

## Igényekhez igazított rendszerek

Gondolatok ipari csarnokok levegőellátásáról

**A primerenergia árának erős növekedése a 70-es években, valamint az ipari munkahelyek jogos komfortigénye is ahhoz vezetett, hogy mára a levegőellátás hatékonysága minden ipari szellőztető berendezés fontos szempontja.**

**Az összekuszált fogalmak sokfélesége mellett, mint például forrászellőzés, elárasztásos szellőzés, impulzusszegény keverőszellőzés, keverőszellőzés irány sugarakkal stb., különösképpen a domináló üzemmódok túl kis súlya nehezíti meg az optimális légosztás kiválasztását. A helyes működéshez ugyanis el kell dönteni, hogy fűtésre vagy hűtésre használják-e, illetve mekkora hőmérséklet eltéréssel dolgoznak.**

---

Dr.-Edgar Beck mérnök

### Ellentétes elvárások

A jó légosztástól elvárjuk, hogy a befűvott levegőt (többnyire frisslevegőt) huzatmentesen, a megfelelő mennyiségben és állapotban szállítsa oda, ahol szükséges. A tartózkodási területet tehát a lehető legtisztább, nem kevert levegővel kell ellátni - hőmérséklettől függően - max. 0,2 m/s - 0,3 m/s sebességgel. Ez alapjában véve műszakilag megoldható, pl. egy finomelosztatású levegőbeszállítással az aljzatburkolaton keresztül és födém alatti elszívással, azaz a klasszikus elárasztásos levegőztetés mintaformájával. A gyakorlatban épp az ipari csarnokokban való alkalmazásnál vannak nagy problémák. Többnyire gyártástechnikai okokból, mint pl. talajterhelés, a gépek elrendezésének flexibilitása, stb., ideális szellőztető rendszerek nem lehetségesek vagy az ehhez szükséges beruházás költsége túl magas. Ehhez jönnek még a csarnok geometriájából, anyagmozgatásból (pl. daru) és a légosztás lehetséges sérüléseiből (az tudja, aki már egyszer ipari csarnokba légcsatorna rendszert tervezett) adódó megszorítások, úgyhogy végül a relatív nagy légmennyiséget (3000 - 8000 m<sup>3</sup>/h) egy légosztón kell a 100 - 800 m<sup>2</sup> felületen elosztani. Ehhez magas kilépési sebesség szükséges, ezzel az is világos, hogy az előzőekben ismertetett ideális eset nem valósítható meg.

(“A kecske is jóllakjon, a káposzta is megmaradjon”) Ez tehát az a követelmény, ami a légtechnikának kihívást jelent és amelyre legalábbis az üzemmódokra vonatkozóan korlátozott megoldást kell találnia. Végleges megoldás, azaz egy egyetemes “gyógyszer” minden üzemállapothoz nem létezik.

### Az üzemmód meghatározza a légszállítást

A kilépő légsebesség mellett a légosztás döntően a hőmérsékletkülönbségtől függ. A levegőhőmérséklet és a sűrűség változásának következményeként a befűvott levegő a helyiségben alászáll vagy felemelkedik. A számításoknál ezt kell figyelembe venni, pl. az Archimédes-számmal. A hőmérsékletnek, illetve a gravitációnak ez a befolyása a legtöbb esetben különös

jelentősséggel bír, mivel a körülmények a naptári év folyamán egyre változnak. Téli fűtési üzemtől az izotermikus fűtésen keresztül a nyári hűtési üzemig minden lehetőség adott, így a légosztás szinte megoldhatatlan feladat előtt áll:

### Fűtés

A beszállított levegő hőmérséklete magasabb, mint a helyiséglevegő hőmérséklete és ezáltal könnyebb is. Pl. a légsűrűség 20 °C-nál 1,2 kg/m<sup>3</sup>, a légsűrűség 35 °C-nál 1,146 kg/m<sup>3</sup>. A sűrűségkülönbség miatt a befűvott levegő úszik a helyiségben, ami azt jelenti, hogy a keletkező felhajtóerő felfelé mozgó gyorsulást okoz. Vannak lehetőségek, amelyek ellensúlyozzák ezt a rétegződést:

- Légosztásnál fentről lefelé nagy kilépési sebesség = nagy dinamikus energia. Ezáltal huzatjelenség léphet fel, azaz a különböző hőmérséklet eltéréseknél egy állítható légosztó szükséges.
- Lehetséges alacsony hőmérséklet eltéréssel dolgozni, ez nagy légmennyiséget és ennek megfelelően magas beruházási költséget kíván.
- A hőmérsékletkülönbség gyorsabb csökkentése nagy indukció által (keverés). Ezzel azonban a munkaterületre befűvott levegő már nem olyan tiszta, mint a keverés nélkül betáplált.

