

Gravitációs vagy mesterséges? Laképületek szellőzésének energetikai kérdései

Baumann Mihály
adjunktus
PTE MIK Épületgépészeti Tanszék

Pécsi Tudományegyetem
Pollack Mihály Műszaki Kar
7624 Pécs, Boszorkány u. 2.

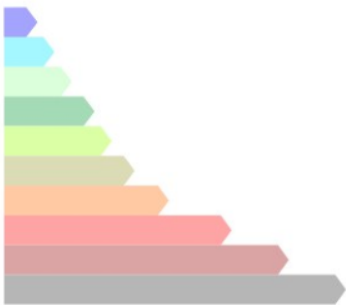


A légtömörség szerepe

- Az épületállomány túlnyomó része természetes szellőztetésű → szabályozhatatlan
- 2020/31/EU direktíva értelmében 2018 dec. 31 után középületek és 2020 dec. 31 után épülő új épületeknek közel nulla energiaigényűnek kell lennie.
- Ebből adódik, hogy a filtrációs hőveszteséget is minimalizálni kell.

$$Q_f = \dot{V} * \rho * c * (t_{belső} - t_{belépő}) * (1 - \eta)$$

- Mivel a \dot{V} -t nem tudom csökkenteni, ezért csak úgy tudom a filtrációs hőveszteséget csökkenteni, hogy jó hatásfokú (η) hővisszanyerőt építsek be. Ez a szemlélet Észak Európában már elterjedt és remélhetőleg az 2010/31/EU direktívának köszönhetően hazánkban is el fog terjedni.



Mennyi levegő szükséges?

- **Belépő levegő:**

$$t_k = 4 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\varphi_k = 90 \text{ [%]}$$

- téli átlaghőmérséklet

$$x = 4,585 \text{ g/kg}$$

- **Távozó levegő:**

$$t_b = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\varphi_b = 60 \text{ [%]}$$

$$x = 8,846 \text{ g/kg}$$

- **Az épületben elpárolgott víz naponta:**

$$\dot{m}_{\text{víz}} = 15 \text{ [kg/nap]}$$

- növények-, emberek által, stb.

- **Az épület mérete:**

$$A = 100 \text{ [m}^2\text{]}$$

- hasznos alapterület

$$BM = 2,7 \text{ [m]}$$

- belmagasság

- **Kérdés:**

Mekkora szellőzőlevegő térfogatáram szükséges a bepárolgott nedvesség elszállítására?

Mennyi levegő szükséges?

- **Épület térfogata:**

$$V = A \cdot BM = 100 \cdot 2,7 = 270 \text{ [m}^3\text{]}$$

- **Szellőző levegő tömegárama:**

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_{\text{víz}}}{\Delta x} = \frac{\dot{m}_{\text{víz}}}{x_b - x_k} = \frac{15}{0,008846 - 0,004585} = 3520 \left[\frac{\text{kg}}{\text{nap}} \right] = 147 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

- **Szellőző levegő térfogatárama:**

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{147}{1,20} = 122 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

- **Szükséges légcseré:**

$$h = \frac{\dot{V}}{V} = \frac{122}{270} = 0,453 \left[\frac{1}{\text{h}} \right]$$

Óránként ennyiszor kell kicserélni a levegőt az épületben, hogy a felszabaduló párát el tudjuk szállítani!



Falakon megy ki a pára?

- **Épület külső falak felülete:**

$$A = K \cdot BM = 4 \cdot 10 \cdot 2,7 = 108 \text{ [m}^2\text{]}$$

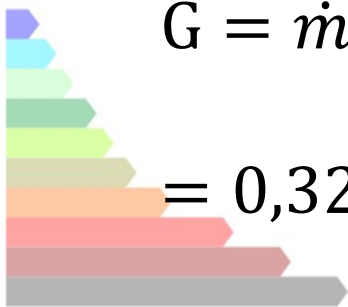
- **Diffundálódó vízgőz fajlagos tömegárama:**

$$\dot{g} = 3,5 \cdot 10^{-5} \left[\frac{g}{m^2 s} \right]$$

- **Vízgőz tömegárama:**

$$\dot{G} = \dot{m} \cdot A = 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 108 = 3,78 \cdot 10^{-3} \left[\frac{g}{s} \right]$$

$$= 0,327 \left[\frac{kg}{nap} \right]$$



Mennyi levegő szükséges?

- **Ember CO₂ termelése:**

$$v = 15-30 \text{ l/h} = 4,17-8,33 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Külső levegő koncentrációja:**

$$C_k = 400 \text{ ppm} = 0,0004 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

- **Belső tér megengedett koncentrációja:**

$$C_m = 1000 \text{ ppm} = 0,001 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

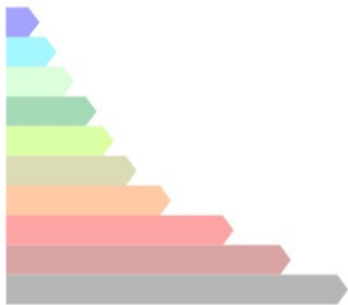
- **Az elszállításához szükséges térfogatáram:**

$$V = \frac{v}{(C_m - C_k)} = \frac{4,17 \cdot 10^{-6}}{(0,001 - 0,0004)} = 0,00694 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

$$V = 25 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

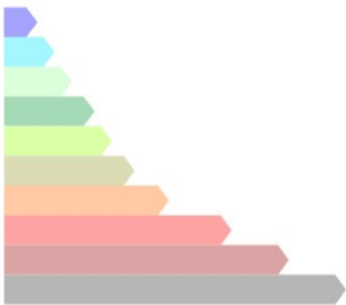
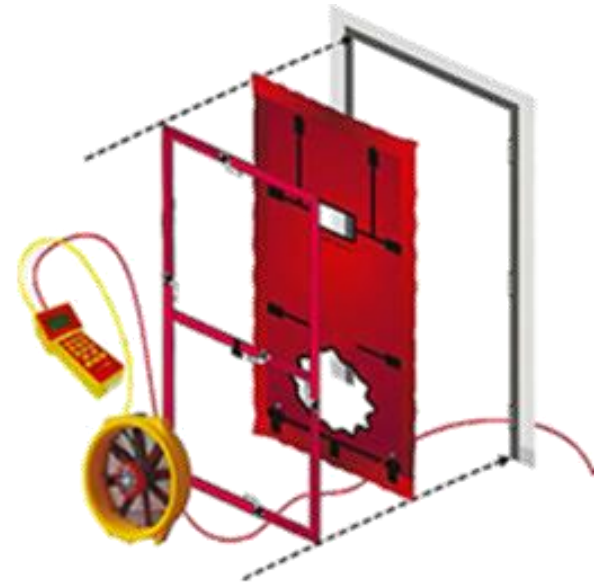
Épületek légtömörség mérése

- **BLOWER DOOR**
- A Blower Door mérés során a mérendő helyiségbe vagy épületbe mérjük az adott nyomáskülönbség mellett a befújt, vagy elszívott légmennyiséget.
- A műszer folyamatosan méri a külső és belső tér közötti nyomáskülönbséget és a beállított értéken tartja, ennek függvényében változtatja a ventilátor fordulatszámát, így a befújt légmennyiséget is.
- Épületek minősítési céljára a BlowerDoor mérés a legelterjedtebb.



A BlowerDoor műszer felépítése

- Ajtókeret
- Fólia keret
- Axiál ventilátor
- Frekvenciaváltó
- Nyomás és térfogatáram mérő
- Számítógép, szoftver



A mérések típusai, célja

Légcserezszám („A” típusú mérés)

Az épület légcserezszámát határozzuk meg, használati állapotban.

Az épületburok állapota az adott évszak használatának megfelelő legyen, olyan, mint ahogyan a fűtő- és klímaberendezés használata közben jellemző.

