



„IDŐJÁRÁS”

A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG ÉS
A MAGYAR ORSZ. METEOROLÓGIAI ÉS FÖLDMÁGNÉSSÉGI INTÉZET
HIVATALOS LAPJA

SZERKESZTI: DR. RÉTHLY ANTAL

MEGJELENIK KÉTHAVONTA.

A levegő áramlása bányákban és barlangokban.

A barlangoknak és ezek mesterséges változatainak, a bányáknak levegője a légkör egy-egy földalatti nyulványának tekinthető. Ezekben a légterekben, melyek a szabad légkörrel folytonos kapcsolatban vannak, hasonló fizikai változások (hőmérsékleti, mozgási, kicsapódási stb. folyamatok) mennek végbe, mint a szabad légkörben. A földközeli légrétegekben ezeket a folyamatokat a talaj már jelentékenyen módosítja, de ez a módosító hatás sokkal inkább érvényesül a barlangokban, bányákban, ahol a talaj csaknem teljesen körülzárja a levegőt. Igen gyakran az itt végbemenő mozgási, hőtani és kicsapódási folyamatokat már nem az általános légkörzés nagy energiaforrása: a napsugárzás irányítja, hanem a vezetőszerpet a Föld belső energiái veszik át. A Nap és a Föld energiáinak együttes hatása nyilvánul meg azután ezekben a földalatti légköri jelenségekben, amelyek még a meteorológia határterületéhez tartoznak.

Néhány ilyen vizsgálatról szeretnék most beszámolni, előzőleg azonban röviden ismertetem a szükséges fizikai alapfogalmakat.

1. *A sztatikus és a dinamikus nyomás.* A Föld *nehézségi erőtere* bizonyos magasságig, az ú. n. disszipációs szféráig a Földhöz köti a a légkör gázait. Az erőter minden egyes pontjában az ott lévő levegőrészecskére meghatározott nagyságú és irányú nehézségi erő hat, melyet a részecske súlyának nevezünk. A nehézségi erő iránya meghatározza a függőleges irányt és az erre merőleges felületeket, melyeket vízszintes felületeknek nevezünk. A vízszintes felületek mentén a nehézségi erőnek nincs összetevője, a felületen történő elmozdulásnál tehát a nehézségi erő munkát nem végez.

A nehézségi erőterben a levegő súlya bizonyos nyomáselosztást hoz létre, melynek eredményeképpen a légnyomás helyről-helyre változik. A légkörben kialakuló térbeli nyomáselosztás bizonyos erőter fellépésével egyértelmű, melyet a *nyomás erőterének* nevezhetünk.

Válasszunk ki a légkörben egy egységnyi térfogatú kockát, melynek oldalélei függőlegesen állnak. Fejezzük ki azt az erőt, amely a légnyomás következtében erre a kockára függőleges irányban hat. Az oldalapokra ható nyomást figyelmen kívül hagyhatjuk, mivel ezek függőleges irányban erőhatást nem létesítenek. A függőlegesen felfelé irányuló erőt tehát az alap- és fedőlapokra ható nyomások különbsége adja. Ez nem más, mint a légnyomásnak függőlegesen felfelé egységnyi hosszúságra

eső csökkenése, amit a légnyomás felfelé irányuló gradiense-nek nevezünk.

Miután meggondolásunk bármilyen helyzetű kockára igaz, kimondhatjuk, hogy a légnyomásnak valamely irányban vett gradiense irány és nagyság szerint megadja azt az erőt, melyet a nyomás erőtere a térfogategységben levő anyagra gyakorol. A nyomás erőterét tehát nem a légnyomás nagysága, hanem a légnyomási gradiens határozza meg.

A nehézségi erőter és a nyomás erőtere együttesen hatnak a légkörre, kérdés, mikor lehet a levegő a két erőter hatása alatt a Földhöz képest nyugalomban.

Bontsuk fel az erőt vízszintes és függőleges összetevőikre. A nehézségi erőter vízszintes összetevője nulla, tehát a levegő nyugalmi állapotának egyik szükséges feltétele, hogy a nyomás erőterének vízszintes összetevője mindenütt eltűnjék, azaz ugyanazon vízszintes felületen a nyomás gradiense nulla, a légnyomás tehát ugyanaz legyen. Második szükséges feltétel, hogy a két erőter függőleges összetevője egymással egyensúlyt tartson. Ez akkor teljesül, ha a nyomás függőleges gradiense mindenütt egyenlő a térfogategységben levő levegő súlyával.

Kimondhatjuk tehát, hogy a légkör a nehézségi erőter és a nyomás erőterének hatása alatt akkor van egyensúlyban, ha a vízszintes felületeken a légnyomás nem változik, függőleges irányban pedig a nyomás gradiense mindenütt egyenlő a térfogategységnyi levegő súlyával.

Beláthatjuk, hogy az így kialakult ún. n. sztatikus légnyomáseloszlásnál minden pontban akkora a légnyomás, mint amennyi a fölette függőlegesen álló egységnyi keresztmetszetű levegőoszlop súlya.