A felhajtó erő, mivel alulról felfelé irányul, mindenekelőtt a vízszintes léglékosztásnál jelent problémát.

### Hűtés

A befűvott levegő hidegebb és ezáltal nehezebb, mint a helyiség levegője, ezért lesüllyed. A tartózkodási zónában a nagy légsebesség olyan követelmény, ami épp az alacsony hőmérsékletű befűvott levegővel összefüggésben huzatjelenséghez vezet.

Kiút lehetséges:

- A frisslevegő légosztása nem függőlegesen fentről lefelé történik, tehát a mennyezetnél is a levegőnek vízszintesen vagy legalább ferdén kell a jelentéktelen függőleges irányú komponensekkel áramolnia.
- Lehetőleg alacsony hőmérsékletkülönbséggel kell dolgozni; ez nagy légmennyiséget, illetve magas befektetési és üzemeltetési költséget von maga után.
- Nagy indukció (keverés), amivel a hőmérsékletkülönbség gyorsan megszüntethető és a huzatjelenség (hidegérzet) elkerülhető. Ezzel azonban a szellőztetés hatékonysága romlik.

Mivel hűtési üzemben a gravitáció fentről - azaz a tartózkodási terület irányába - hat, ez mindenekelőtt a fentről lefelé történő légszállítás problémáját jelenti. Ennélfogva ezen a vízszintes irányú szellőztetéssel lehet könnyebben úrrá lenni.

### Izoterm üzem

Az izoterm üzem alkalmazása viszonylag jelentéktelen, mivel az év folyamán tiszta formában csak rövid ideig alkalmazható. Elméleti megfontolásként (és a légosztás beállításaként is) azonban fűtési és hűtési üzem közötti határként jelentős.

## Milyen gyakorlatban alkalmazott rendszerek vannak?

A nagyon eltérő igények miatt a gyakorlatban elsősorban két szellőztetési rendszert alkalmaznak.

### Függőleges légosztás

Ezalatt a gyűjtőfogalom alatt azokat a légosztókat értjük, amelyek a tetőszerkezet közelében a készülékre vagy a légcsatornára vannak szerelve.

A gyáracsarnokok szokásos, 6 - 12 méter belmagasságánál elsősorban különböző kivitelű örvénykamrákat (1-es ábra), kivételes esetben levegőrácsokat is alkalmaznak.

Szokás szerint minden ilyen légosztó állítható és ezzel a különböző üzemi feltételekhez (hőmérséklet-eltérés) hozzáigazítható. Ezt a frisslevegő és helyiséglevegő közötti hőmérséklet-eltérés alapján kézzel vagy automatikus vezérléssel lehet elérni. A légosztók kifogástalan működésének feltételeihez az egymást követő üzemmódok az alábbiakban határozhatók meg:

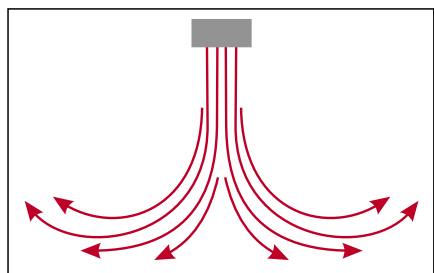


Ábra 1: Örvénykamra ipari csarnokokhoz «Függőleges légosztás»

### Fűtés

A frisslevegő nagy sebességgel áramlik be fentről lefelé. Ezáltal egy légkúp keletkezik, mely az indukció miatt kifelé egyre inkább kiszélesedik. Az egyenes légosztásnál, tehát a sugarak mesterséges kiterjesztése nélkül, pl. perdítőlemezen keresztül, az indukció az első 3-4 méternél szinte nulla, azaz alig lép fel keveredés a helyiséglevegővel.

A helyes beállításnál tehát egyenesen úgy fújják be a frisslevegőt, hogy a teljes tartózkodási területen a légcsera a felhajtó erőn keresztül menjen végbe és ezzel a légáramlás úgy jön létre, hogy semmiféle huzatjelenséget nem eredményez. Ekkor az indukció alacsony; fentről oldalra és utána ismét fentre történő nagy tömegű kiszorításról van szó. A szellőztetés hatékonysága tehát nagyon magas (2-es ábra). A maximális hőmérsékletkülönbség a kifúvási magasságtól függően elérheti a 30, sőt 40 °C-ot.