Légtömörség („B” típusú mérés)

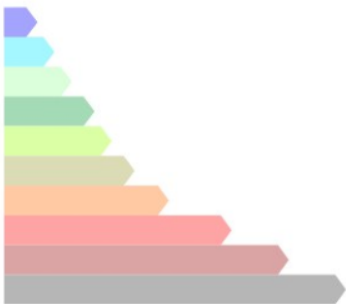
Az épület légtömörségét határozzuk meg, a szerkezetek hibáinak a feltárásával.

Valamennyi a burkon található nyílást be kell zárni, illetve tömíteni kell.

Tömörtelenségek feltárása

A helyiségben állandó (50 Pa) nyomáskülönbséget tartunk és a helyiségből távozó levegő helyét keressük meg.

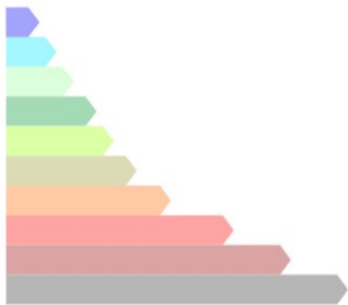
Mindegyik mérésnél az összes **homlokzati** nyílászárónak **zárt**,
a **belső** ajtóknak **nyitott** állapotban kell lenniük!



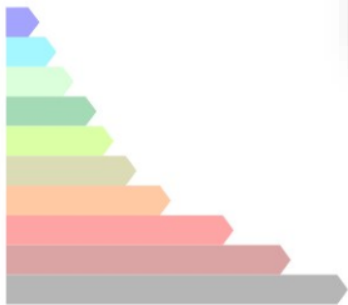
Mérési példa Hagyományos építési módú családi ház



- A mérést nem a főbejáraton, hanem a garázsbejárón végeztük.



Faláttörések komfort és állagvédelmi problémái



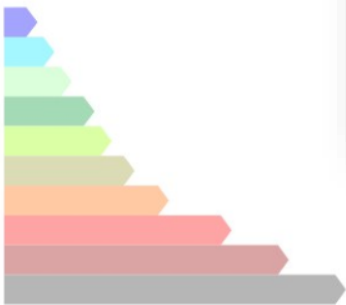
A mérés előkészítése (füstgázvisszáramlás elkerülése)



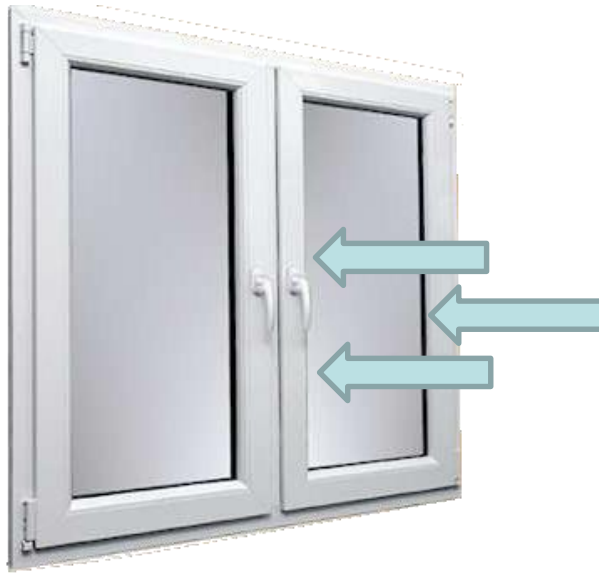
Nyílt égésterű gázkazán



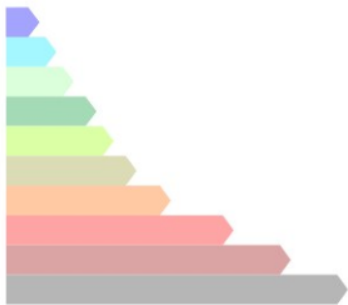
Kandalló



Befúvás, elszívás különbsége?



$$50 \text{ Pa} = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$



További mérések

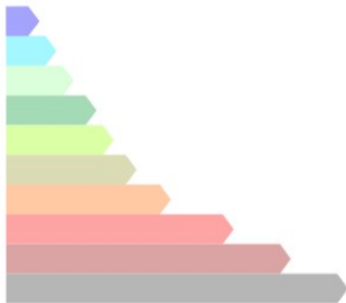
- Belső és külső hőmérsékletet mérése.
- Szélesebesség mérése, vagy a Beaufort skála szerinti szélerősség meghatározása.
- Külső és a belső tér közötti természetes nyomáskülönbség mérése.
- A hőmérsékleteket és a szélesebességet lehetőség szerint a mérés ideje alatt folyamatosan regisztráljuk.



KIMO KH 250

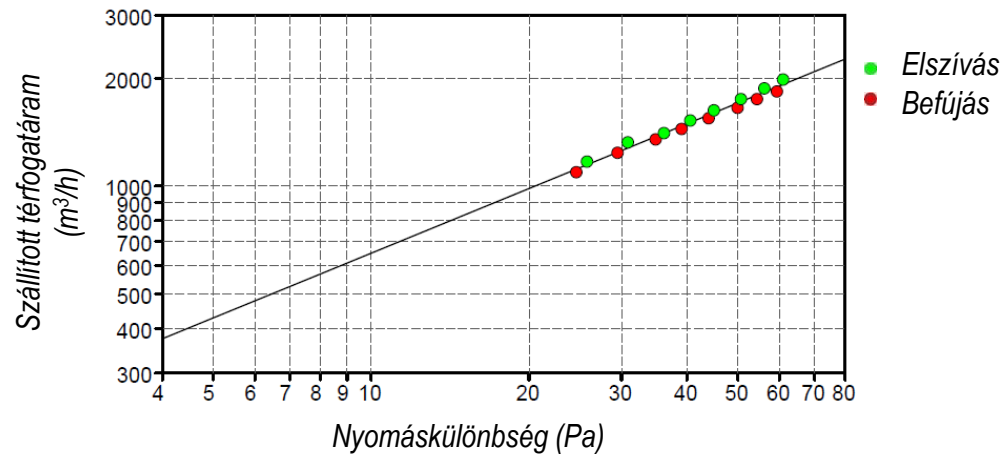


KIMO AQ 200



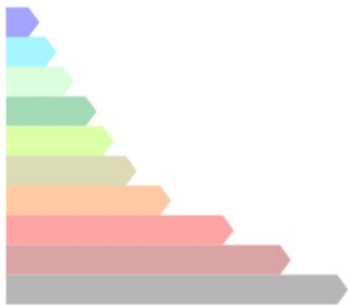
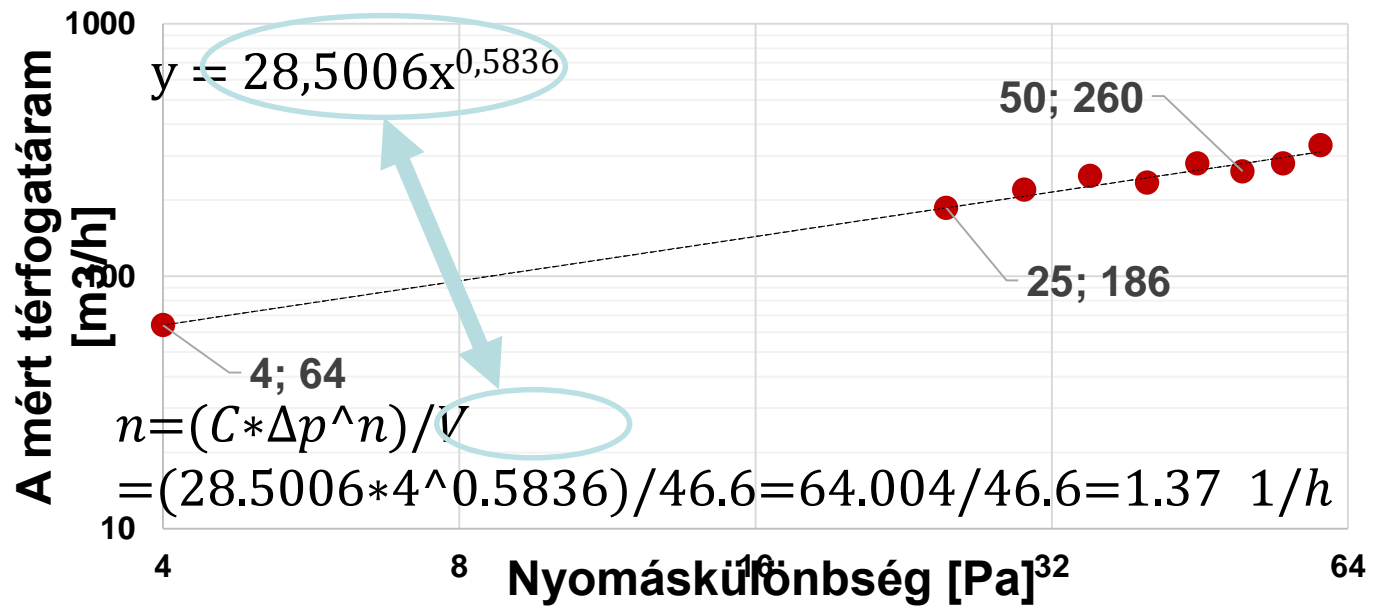
A mérés menete

