik olyan füstgázalkatrészekkel, amelyek nem a tüzelőszerégése, hanem a termék hőkezelése folytán kerülnek bele. Számítsuk ki a füstgázok és alkatrészeik mennyiségét 1000 db termékre vonatkoztatva és abból kiindulva, hogy 1000 db termék hőkezelésére 215 kg szenet használtunk el.

A füstgázok egész mennyisége tehát:

$$1164,10 + 339,83 + 611,20 + 4,30 +$$

$$+ 909,45 = 3028,88 \text{ Nm}^3/1000 \text{ db.}$$

Az összes száraz égési levegő $215 \cdot 13,08 = 2812,20 \text{ Nm}^3/1000 \text{ db}$.

1. táblázat

	Levegő	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	N ₂
	Nm ³	Nm ³	Nm ³	Nm ³	Nm ³
CO ₂ szénből	—	204,25	—	—	—
H ₂ O szénből	—	—	111,80	—	—
SO ₂ szénből	—	—	—	4,30	—
N ₂ szénből és elim. levegőből	—	—	—	—	909,45
Félesleges levegő	1164,10	—	—	—	—
Égési levegő vizgőztartalma 215 · 13,08 · 0,0117	—	—	32,90	—	—
175,2 kg higroszkóposvíz $\frac{175,2}{18} \cdot 22,41$	—	—	218,12	—	—
199,5 kg kaolinit szerk. víz $\frac{199,5}{18} \cdot 22,41$	—	—	248,38	—	—
266,2 kg karbonátszénsav $\frac{266,2}{44} \cdot 22,41$	—	135,58	—	—	—
Összesen	1164,10	339,83	611,20	4,30	909,45

Most már hozzáfoghatunk a hőmérleg felhasználási oldalának összeállításához. Vegyük sorra a mérlegbe kerülő tételeket:

1. A higroszkópos nedvesség párolgási hője

1000 db termékben — mint megállapítottuk — 175,2 kg víz van. 1 kg víz párolgási hője 20°-on, *Anselm* szerint, 584 cal. Ezzel az adattal számolunk, mert a víz felmelegítésére fordított hőmennyiséget a füstgázak érezhető melegében észleljük, tehát itt csak az elpárologtatással kell törődnünk.

Az 584 Kal/kg adatot számítás útján is megkaphatjuk a következőképpen: a víz felmelegítésére 20-ról 100 C°-ra kell 80 Kal/kg

100 C° hőfokú víz elgőzölésének hőszükséglete kb. 540 Kal/kg

összesen 620 Kal/kg

ebből le kell vonni a vízgőz entalpiáját 20 és 100° között.

A vízgőz fajhője 0,446, ez a hőmennyiség tehát 0,446 · (100 — 20) = 36 Kal/kg

Párolgási hő, mint maradvány 584 Kal/kg.

A felhasznált hőmennyiség (a hőmennyiségeket 100 Kal pontossággal adjuk meg):

$$Q_1 = 175,2 \cdot 584 = 102\,300 \text{ Kal}/1000 \text{ db.}$$

2. Az agyagban lévő kaolinit bomlási hője (Endoterm reakciók I.)

A szerkezeti víz kiűzése 500° feletti hőmérsékleten történik, ezért ennek a hőmennyiségnek a kiszámítása bonyolultabb feladat. Ennek az adatnak a meghatározására különböző táblázatok állnak rendelkezésünkre. *Anselm* szerint a szerkezeti víz kiűzéséhez 20° alaphőmérsékletre számolva, az agyagban lévő kaolinit minden kg-jára 227 Kal szükséges,

Megállapítottuk, hogy 1000 db termék előállítására szükséges agyagban a kaolinit mennyisége 1430 kg. Innen a szerkezeti víz kiűzésére fordítandó hőmennyiség:

$$Q_2 = 1430 \cdot 227 = 324\,600 \text{ Kal}/1000 \text{ db.}$$

3. Az agyagban lévő karbonátok bomlásának hőenergiaszükséglete (Endoterm reakciók II.)

Az agyagban különböző karbonátok vannak, amelyeknek bomlása hőenergiát fogyaszt. Ezeknek a karbonátoknak a zöme azonban CaCO₃ és nem követünk el nagy hibát, ha úgy vesszük, mintha az agyag csak szénsavas meszet tartalmazna. 1 kg CaCO₃ bomlása *Anselm* szerint 20° alaphőmérsékletre vonatkoztatva, 425 Kal hőmennyiséget igényel. Minthogy agyagunk 1000 db termékhez szükséges mennyiségében 605 kg CaCO₃ van jelen, a szükséges hőmennyiség:

$$Q_3 = 605 \cdot 425 = 257\,100 \text{ Kal}/1000 \text{ db.}$$

4. A távozó füstgázak érezhető melege

Már kiszámítottuk, hogy 1000 db termék égetésekor összesen 3028,88 Nm³ füstgáz képződik, melynek összetétele:

1164,10 Nm ³ levegő
339,83 Nm ³ CO ₂
611,20 Nm ³ H ₂ O
4,30 Nm ³ SO ₂
909,45 Nm ³ N ₂

összesen 3028,88 Nm³ füstgáz.

Tudjuk továbbá, hogy a füstgázok 164° hőmérsékleten távoznak, hőtartalmuk számításánál tehát a 164° és a külső 20° közötti hőfokintervallum a mérvadó. Ismertettük a füstgázalkatrészek fajhőadatait is.

Ezeknek az adatoknak az alapján az ismert $Q = V \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$ egyenlet segítségével kiszámítjuk a hőtartalmat.

Alkatrész	Mennyiség Nm ³	Fajhő Kal/Nm ³ C°	Hőkapacitás Kal/C°
Levegő	1664,10	0,315	524,19
CO ₂	339,83	0,427	145,11
H ₂ O	611,20	0,364	222,48
SO ₂	4,30	0,543	2,33
N ₂	909,45	0,313	284,66
Összesen			1178,77

A füstgázok hőtartalma: $Q_4 = 1178,77 \cdot (164 - 20) = 169\,700 \text{ Kal}/1000$.

5. A kemencéből kihordott kiégetett késztermék és szénhamu hőtartalma

Mint említettük, a terméket a külső 20° hőmérséklettel szemben 60° hőfokon szállítják ki a gyárudvarra. Kiszámítottuk, hogy 1 db késztermék súlya 2,28 kg.

1000 db termékre esik $215 \cdot 0,22 = 47 \text{ kg}$ szénhamu, mivel a vizsgálat szerint a hamu teljesen kiégett. Ha nem így volna, akkor a hamu mennyisége nagyobb lenne és annak érezhetőmelegén kívül a benne lévő éghető anyag fűtőértéke is mint melegvesztés jelentkezne. A kihordott áru és a szénhamu fajhője 0,22 Kal/kg C° és ezért a bennük felhalmozott érezhető meleg

$$Q_5 = (2280 + 47) \cdot 0,22 \cdot (60 - 20) = 20\,500 \text{ Kal}/1000 \text{ db.}$$

6. Szórólyukakon távozó melegmennyiség

A tűzzóna után 8 szórólyuk sor zárva van, a többi nyitott. Az égetőcsatornának ebben a részében túlnyomás uralkodik, amelynek következtében átlagértékben 200° hőfokú, de minden szórólyuk soron más, hátrafelé haladva csökkenő hőmérsékletű levegő áramlik ki a kemencéből. A kiáramló levegő hőtartalma téglaegető kőkemencéknél a tüzelőszer elégtése útján bevitt hőmennyiségnek mintegy 10–13%-át teszi ki. Vegyünk fel 11%-ot.

$$Q_6 = 0,11 \cdot 1\,057\,800 = 116\,400 \text{ Kal}/1000 \text{ darab.}$$

A fent alkalmazott tapasztalati értéktől függetlenül, a kiáramló melegmennyiség pontosan meghatározható az egyes szórólyuk sorokon kiáramló meleg levegő hőmérsékletének és áramlási sebességének megméréseivel.

7. Falazati és egyéb veszteségek

A falazat és a kemencefenék által felvett hő egy része vezetés és sugárzás útján átadódik a környezetnek, vagyis veszendőbe megy. Ezeket a hőmennyiségeket lehet ugyan kiszámítani a gyakorlati hőmérlegkészítésnél, azonban ezzel egyelőre nem foglalkozunk. Egyrészt azért, mert megfelelő tapasztalati értékek állnak rendelkezésünkre, melyekkel a meghatározásra választott módot ellenőrizhetjük, másrészt a számítások, a falazat

állandóan változó hőmérsékleti viszonyai következtében rendkívül bonyolultak, emellett csak megközelítő pontosságúak.

Statisztikai és tapasztalati alapon az összes falazati hővesztéseket kőkemencénél szokás úgy számítani, hogy a tűzzóna belső felületének minden m²-ére óránként 300 Kal. hővesztéséget vesznek számításba.

A kamra belső kerülete 9,40 m, a tűzzóna hossza 15 m, a tűzzóna belső felülete tehát

$$15 \cdot 9,40 = 141 \text{ m}^2.$$

A 24 óra alatt leadott hőmennyiség $141 \cdot 300 \cdot 24 = 1\,015\,200 \text{ Kal.}$, az ezen idő alatt kiégetett árumennyiség 15 000 db.

Az 1000 db árura eső falazati hővesztés tehát:

$$\frac{1\,015\,200}{15} = 67\,800 \text{ Kal}/1000 \text{ db.}$$

(Ebben az előmelegítő és hűtőzóna vesztesége is bennfoglaltak.) Látni fogjuk, hogy a hőmérlegbe ezen a címen bekerülő hőmennyiség hasonló értékű.

A téglagyári gyakorlatban készített hőmérlegnél eltekinthetünk a falazati veszteség kiszámításától és ezt a hőmennyiségtételt mint a hőmérleg maradékmelegét kapjuk meg.

A hőmérleg tételeinek arányából az üzemvezetés számára szükséges következtetéseket így is le tudjuk vonni.