Ábra 2: Függőleges légosztás fűtési üzemben

A szematikus hőmérsékletváltozás a magasságon keresztül mutatja, hogy csak alacsony hőmérsékletkülönbség lép fel, a rétegződés alacsony (3-as ábra).

Egyedi eset:

Alacsony kifúvási magasságnál a kifúvási kúpot úgy kell kiszélesíteni, pl. rotációval, hogy a kifúvási kúp közepén szétváljon és így egy belső henger keletkezzen, ami által jelentősen megnő az indukció. Ekkor arra kell figyelni, hogy a kifúvási kúpon belül lehetőleg ne legyen károsanyagemittens, mivel akkor az elárasztásos szellőztetés helyett erős kevertszellőztetés jön létre, ami levegő minőségének romlását okozza.

## Hűtés

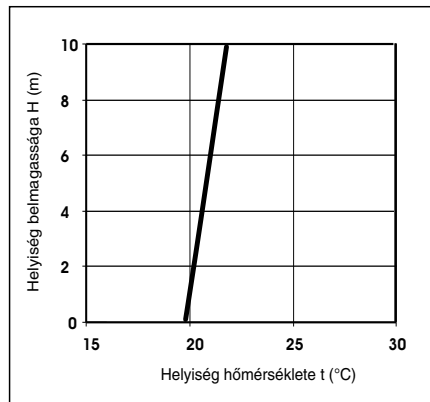
Hűtési üzemnél a frisslevegőt rendszerint vízszintesen és nagy indukcióval fújják be a helyiségbe, ami onnan lassan, a hőmérséklet-eltérésnek megfelelően süllyed lefelé úgy, hogy egy belső léghenger keletkezik (4-es ábra).

A szellőzésnek ezzel a formájával ki lehet küszöbölni a huzatjelenséget; a befúvott levegő azonban nagyon intenzíven keveredik a helyiség levegőjével.

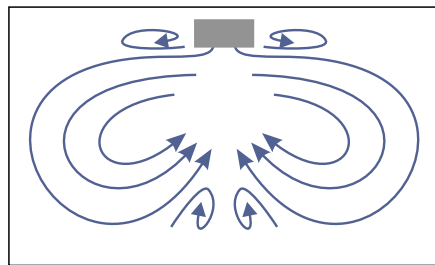
Egy ideális kevertszellőztetésről van szó, ami csak alacsony károsanyag kibocsátásnál ésszerű. Ezzel a légszálítással hűtik az egész helyiséget fentről lefelé. Ahogy a mérések mutatják, a hőmérséklet fentről lefelé növekszik. A hűtés hatékonysága ezért alacsony (5-ös ábra). A maximálisan megengedett hőmérsékletkülönbség elsősorban a csarnok magasságától illetve a kifúvási magasságtól függ; az irányérték 1,5 K/m lehet.

## Izoterm üzem

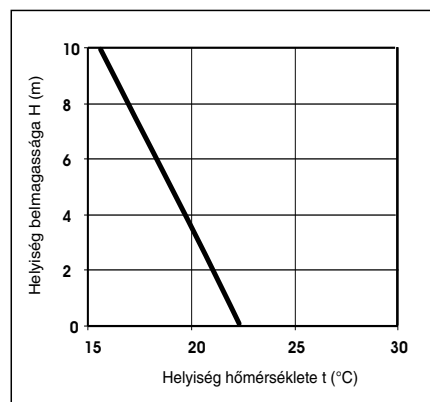
Az izoterm feltételeknél a befúvott levegőt egy kúpban, ami rendszerint belül nyitott - lefelé fújják. Ezáltal kétoldali indukció keletkezik, amely egy belső és egy külső hengert jelent. A befúvott és a helyiséglevegő keveredése tehát relatívan nagy, még ha nem is olyan mértékű, mint hűtési üzemnél (vízszintes kifúvás). Itt szintén nem lehet nagy emittens a befúvottlevegő-kúp belsejében.