- A ventilátor 70-25 Pa nyomáskülönbséig 5 Pa-onként megméri és regisztrálja a szállított légmennyiséget.
- Ha stabilizálódott a nyomás, 100 mérést végez, az átlagát jelöli a diagramon.



Mérési eredmények, kiértékelés

- Leíró egyenlet meghatározása



Tömítetlenségek feltárása Blower

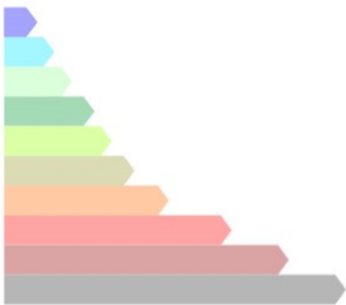
„A” mérés családi ház, állandó $D_p=50$ Pa



Lakásszellőző befúvó, elszívó (0,58 m/s)

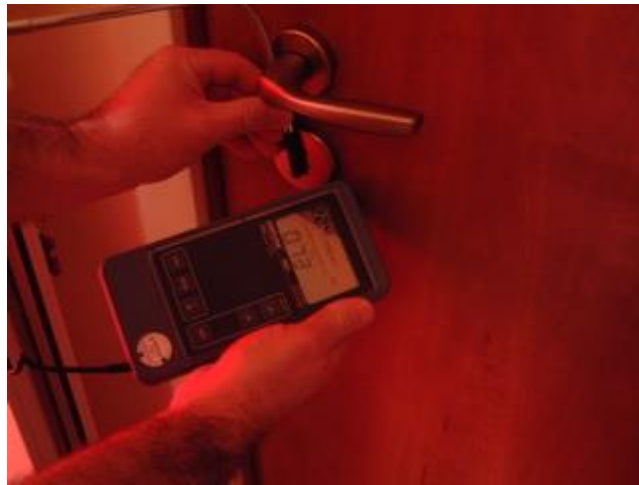


Ajtó-ablakrések (0,26 m/s)



Tömítetlenségek feltárása Blower Door-ral

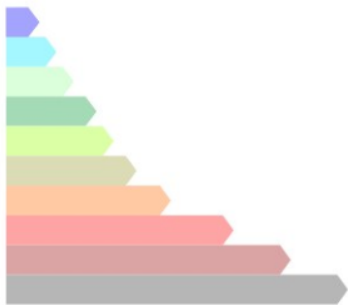
„A” mérés családi ház, állandó $D_p=50$ Pa



Belső ajtó garázs felé, kulcslyuk (0,76 m/s)



Belső ajtó garázs felé (0,59 m/s)



Tömítetlenségek feltárása Blower Door-ral

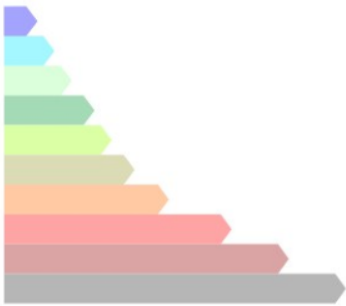
„A” mérés családi ház, állandó $D_p=50$ Pa

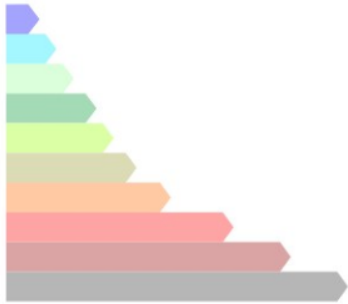
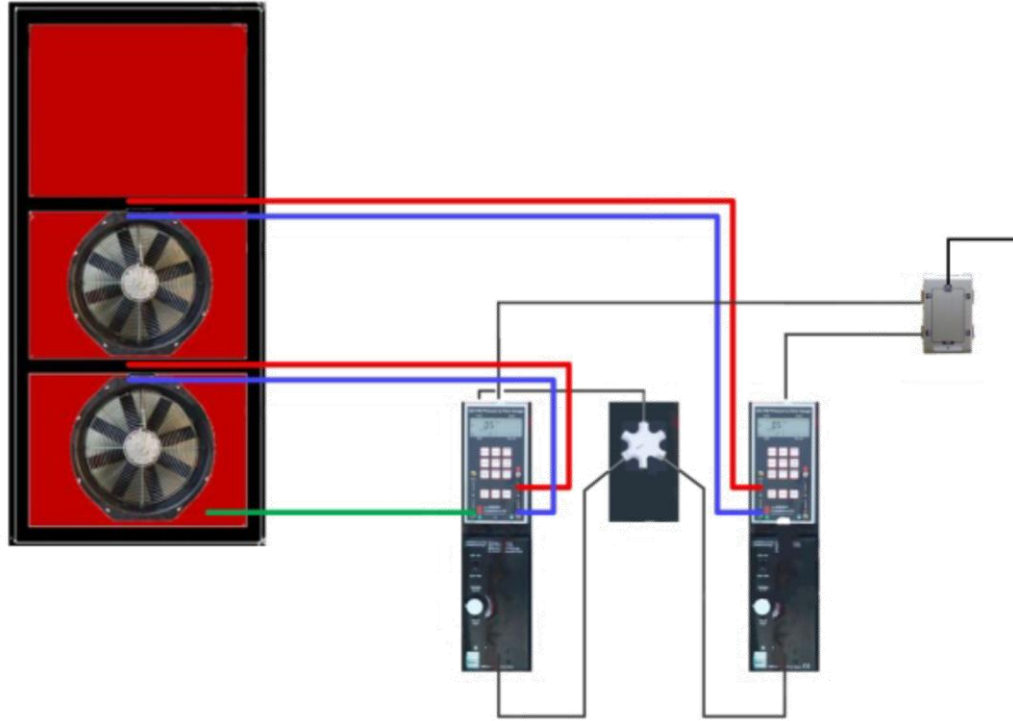


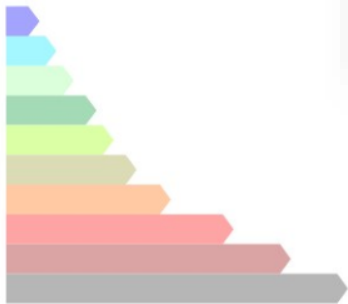
Kapcsolók (0,96 m/s)