Az eddig meghatározott hőfelhasználások a falazati veszteség kivételével

$$\sum_{n=1}^6 Q_n = 102\,300 + 324\,600 + 257\,100 + 169\,700 + 20\,500 + 116\,400 = 990\,600 \text{ Kal}/1000 \text{ db.}$$

Az összes hőfelhasználás egyenlő a bevitt hőmennyiségével, tehát a falazati veszteség az utóbbi és a fentiekben összegezett hőfelhasználás különbsége:

$$Q_7 = 1\,057\,800 - 990\,600 = 67\,200 \text{ Kal}/1000 \text{ db.}$$

Ezen érték igen jól egyezik a fentiekben talált 67 800 Kal/1000 db értékkel.

Tételezzük fel, hogy a falazati veszteség 60%-a az előmelegítő és hűtőzónában, 40%-a a tűzzónában áll elő. Előbbi veszteség tehát $0,6 \cdot 67\,200 = 40\,300 \text{ Kal}/1000 \text{ db}$, utóbbi $26\,900 \text{ Kal}/1000 \text{ db}$.

A salakban foglalt éghető alkatrészekkel nem foglalkozunk, mert a laboratóriumi vizsgálatok megállapították, hogy az elégetés jó volt, a salakban található éghető alkatrészek mennyisége gyakorlatilag elhanyagolható. Ha nem így lenne, akkor a salak éghető alkatrészeinek súlyszázalékából ki kell számítanunk azok mennyiségét 100 kg szénre, majd 1000 db termékre vonatkoztatva, valamennyit karbóniumnak feltételezve. A salak C-tartalma 100 kg szénre vonatkoztatva a $\frac{h \cdot C_s}{100 - C_s}$ képletből állapítható meg, h = a szén százalékos hamutartalma.

C_s = a salak százalékos karbóniumtartalma.

Hőmérleg

Bevitt hőmennyiségek			Felhasznált hőmennyiségek		
	Kal/1000 db	%		Kal/1000 db	%
1. A felhasznált tüzelőszer fűtőértéke	1 057 800	100,0	1. Higroszkópos víz elgőzöltgetése	102 300	9,7
			2. Kaolinit bomlás	324 600	30,7
			3. Karbonátbomlás	257 100	24,3
			4. Füstgáz hőtartalma	169 700	16,0
			5. Készáru és hamu hőtartalma	20 500	1,9
			6. Szórólukakon távozó meleg levegő hőtartalom	116 400	11,0
			7. Falazati veszteség	67 200	6,4
Összesen	1 057 800	100,0		1 057 800	100,0

Ebben az esetben ez a tétel egyrészt külön szerepel a mérlegben, másrészt befolyásolja a füstgázok összetételét, sőt a fűtőértékesükkenésen keresztül a bevitt hőmennyiséget is.

Ezzel befejeztük a gyakorlati hőmérleg egyes tételeinek a kiszámítását és felállíthatjuk a mérleget. 2. táblázat.

A felhasználási oldal hét tételéből az első három az, amely az égetéshez elméletileg szükséges, tehát mint *hasznos meleg* jelentkezik.

A 4–7. tételek elkerülhetetlenek ugyan, de a körkemence égetési folyamatában lejátszódó reakciókhoz elméletileg szükségtelenek, azok szempontjából tehát nem is tekinthetők hasznosnak.

Ezzel az összeállítással be is fejeztük a körkemence gyakorlati hőmérlegének készítését.

A szemléltetés és különböző hőmérleg összehasonlításának megkönnyítése céljából a fenti értékeket hődiagrammban szoktuk ábrázolni. A folyamat szempontjából hasznos értékeket balra-

hajló, a nem hasznosakat jobbrahajló ágak jelzik. 1. ábra.

A kemence *termikus hatásfoka* a hőmérlegből közvetlenül megállapítható, mint a hasznosan felhasznált és az összes felhasznált melegmennyiségek viszonya:

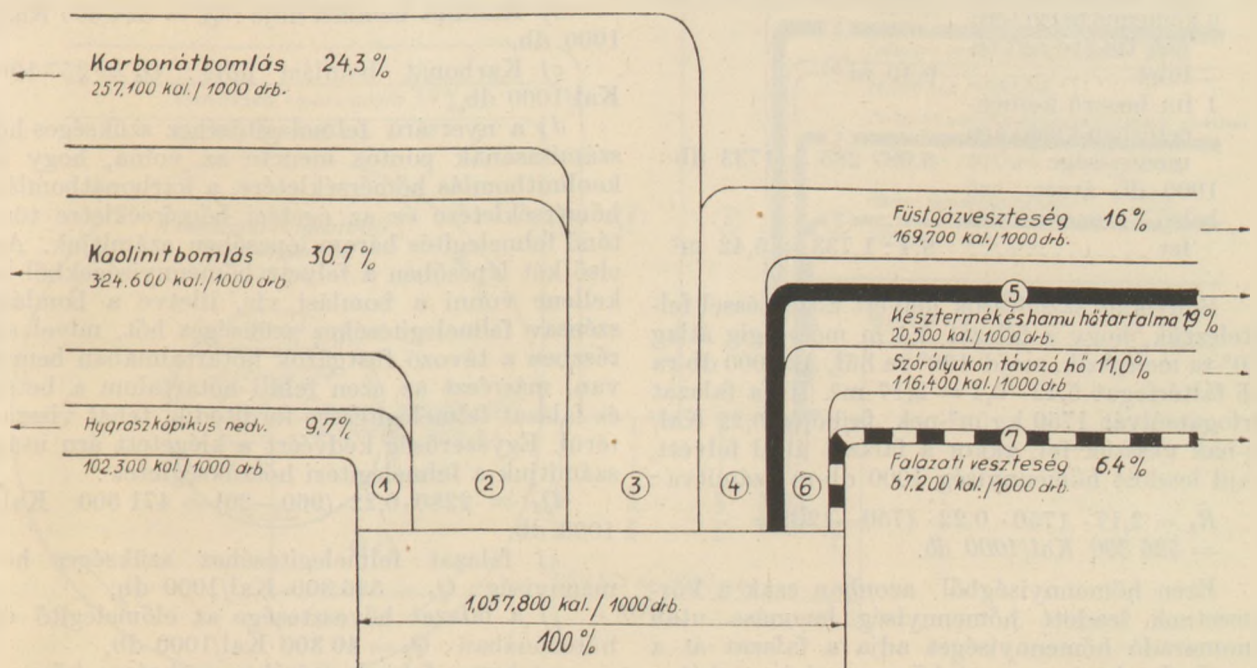
Termikus hatásfok =

$$= \frac{\text{hasznosan felhasznált hőmennyiség}}{\text{összes felhasznált hőmennyiség}} \cdot 100(\%) = \frac{102\,300 + 324\,600 + 257\,100}{1\,057\,800} = 0,647,$$

azaz 64,7%.

Megvizsgáltuk tehát az égetési folyamatba tüzelőszer elégetése útján bevitt hőmennyiség felhasználását részleteiben. Az ismertett hőmérleg erre vonatkozólag kielégítő felvilágosítást nyújt.

A téglagyárak üzemi gyakorlatában a hőmérlegnek ilyen mértékig való kidolgozása tehát megfelel a követelményeknek.



1. ábra.

Nem foglalkozik ez a hőmérleg a körkemence szerkezete által biztosított rekuperált, illetve regenerált hővel, egyszóval a visszanyert hőmennyiségekkel. A visszanyert hőmennyiség állandóan bent marad az égetési folyamatban, a kemencéből nem távozik, ezért *keringő hőkincsnek* is nevezzük. Nyilvánvaló, hogy a felhasznált hőmennyiségek a keringő hőkincs értékével nagyobb mennyiségűek, mint az a melegmennyiség, melyet a tüzelőszer elégetésével bevittünk. A keringő hőkincs mennyiségének, eredetének és részletes felhasználásának tárgyalása nem tartozik ennek az előadásnak a keretébe. Néhány szóval, inkább a nagyságrendi szemléltetés kedvéért, mégis kitérünk rá.

Vegyük a keringő hőkincs eredetének két legfőbb forrását és azok legfontosabb felhasználását:

1. Az egyik a kemencefalazatban tárolt hőmennyiségnek az a része, amely a falazat belsőrétegéből szabadul fel és számításunkban a nyers-termék előmelegítésére fordítható.

2. A másik onnan ered, hogy a termék a hőkezelés befejezése után nem kerül ki a kemencéből, hanem a kemencében 60°-ra lehül és eközben felmelegíti az égési levegőt, amely rajta keresztül áramlik a tűz felé.

Hangsúlyozzuk, hogy a visszanyert hőnek ilyen meghatározása pontatlan és csak hozzávetőleges.

ad 1. Kemencefalazatból visszanyert hőmennyiség

a kemence keresztmetszete	6,08 m ²
a tűz haladása	8,65 m/nap
napi kiégetés	15 000 db
napi kiégetett kemencetér	6,08 · 8,65 = 52,6 m ³
1 m ³ kemencetérre eső árumennyiség	15 000 : 52,6 = 285 db
a kemence belső területének fm-ére eső terület	9,40 m
1 fm hosszú kemencetérben kiégető árumennyisége	6,08 · 285 = 1733 db
1000 db árura eső belső kemencefelület	9,4 : 1,733 = 5,42 m ²

Bonyolult számítások helyett közelítéssel feltételezzük, hogy a falazat 0,4 m mélységig átlag 750°-ra melegszik, majd 120°-ra hűl. Az 1000 db-ra eső faltérfogat 5,42 · 0,4 = 2,17 m³. Ha a falazat térfogatsúlyát 1750 kg/m³-nek, fajhőjét 0,22 Kal/kg-nak vesszük fel, akkor a falazat által felvett, majd leadott hőmennyiség 1000 db-ra számítva:

$$R_1 = 2,17 \cdot 1750 \cdot 0,22 \cdot (750 - 120) = 526\,300 \text{ Kal/1000 db.}$$

Ezen hőmennyiségből azonban csak a környezetnek leadott hőmennyiség levonása után fennmaradó hőmennyiséget adja a falazat át a levegőnek. A visszanyert hő mennyisége tehát

$$R_1 = 526\,300 - 26\,900 = 499\,400 \text{ Kal/1000 db}$$

ad 2. A hűlő termékből visszanyert hőmennyiség

A hűlő téglából és hamuból visszanyert hőmennyiség:

$$R_2 = (2280 + 47) \cdot 0,22 \cdot (960 - 60) = 460\,700 \text{ Kal/1000 db.}$$

A visszanyert hőmennyiségből még le kell vonni a szóróaknákon át távozó meleg levegő hőtartalmát, mivel az nem kerül vissza az égetési folyamatba. Vonjuk ezt le az áruból visszanyert melegből

$$R_2 = 460\,700 - 116\,400 = 344\,300 \text{ Kal/1000 db.}$$

A keringő hőkincs tehát

$$R = R_1 + R_2 = 499\,400 + 344\,300 = 843\,700 \text{ Kal/1000 db.}$$

Látjuk tehát, hogy az égetéshez szükséges hőmennyiség két részből tevődik össze:

1. Hőmérleg szerint, tüzelőszer elégetéséből 1 057 800 Kal/1000 db
 2. Keringő hőkincsből 843 700 Kal/1000 db
- Összesen 1 901 500 Kal/1000 db.