Sztatikus nyomás alatt eszerint olyan feltételezett légnyomást értünk, amely nyugvó légkörben valamely hely fölött levő egységnyi keresztmetszetű levegőoszlop súlya lenne. Miután a légkör állandó mozgásban van, ezt a nyomást nem tudjuk megmérni, de a valóságos nyomásnak, hőmérsékletnek és légköri nedvességnek ismeretében a sztatikus légnyomás gradiensét egyértelműen kiszámíthatjuk a barométeres magasságképlettel. Miután a nyomás erőterét a gradiens határozza meg, a sztatikus nyomás ismerete számunkra nem is lényeges.

A légkörben uralkodó valóságos nyomáseloszlás a sztatikustól mindig különbözik, ami egyértelmű azzal, hogy a légkör állandó mozgásban van. A valóságos nyomásgradiens, amint láttuk, irány és nagyság szerint a térfogategységre ható erőt jelenti. Ez olyan mértékben tartja mozgásban a levegőt, amilyen mértékben a sztatikus nyomásgradiensről különbözik. Másszóval a valóságos nyomásgradiens sztatikus része a nehézségi erővel egyensúlyt tart, a fennmaradó szabad erő pedig a levegőt mozgásban tartja.

A térfogategységre ható szabad erőt, amely nem más, mint a valóságos és a sztatikus nyomásgradiens különbsége, dinamikus nyomásgradiensnek nevezzük.

A dinamikus nyomás, amely alatt a mérhető valóságos nyomás és a feltételezett sztatikus nyomás különbségét értjük, éppen olyan fölösleges fogalom az erőterek tárgyalásánál, mint a sztatikus nyomás, gradiensét azonban a valóságos nyomás, hőmérséklet és nedvességeloszlás ismeretében bármely helyre kiszámíthatjuk.

2. A Bernoulli egyenlet. Vizsgáljuk meg, hogy a nyomás és a nehézségi erőter hatása alatt egy megadott áramlási vonal mentén a levegő milyen mozgást végez.

Fejezzük ki azt a munkát, melyet az erők végeznek, ha a térfogategységnyi s tömegű levegőt az A_1 pontból az A_2 pontba viszik. Térfogat-

egységnyi tömegről lévén szó, a munkát a dinamikus nyomásgradiens végzi, mely az útvonal mentén helyről-helyre változhat. Ha az A_1 A_2 útvonalat elemi útdarabokra bontjuk, ezek mentén az útdarab irányába eső gradiens állandónak tekinthető. A munkát a gradiens és az útdarab szorzata adja, ami nem más, mint az útdarabra eső dinamikus nyomáscsökkenés. Ezt a műveletet az elemi útdarabok során át az A_1 -től az A_2 -ig folytatva, a végzett munkát az útdarabokra eső nyomáscsökkenések összege adja, amely nem más, mint az A_1 és A_2 pontok közti dinamikus nyomáscsökkenés: $(p_1 - p_2)$.

Az energiatétel értelmében a végzett munka egyenlő a kinetikus energia növekedésével. Ha tehát az A_1 pontban az s tömegű levegő sebessége v_1 , az A_2 pontban v_2 , akkor

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} s (v_2^2 - v_1^2).$$

A Bernoulli egyenletnek ez az egyszerű alakja összefüggést ad az áramlási vonal két pontjában a dinamikus nyomások különbsége és a sebesség között, melyet adott sűrűségű levegő a pálya ezen két pontjában felvesz. A fenti egyenlet valójában összenyomhatatlan folyadékokra (s állandó) érvényes, de alkalmazható a levegőre is, ha attól a sűrűségváltozástól eltekintünk, melyet a rendszerint csekély dinamikus nyomásváltozás okoz.

Az egyenlet ebben a formájában nem alkalmazható olyan áramlásokra, melyeknél a dinamikus nyomás időbeli változásokat szenved, de akkor is elveszti érvényességét, ha a dinamikus nyomásgradienssel szemben túlságosan nagy surlódás lép fel.

A szabad légkörben lefolyó áramlásoknál a Bernoulli egyenlet alkalmazása téves eredményekre vezethet, mivel itt a mozgó levegőrészecske nem a nyomásgradiens irányát követi, hanem a földforgás eltérítő hatása következtében az izobárok mentén haladva, arra merőlegesen áramlik.

Előfordul azonban a természetben olyan kényszer, amelynek következtében a légáramlás a gradiens irányát követi. Ilyen kényszert jelentenek pl. a gradiens irányában fekvő mély völgyek, melyek oldalaikkal megszabják az áramlás irányát.

3. *Légáramlás szellőztetett bányákban.* A bányák folyosórendszere hasonlóképpen kényszert jelent, amely a légáramlás számára határozott utat ír elő. Ha tehát valamely bányafolyosó két pontja között mesterséges, vagy természetes okok által létrehozott állandó dinamikus nyomáskülönbség van, a levegő a folyosó mentén a dinamikus nyomásgradiens irányában áramlik. Minthogy a nyomásgradiens a pálya mentén állandóan működő erőt jelent, a levegő egyre gyorsuló mozgással haladna és a sebességnövekedést valamely dinamikus nyomáskülönbség befutása után a Bernoulli egyenlet szabná meg. A surlódás azonban az áramlással szemben működő jelentékeny erőt képvisel, amely a Bernoulli egyenlet alkalmazását korlátozza. A valóságban a számítottnál kisebb sebességek lépnek fel a folyosó egyes szakaszain.

