



NAGYTERŰ HELYISÉGEK LÉGTECHNIKAI TERVEZÉSE

DESIGN OF VENTILATION SYSTEMS IN LARGE SPACES



CZÉTÁNY LÁSZLÓ (GGDVJ4)
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS ELJÁRÁSTECHNIKAI GÉPÉSZMÉRNÖKI M.SC.
KOMFORT ÉPÜLETGÉPÉSZET SZAKIRÁNY
2012-ES ÉVFOLYAM

TÉMAVEZETŐK:

DR. SZÁNTHÓ ZOLTÁN
EGYETEMI DOCENS
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK

CSÖPPENSZKY GÁBOR
VEZETŐ TERVEZŐ
DUOPLAN KFT.

BUDAPEST, 2013.

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKA TANSZÉK



DIPLOMAMUNKÁK

© *Czétány László 2013*

© *Dr. Szánthó Zoltán 2013*

© *Csöppenszky Gábor 2013*

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
ÉPÜLETGÉPÉSZETI ÉS GÉPÉSZETI ELJÁRÁSTECHNIKAI TANSZÉK

CZÉTÁNY LÁSZLÓ
DIPLOMAMUNKA
NAGYTERŰ HELYISÉGEK LÉGTECHNIKAI TERVEZÉSE

Külső konzulens:

Csöppenszky Gábor
Vezető tervező

Belső konzulens:

Dr. Szánthó Zoltán
Egyetemi docens

Budapest, 2014.01.10.

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Czétány László* (GGDVJ4), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezü aláírással igazolom, hogy ezt a diplomamunkát meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és a szakdolgozat, feladatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2014.01.10.

Czétány László

DIPLOMATERV 1. FELADAT
gépészmérnöki mesterszak, komfort épületgépészeti szakirány

A diplomaterv készítő neve: Czétány László (GGDVJ4)

A tervfeladat címe: Nagyterű helyiségek légtechnikai tervezése
A diplomaterv készítés helye: Duoplan Bt.
Konzulensek: Dr. Szánthó Zoltán
BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék
Csöppenszky Gábor
BME Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

A kiadás időpontja: 2013. szeptember 09.
Beadási határidő: 2013. december 13.

Diplomaterv 2. feladat:

Tanulmányban foglalja össze a nagyterű helyiségek komfort célú légellátásának méretezési módszereit! Értékelje a különböző megoldási lehetőségeket! Ismertessen egy kiválasztott méretezési eljárást, és alkalmazza a konzulensei által meghatározott épület légtechnikai rendszerének kialakításához!

Tervezési munkája során készítse el a következő számításokat:

- a helyiség hő-, nedvességterhelés és légszennyezés számítása;
- a szellőző levegő és a frisslevegő térfogatáramának meghatározása;
- a szellőző levegő állapotváltozásának meghatározása!

Készítsen vázlattervet a tér levegő be- és elvezetésének választott megoldásáról!

Diplomaterv 1. feladat részletezése:

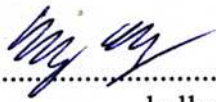
Ellenőrizze a Diplomatervezés 2. tárgy feladatában méretezett tér légállapotát egy a tanulmányában leírt másik méretezési eljárással! Értékelje a kétféle eljárással kapott eredményeket!

Munkájáról készítsen magyar és idegen nyelvű összefoglalót!

Budapest, 2013. szeptember 09.


tanszékvezető

A feladatot átvettem:


hallgató

DIPLOMATERV FELADAT
Épületgépészeti és eljárástechnikai gépészmérnöki mesterszak,
komfort épületgépészeti szakirány

A diplomaterv készítő neve: Czétány László (GGDVJ4)

A tervfeladat témája: Nagyterű helyiségek légtechnikai tervezése

A diplomaterv készítés helye: DUOPLAN Kft.
Címe: 1085 Budapest, Kőfaragó u. 9.

Üzemi konzulens: Csöppenszky Gábor
Beosztása: épületgépész tervező
Munkahelye: DUOPLAN Kft.

Tanszéki konzulens: Dr. Szánthó Zoltán egyetemi docens

Zárávizsga tárgyak/tárgycsoportok:

1.Hő- és anyagtranszport :	
Alkalmazott hő- és anyagátadás	BMEGEVÉMÉ02
Csőhálózatok hidraulikája	BMEGEÉPMÉ22
2.Komfortelmélet	BMEGEÉPMÉ11
3.Légtechnikai rendszerek	BMEGEÉPMÉ32

A feladat kiadásának időpontja: 2013. február 11.
Beadási határidő: 2013.december 13.