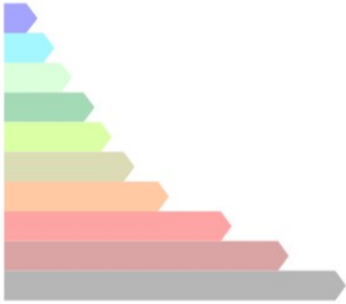
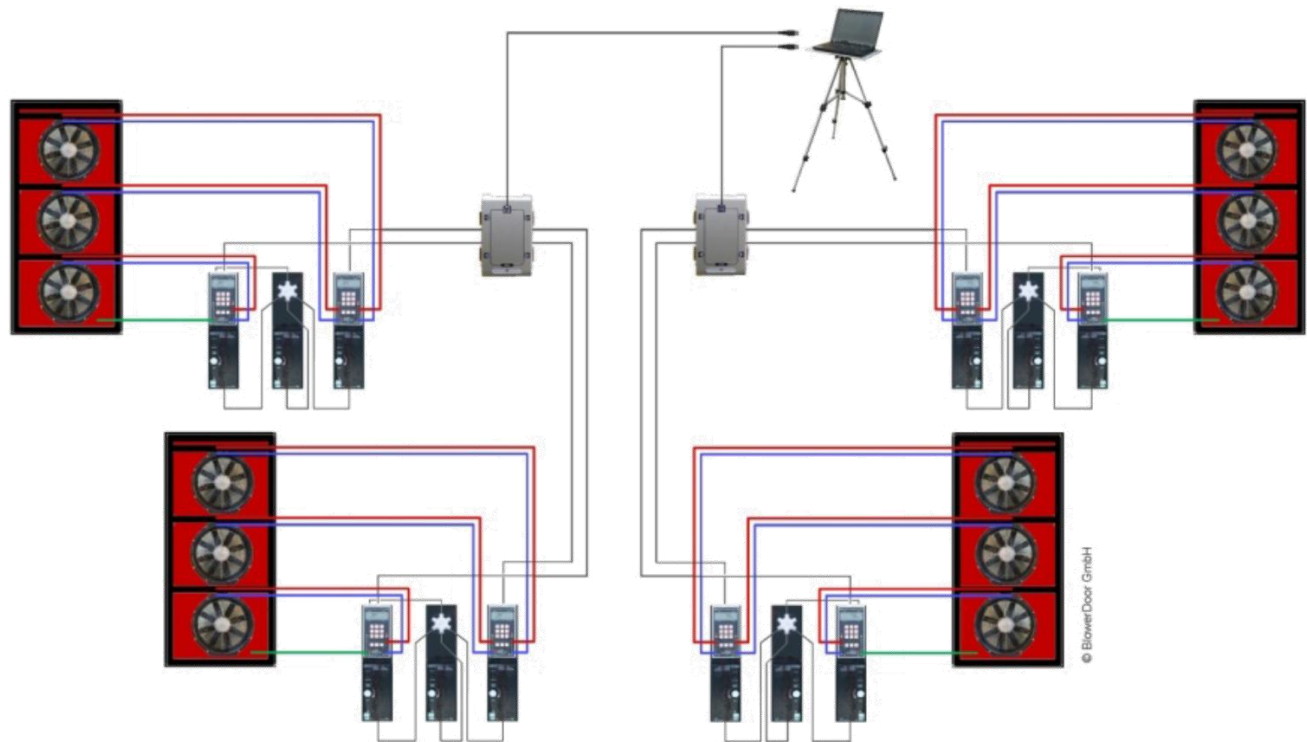
Dugaljak (0,00 m/s)







Több ventilátoros mérés BlowerDoor-ral



Természetes légcseré mérése nyomjelző gázzal

A nyomjelző gázzal végzett mérés során a mérendő **helyiségbe** egy a természetben nem vagy csak igen csekély mértékben jelenlévő **gázt juttatunk és mérjük annak koncentráció csökkenését.**

Előnye, hogy számottevően nem befolyásolja a mért jellemzőt, azaz a légcserét, hiszen nem hozunk létre a mérés során olyan állapotokat, melyek befolyásolják azt.

De egyben ez a legnagyobb **hátránya** is, mivel csak az adott pillanatban mért légcserét, azaz a spontán légcserét jellemezhetjük vele.

Továbbá hátránya, hogy jóval **drágább** a BlowerDoor mérésnél.

→ Kiváltható-e BlowerDoor-ral?



Természetes légcseré mérése nyomjelző gázzal

A természetes légcseré mérésének legnagyobb problémája, hogy az időjárási viszonyoktól függően csak egy **adott időpillanatra érvényes**, hiszen bármilyen változás a belső és külső tér közötti hőmérsékletkülönbségben vagy a szél intenzitásában növeli vagy csökkenti a légcseré mértékét.

Annak érdekében, hogy a mért adatokból bármilyen konklúziót le tudjunk vonni és össze tudjuk hasonlítani **további paraméterek rögzítése szükséges:**

- külső léghőmérsékletet (t_e)
- belső léghőmérsékletet (t_i)
- légsebességet a jellemző homlokzaton (v)
- külső és belső tér közötti nyomáskülönbséget (Δp)



Természetes légcseré mérése nyomjelző gázzal

Alkalmazott nyomjelző gázok követelményei:

- *mérhető legyen*
- *jól keveredjen a levegővel*
- *természetes koncentrációja alacsony legyen.*
- *nem lehet gyúlékony, irritáló*
- *nem lehet ártalmas emberre*
- *nem lehet ártalmas a mérendő épületre annak berendezési tárgyaira.*

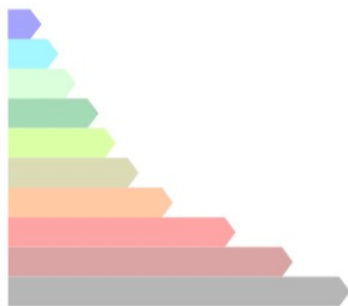


A leggyakrabban alkalmazott „tracer gas” a Kén-hexafluorid (SF6) annak ellenére, hogy drága és a levegőnél közel ötször nehezebb, így a megfelelő keveredést ventilátorral kell segíteni.

Természetes légcseré mérése nyomjelző gázzal

Alkalmazott mérőeszközök:

Az általunk használt „tracer gas” mérésére egy a LumaSense Technologies által forgalmazott INNOVA 1412i Photoacoustic Gas Monitor-t használunk.



Természetes légcseré mérése nyomjelző gázzal

További mérőeszközök:

**A légsebesség és a
külső hőmérséklet mérésére**



*Kimo AQ200 O irány független
légsebességmérő*

**A belső léghőmérséklet
mérésére**

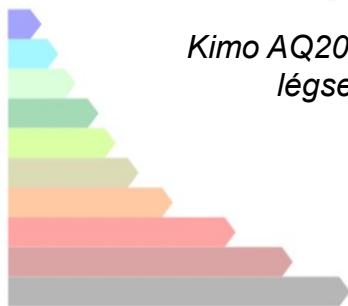


Kimo KH250 léghőmérséklet mérő

**A külső és belső tér közötti
nyomáskülönbség mérésére**

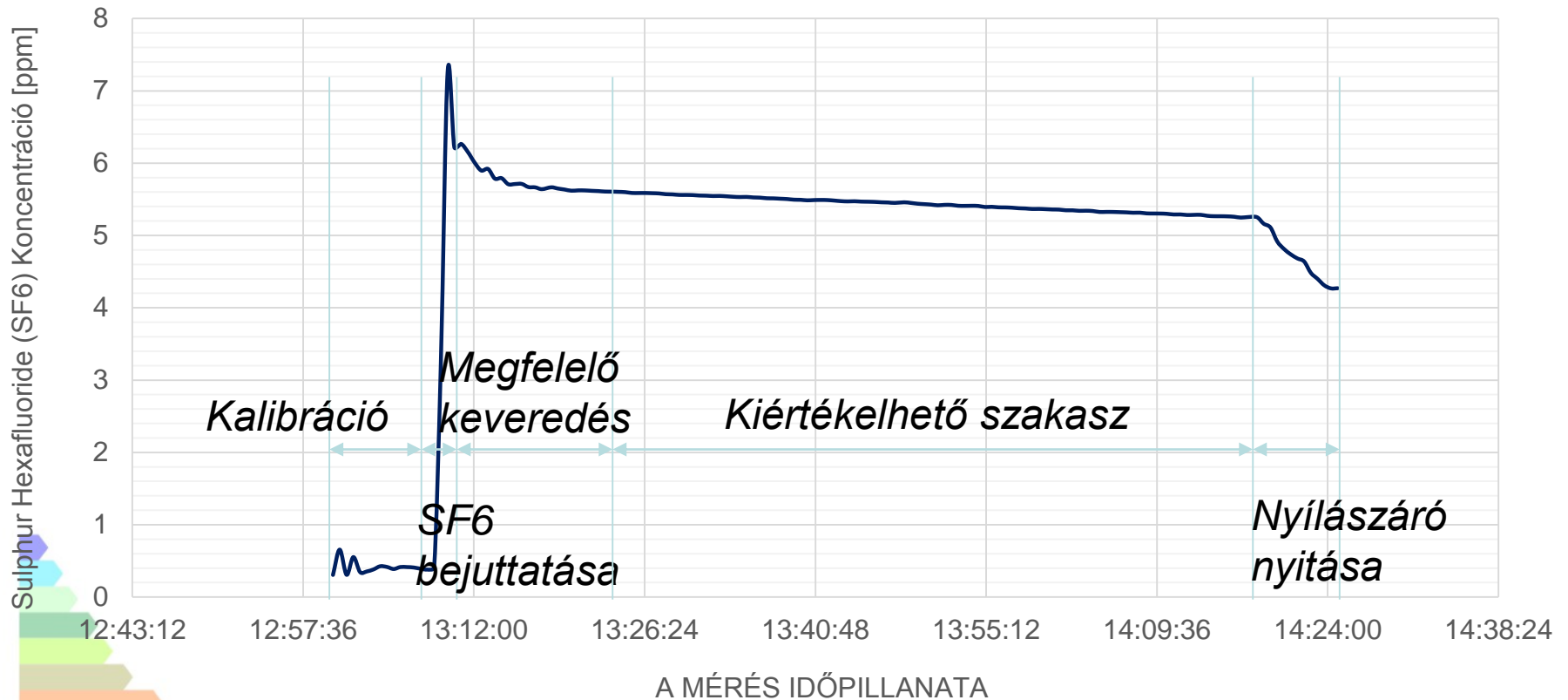


Kimo AMI 301 nyomáskülönbség mérő



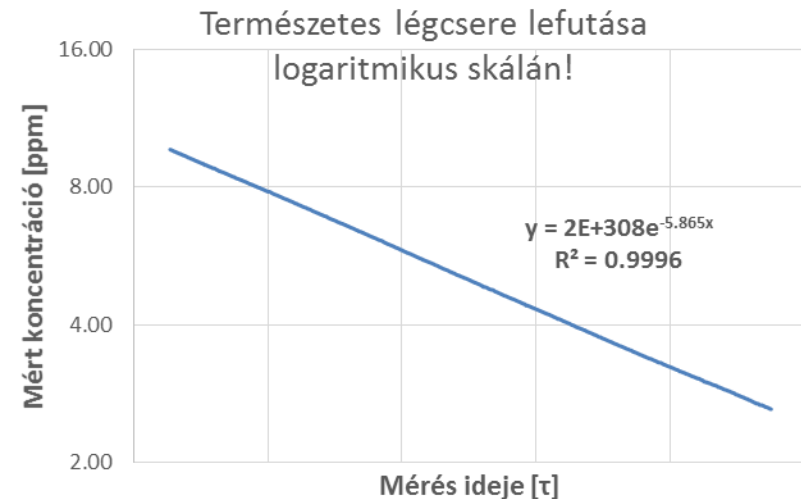
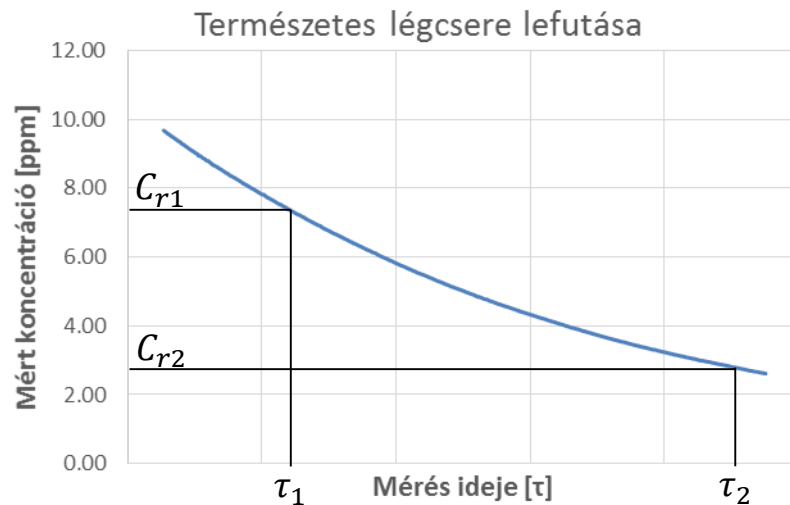
Természetes légcsere mérése nyomjelző gázzal

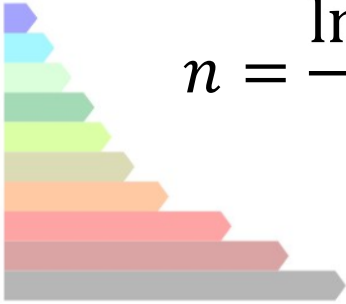
Mérési eredmények értelmezése:



Természetes légcseré mérése nyomjelző gázzal

A légcsereszám meghatározása:




$$n = \frac{\ln C_{r1} - \ln C_{r2}}{\Delta\tau} \left[\frac{1}{h} \right]$$

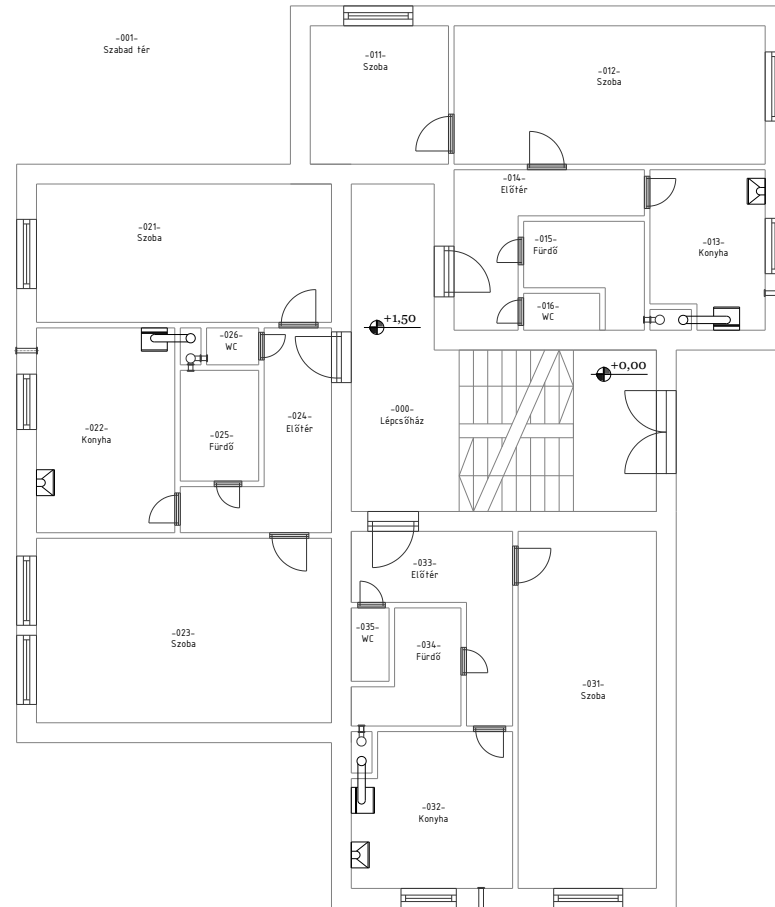
Ahol:

C_{r2} - koncentráció az értékelt szakasz végén

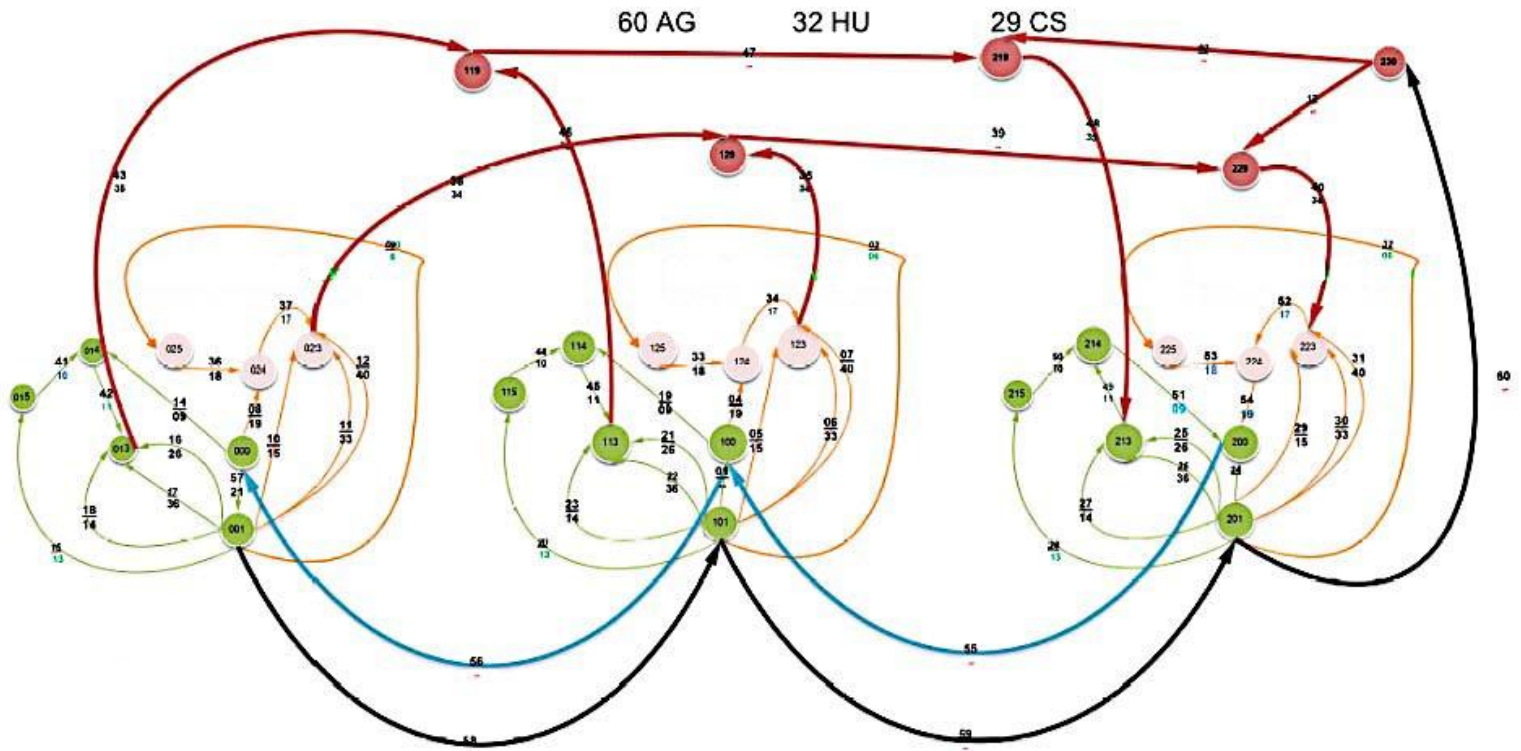
C_{r1} - koncentráció az értékelt szakasz elején

$\Delta\tau$ - az értékelt szakasz időtartama

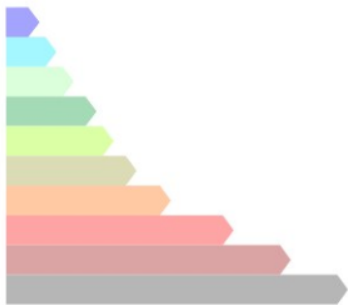
Légcserre számítása



Hálózati gráf

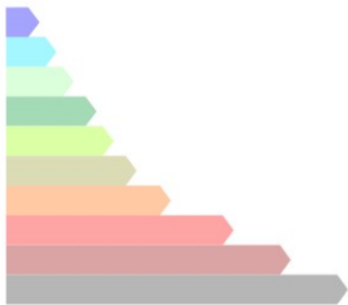


- Termikus felhajtóerő
- Szél okozta nyomáskülönbség
- Ventilátorok
- Kémények, kürtők



Passzív elemek

- Nyílászárók
- Légbevezetők
- Légcsatornák, kürtők
- Légrácsok



$$\dot{V} = a \cdot l \cdot \sqrt[3]{\Delta p^2} \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Nyílászárók

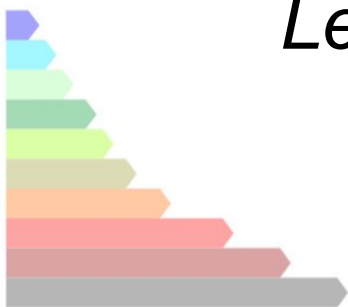
Zárt helyzetben:

$$\dot{V} = a \cdot l \cdot \sqrt[3]{\Delta p^2} \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Nyitott helyzetben:

Sokkal kisebb lesz az ellenállása.

Leíró függvény?



Nyílászárók

Foldszint - 014_013 Konyha ablak

Csatlakozási pontok

Név alap:	Képzett név:
013	013
001	001

Szakasz típusa

- Nyílászáró
- Ventilátor
- Kémény, kürtő
- Légbeeresztő
- Egyéb

A szakasz kizárva

Tömegáram: -23,67 kg/h

Összellenállás: -35 Pa

OK

Elvet

Sűgő

Megnevezés: Nyitható ablak (DIN 18055 B C D) 120*150

Réstérvező: zárva nyitva

Réstérvező: 0,3 1000 Réshossz: 5,4 m Nyitva

Hőmérséklet: tkülső °C

Kiindulási tömegáram: 0 kg/h

Megjegyzés:

Diagram

Tartomány: -100 - 100

Légforgalom elemek

- +

Ventilátorok

1. szint - 107_026 WC-elszívó

Csatlakozási pontok

Név alap: Képzett név:

Szakasz típusa

- Nyílászáró
- Ventilátor
- Kémény, kürtő
- Légbeeresztő
- Egyéb

A szakasz kizárva

Tömegáram: 81,11 kg/h

Összellenállás: **38 Pa**

Megnevezés:

Polinom értékek:

Hőmérséklet: °C

Kiindulási tömegáram: kg/h

Megjegyzés:

Diagram

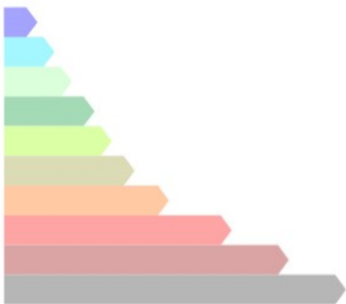
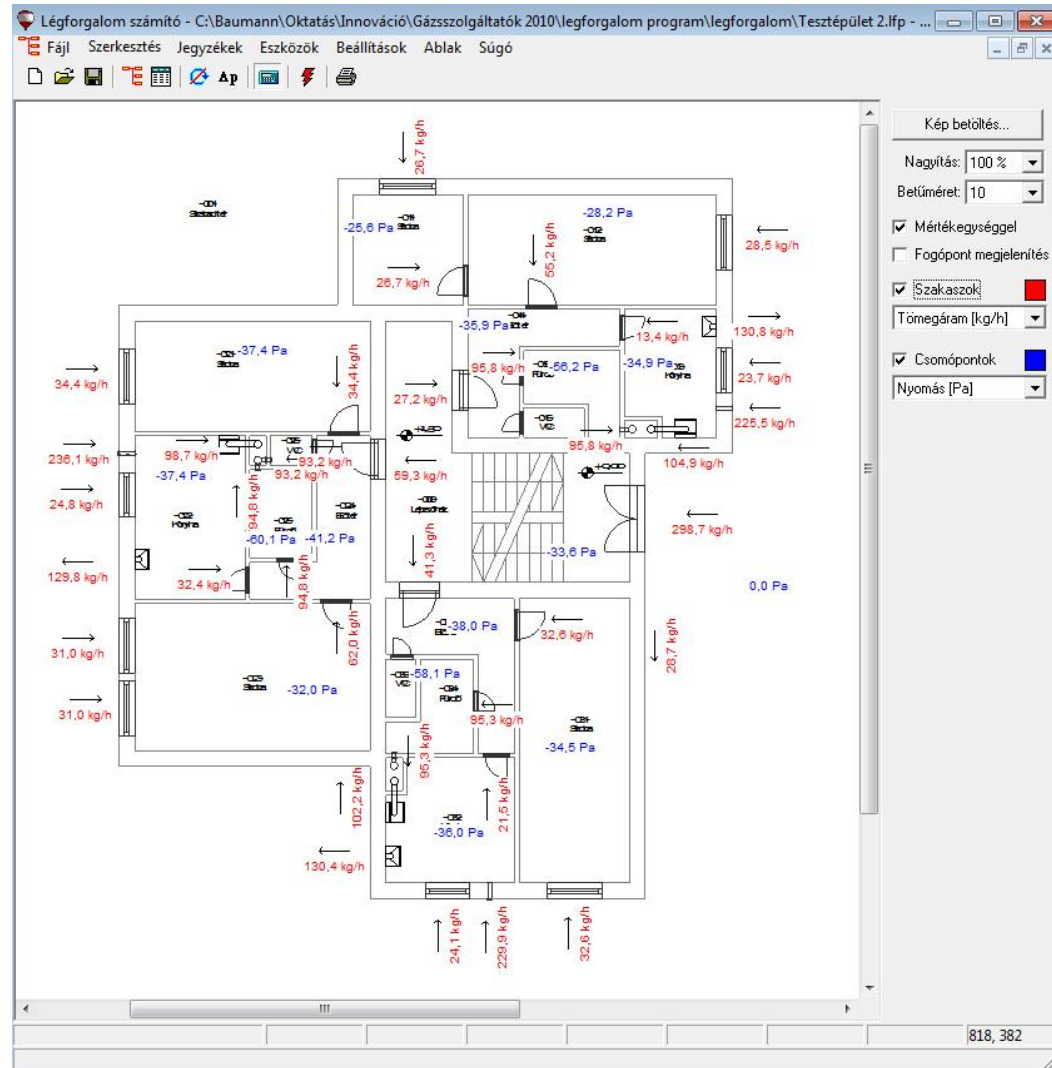
Tartomány: -

- Falozott kémények
- Elszívó ventilátorok
 - szellőző ventilátor
 - ALB-125 1 fokozat**
 - ALB-200-B 1 fokozat
 - ALB-200-C 1 fokozat
 - DVEC-200A-07 7 fokozat
 - DVEC-200A-07 6 fokozat
 - DVEC-200A-07 5 fokozat
 - DVEC-200A-07 4 fokozat
 - DVEC-200A-07 3 fokozat
 - DVEC-200A-07 2 fokozat
 - DVEC-200A-07 1 fokozat
 - DVEC-250A-07 7 fokozat
 - DVEC-250A-07 6 fokozat
 - DVEC-250A-07 5 fokozat
 - DVEC-250A-07 4 fokozat
 - DVEC-250A-07 3 fokozat
 - DVEC-250A-07 2 fokozat
 - DVEC-250A-07 1 fokozat
 - DX-200 1 fokozat
 - DX-400 2 fokozat
 - DX-400 1 fokozat
 - HV-200-4 1 fokozat
 - HV-250-4 1 fokozat
 - HVR-150-2 1 fokozat
 - HVR-150-2-RE 1 fokozat
 - HVR-150-4 1 fokozat
 - MV-100A 2 fokozat
 - MV-100A 1 fokozat

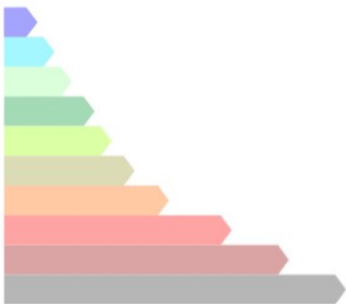
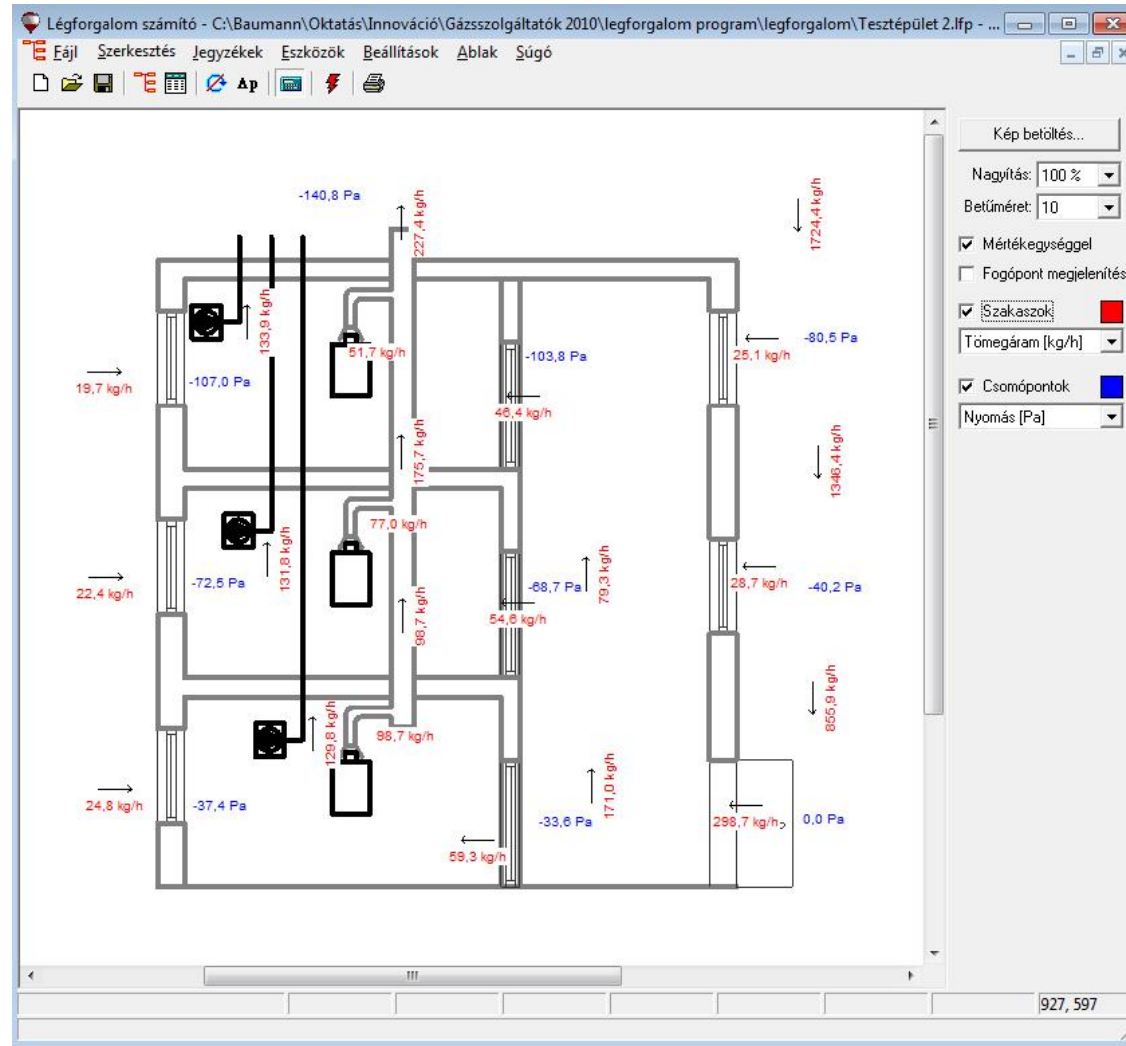
Számítási eredmények