A bányák szellőztetésénél fellépő áramlási sebességek általában kicsinyek, rendszerint 4 m/sec alatt maradnak. Ilyen kicsiny sebességek esetén az áramlás lamináris, azaz a levegő a folyosó tengelyével párhuzamos vonalak mentén áramlik. Mindössze a folyosó falából kiemelkedő akadályok (burkoló kövek) mögött jelentkezik kisebb örvénylés, amelynek mozgási energiáját a surlódás a következő akadályig felemészti s így az áramlás túlnyomóan lamináris jellegét ez a körülmény sem zavarja.

A sebesség a folyosók mentén a keresztmetszettől függően változik: szűk folyosó-részleten nagyobb, a tág keresztmetszeten pedig kisebb sebességgel áramlik át a levegő. Az időben állandó dinamikus nyomáskülönbség azonban az időben állandó áramlást hoz létre, azaz a folyosó mindenegyes keresztmetszetén az időegység alatt átáramló levegőmennyiség ugyanaz.

Legyen a folyosó két pontja között a dinamikus nyomáskülönbség

$$p_1 - p_2 = D.$$

Vezessük be a sebesség helyett az ezzel arányos áramerősséget, azaz a q keresztmetszeten az időegység alatt átáramló levegő mennyiségét, amely így írható:

$$J = q \cdot s \cdot v,$$

ahol s a levegő sűrűsége, v pedig az áramlás sebességét jelenti. A bányák szellőzésénél fellépő kicsiny szélesebbeségek mellett kielégítően teljesül a Bernoulli egyenlethez hasonló összefüggés:

$$D = R \cdot J^2,$$

ahol R állandó szám, a folyosószakasz légellenállása.

A dinamikus nyomáskülönbséget a bányatechnikában *depresszió*nak nevezik. Meghatározása úgy történik, hogy a bányaszakasz két végpontján ugyanabban az időpontban megméri a valóságos légnyomást s a barométeres magasságképlettel kiszámítják a két pont közti sztatikus nyomáskülönbséget. Ha ezt a valóságos nyomáskülönbségből levonjuk, megkapjuk a depressziót, melyet rendszerint vízmilliméterekben fejeznek ki.

Az áramerősséget normálállapotú (15 C° hőmérsékletű és 760 Hgmm nyomású) levegőre vonatkoztatva m³/min-okban fejezzük ki. Az áramerősség meghatározása úgy történik, hogy a bányaszakasz valamely pontján megmérjük az áramlás sebességét; v -t m/min-okban. Ha a folyosó keresztmetszete q m², az egy perc alatt átáramló levegő térfogata $v \cdot q$ köbméter. Az így kapott értéket normáltérfogatra számítjuk át.

A bányaszakasz ellenállását (R) olyan egységekben adjuk meg, hogy az

$$J = 1000 \sqrt{\frac{D}{R}}$$

egyenlőség fennálljon, ha J -t m³/min-okban, D -t pedig vízmm-ekben fejezzük ki. Az ellenállásnak így nyert egysége a R_0 . Tehát 1 R_0 ellenállása van annak a bányaszakasznak, melynek keresztmetszetén 1 vízmm depresszió mellett percenként 1000 m³ normálállapotú levegő ömlik át.

A fent elmondottak ismeretében a bányahálózat légáramlási viszonyait légnyomás, hőmérséklet és szélmérésekkel tanulmányozhatjuk.

Ezek a vizsgálatok két kérdésre adnak feleletet:

1. Megkapja-e a bánya folyosórendszerének minden egyes részlete az előirt levegőmennyiséget.

2. gazdaságosan használja-e ki a bánya áramrendszere a szellőzésre szolgáló energiát.

A bánya szellőzési viszonyainak vizsgálatánál ennek megfelelően meg kell adnunk a folyosókon és munkahelyeken percenként átáramló levegőmennyiséget, valamint az energiának az egyes bányaszakaszokra való megoszlását. Az előbbi egyszerű feladat, az utóbbi azonban kissé bonyolultabb.

A bánya belsejében a fejtésnek megfelelően különböző mélységű

szinteken szétágazó, vízszintes folyosórendszerben áramlik a levegő. A különböző szinteken futó széles folyosókat szűk és meredek *ereszkék, gurítók* kötik össze. Ezeket át a levegő az összes szinteket bejárhatja. Ezt a bonyolult áramrendszert az áttekinthetőség kedvéért *légosztályokba* osztják, melyek bizonyos mértékig egységes áramrendszert alkotnak bevezető és kivezető folyosóval. A célszerűség természetesen azt kívánja, hogy a bánya azon szakaszain, ahol munkálatok nem folynak, a szellőzés gyengébb, a munkahelyeken erősebb legyen. Egyes bányarészletek folyosóin ezért különböző légellenállást jelentő falazott légajtókat, egyszerű fa légajtókat vagy különböző sűrűségben lécekből ácsolt légreteszeket alkalmaznak.