Diplomaterv 2. feladat részletezése:

Tanulmányban foglalja össze a speciális funkciójú nagyterű helyiségek, az igényes létesítmények előcsarnokaként funkcionáló terek komfort célú légellátásának megoldásait és ezek méretezési módszereit! Értékelje a különböző megoldási lehetőségeket! Ismertessen egy kiválasztott méretezési eljárást, és alkalmazza a konzulensei által meghatározott előcsarnok légtechnikai rendszerének kialakításához!

Tervezési munkája során készítse el a következő számításokat:

- a helyiség hő-, nedvességterhelés és légszennyezés számítása;
- a szellőző levegő és a frisslevegő térfogatáramának meghatározása;
- a szellőző levegő állapotváltozásának meghatározása!

Készítsen vázlattervet a tér levegő be- és elvezetésének választott megoldásáról!

Diplomaterv 1. feladat részletezése:

Ellenőrizze a Diplomatervezés 2. tárgy feladatában méretezett tér légállapotát egy a tanulmányában leírt másik méretezési eljárással! Értékelje a kétféle eljárással kapott eredményeket!

Munkájáról készítsen magyar és idegen nyelvű összefoglalót!

Budapest, 2013. február 11.



A tervfeladatot jóváhagyom:

Budapest, 2013. február 11.



.....
dékán

A feladatot átvettem:

.....
hallgató

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	1
2. Nagyterű helyiségek méretezési módszereinek összefoglalása	3
2.1. Méretezési eljárások csoportosítása	3
2.2. Áramlási elem modellek	5
2.3. „Mérnöki” modellek	6
2.3.1. Zonális modellek.....	6
2.3.1.1. Egy zónából álló modell	6
2.3.1.2. Kétdimenziós, több zónából álló zonális modell	6
2.3.1.3. Háromdimenziós zonális modell	7
2.4. Mikroszkopikus modellek	7
3. Háromdimenziós zonális modellek.....	9
3.1. Inard et al. (1996) zonális modelljén alapuló modellek.....	9
3.1.1. Az anyag- és energia-megmaradás alapegyenletei	10
3.1.2. Az impulzus megmaradás alapegyenletei	11
3.1.2.1. A modell módosításai	12
3.2. Axley (2001) zonális modellje	17
3.2.1. A modell előnyei	20
3.3. A Navier-Stokes egyenlet közelítésén alapuló zonális modell	20
4. Az áramlási elemeket leíró összefüggések	21
4.1. Légsugarak leírása.....	21
4.1.1. Szabad, izotermikus légsugarak leíró összefüggései	21
4.1.1.1. Kör keresztmetszetű nyílásból kilépő szabadsugarak.....	23
4.1.1.2. Résből kilépő sík szabadsugarak.....	25
4.1.1.3. Radiális szabadsugarak	25
4.1.1.4. 3 dimenziós szabadsugarak.....	27
4.1.2. Korlátozott, izotermikus légsugarak leírása	33
4.1.2.1. Résből kilépő korlátozott sík sugarak	33
4.1.2.2. Radiális korlátozott légsugarak	36
4.1.2.3. 3 dimenziós korlátozott légsugarak.....	38