A keringő hőkincsnek és a szén elégetéséből származó hőmennyiségnek együttesen fedeznie kell a tűzzónában és az előmelegítő zónában történő hőfelhasználásokat. Ezek a következők: higroszkópos víz párolgási hője, kaolinitbomlás és karbonátbomlás hőszükséglete, a betét felmelegítéséhez szükséges hőmennyiség, a hamu felmelegítéséhez szükséges hőmennyiség, a tűz-zóna és az előmelegítő zóna falazati vesztesége, a falazat által felvett hő és a távozó füstgázok hőtartalma. Ezek egy része az előbbiekben meg van adva, másik részét ki kell számítani:

a) Nyersáruban lévő nedvesség elpárolgatásához szükséges hő: $Q_a = 102\,300 \text{ Kal/1000 db}$

b) Kaolinit bomlási hője: $Q_b = 324\,600 \text{ Kal/1000 db,}$

c) Karbonát bomlási hője: $Q_c = 257\,100 \text{ Kal/1000 db,}$

d) a nyersáru felmelegítéséhez szükséges hő számításának pontos menete az volna, hogy a kaolinitbomlás hőmérsékletére, a karbonátbomlás hőmérsékletére és az égetési hőmérsékletre történő felmelegítés három lépcsőben számítjuk. Az első két lépcsőben a felvett hőmennyiségekből le kellene vonni a bomlási víz, illetve a bomlási szén-sav felmelegítéséhez szükséges hőt, mivel az részben a távozó füstgázok hőtartalmában benne van, másrészt az ezen felüli hőtartalom a betét és falazat felmelegítésére fordítódik, tehát visszaterül. Egyszerűség kedvéért a kiégetett áru után számítjuk a felmelegítési hőszükségletet:

$$Q_d = 2280 \cdot 0,22 \cdot (960 - 20) = 471\,500 \text{ Kal/1000 db.}$$

e) falazat felmelegítéséhez szükséges hőmennyiség: $Q_e = 526\,300 \text{ Kal/1000 db,}$

f) a falazat hővesztesége az előmelegítő és hűtőzónában: $Q_f = 40\,300 \text{ Kal/1000 db,}$

g) hamu felmelegítéséhez szükséges hő: $Q_g = 47 \cdot 0,22 \cdot (960 - 20) = 9700 \text{ Kal/1000 db.}$

Hőmérték

Bevitt hőmennyiségek		Felhasznált hőmennyiségek		
	Kal/1000 db		Kal/1000 db	%
Eltüzelt szén	1 057 800	Nedvesség elpárolgott.	102 300	5,4
Keringő hőkincs	843 700	Kaolinit bomlás	324 600	17,0
		Karbonát bomlás	257 100	13,6
		Betét felmelegítése	471 500	24,8
		Falazat felmelegít.	526 300	27,6
		Falazat hővesztése előmelegítő és tűzzónában	40 300	2,1
		Hamu felmelegítése	9 700	0,6
		Távozó füstgáz hőtart.	169 700	8,9
Összesen	1 901 500		1 901 500	100,0

h) Távozó füstgáz hőtartalma $Q_h = 169\,700$ Kal/1000 db.

A fentiek figyelembevételével készített mérleget a 3. táblázat mutatja:

Hogy a hődiagrammban a rekuperált hőmennyiségeket ábrázolhassuk, egyes felhasználási tételeket — éspedig azokat, amelyeket részben tüzelőszer fűtőértékéből, részben visszanyert hőből fedezünk — fel kell bontani.

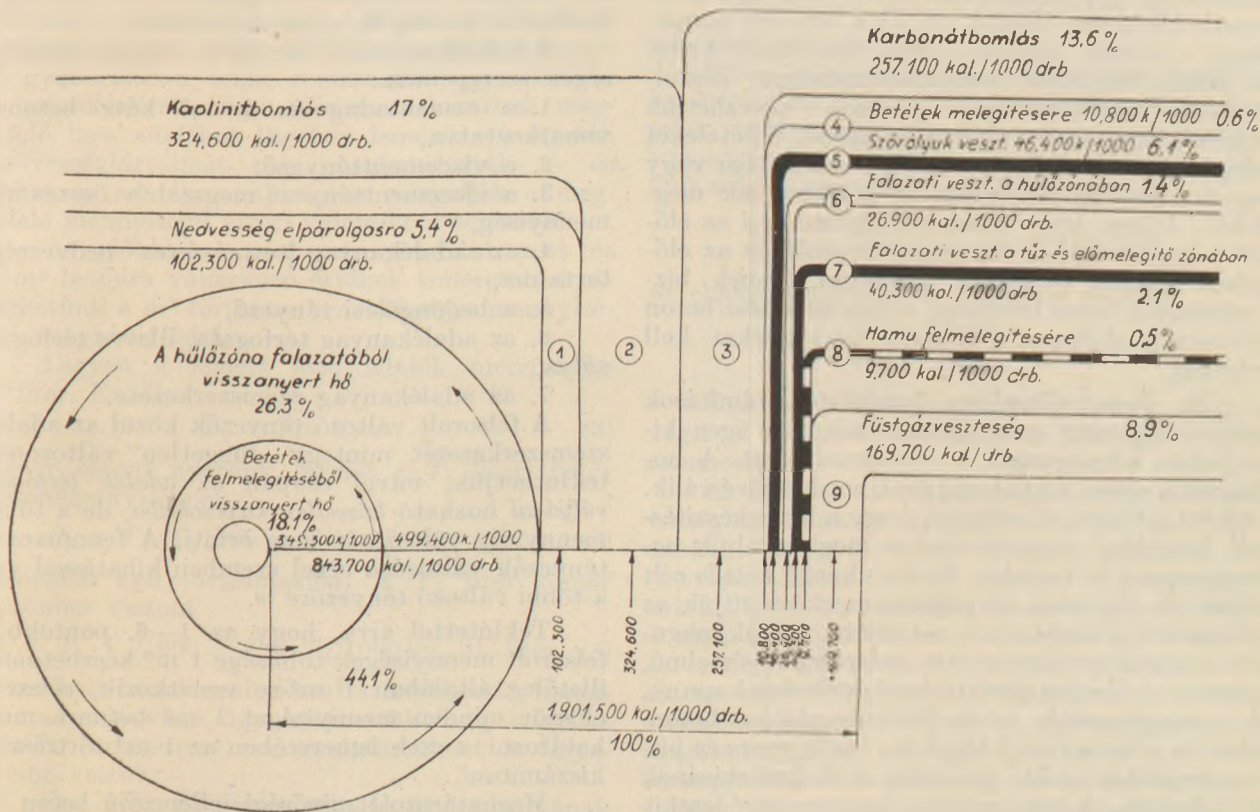
A betét felmelegítésére 471 500 Kal-t fordítottunk. Ebből 344 300 Kal. kering, 116 400 Kal. a szórónyíláson távozik, pótolni kell tüzelőszer elégetéséből 10 800 Kal-t.

A falazat felmelegítésére fordított 526 300 Kal-ból 499 400 Kal. kering, csak a fennmaradó 26 900 Kal. a veszteség.

A hőmértéket szemléltetően ábrázoló és a keringő hőkincset is magában foglaló diagram ezek szerint a következőképpen alakul (2. ábra):

A keringő hőkincs az előmelegített levegő hőtartalmának formájában kerül a tűztérbe. Az összes égési levegő hőkapacitása:

Alkatrész	Mennyiség Nm ³	Fajhő Kal/Nm ³ C°	Hőkapacitás Kal/C°
Száraz levegő .	2812,20	0,334	939,27
Vízgőz	32,90	0,404	13,29
Összesen ...			952,56



2. ábra.

A keringő hőkinés mennyiségi értékből és az égési levegő hőkapacitásából kiadódik, hogy mennyire melegszik fel a levegő:

$$t_1 = (843\ 700 : 952,56) + 20 = 906^\circ.$$

Végezetül hangsúlyozni szeretnénk, hogy a körkémence hőviszonyai nem végelegesek. A hőmérleg állandóan fejlődik. Úgy, ahogyan a kapitalisták megteremtették a körkemencét, mint az első olyan tégláégető berendezést, amely folyamatosan működik és ezáltal a hógazdálkodás terén minden előző kemencetípust felülmul — úgy a mi fejlettebb gazdasági rendszerünk nem elégedhet meg a már elért eredményekkel, hanem azokat — a dolgozó nép igényeinek maximális kielégítése érdekében — megszakítás nélkül fejlesztenie kell. Ebben a kérdésben is élenjár a Szovjetunió, amely állandóan fejlődő ipara tapasztalatainak egész sorát adta át nekünk. Ismét utalok *Pavel*

Duvanov gyorségetési rendszerére, amely amellet, hogy a kemencék kihozatalát nagy mértékben fokozta, lényeges haladást jelent a kemencék hógazdálkodása terén is. Csökkenti a füstgázvesztést azáltal, hogy a füstgázokat igen jól kihasználja, így azok sokkal alacsonyabb hőfokon távoznak. Csökken a sugárzási veszteség is, a tűzhaladás meggyorsítása következtében. A *Duvanov-eljárást* már átvettük és sikerrel alkalmazzuk üzeminkben. Most van folyamatban a *Mazov-eljárás* bevezetése is, amely lényegében a *Duvanov-rendszer* alkalmazása a nagyszelvényű körkemencékre.