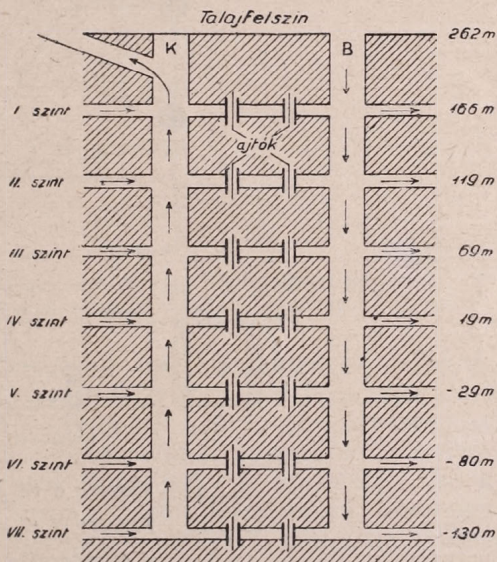
A légáramlási hálózatnak ezen bonyolult rendszerében a mesterséges energiaforrással fenntartott összdepresszió állandósága nem biztosíthatja önmagában a bánya kellő szellőztetését. Előfordulhat, hogy a bánya belsőjében egyes kisellenállású bányaszakaszokon megszökik a bányába hajtott levegő (rövidzár) anélkül, hogy a nagyobb ellenállású munkahelyeket bejárta volna. Előfordulhat az is, hogy a munkahelyekhez vezető folyosók mentén esetleges túlnagy ellenállásokon a depresszió nagyrésze felemésződik s a munkahelyekre a depressziónak igen kis hányada jut. Minthogy azonban a depresszió adja a szellőzéshez szükséges energiát, az áramlás sebessége ebben az esetben a kívánt érték alá csökken.

Az energia gazdaságos felhasználása tehát megkívánja, hogy a légosztályhoz vezető folyosók ellenállása kicsiny legyen, hogy a depresszió jelentékeny része a nagy ellenállást jelentő munkahelyekre essék s a szükséges levegőmennyiség a nagy ellenállás ellenére is áthaladjon ezeken a szakaszokon, továbbá, hogy a légosztály eredő ellenállása elegendő kicsiny legyen, mert különben a szellőzésre felhasznált levegő aránytalanul kis része jut a légosztályra s inkább a kisebb ellenállású többi légosztályon keresztül áramlik.

A mérésekkel tehát meg kell adnunk az egyes szakaszok ellenállását, a depressziónak az egyes szakaszokra való megoszlását s az egész légosztály eredő ellenállását.

4. *Légellenállásmérések bányában.* A következőkben példaképpen ismertetni fogjuk az *Első Dunagőzhajózási Társaság* vasasi szénbányájában 1942. január 23—26. között végzett mérések egy részletét.

A bánya a felszín alatt 7 szintre tagozódik, melyek egymás alatt kb. 50—50 m mélységben húzódnak. Az egyes légosztályokba a B függélyes behúzó aknából jut a levegő, amely aztán a folyosórendszerek bejárása után a K kihúzó aknán át távozik (1. ábra).



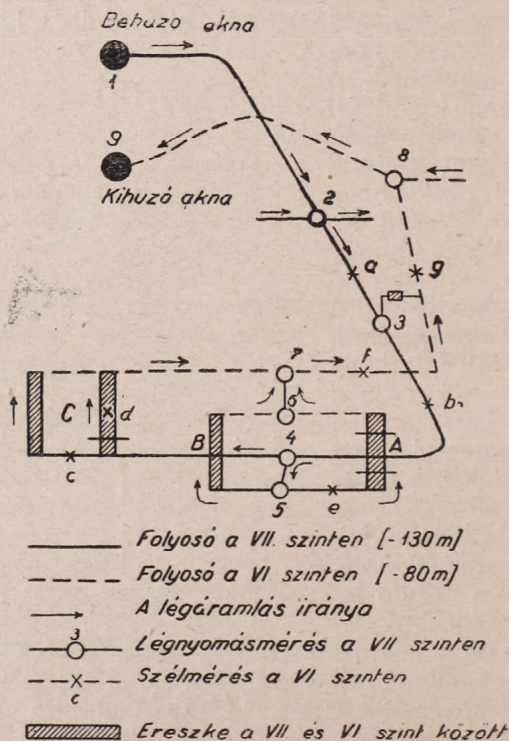
A bánya szellőztető aknáinak vázlatja

1. ábra. A bánya szellőztető aknáinak vázlatja.
— Plan of ventilation ducts of the mine.

A szellőzés tanulmányozása céljából légáramlás- és depresszióméréseket végeztünk. A légáramlásmérésekhez lapátkerékes anemométereket használtunk. A műszer érzékenységének alsó határa 0.05 m/sec. A légnyomást három aneroid-barométerrel mértük, melyek 0.1 mm leolvadási pontosságot engedtek meg.

A légáramlásméréseknél a következő eljárást követtük. Miután a folyosók keresztmetszetének nem minden pontjában ugyanaz a szél sebessége, hanem középtájon a legnagyobb, a szelvényeknek két pontján, mégpedig az alaptól számított egyharmadában és kétharmadában végeztünk szélméréseket. A két mérés középértékéből kiszámítottuk a szelvényen percenkint átáramló normálállapotú levegő térfogatát m^3 -ekben.

Az áramlási viszonyok bizonyos feltételeket rónak az egyes ágakon



2. ábra. Egyik légosztály áramrendszerének vázlatja. — Ventilation ducts in a section of the mine.

átáramló légmennyiségekre (pl. valamely áramrendszerbe percenkint beáramló és onnan kiáramló légmennyiségek egyenlők, elágazásoknál az elágazási ponthoz érkező és onnan eltávozó levegőmennyiségek összege egyenlők). Ezen áramlási feltételek teljesülése végett a kapott levegőmennyiségeket javítanunk kell.