Ábra 3: Függőleges légosztás szematikus hőmérsékletváltozása fűtési üzemnél (H= 10 m)



Ábra 4: Függőleges légosztás hűtési üzemben

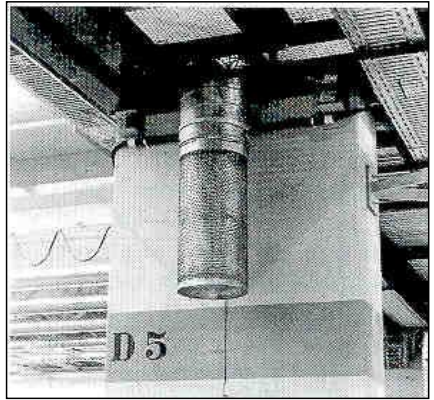


Ábra 5: Függőleges légosztás szematikus hőmérsékletváltozása hűtési üzemnél (H= 10 m)

## Vízszintes légosztás

Ezalatt azt a léglégosztást kell érteni, ahol a befűvott levegőt többnyire vízszintesen szállítják be - a szerelés 3 - 4 m magasságban történik - (6-os ábra).

A készülékeket - tévedésből gyakran a kiszorító vagy forráslevegő légosztóként jellemzik - a következőképpen lehet ismertetni:



Ábra 6: Sugárirányú léglégosztás ipari csarnokokhoz  
«Vízszintes légosztás»

## Fűtés

Ahogy már teoretikusan megállapítottuk, a felhajtóerő a vízszintes légbeszállításnál nehézséget okoz. Túl erős függőleges (srég) légosztás nem lehetséges, mivel különben a légosztó közelében a nagy sebesség miatt huzatjelenség alakul ki.

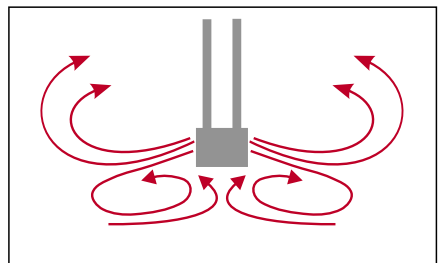
A kompromisszumot épp a tartózkodási terület feletti nagy sebességű szelőlőztetés szemlélteti, amelynél az indukción keresztül a tartózkodási zónában léghengerek jönnek létre, melyek a fűtést kielégítik. A meleg befűvott levegő nagy része és ezzel az energia is a csarnok felső részébe távozik, így feleslegesen kárba vész (7-es ábra).

A fűtés hatékonysága tehát alacsony. A tartózkodási zónában egy relatív magas légcsere alakul ki, ami a károsanyag kibocsátásnál problémát okoz.

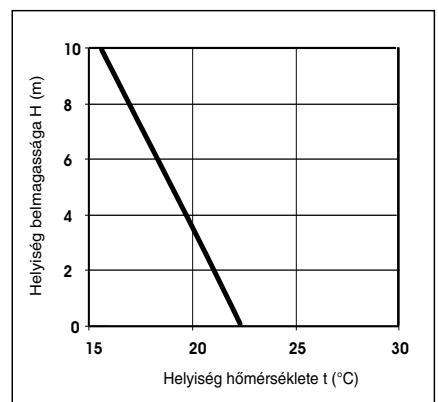
A sematikus hőmérsékletváltozás ábrája mutatja, hogy a levegő a légosztó fölött egyértelműen melegebb, mint a tartózkodási területen, ezáltal a hőszükséglet nagyobb (8-as ábra). Hogy ezt a hátrányt csökkentsék, a maximális hőmérséklet-eltérést 5 K-ra korlátozzák. Egyedi eset:

A nagy légsebesség, azaz a tartózkodási területen a huzatjelenség megengedett (pl. munkaidőn kívül).

Így a meredek, szinte függőleges légosztáson keresztül a terem nagyon gyorsan és intenzíven felfűthető. Konkrétan ezzel a módszerrel lehetséges a munkaidő kezdete előtti felfűtés a csökkentett hőmérsékletről az előírtre.