Téglaiparunk hógazdálkodása tehát a Szovjetunió segítségével elindult a rohamos fejlődés útján és nem vitás, hogy ezen az úton fog haladni továbbra is. Biztosítékot nyújt erre műszaki értelmiségünk növekvő szocialista öntudata, ragaszkodása nagy pártunkhoz, szentete a hazáját építő magyar dolgozó nép iránt.

Nomogrammok betonkészítéshez

CSUTOR JÁNOS

Ötéves tervünk keretében a cement népgazdaságunk egyik fontos alapanyagát képezi. A szükségletnek és a cementgyárak kapacitásának ismeretében a cementtel rendkívüli módon *takarékoskodni* kell. A takarékoságnak többek között egyik módja az is, hogy a cement felhasználásával készített betonokat minőségi szempontból helyesen állítjuk elő. Ez a feltétele annak, hogy a kívánt tulajdonsággal rendelkező beton a lehető legkisebb cementmennyiséggel készülhessen. Általában azt a betont nevezhetjük minőséginek, amely előre megszabott feltételeket elégít ki: *szilárdsága, tömörsége, vízzárósága* vagy egyéb minőségi jellemzője az előírásoknak megfelelő. Ahhoz, hogy a beton tulajdonságai az előírtak legyenek, a komponens tényezők és az előírások pontos betartása szükséges. Ennek biztosítására a beton készítése, valamint a kész beton ellenőrzése folyamán állandó számításokat kell végezni.

Az ilyen állandóan ismétlődő számítások megkönnyítésére más iparágakban már igen kiterjedten alkalmazzák a *nomogramokat*. A nomográfia egyre inkább nagyobb horderejűvé válik. Önként felmerül a gondolat, hogy a betonkészítésnél ismétlődő számításokat is megkíséreljük nomogramokba foglalni. Ha ez sikerül, kettős célt érünk el. Egyrészt lényegesen megkönnyítjük az elvégzendő számításokat, sőt kiküszöböljük magukat a számítási műveleteket, másrészt egyértelmű, pontos és könnyen áttekinthető értékeket kapunk. A nomogramok tehát biztosítanak a betonkészítés alkalmával fellépő tényezők gyors és biztos meghatározását, valamint ezek betartásának ellenőrzését. Következésképp hasznos segédeszközöknek bizonyulnának a bevezetőben mondott

és feltétlenül megvalósítandó minőségi betongyártáshoz.

A betongyártásnál fellépő tényezőknek nomogramokba foglalása nem könnyű feladat, mivel a beton készítésénél szerepet játszó mennyiségek egyrészt bizonytalanok (pl. a bedöngölési tényező) másrészt nagyszámúak. Ez egyértelműen kiviláglik a következőkből.

A betonkészítésnél az alábbi változó mennyiségek szerepelnek:

1. a cementadagolás 1 m³ kész betonra vonatkoztatva,
2. a vízcementtényező,
3. a vízcementtényező-megszabta összes víz mennyiség,
4. az adalékanyag [természetes nedvességtartalma,
5. a bedöngölési tényező,
6. az adalékanyag térfogata, illetve térfogatsúlya,
7. az adalékanyag szemszerkezete.

A felsorolt változó tényezők közül az adalék szemszerkezetét mintegy „független” változónak tekinthetjük, mivel csupán az *adalék térfogatsúlyával* hozható *közvetlen kapcsolatba*, de a többi mennyiség változását nem érinti. A fennmaradó tényezők változása ezzel szemben kihatással van a többi változó tényezőre is.

Tekintettel arra, hogy az 1—6. pontokban felsorolt mennyiségek többsége 1 m³ készbetonra, illetőleg általában 1 m³-re vonatkozik, célszerű először minden mennyiséget 1 m³ betonra meghatározni, s ezek ismeretében az 1 m³ törtrészeit kiszámítani.

Meghatározott minőségi jellemzőjű beton előállításához általában meg szokták adni az 1 m³

készbetonra vonatkozó cementmennyiséget, mászóval a cementadagolást, az adalék szemszerkezeti összetételét, valamint a vízcementtényezőt. Az adalék adagolása elvben kétféleképpen történhetik: az adalék térfogata vagy súlya szerint. Vizsgáljuk meg először azt az esetet, amikor az adalékot térfogat szerint adagoljuk.

Legyen a cementadagolás C kg/m³, az előírt vízcementtényező v , akkor a vízcementtényező fogalmának megfelelően a beton készítéséhez szükséges összes vízmennyiség

$$V = v \cdot C \text{ kg/m}^3, \text{ vagy liter/m}^3 \quad (1)$$

Ha az adalékanyag nem légszáras, hanem $x/100 = y$ súlysúlyalék természetes nedvességet tartalmaz, abban az esetben 1 m³ beton készítéséhez nem V liter vizet kell adagolni, hanem a nedvességtartalomnak megfelelően csökkentett mennyiséget. Ha a felvett bedöngölési tényező b , az adalék térfogatsúlya pedig G kg/m³, úgy az adagolandó vízmennyiségre a következő kifejezést kapjuk:

$$V_1 = V - G \cdot b \cdot y = v \cdot C - G \cdot b \cdot y \quad (2)$$

Ezzel az 1 m³ beton készítéséhez szükséges összes adatot ismerjük. Amennyiben az előzetesen becsült bedöngölési tényezővel nem értük volna el a kívánt betontérfogatot, a bedöngölési tényező értékének korrigálásával kell egyrészt a számítást, másrészt pedig a próbakeverést megismételni.

Általában azonban rendszerint az a helyzet, hogy nem kell egyszerre 1 m³ készbetonnak megfelelő mennyiséget keverni. 1 m³ készbetonnak megfelelő laza betont egyszerre legfeljebb csak igen nagyméretű építkezéseknél célszerű készíteni. Általánosan használt keverőgépeink űrtartalma, valamint a kézzel kevert betonmennyiségek is gyakorlatilag a 100—500 liter között vannak. A gyakorlatban tehát rendszerint úgy történik a betonkészítés, hogy a szemszerkezetnek megfelelő laza adalékot literben lemérik — miután nedvességtartalmát már meghatározták — és ehhez az adalékmenyiséghez adagolják a megfelelő mennyiségű vizet, valamint a cementet.

Az előbbiek során már meghatározott és 1 m³ betonra vonatkozó értékek ismeretében ráterhetünk a m³ törtrészeihez szükséges mennyiségek meghatározására.

Legyen a lemért laza adalék mennyisége T liter. Ebből

$$T_1 = T/b \text{ liter} \quad (3)$$

tömör betont nyerünk. Ennek a T_1 liter tömör betonmennyiségnek

$$C_1 = T_1 \cdot C/1000 = T/b \cdot C/1000 \text{ kg} \quad (4)$$

cementet kell tartalmaznia. A T_1 liter tömör betonhoz viszont

$$W = T_1 \cdot V_1/1000 = T/b \cdot V_1/1000 \text{ kg, ill. liter} \quad (5)$$

vizet kell hozzátenni. Ezzel a készítendő betonhoz adandó vizet úgy határoztuk meg, hogy az adalék természetes nedvességtartalmát is figyelembe vettük.

Egy zsák cementet mindig 50 kg súlyúnak kell tekinteni, függetlenül attól, hogy az 50 kg

bruttó súlyt jelent, továbbá függetlenül azoktól a pontatlanságoktól, amelyek a cementnek a zsákokba történő bemérése alkalmával a mérlegelésnél esetleg előfordulnak. Ez kényelmessé teszi a cement adagolását.

Emiatt a laza adalékmenyiséget rendszerint úgy kell meghatározni, hogy ahhoz egészszámú zsákok kitevő cementet adagolhassunk.

Ha az adagolni kívánt cementzsákok száma z , akkor az így adagolt cement súly nyilván $50 \cdot z$ kg. Az a kérdés, mennyinek kell lennie a laza adalék-nak ehhez a cementhez, ha az 1 m³-re vonatkozó adatokat változatlanul ismertnek tételezzük fel? A (4) képlet átalakítása erre a kérdésre azonnal megadja a feletet. A szükséges laza adalék tehát

$$T = \frac{50 \cdot z \cdot b \cdot 1000}{C} \text{ liter.} \quad (4a)$$

Az így meghatározott T liter laza adalékhoz adagolandó vízmennyiség kiszámítása változatlanul (5) szerint történik.

Példa: Legyen $G = 1720$ kg/m³
 $C = 420$ kg/m³
 $v = 0,32$
 $b = 1,15$
 $x = 4\%$, azaz $y = 0,04$

Ebben az esetben (2) szerint

$$V_1 = 420 \cdot 0,32 - 1720 \cdot 1,15 \cdot 0,04 = 55,28 \text{ liter/m}^3.$$

Ha már most nem 1 m³ betont készítünk, hanem pl. 375 liter laza adalékot mérünk le, akkor (5) szerint

$$W = 375/1,15 \cdot 55,28/1000 = 18,6 \text{ liter}$$

vizet, továbbá (4) szerint

$$C_1 = 375/1,15 \cdot 420/1000 = 138 \text{ kg}$$

cementet kell adagolni.