A légnyomásméréseket a depresszió kiszámítása céljából elágazási pontokon mértük. Ezek a mérések a behúzó és a kihúzó akna szája között láncolatosan történtek. Ez előírja azt a követelményt, hogy a mért depressziók összege a bánya összdepresszióját adja. A tapasztalt eltéréseket a részdepressziókon arányosan osztjuk el.

A mérések első eredménye az volt, hogy a behúzó és a kihúzó ak-

na meután kimutatható depressziót nem találtunk, azaz az aknák légel-
lenállása a mérési határ alatt van. A két akna között ennek folytán min-
den szintben a bányá teljes depressziója: 42'2 vízmm uralkodik.

A 2. ábrán láthatjuk az egyik légosztály vázlatát. A vonalak a fo-
lyosókat, a nyilak a légáramlás irányát jelzik. A depressziómérések helye
körökkel, a szélmeréseké kereszttel van jelölve. A légosztály két szintre
terjed ki, a VII. szint folyosóit kihúzott, a VI. szintet szaggatott vonal
jelzi, míg a két szintet összekötő ereszkéket vonalkázott párhuzamosok-
kal jelöltük.

A depressziómérések eredménye:

Jelzés	Depresszió (vízmm)
1—2	0'0
2—3	1'4
3—4	5'5
4—5	0'0
5—6	27'2
6—7	0'0
7—8	5'4
8—9	2'7
Összesen:	42'2

I. táblázat. Láncolatos depressziómérések egy légosztályon át. —
A series of depression measurements through a section.

A mérések 3% javítást kívántak. Látjuk, hogy az összdepresszióból a
légosztályban (a 2. és a 8. pontok között) 39'5 vízmm használódott fel,
tehát az egész depressziónak 94%-a, míg a hozzávezetéseken mind össze
6% emésződik fel. A légosztályban felhasznált depresszióból 27'2 vízmm,
tehát 69% esik az 5. és a 6. pontok közé. Erre a szakaszra esnek a
munkahelyek s a legnagyobb ellenállást jelentő ereszkék. Minthogy a
depresszió jelenti a szellőzésnél felhasznált hajtóerőt, eloszlása a légosz-
tályban nagyon kedvező: fölösleges depresszióveszteségek a hozzáveze-
téseken nincsenek.

A légáramlásmérések eredménye:

Jelzés	sebesség m/sec	áramerősség m ³ /min
a	2'6	576
b	3'5	526
c	0'7	106
d	0'4	40
e	0'7	112
f	3'1	526
g	2'0	576

II. táblázat. Légáramlásmérések a bányá egyik légosztályában. —
Wind measurements in a section of the mine.

Az áramlási feltételek kb. 10% javítást kívántak a J értékeiben. A
fenti adatokból kiszámíthatjuk az egyes szakaszok légel-
lenállásait.

Szakasz	Ellenállás Ró
1—2	elhanyagolható
2—3	4'1
3—4	19'7
4—5	elhanyagolható
5—6 A	2170'0
B	378'4
C	1276'0
6—7	elhanyagolható
7—8	19'7
8—9	elhanyagolható

III. táblázat. A bánya egyik légosztályának részellenállásai. —
Resistances in a section of the mine.

Legnagyobb ellenállása van az A, B, C-vel jelzett szakaszoknak, melyek a munkahelyet tartalmazzák. Ezen nagy ellenállások ellenére a légosztály eredő ellenállásának kicsinynek kell lennie, mivel az összdepresszió mellett ez határozza meg a légosztályba beáramló levegő mennyiségét. Ez a kívánalom teljesül, mivel a légosztály 39'5 vízmm depresszió s 576 m³/min összes áramlás mellett csak 11'9 Ró eredő ellenállást ad.

5. *Természetes energiaforrások bányák szellőztetésénél.* Amint láttuk, a bányák szellőzéséhez szükséges légáramlás fenntartásához bizonyos depresszió szükséges, melyet rendszerint mesterséges energiaforrás útján állítanak elő. Ehhez a mesterséges energiához csatlakoznak a természet energiaforrásai s egyszer kedvezően, máskor kedvezőtlenül módosítják ennek teljesítményét.

Az előbbi példánál maradva, láttuk, hogy a levegő a behúzó aknán át jut a bányába s a folyosórendszert végigjárva a kihúzó aknán át távozik. A behúzó aknán át beáramló külső levegő végigjárva a bányá folyosóit télen rendszerint felmelegszik, nyáron lehül, ennek következtében a kihúzó akna levegőjének hőmérséklete különbözik a behúzó aknáétól. A légoszlopok hőmérsékletkülönbsége miatt egy új erő csatlakozik a mesterséges depresszióhoz, melyet *természetes depresszió*nak nevezünk.

Télen a behúzón át nehéz hideg levegő süllyed a melegebb bányába, a kihúzón át pedig könnyű meleg levegő emelkedik hidegebb külső levegő felé. Nyáron ellenben könnyű meleg levegőt viszünk le a hidegebb bányába s nehéz hideg levegőt emelünk ki a melegebb külső levegőre. Télen tehát a bánya és a külső levegő hőmérsékletkülönbsége elősegíti, nyáron hátráltatja a szellőztetést. Az egész év folyamán állandó szellőztetést emiatt télen kisebb, nyáron nagyobb mesterséges energiával érünk el.