Ábra 7: Vízszintes légosztás fűtési üzemből



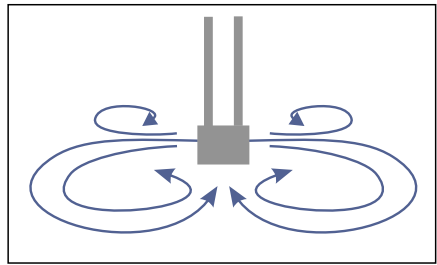
Ábra 8: Vízszintes légosztás sematikus hőmérsékletváltozása hűtési üzemből (H= 4 m)

## Hűtés

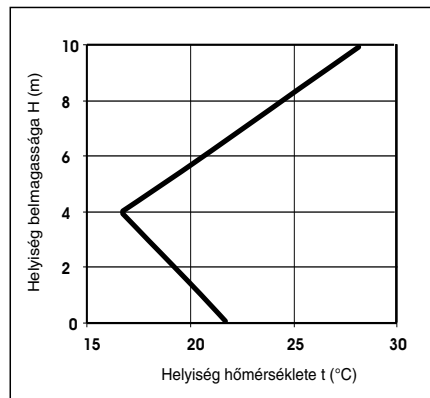
A légosztás a függőleges áteresztésnél leírtak szerint történik, azonban most a kifúvási magasság csak kb. 3-4 méter. Ezzel a tartózkodási zónát lényegesen intenzívebben járja át a friss levegő.

A gravitáció által kiszorító szellőztetés von maga után (9-es ábra). Erősen csökken a befúvott levegő veszteség a csarnok felső részében, ahol összegyűlik a meleg és normál esetben az elszennyeződött levegő is (10-es ábra). Ezzel a hűtési igény alacsonyabb illetve a szabad hűtés potenciálja lényegesen hatékonyabban hasznosítható.

A maximálisan lehetséges hőmérséklet eltérés kb. 10 K.



Ábra 9: Vízszintes légosztás hűtési üzemben



Ábra 8: Vízszintes légosztás sematikus hőmérsékletváltozása hűtési üzemnél (H= 4 m)

## Izoterm üzem

A huzatjelenség elkerülése érdekében a befúvott levegőt kissé ferdén fújják lefelé.

Ezáltal felső és alsó szekunderhengerek keletkeznek, ami magas indukcióhoz és légcseréhez vezet. A szellőztetés hatékonysága tehát aránylag kicsi, még ha nem is olyan rossz, mint a fűtési üzemnél.

## Hol kell az elszívást elvégezni?

Az elszívóhely helyes megválasztásával a légbeszállítás hatékonysága erősen javítható. Az eltérő követelményektől függően érvényesek az alábbi, különböző üzemmódokra és légszállítási rendszerekre vonatkozó javaslatok.

### Függőleges légosztás

#### Fűtés

Az elszívásnak a befúvottlevegő-kúpokon kívül, lehetőség szerint a födém közelében kell végbemennie. Ez hátráltatja legkevésbé a légvezetést és egyidejűleg a távozó hő által, pl. hővisszanyeréssel, ismét magasabb hőmérséklet nyerhető.

#### Hűtés

Az elszívást lehetőleg a légosztó alatt kell megvalósítani, hogy ne hátráltassa az áramlást.

A függőleges légosztó olyan messzire nyúljon be a terembe, hogy a meleg, elszennyeződött levegő fölött összegyűlhessen, így ott kelljen elszívni.

### Vízszintes áteresztés

#### Fűtés

Az elszívást a légosztó alatt kell létrehozni. Ezzel a befűvottlevegő-ellátás hatékonysága javítható. Az energiagazdag emittensnél az elszívás fent is lehetséges.

#### Hűtés

Mivel a légosztó alatt egy "hideglevegő tenger" képződik, a meleg (többnyire elszennyeződött) levegő felszál. Ez annál jobb, minél magasabb a hőmérséklet-eltérés. Az elszívásnak a légosztó felett kell lennie.

### Mi a javaslatunk?

- A fűtési üzemhez ajánlatos a fentről lefelé, függőleges légosztón keresztül történő légvezetés, aminél a belső léghenger kialakulása (üres befűvottlevegő-kúp) elkerülhető.
- A hűtési üzemnél a vízszintes légszállítás ajánlott a tartózkodási terület közelében (kifúvási magasság 3 - 4 m).
- Mivel általában mindkét üzemmód szükséges, a kiválasztás a domináló üzemmód szerint történjen. Tehát az egyik üzemmódnál (fűtés vagy hűtés) meg kell elégednie a csökkentett hatékonysággal. Ezt a kompromisszumot a lehetőleg automatikusan vezérelt, állítható légosztás könnyebben elviselhetővé teszi.
- Lehetséges, de bizonyos költségekkel jár, egy egység alkalmazása mindkét rendszerhez, vagy a kifúvási magasság megváltoztatása függőleges légosztásnál, feltéve, ha a helyi adottságok, mint pl. darupálya és hasonlók, ezt lehetővé teszik.