Ezt a 138 kg cementet csak úgy lehet adagolni, ha mérlegünk van annak lemérésére. A kérdést tehát inkább úgy fogalmazzuk, hogy mennyi laza adalékhoz kell pl. 3 zsák, azaz 150 kg cement. (4a) szerint ez a mennyiség:

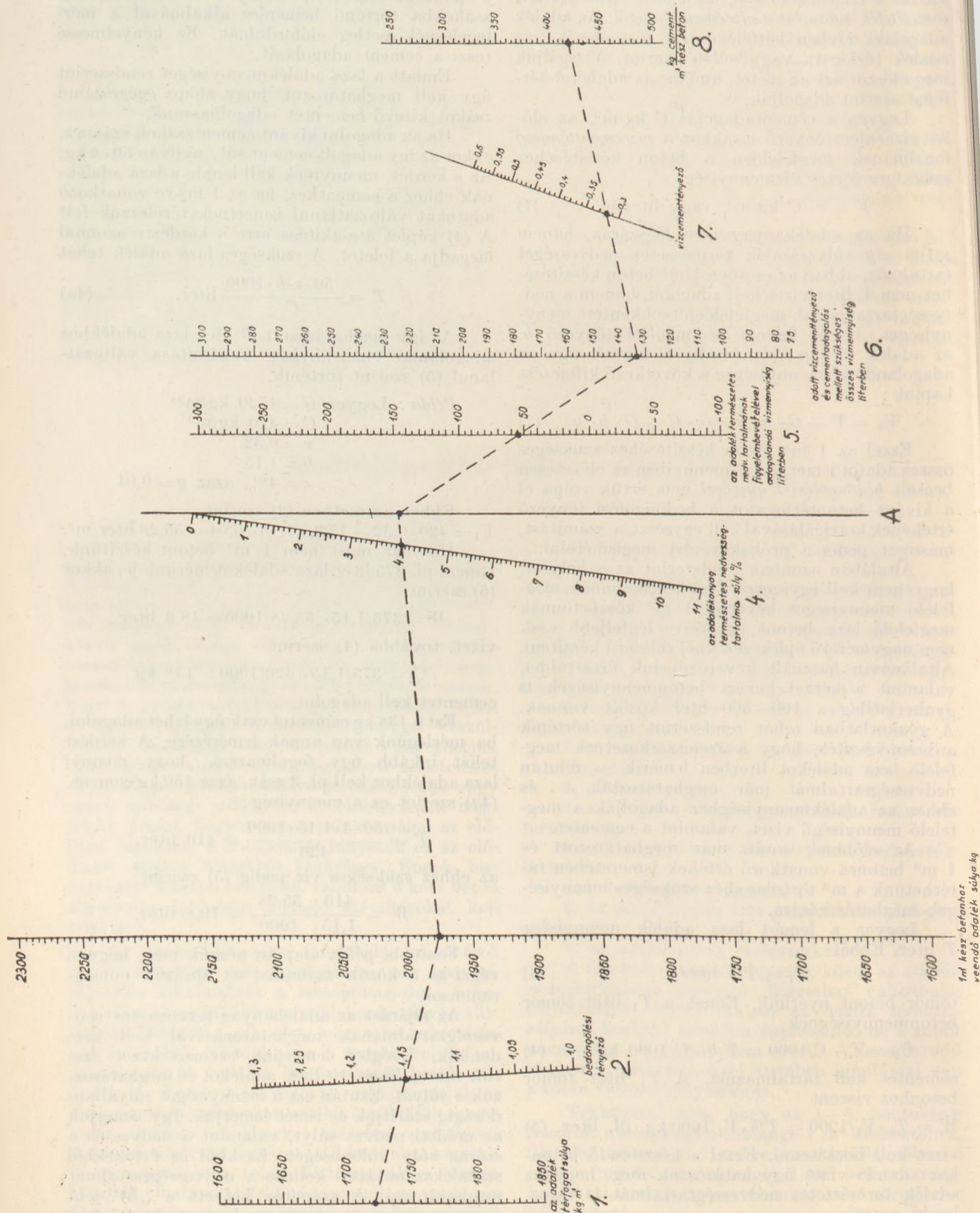
$$T = \frac{50 \cdot 3 \cdot 1,15 \cdot 1000}{420} = 410 \text{ liter,}$$

az ehhez szükséges víz pedig (5) szerint

$$W = \frac{410}{1,15} \cdot \frac{55,28}{1000} = 19,8 \text{ liter.}$$

Fentebbi példa alapján nézzük meg, hogyan végzi el a közölt számítást az ábrázolt nomogrammsor.

Az eljárást az adalékanyag természetes nedvességtartalmának meghatározásával kell kezdenünk. Evégből lemérik szemszerkezet szerint összeállított 10 liter adalékot és meghatározzuk a súlyát. Ezután ezt a mennyiséget súlyállandóságig szárítjuk és ismét lemérjük. Így ismerjük az eredeti nedves súlyt, valamint a nedves és a száraz súly különbségét. Ezekből az értékekből százalékszámítással kellene a nedvességtartalmat meghatározni. A számítás helyett a „B“ jelű nomogrammon meghatározzuk a nedvességtartalmat a következőképpen: A nomogramm 1. skáláján megkeressük a 10 liter *nedves adalék*



1 m³ kész betonhoz veendő adalék súlya kg

súlyát ábrázoló pontot, a 3. skálán pedig a nedves és a száraz súly közötti különbséget ábrázoló pontot. A két pontot egy egyenessel — célszerűen egy, az értékeken átfektetett celluloid vonalzóval — összekötve, a 2. skálán közvetlenül leolvasható az adalék súlyszázalékban kifejezett nedvességtartalma.

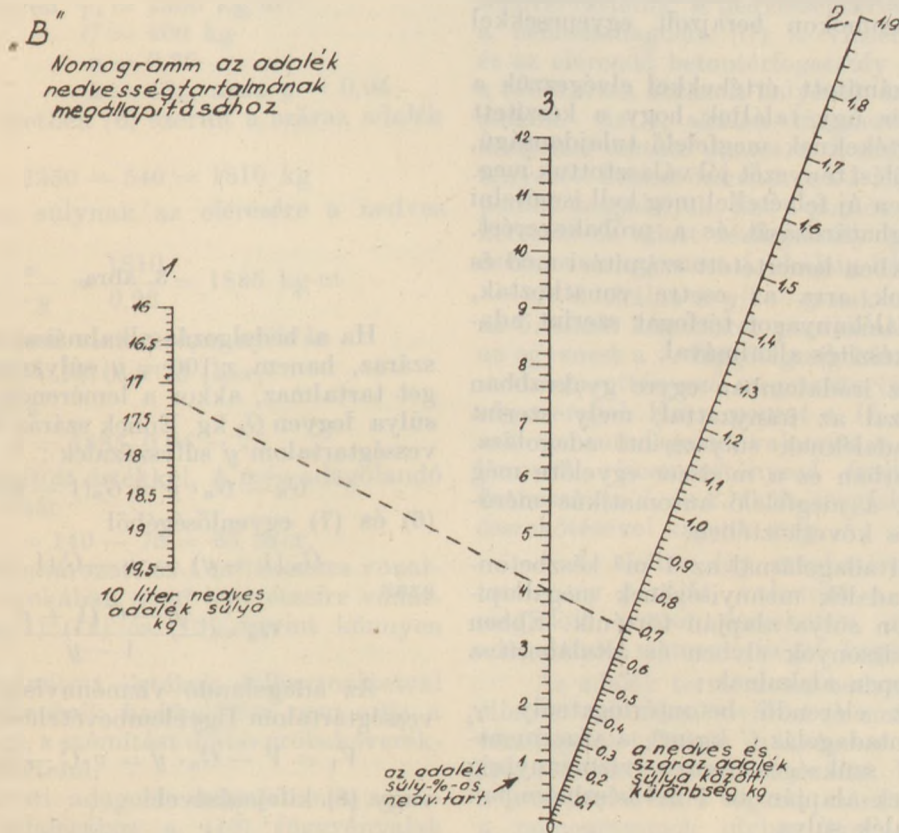
A lemért 10 liter nedves adalék súlyát 100-zal szorozva megkapjuk adalékunk *térfogatsúlyát* kg/m³-ben. Ezt az „A” jelű nomogramm 1. skálája tartalmazza. A 2. skálán megkeressük a felvett *bedöngölési tényezőt*. Az így kapott két pont összekötése után a 3. skálán azt az adaléksúlyt kapjuk, amelyet 1 m³ betonhoz kell vennünk. Literben ez az érték nyilván a bedöngölési tényező ezerszerese. A 3. skálán így kapott pontot, valamint az előbb már meghatározott és ismert százalékos nedvességtartalmat — melyet a 4. skála ábrázol, — összekötve, az „A” jelű függőlegesen egy pontot nyerünk, melyet ceruzával megjelölünk. Ezután a 8. skálán megkeressük a cement-adagolásnak megfelelő pontot, a 7. skálán pedig az előírt *vízcementtényező* pontját. A két pontot összekötve a 6. skálán azt a vízmennyiséget kapjuk, melyet az 1 m³ készbetonhoz *légszáraz adalék* esetén adagolnunk kellene. De mivel az adalékanyag nem légszáraz, hanem meghatározott súlyszázalék nedvességet tartalmaz, nem a 6. skálán kapott értéknek megfelelő vizet, hanem a természetes víztartalomnak megfelelően csökkentett mennyiséget kell adagolni. Ennek értékét úgy kapjuk, hogy a 6. skálán kapott pontot az

előbbieknél során az „A” jelű függőlegesen megjelölt ponttal összekötjük, és az 5. skálán leolvassuk a ténylegesen adagolandó vízmennyiséget. Ezzel az 1 m³ beton készítéséhez szükséges összes adat ismert.

Ha már most nem 1 m³ betonnak megfelelő mennyiséget, hanem 100 és 500 liter közé eső laza adalékmennyiségből készítjük betonunkat, akkor eljárásunk a következő: lemérjük literben a szükséges adalékmennyiséget és ezt a számot megkeressük a „C” jelű nomogramm első skáláján. A 2. sz. skála itt is a bedöngölési tényezőt tartalmazza. A két érték összekötése után a 3. skálán megkapjuk azt a számot, amelyik azt mutatja, hogy a lemért liter laza adalékunkból hány liter tömör beton lesz. Ismerve az 1 m³ betonhoz már az előbbieknél meghatározott vízmennyiséget — ennek értékeit a 4. skála tartalmazza — a 4. skálán kikeresett pontot a 3. skála pontjával összekötve az 5. skálán azt a vízmennyiséget kapjuk, amelyet keverékünkhöz adagolni kell. Ezekután a 3. skálán a tömörbeton térfogatát ábrázoló pontot a 6. skála azon pontjával kell összekötni, amely az 1 m³ betonhoz adagolandó cementmennyiséget mutatja. Ezt az egyenest a 7. skáláig meghosszabbítva kapjuk azt a cementmennyiséget, amelyet betonunkhoz adagolnunk kell.