Számítsuk ki előbbi példánkban ennek a természetes energiaforrásnak teljesítményét. Ebből a célból méréseket végeztem a bánya behúzó aknájában lefelé haladva minden szinten, továbbá a légosztály 3—8 pontjain (2. ábra), majd a kihúzó akna egyes szintjein. Ezt az utat visszafelé megismételtem. Az időközben bekövetkezett légnyomásváltozást légnyomás és hőmérsékletiró feljegyzései alapján vettem figyelembe.

A mérések eredménye :

Behúzó akna	szint	nyomás	hőmérséklet
A—B	0	953.6 mb	- 2.8 C°
	I	964.1	- 1.8
	II	969.8	- 0.9
	III	975.5	- 0.7
	IV	981.4	- 0.3
	V	987.6	- 0.2
	VI	993.4	+ 0.6
	VII	999.4	+ 1.3
Légosztály	pont	mb	C°
B—C	3	999.3	+ 4.0
	4	998.8	+ 7.2
	5	998.8	+ 7.8
	6	990.1	+ 15.7
	7	990.1	+ 15.7
	8	989.6	+ 15.8
Kihúzó akna	szint	mb	C°
C—D	VI	989.3	+ 15.8
	V	983.4	+ 16.2
	IV	977.5	+ 15.1
	III	971.6	+ 14.7
	II	964.8	+ 14.5
	I	959.9	+ 13.6
	0	949.4	+ 12.7

IV. táblázat. Nyomás és hőmérsékletmérések a bánya egyik légosztályában (1942 január 25.)
— Pressure and temperature measurements in a section of the mine.

Látjuk, hogy a bányán keresztüláramló levegő különböző állapotváltozásokon megy át, míg a bányából ismét a szabadba jutva ugyanolyan levegővé alakul, mint aminő a behúzó akna nyílásán beáramlott. Ezen állapotváltozásokat tekintve a levegő termodinamikus körfolyamatot végez, melynek egyes részletei (3. ábra) :

A—B szakasz. A levegő a behúzó aknában lesüllyed a VII. szintre, közben nagyobb nyomás alá kerül s felmelegszik. A mérési pontok közé húzott folytonos vonal alig tér el az itt húzható adiabatától, tehát ez az állapotváltozás közel hőcserementes. Ez azt jelenti, hogy a levegő oly nagy tömegben és olyan gyorsan áramlik át a kis légellenállású aknán, hogy közben a falaktól hőt nem vesz fel és nem is veszít.

B—C szakasz. A levegő a bánya belsejében szétáramlik s nagy ellenállású folyosókon át feljut a kihúzó akna VI. szintjére. Ezen az úton a folyosók falával érintkezve hőt vesz fel a bánya mély rétegeitől s hőmérséklete aránylag kicsiny légnyomáscsökkenés mellett nagymértékben emelkedik.

C—D szakasz. A levegő a VI. szintről a kihúzó aknán át felemelkedik a szellőztető berendezésnek a bánya felőli oldaláig. Nyomása és hőmérséklete újból adiabatikusan csökken.

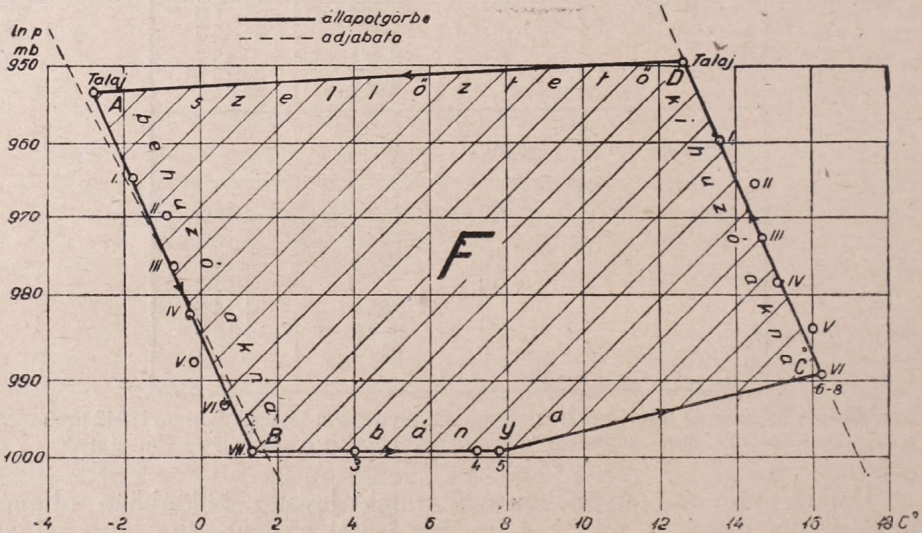
D—A szakasz. A szellőztető berendezésén át a levegő újból a szabadba jut. Nyomása a rendszer teljes depressziójával megnövekedve felveszi eredeti értékét, a bányában nyert hő pedig a szabad levegőbe kerül.