Szakasz jele	Megjegyzés	Csatlakozási pontok	Típusa	V [m ³ /h]	m [kg/h]	ΣΔp [Pa]	t [°C]	Nyitott
0. szint kültér-1.szint kültér	001-101	001-101	Kürtő, kémény	-626,1	-855,9	40,23	-15	-
001_011 Szoba ablak	011-001	011-001	Nyílászáró	-19,5	-26,7	-25,58	-15	-
002_012-011 Szoba-Szoba ajtó	011-012	011-012	Nyílászáró	22,4	26,7	2,61	20	-
003_012-014 Előtér-Szoba ajtó	012-014	012-014	Nyílászáró	46,2	55,2	7,76	20	-
004_012 Szoba ablak	012-001	012-001	Nyílászáró	-20,8	-28,5	-28,19	-15	-
005_021 Szoba ablak	021-001	021-001	Nyílászáró	-25,2	-34,4	-37,39	-15	-
006_025 Fürdő elszívó	025-3k	025-3k	Ventilátor	79,4	94,8	80,71	20	-
007_026 WC-elszívó	026-3k	026-3k	Ventilátor	78,1	93,2	74,86	20	-
008_024-021 Előtér-szoba ajtó	024-021	024-021	Nyílászáró	-28,8	-34,4	-3,82	20	-
009_014-000 Előtér-lépcsőház ajtó	000-014	000-014	Nyílászáró	22,8	27,2	2,38	20	-
0-1 közt 1. kémény	01k-11k	01k-11k	Kürtő, kémény	111,6	104,9	27,75	100	-
0-1 közt 2. kémény	02k-12k	02k-12k	Kürtő, kémény	105,0	98,7	27,88	100	-
0-1 közt 3. kémény	03k-13k	03k-13k	Kürtő, kémény	108,7	102,2	27,90	100	-
0-1 szint lépcsőház	000-100	000-100	Kürtő, kémény	143,2	171,0	35,13	20	-
010_015-014 Fürdő-előtér ajtó	015-014	015-014	Nyílászáró	-80,3	-95,8	-20,26	20	-
011_014-013 Előtér-konyha ajtó	013-014	013-014	Nyílászáró	11,2	13,4	1,01	20	-
013_015 Fürdő elszívó	015-3k	015-3k	Ventilátor	80,3	95,8	84,60	20	-
014_013 Konyha ablak	013-001	013-001	Nyílászáró	-17,3	-23,7	-34,94	-15	-
015_022 Konyha ablak	022-001	022-001	Nyílászáró	-18,1	-24,8	-37,44	-15	-
016_024-026 Előtér-WC ajtó	024-026	024-026	Nyílászáró	78,1	93,2	24,73	20	-
017_024-022 Előtér-konyha ajtó	024-022	024-022	Nyílászáró	-27,1	-32,4	-3,77	20	-
018_025-024 Fürdő-előtér ajtó	025-024	025-024	Nyílászáró	-79,4	-94,8	-18,88	20	-
019_024-000 Előtér-lépcsőház ajtó	000-024	000-024	Nyílászáró	49,7	59,3	7,64	20	-
020_033-000 Előtér-lépcsőház ajtó	000-033	000-033	Nyílászáró	34,6	41,3	4,44	20	-

Számítási eredmények

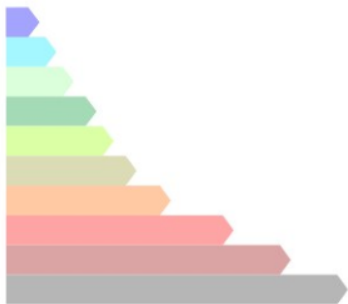


Számítási eredmények



Számítási variációk

- Hőmérsékletek változtatása
- Szakaszok kizárása
- Nyílászárók kinyitása



Környezeti hőmérsékletek beállítása

Projekt beállítások

Hőmérsékletek, légnyomás

Légtérnyomás: 103,81 kPa

Külső levegő (tkülső): 15 °C

Fűtött térben (tfűtött): 20 °C

Fűtetlen térben (tfűtetlen): 16 °C

Lépcsőházban (tlépcsőház): 20 °C

Kéményben (tkémény): 60 °C

Kürtőben (tkürtő): 20 °C

További szimbólumok:

Elnevezés: Érték: °C

Elnevezés	Érték [°C]



Szakaszok, nyílászárók

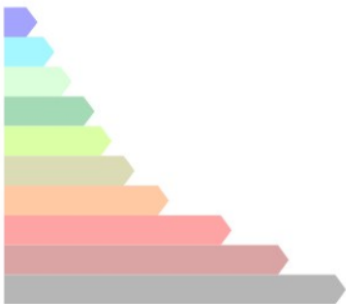
Üzemállapot adatok módosítása

Hőmérsékletek Szakaszok

Nyitott nyílászárók

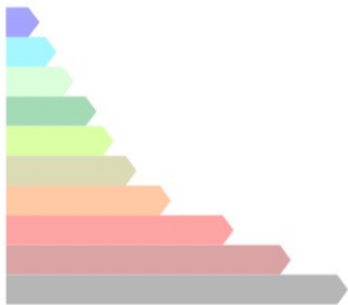
Csoportnév	Elemnév	Kizárva	Nyitott nyílászáró
1. szint	110_015-014 Fürdő-előtér	1	
1. szint	111_014-013 Előtér-konyh		
1. szint	112_014-016 Előtér-WC a	1	
1. szint	113_015 Fürdő elszívó	1	
1. szint	114_013 Konyha ablak		
1. szint	115_022 Konyha ablak		1
1. szint	116_024-026 Előtér-WC a	1	
1. szint	117_024-022 Előtér-konyh		1
1. szint	118_025-024 Fürdő-előtér	1	
1. szint	119_024-000 Előtér-lépcs		1
1. szint	120_033-000 Előtér-lépcs		
1. szint	121_000 Lépcsóház ajtó		
1. szint	122_033-035 Előtér-WC a	1	
1. szint	123_033-031 Előtér-szoba		
1. szint	124_034-033 Fürdő-előtér	1	
1. szint	125_034 Fürdő elszívó	1	
1. szint	126_013 Konyhai légbeer		
1. szint	127_033-032 Előtér-konyh		
1. szint	128_032 Konyha ablak		
1. szint	129_031 Szoba ablak		
1. szint	130_023 Szoba ablak		
1. szint	131_024-023 Előtér-szoba		
1. szint	132_023 Szoba ablak		
1. szint	133_022 Konyhai elszívó	1	

OK
Elvet
Súgó



Alkalmazási területek

- Helyiségek légcseréjének ellenőrzése
- Gravitációs szellőzések méretezése
- Kémények működésének ellenőrzése
- Épületek hő- és füstvédelme



Köszönöm megtisztelő figyelmüket!