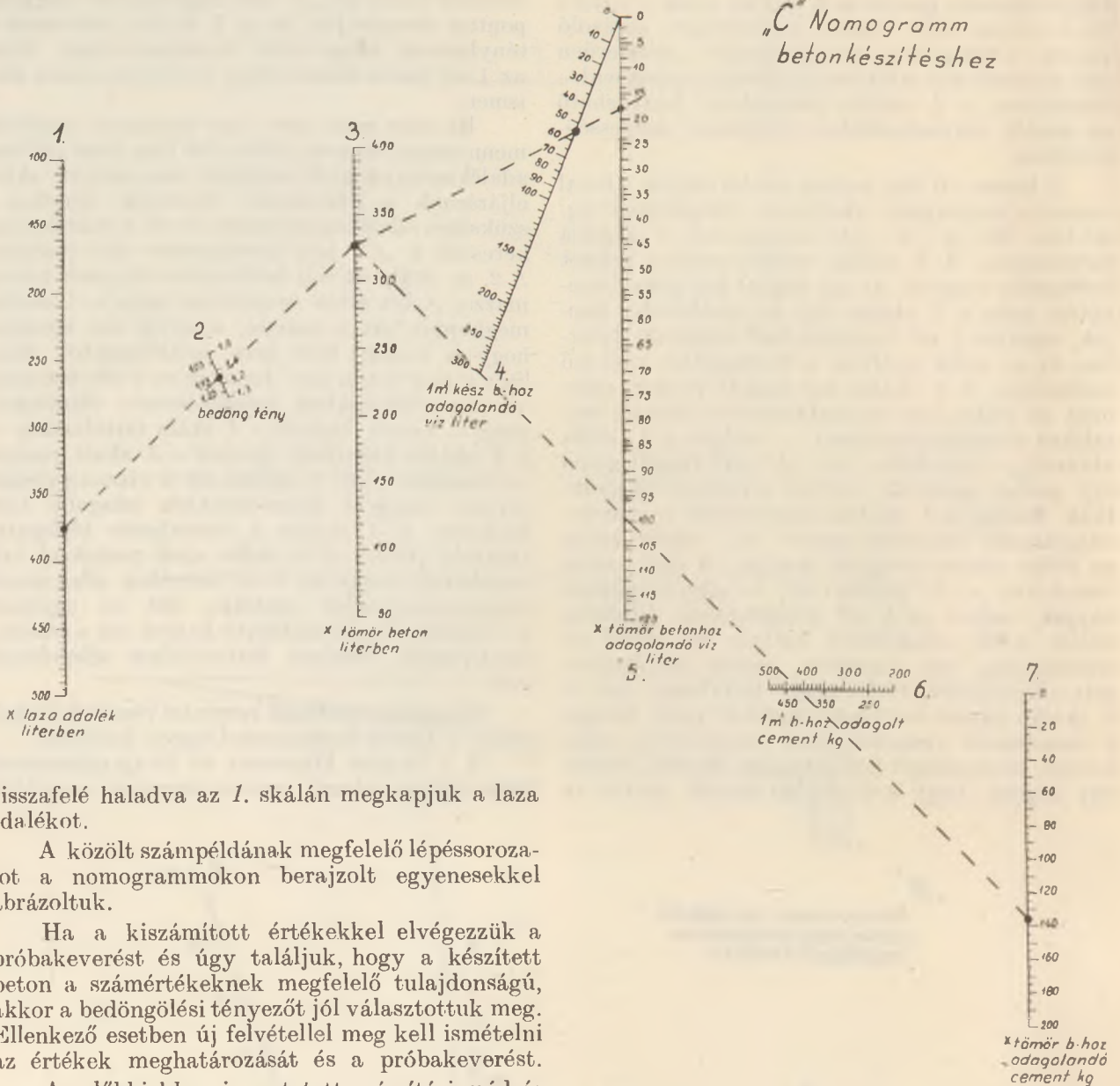
Ha egészszámú zsák cementet veszünk alapul, akkor a közölt lépéssorrend éppen fordított.

A 7. skálán kikeresett és 50 kg egészszámú többszörösét jelentő cementmennyiség pontjától



2. ábra.

"C" Nomogramm
betonkészítéshez



visszafelé haladva az 1. skálán megkapjuk a laza adalékot.

A közölt számpéldának megfelelő lépéssorozatot a nomogramokon berajzolt egyenesekkel ábrázoltuk.

Ha a kiszámított értékekkel elvégezzük a próbakeverést és úgy találjuk, hogy a készített beton a számértékeknek megfelelő tulajdonságú, akkor a bedőngölési tényezőt jól választottuk meg. Ellenkező esetben új felvétellel meg kell ismételni az értékek meghatározását és a próbakeverést.

Az előbbieken ismertetett számítási mód és a nomogramok arra az esetre vonatkoztak, amelynél az adalékanyagot térfogat szerint adagoltuk a betonkészítés alkalmával.

Újabban az irodalomban egyre gyakrabban találkozunk azzal az irányzattal, mely szerint helyesebb az adaléknak súlyszerinti adagolása. Hazai viszonylatban ez a módszer egyelőre még nem terjedt el, a megfelelő automatikus mérőeszközök hiánya következtében.

Súlyszerinti adagolásnál az 1 m³ készbetonhoz szükséges adalék mennyiségének megállapítása a készbeton súlya alapján történik. Ebben az esetben a viszonyok elvben és általánosítva a következőképpen alakulnak:

Legyen az elérendő betontérfogatsúly γ_t kg/m³, a cementadagolás C kg/m³, a vízcement-tényező v . A szükséges összes vízmennyiség $V = v \cdot C$. Ennek alapján az 1 m³ készbetonban lévő száraz adalék súlya

$$G_{sz} = \gamma_t - C - v \cdot C = \gamma_t - C \cdot (1 + v) \text{ kg} \quad (6)$$

Ha a bedolgozás alkalmával adalékunk nem száraz, hanem $x/100 = y$ súlyszázalék nedvességet tartalmaz, akkor a lemérendő nedves adalék súlya legyen G_n kg. Ennek száraz súlya, ha a nedvességtartalom y súlyszázalék:

$$G_n - G_n \cdot y = G_n(1 - y) \text{ kg} \quad (7)$$

(6) és (7) egyenlőségéből

$$G_n(1 - y) = \gamma_t - C(1 + v) \text{ kg}$$

azaz

$$G_n = \frac{\gamma_t - C(1 + v)}{1 - y} \text{ kg.} \quad (8)$$

Az adagolandó vízmennyiség pedig a nedvességtartalom figyelembevételével

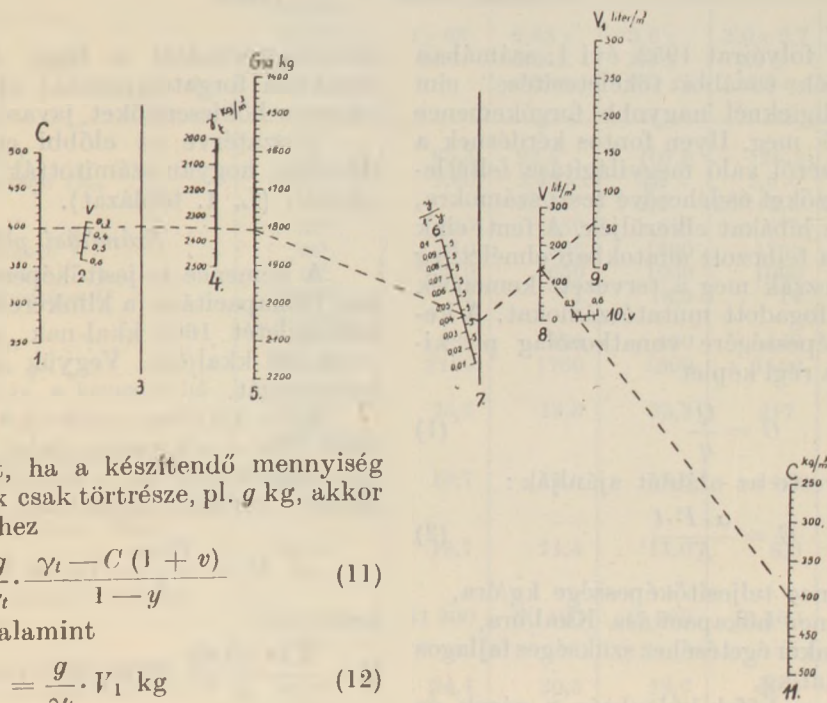
$$V_1 = V - G_n \cdot y = v \cdot C - G_n \cdot y \text{ liter} \quad (9)$$

vagy (8) kifejezésével:

$$V_1 = v \cdot C - [\gamma_t - C(1 + v)] \frac{y}{1 - y} \text{ liter.} \quad (10)$$

3. ábra.

„D” Nomogramm betonkészítéshez



4. ábra.

Fentiek szerint, ha a készítendő mennyiség 1 m³ beton súlyának csak törtrésze, pl. *g* kg, akkor ehhez a mennyiséghez

$$G_{n1} = \frac{g}{\gamma_t} \cdot \frac{\gamma_t - C(1 + v)}{1 - y} \quad (11)$$

nedves adalékra, valamint

$$V_2 = \frac{g}{\gamma_t} \cdot V_1 \text{ kg} \quad (12)$$

vízre és végül

$$C_1 = \frac{g}{\gamma_t} C \text{ kg} \quad (13)$$

cementre van szükség.

Példa: Legyen $\gamma_t = 2350 \text{ kg/m}^3$
 $C = 400 \text{ kg}$
 $v = 0,35$
 $x = 4\%$, azaz $y = 0,04$

Ebben az esetben (6) szerint a száraz adalék súlya

$$G_{sz} = 2350 - 540 = 1810 \text{ kg}$$

Ennek a száraz súlynak az elérésére a nedves anyagból

$$G_n = \frac{G_{sz}}{1 - y} = \frac{1810}{0,96} = 1885 \text{ kg-ot}$$

kell lemérni. Ennek víztartalma nyilván

$$1885 - 1810 = 75 \text{ liter,}$$

ami megegyezik a

$$G_n \cdot y = 1885 \cdot 0,04 = 75$$

kifejezéssel számított értékkel. A még adagolandó vízmennyiség tehát

$$V_1 = 140 - 75 = 65 \text{ liter.}$$

Az így meghatározott és 1 m³ betonra vonatkozó adatok birtokában a m³ törtrészeire vonatkozó értékek (11) (12) és (13) szerint könnyen kiszámíthatók.