A körfolyamatot végző levegő a B—C szakaszon hőt vett fel, a D—A szakaszon pedig hőt adott át környezetének. Ez a két hőmennyiség nem azonos, minthogy a hőfelvétel és a hőeladás nem ugyanazon a nyomáson történt. A lehetőségeket világosan foglalja össze *Sandström-tétele* :

1) Ha a körfolyamatot végző gáz nagyobb nyomáson hőt vesz fel és kisebb nyomáson hőt ad át környezetének, a felvett hő a leadott hőnél nagyobb s ez a hőtöbblet a körfolyamat alatt mechanikai energiává alakul.

2) Ha a gáz nagyobb nyomáson hőt ad le és kisebb nyomáson hőt vesz fel környezetétől, a leadott hő a felvett hőnél nagyobb. A hiányt külső mechanikai energia pótolhatja, amely a körfolyamat alatt hővé alakul.

A bánya és a külső levegő közti hőmérsékletkülönbség eszerint télen nyereséget, nyáron veszteséget jelent a körfolyamat energiagazdálkodásában.



3. ábra. A levegő állapotváltozása a bányában végzett körfolyamat alatt. —
Thermodynamic cycle of the air in the mine.

Fenti példánknál eszerint a levegő körfolyamata állandóan hőt termel, amely mechanikai munkává alakul s hozzájárul a körfolyamatot fenntartó mesterséges energiához.

Ha a körfolyamatot olyan koordináta-rendszerben ábrázoljuk, melynek vízszintes tengelyére balról-jobbra növekvő értelemben a hőmérséklet, függőleges tengelyére pedig felülről lefelé növekedve a nyomás természetes logaritmusai van felmérve (3. ábra), zárt görbét nyerünk s a termodinamika ismert tétele értelmében a körülzárt területet (F) arányos a körfolyamat alatt termelt vagy leadott hővel: mégpedig, ha a körfolyamat az óramutató járásával ellentétes értelemben futja körül az F területet, a rendszer hőt termel, ellenkező esetben hőtartalékból veszít. Az arányossági szorzó az állandó nyomáson és az állandó térfogaton vett fajhő különbsége, azaz a termelt hő:

$$Q = (c_p - c_v) \cdot F.$$

Az F felületet planimetrálva az arányossági szorzó értékének beírásával nyerjük :

$$Q = 0.07 \cdot 0.713 = 0.050 \text{ cal/gr.}$$

Tehát a levegő minden grammjának körfolyamata után 0.050 cal hő termelődik. Az így nyert hőenergia munkává alakul. Ha a munka hőegyenértékét A-val jelöljük, 1 gramm levegő körfolyamata után nyert munka :

$$E = \frac{Q}{A} = \frac{0.050}{2.4} \cdot 10^8 = 2.08 \cdot 10^6 \frac{\text{erg}}{\text{gr}}$$

Gyakorlati egységekre áttérve :

$$E = 2.08 \cdot 10^2 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

Ha 1 kg levegő helyett 1 m³ levegőt veszünk :

$$E = 2.08 \cdot 1.226 \cdot 10^2 = 255 \frac{\text{Joule}}{\text{m}^3}$$

Miután a légosztály eredő áramerőssége :

$$J = 576 \text{ m}^3/\text{min},$$

a természetes depresszió teljesítménye a légosztályban :

$$W = \frac{576 \cdot 255 \text{ Joule}}{60 \text{ sec}} = 2450 \text{ Watt.}$$

Ebből az 1 m³-re eső teljesítmény :

$$w_t = 4.24 \text{ Watt/m}^3.$$

Ezt az értéket összehasonlíthatjuk a mesterséges energiaforrás 1 m³ levegőre eső teljesítményével. A bánya teljes levegőáramlása kb. 4200 m³/min, az ehhez felhasznált elektromos szellőztető teljesítménye 90000 Watt. Ebből az 1 m³-re eső teljesítmény :

$$w_m = 21.4 \text{ Watt/m}^3.$$

Azt mondhatjuk tehát, hogy a például választott légosztályban a természetes depresszióknak a szellőzéshez hozzájáruló teljesítménye a mesterséges energiaforrás átlagos teljesítményének közel 20%-át tette ki.

Láthatjuk, hogy a természetes depresszió állandóan működő erőt jelent, amely télen mesterséges szellőztetés nélkül is fenntartana bizonyos légáramlást, ennek erősségét a hőmérsékleti viszonyok és a bánya ellenállása szabná meg. Miután azonban ez rendszerint nem elegendő, azonkívül az év folyamán jelentős ingadozást mutat, a természetes depressziót mesterséges energiával kell pótolni. Ennek teljesítményéhez azonban, amint láttuk, a természetes depresszió jelentékeny mértékben hozzájárul.

Hasonló jelenség lép fel mély barlangokban, ahol a belső és a külső hőmérséklet elegendőképpen különbözik egymástól. Mesterséges szellőztetés hiányában ezeknél a természetes viszonyok zavartalanul tanulmányozhatók. Példaképpen megemlítem Steiner Lajosnak* a dobsinai jégbarlang hőmérsékleti viszonyaira vonatkozó tanulmányát. A barlangon kívül és a barlangban elhelyezett önrő műszerek többek között azt mutatták, hogy a legalacsonyabb téli hőmérséklet általában ugyanarra a napra esett a barlangban és a barlangon kívül, míg a legmele-

* Dr. Steiner Lajos: *Hőmérsékleti viszonyok a dobsinai jégbarlangban.* M. Tud. Akad. Matematikai és Természettudományi Értesítő. Budapest, 1922. XXXIX. 61—75. old.

gebb nyári nap a barlangban jóval később következett be, mint a külső levegőn. Ennek okát *Steiner* a levegőcserében látja, amennyiben a téli hónapokban (XI, XII, I, II. hó) a külső levegő hidegebb s élénk a levegőcsere, míg nyáron a külső melegebb levegő nehezebben jut a barlangba, emiatt azután késik a felmelegedés is.