Ha a kiszámított értékek felhasználásával készített próbakeverék bedöngölése nem adja a kívánt térfogatot, a számítást újabb próbakeveréssel meg kell ismételni.

A súlyszerinti adagolás műveleteinek nomogrammba foglalásához a (10) függvényalak szolgál. Erre az esetre a „D” jelű nomogrammok

vonatkoznak. Használatuk megegyezik a már ismertetett módszerrel. A nedvességtartalom meghatározása itt is a „B” jelű nomogramm segítségével történik. A nedvességtartalom (*x*, illetve *y*) a cementadagolás (*C*) a vízcementtényező (*v*) és az elérendő betontérfogatsúly (γ_t) ismeretében a többi érték ábrázolt helyének összekötései révén adódik. Az 1. skálán megkeressük a cementadagolást mutató pontot, a 2. skálán a vízcementtényezőt. Ezeket összekötve a 3. függőlegesen nyert pontot megjelöljük. Ezt a pontot a 4. skálán megkeresett és adott térfogatsúly pontjával kötjük össze, s az egyenest 5. skáláig húzzuk.

A 6. skálán a $y/1 - y$ -nak megfelelő pontot az 5. skála kimetszett pontjával kötjük össze és az egyenest a 7. függőlegesig húzzuk. A 8. skálán a vízcementtényező megszabta összes vízmennyiség szerepel. Ezt a pontot a 11. skálán megkeresett cementadagolás, valamint a 10. skálán megkeresett vízcementtényező értékek — melyek azonosak az 1. és 2. skála megfelelő értékeivel — összekötésével kapjuk meg.

A 8. skálán így meghatározott összes vízmennyiség pontját, valamint a 7. függőlegesen megjelölt pontot összekötve, a 9. skálán az adagolandó vízmennyiséget kapjuk.

Az adalék természetes nedvességtartalmának állandó változása, továbbá az emiatt bekövetkező vízadagolás-változás szükségessé teszi ezen értékek rendszeres meghatározását. Erre a célra, de a próbakeverésnél végzett számítások céljaira is, a nomogrammok elvben igen jól használható segédeszközt jelentenek.

A forgókemencék további tökéletesítésének kérdéséhez*

N. SZ. KULIKOV, J. J. NAZARENKO, J. V. ZUBKOV és V. SZ. CSERNICKIJ
Cement. 1952. 7—10. oldal

A „Cement“ folyóirat 1952. évi 1. számában „A forgókemencék további tökéletesítése“ cím alatt új és az eddigieknél nagyobb forgókemence kérdéseit vitatták meg. Ilyen fontos kérdésnek a szakemberek részéről való megvilágítása feltétlenül segíti a tervezőket és lehetővé teszi számukra, hogy az esetleges hibákat elkerüljék. A fenti cikk szerzői azonban a felhozott adatokban elméletileg nem eléggé alapozzák meg a tervezett kemencék méreteit és az elfogadott mutatószámokat. A kemence teljesítőképességére vonatkozólag pl. ki mutatják, hogy a régi képlet

$$G = \frac{Q}{q} \quad (1)$$

helytelen, s helyette az alábbi ajánlják:

$$G = \frac{\alpha \cdot F \cdot t}{K} \quad (2)$$

G = a kemence teljesítőképessége kg/óra,
 Q = a kemence hőkapacitása Kkal/óra,
 q = 1 kg klinker égetéséhez szükséges fajlagos hőmennyiség Kkal/kg,
 t = az átlagos hőfok-különbség a gázok és anyag között 0°C ,
 F = hőátadási felület, m^2
 K = az a hőmennyiség, amelyet 1 kg klinker előállítására a nyersanyagoknak át kell adni Kkal/kg,
 α = a hőátadás koefficiense Kkal/ m^2 , hőfokonként, óránként.

Mi azonban nem értünk egyet velük abban, hogy az 1. sz. képletet egyáltalában nem lehet használni, habár az nem is általános érvényű. Hasonlóképpen nem értünk egyet velük abban sem, hogy viszont a 2. sz. képlet általános érvényű lenne, mert az bizonyos mértékben csak a berendezés hőkihasználásra való alkalmasságát tünteti fel.

Ez az alkalmasság függ t -től, a gázok és az anyag átlagos hőfokkülönbségétől, amely viszont lényegében a távozó gázok hőfokától függ és a kemence hőkapacitásával változik, amit a szerzők nem vettek figyelembe.

A szerzők nem kapcsolnak össze két fontos kérdést, pedig a kemence üzeme ettől a kettőtől függ. Ezek:

1. az égetőzónában a hőfelszabadítástól (a tüzelőberendezésben),
2. a hőkihasználástól (a hőkihasználási berendezésben).

Ezt mellőzve a szerzők egyszerűen áttérnek a feladatok megoldására.

Itt feltétlenül meg kell említenünk V. A. Arafjev álláspontjának helyességét, amelyet a „Cement“ 1952. 3. számában fejtett ki, s amely szerint a kemence teljesítőképessége nemcsak a zsugorodási zónától, hanem a szárító-, illetve

előmelegítőzónától is függ. Arafjev ezekben a zónákban forgatólapátokat ajánl, míg a cikk a rekeszes hőkicsérőket javasolja.

Visszatérve az előbbi cikkekre, nem világos előttünk, hogyan számították ki a kemence adatait. (L. 1. táblázat).

Számítási példák

A kemence teljesítőképessége 50 to klinker/óra. Hőkapacitása (a klinkerelőállítás fajlagos hőszükségletét 1600 kkal-nak véve), $50 \times 1600 = 80,10^6$ kkal/óra. Vegyük a zsugorodási zóna hosszúságát.

$Lg = 4,9 \cdot Dvn = 4,9 \times 3,6 = 17,64$ m-nek, (ahol Dvn = a kemence belső átmérője) és fajlagos hőterhelését $qv = 300 \times 10^3$ kkal/ m^3 /óra-nak, akkor a kemence kapacitása lenne:

$$Q = \frac{D^2vn}{4} \cdot Lg \cdot qv \text{ kkal/óra,}$$

azaz

$$Q = \frac{3,14 \cdot (3,6)^2}{4} \cdot 17,64 \cdot 300 \cdot 10^3 = 54 \cdot 10^6 \text{ kkal/óra,}$$

aminek 34 to/óra termelés felelne meg. Ez a kiindulási és a tervezett 50/óra teljesítménytől lényegesen különbözik ($54 \cdot 10^6 : 1600 = 34$ to).

Mint tudjuk, a kemence belső átmérője

$$Dvn = \sqrt[3]{\frac{Q}{0,785 \cdot 4,9 \cdot qv}}$$

Jelen esetben $Q = 80 \cdot 10^6$ kkal/ó, $qv = 300 \cdot 10^3$, s ezeket az értékeket a fenti képletbe helyettesítve,

$$Dvn = \sqrt[3]{\frac{80 \cdot 10^6}{0,785 \cdot 4,9 \cdot 300 \cdot 10^3}} = 4,1 \text{ m}$$

ennek megfelelően a külső átmérőnek

$$4,1 + 0,4 = 4,5 \text{ m-nek kellene lennie.}$$

A tervezetben a kemence külső átmérője csak 4 m.

A zsugorodási zóna hosszúsága a jelzett 50 to/ó teljesítőképesség (= $80 \cdot 10^6$ kkal/ó hőkapacitás) mellett:

$$Lg = \frac{Q}{\pi D^2 \cdot qv} = \frac{80 \cdot 10^6 \cdot 4}{3,14 \cdot (3,6)^2 \cdot 300 \cdot 10^3} = 26,2 \text{ m.}$$

A kemence hűtött részének hosszúsága $\pm 2-3$ m tűrés mellett inkább 20 m legyen, de a jelzett cikk a hűtött rész hosszúságát 20—25 m-re veszi fel.

Az I. táblázatban felsoroltuk néhány forgókemence kihasználási adatait, s összehasonlításul a tervezett kemencéjét.

Ha elemezzük és összehasonlítjuk a kemencék valóságos adatait a tervezett kemence adataival, sok homályos helyet találunk akkor is, ha a kemencét mint tüzelőberendezést, s akkor is, ha mint hő-

* Az Építőanyag 2. számában megjelent cikksorozat folytatása.

1. táblázat

Néhány forgókemence összehasonlító adatai

A d a t o k	Mérték- egység	K e m e n c e m é r e t e k					
		3 × 65 mm	2,85 × 2,55 × 92 m	3,6 × 3,3 × 107 m	3,0 × 2,7 3,0 × 125 m	3,6 × 3,3 × 3,6 × 150 m	4,0 × 5,0 × 135 m
A kemence hosszúsága L	m	65,5	92,5	107,9	125,2	149,8	135
A kemence belső átmérője D_{vn}	m	2,60	2,45 × 2,05	3,2 × 2,9	2,6 × 2,3 × 2,6	3,2 × 2,9 × 3,2	3,6 × 4,6
A kemence térfogata V	m ³	350	360	815	675	1190	2050
A kemence hőátadófelülete f	m ²	610	960	1690	1750	2610	4160
A kemence belső felülete F	m ²	610	650	1000	1000	1400	1700
A kemence teljesítőképessége G	1000 kg/óra	12	11	18,5	14	26	50
A távozó gázok hőfoka	°C	480	300	400	200	250	250
Fajlagos hőfelhasználás q	kkal/kg	2100	1780	1800	1550	1600	1600
Óránkénti hőfelhasználás, a kemence hő- kapacitása Q	millió kkal/óra	25,2	19,6	33,3	217	41,6	80,0
A kemence fajlagos kapacitása a belső felülethez viszonyítva G/F	kg/m ² óra	19,7	17,0	18,5	14,0	17,8	29,4
Ugyanaz a hőátadó felülethez viszo- nyítva g/f	kg/m ² óra	19,7	11,4	11,0	8,0	10,0	12,0
Hőfelhasználás 1 m ² hőátadó felületre, az erőltetés mértéke	kkal/m ² óra	41 300	20 400	19 700	12 400	15 900	19 200
A kemence fajlagos teljesítőképessége a kemence térfogatára vonatkoztatva G/V	kg/m ³ óra	34,4	30,5	22,7	20,7	21,9	24,4
Arányszám a zsugorítózóna hossza és a kemence átmérője között 300 000 kkal/ m ³ óra hőterhelés mellett		6,0	5,9	4,4	5,2	5,4	7,3

2. táblázat

Három forgókemence zsugorodási zónájának hosszúsága

	Mérték- egység	K e m e n c e m é r e t m		
		3,6 × 3,3 × 107	3,6 × 3,3 × 3,6 × 150	4,0 × 5,0 × 135
A zsugorító zóna belső átmérője D_{vn}	m	3,20	3,20	4,60
A kemence keresztmetszete F_n	m ²	8,04	8,04	10,17
A gázok sebessége a zsugorítózózában V_{uszt}	m/mp	11,61	13,56	16,46
A befűvőcső átmérője d	m	0,25	0,25 × 2	0,40
A befűvőcső keresztmetszete F	m ²	0,049	0,049 × 2	0,126
A primer levegőkeverék sebessége V_h	m/mp	47	60	80
A primer levegő mennyisége	m ³ /óra	8300	21 200	36 000
A primer levegő %-a az egész levegőmennyiség felhasználásához viszonyítva	%	18**	38	34
A zsugorítózóna hossza L_g	m	14,9	17,2	22,5
A zsugorítózóna térfogata	m ³	110,0	126,0	229,0
A zsugorítózóna hőterhelése q_v	kkal/m ³ óra	340 000	350 000	350 000

** A 3,6 × 3,3 × 107 m kemencénél csak a primer levegő (a fűvőka szénéhez hozzáadott levegő) van megadva. A fűvőka külső csővéhez hozzáadott levegő nincs beszámítva.

kihasznaoló berendezést fogjuk fel. Érthetetlen, hogy miért emelték fel az újonnan tervezett kemence hőátadásának hatásfokát a 3, 6/3, 3/3,6 · 150 m és 3,0/2,7/3,0 · 125 m kemencékhez képest, éspedig 8 és 10 kg/m² óráról 12 kg/m² órára. A gázok és az anyag átlagos hőfokkülönbségének felemelésével, illetve a távozó gázok hőmérsékletének felemelésével egyidejűleg felemeljük

azt a hőmennyiséget is, amelyet a hőátadó anyag felületi egységének adunk át. Az adott esetben állandó hőfokú gázok mellett tehát felemeljük a hőátadás hatásfokát.

Ez szintén ellentmondásban van szerzők 2. tételével, amelyből következik, hogy a t (azaz a távozó gázok hőfoka) felemelésével a kemence termelékenységének is nőni kellene (ha a többi

feltétel változatlan marad), s természetesen a hőátadás hatásfokának is. 4160 m² hőátadási felület mellett az új kemence teljesítőképesége véleményünk szerint 42 t/ó, de 50 t/óra termeléshez az átlagos hőátadási felületet 15—20%-kal kellene emelni. Mint látjuk, az új kemence alapadatainak megállapításánál a szerzők számos feltételt kötöttek ki. Kívánatos lenne, ha az új kemence adatait jobban részleteznék és jobban megindokolnák.

A zsugorodózónával kísérleteket folytattunk V. Sz. Csernickij és M. H. Muhina módszere alapján, amelyet a „Cement“ 1951. 2. számában „A forgókemencék lángjának hosszúságáról“ címmel tettek közzé. Elfogadjuk, hogy ez az eljárás nem tökéletes, de mégis adatokat szolgáltat a vizsgált kemencék egész soráról.

Az adatokat, amelyeket a 3,6/3,3/10, 3,6/3,3/3,6/150 és 4/3/135 m-es kemencéről kaptunk, a 2. táblázatban közöljük.

A tervezett kemence zsugorodási övezetében mi a terhelést 350 000 kkal/m³/ó-val vettük fel, hasonlóan az új, hatalmas kemencékhez, és nem 300 000 kkal/m³/ó-val, mint ahogy a szerzők felvetették.

És így az általunk felhozott adatok és a számítások alapján mondhatjuk, hogy a tervezett kemence 80.10⁶ kkal/óra kapacitását a zsugorodási zóna 22,5 m hosszúságánál és 350 · 10⁹ kkal/m³/óra terhelésnél érhetjük el. Ehhez a szénlevegő (primerlevegő) keveréksebességének 80 m/sec-nek kell lennie. (L. 2. táblázat).

Tételeinkből kiindulva az újonnan tervezett kemence megszerkesztésénél szükségesnek tartjuk a következő kiegészítéseket:

1. A kemence beömlésénél a kiszélesített részt 15—20 m-re kell meghosszabbítani, hogy kerámiai hőkicserélőket lehessen felszerelni. Ez megnöveli a hőátadó felületet s a hőátadófelület fajlagos teljesítőképeségét a kemencék tényleges adataihoz közelebb hozza, végül védi a láng közvetlen hatásától a hőkicserélők fémrészeit, ha üzemzavar van.

2. A vízűtést 28—30 m hosszúságra kell készíteni, abból kiindulva, hogy a zsugorodási zóna 22,5 m, s hozzá jön még + 2—3 m.

3. A szén-levegő keverék (primer-levegő) sebességét 80 m/sec-ra kell felvenni. Ennek megfelelő változtatható fordulatú ventilátort kell beállítani.

4. Csigás szénadagoló helyett cellás szénadagolót kell alkalmazni.

Kérdés — Felelet

Kérdések:

24. Mi a termodinamikai hőfokskála?

25. Milyen mértékig hasznos a nedves eljárású klinkerégetésnél az iszap víztartalmának csökkentése?

Feleletek:

Kérdés: Mi okozza a porcelánmáz úgynevezett „tűszúrás“ hibáját, és milyen műszaki intézkedéssel gátolható, illetve előzhető meg?

Felelet: Az égetés elején az égetőtérbe áramló füstgázokról a kemencetér hidegebb helyein korom válik ki, amely egyrészt az áru felületén helyezkedik el, másrészt a pórusokba is behatol. Az előtűz végén törekednünk kell a korom és lerakódott szén kiegészítésére, tehát ekkor oxidálva kell a tüzelést vezetni. Ha a kormot nem égetjük ki, mielőtt a máz megálgyul és csak ekkor oxidálunk, akkor a korom elégetéséből fejlődő gáz felfújja a lágyulni kezdő masszát és a mázat, a porcelán hólyagos lesz. Ha csak a mázba bezárt szén oxidálódik, akkor a mázban képződnek hólyagok, melyek további oxidáló tüzelésre elsimulnak, csak a

helyei maradnak meg a máz felületén kráter-szerű apró mélyedések alakjában. Ilyenkor a porcelán sárgás színű lesz, mert a vasvegyületek ferri vegyületekké oxidálódnak. Ha a kormot nem eléggé égetjük ki, a porcelán szürkés-kék színárnyalatot kap.

A kőszénből származó kéngázak a mázanyagoknál ú. n. szulfátvegyületeket képeznek, melyek a máz megolvadásakor abban nem oldódnak fel, hanem a máz felületén vékony hártya alakjában helyezkednek el. Az így képződött hártya megakadályozza, hogy a máz olvadása közben fejlődő gázok eltávozzanak. A máz ilyenkor homályos, vagy buborékos marad. Ha a buborékok kicsinyek és az égetés későbbi folyamán elsimulnak, akkor sem lesz a máz tökéletesen sima, hanem a máz felületén tojáshejhez hasonló apró tühegynyi lyukaeskek maradnak. Hasonló jelenségek mutatkoznak, ha a mázban, vagy a máz készítéséhez használt vízben vannak kénsavas sók. Ha a kéngázak vagy szulfátok hatására képződő buborékok az égetés későbbi folyamán nem simulnak el, a kemencéből kiszedett áru felületének kézzel való lesimításakor a kis hólyagok felpattannak.

Felhívás Előfizetőinkhez!

Felhívjuk előfizetőink figyelmét arra, hogy 1953. január hó 1-től az

ÉPÍTŐANYAG

terjesztését a POSTA KÖZPONTI HÍRLAP IRODA vette át. (Bpest, V., József Nádor-tér 1. Tel.: 182-297)



1953. január 1-től tehát az előfizetési díjak a Posta Központi Hírlap Iroda

61.282

számú csekkszámájára fizetendőik be

ÉPÍTŐANYAGIPARI KÖNYV- ÉS LAPKIADÓ VÁLLALAT
BUDAPEST, V., KÁLMÁN-UTCA 16.
TELEFON : 121—585.

Az É. M. Építőanyagipari Könyv- és Lapkiadó Vállalat kiadásában e hó
végén jelenik meg

V. N. JUNG :

CEMENT TECHNOLÓGIA

című kiadványunk — Terjedelme kb. 580 oldal — Ára kb. 111.— Ft.

Előjegyezhető az Állami Könyvterjesztő Vállalat „Szabad Ifjúság”
könyvesboltjában (Budapest, VIII., Múzeum-körút 39. szám.)

ÉPÍTŐANYAGIPARI KÖNYV- ÉS LAPKIADÓ VÁLLALAT

Az É. M. Építőipari Könyv- és Lapkiadó Vállalat kiadásában megjelent :

P. N. GRIGORJEV :

A MÉSZ ALKALMAZÁSA AZ ÉPÍTŐIPARBAN

A könyv a mész építőipari alkalmazásának gyakorlatát és a mész tulajdonságait ismerteti. Tárgyalja továbbá az örölt oltatlan mész építőipari felhasználását a Sztálin-díjas J. V. Szmirnov módszere szerint. Műszaki és gazdasági szemszögből röviden elemzi a mész előállításának és a mész különféle alkalmazásának költségeit. A könyv a tervező és kivitelező vállalatok építészmérnökei, valamint az építőanyagiparban dolgozó technológus mérnökök részére készült.

Ára : 12.— Ft.

Beszerezhető :

AZ ÁLLAMI KÖNYVTERJESZTŐ VÁLLALAT ÉPÍTŐIPARI KÖNYVESBOLTJÁBAN

Budapest, XI. kerület, Bartók Béla-út 25. szám alatt