Minden barlang eszerint levegőcserét fenntartó és irányító energiaforrásnak tekinthető, amelynek teljesítménye a hőmérséklettel változó évi menetet mutat. Ez a teljesítmény légnyomás, hőmérséklet és légáramlásmérésekkel kiszámítható s a barlang — mesterséges barlangoknak tekinthetjük a földalatti bányákat is — jellemzésére értékes adat lehet.

Dr. Béll Béla.

Az angol meteorológiai szolgálat módszereinek fejlődése.*

A hosszú háború egyik legfájdalmasabb következménye a tudományos pályán működők szempontjából az volt, hogy megszűntek a külföldi kutatókkal való kapcsolatok és semmit sem tudhattunk meg abból a nagy fejlődésből, amely ennyi idő eltelte alatt a világ különféle államaiban végbement.

Hét éve van annak, hogy Intézetünknek az egész világot behálózó kapcsolatai lazulni kezdtek. Eleinte késve és akadózva még megkaptuk a legfontosabb külföldi kiadványokat, de 1942-ben végleg megszakadt minden összeköttetésünk Angliával és az Egyesült Államokkal, vagyis éppen azokkal a szellemi központokkal, amelyekben tudomány-szakunknak a legsebesebb fejlődése játszódott le. A németek pedig bizalmatlanságukban odáig mentek, hogy tudományos kiadványaikat nem küldték meg.

Nem titok senki előtt sem az, hogy az elmúlt háborúban a meteorológiai szolgálatoknak igen nagy feladat jutott, sőt túlzás nélkül mondhatjuk, hogy sok alkalommal döntő jelentőségű volt. Tudjuk azt is, hogy a nagyszabású meteorológiai szolgálatok kiépítésében éppen a Szövetséges Hatalmak voltak legbőkezebbek és bizonyos, hogy ennek a fejlődésnek a tudomány haladásában is gazdag gyümölcsöt kell hoznia.

Most első ízben nyílik alkalom, hogy ebből a nagy és gyümölcsöző fejlődésből kissé pontosabb vonásokat is megpillanthassunk. A londoni Meteorological Office igazgatója, *Sir Nelson Johnson*, egy ünnepi előadásban foglalta össze a meteorológia háborúalatti fejlődését.

Johnson igazgató beszámolóját 1945. nov. 30-án mondotta el a Royal Institution előtt, azután pedig kinyomatta a *Nature* 1946. március 2-i számában: „Recent Advances in Meteorological Method”. (Legújabb vívmányok a meteorológia kutatásmódjában). A dolgozat bevezetésében vázolja azt a helyzetet, amelybe az időjelző szolgálat a háború kitörésekor jutott. Az ellenséges államok és a legtöbb semleges állam is azonnal beszüntették az adatközléseket. Az óceáni hajók ugyancsak beszüntették a rádióadásokat, hiszen titkolni kellett, hogy a hajók hol időznek. Ezzel az óceáni adatszolgáltatás teljesen megbénult és visszasüllyedtünk abba a kezdetleges állapotba, amely a rádió bevezetése előtti időkben állott fenn, hogy az óceán alapvetően fontos időeseményeiből semmit sem lehetett megtudni.

Az időjelző szolgálatok tehát éppen legfontosabb kiinduló adataiktól voltak megfosztva, ezzel szemben azonban azt követelték tőlük, hogy a hadigényeknek megfelelően sokkal bővebben kidolgozott időjelzések készüljenek. Ebben a nehéz helyzetben alakultak ki azok az új kutatási módok és megoldások, amelyeket *Johnson* nyomán bemutatok.

Az első ilyen hadiszükségletből született kutatóeszköz: az úszó észlelőállomás. A németek az óceán hullámain lebegő bójákat helyeztek el, amelyeken egy önműködő megfigyelőállomás dolgozott. Maga az önműködő észlelőállomás nem volt újdonság, az Egyesült Államokban 10 évvel ezelőtt készültek ilyen állomások, hogy a nehezen megközelíthető helyek adatait folyamatosan közöljék. Ezen észlelőállomások működése a rádiószonda-elven alapszik. A rádiószondák elve ilyen célokat is kitűnően ki tud szolgálni. A németek tehát azt tették, hogy a szondát nem bocsátották fel léggömbbel a levegőbe, hanem egy úszó bóján belevetették az óceán vizébe.

Ez a bója csőalakú volt: 9 m a hossza és fél m az átmérője. A cső belsejében elhelyezett készülékek megadták a légnyomást, a levegő hőfokát és a viznek a hőfokát. Az utóbbi két adat egymagában is fontos a légtömegelemzéshez, hiszen tudvalevő, hogy

* A Meteorológiai Intézet tisztikara előtt tartott előadás, 1946. április 25.