4.1.3.	Anizotermikus légsugarak leírása.....	45
4.1.3.1.	Anizotermikus szabadsugarak	48
4.1.3.2.	Anizotermikus korlátozott légsugarak	49
4.1.4.	Vetési konstans megállapítása	49
4.1.4.1.	Korrekció korrekciós tényezőkkel.....	49
4.1.4.2.	Vetési konstans meghatározása katalógusadatokból.....	50
4.1.4.3.	Vetési konstans számítása korlátozott légsugárra.....	51
4.2.	Hőforrások hatására kialakuló konvektív áramlások leírása.....	52
4.2.1.	Hőforrások által konvekció útján leadott teljesítmény	52
4.2.2.	Konvektív légsugarak leírása	52
4.2.2.1.	Egyszerű légsugarak semleges környezetben	52
4.2.2.2.	Kiterjedt hőforrások hatására keletkező légáramok számítása	53
4.2.2.3.	Egyszerű légsugarak állandó hőmérsékleti gradiens mellett.....	55
4.2.2.4.	Konvektív légsugarak interakciója.....	56
4.2.2.5.	Korlátozott konvektív légsugarak.....	56
5.	Áramlási elemek beépítése zonális modellekbe.....	57
5.1.	Izotermikus légsugár által szállított tömegáram számítása.....	57
5.2.	Anizotermikus légsugár által szállított tömegáram számítása	60
6.	Nagylégterű helyiség Zonális modellezése	65
6.1.	A program szerkezetének vázlatos bemutatása	65
6.1.1.	Hálózó és geometriakészítő modul	65
6.1.2.	Légsugár peremfeltétel számító modul.....	66
6.1.3.	Kezdeti érték és peremfeltétel megadó modul	66
6.1.4.	A „Solver” modul felépítése	67
6.1.4.1.	A „Solver” modul fizikai alapjai.....	67
6.1.4.2.	A sűrűség-változás hatásának figyelembevétele	70
6.1.4.3.	A „Solver” modul matematikai alapjai	70
6.1.4.4.	A megoldás konvergenciájának figyelése.....	72
6.1.5.	Az eredmények vizualizálására szolgáló „Post-processing” modul	73
6.1.6.	A program eredményeinek bemutatása tesztp problémákon	74
6.1.6.1.	2-es tesztp probléma	74

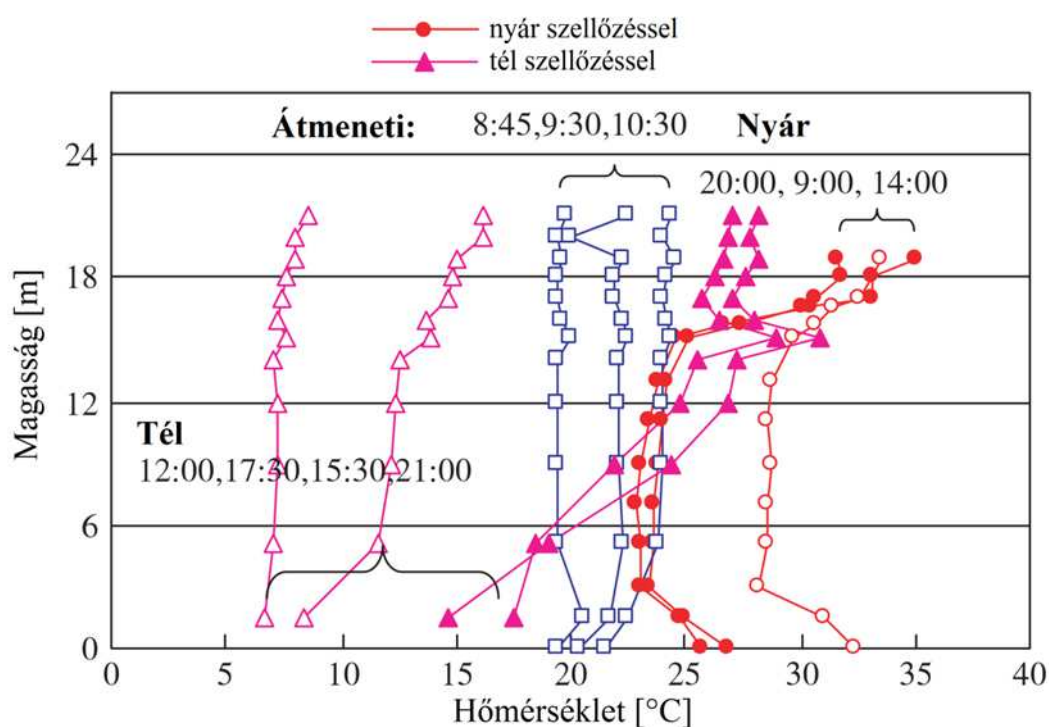
7. A Bartók Béla Nemzeti Hangversenyerem Zonális modellezése.....	77
7.1. A Geometria és a háló elkészítése	77
7.2. A kezdeti értékek felvitele, peremfeltételek megadása.....	80
7.2.1. Nézőtéri és színpadi hőterhelés és befűjt tömegáramok hőterhelés.....	80
7.2.2. A világítás hőterhelésének figyelembevétele.....	84
7.2.2.1. A világítás hőterhelésének sugárzás formájában leadott része	87
7.3. Elszívási helyek megadása.....	91
7.4. Eredmények zonális modellezéssel és egy másik méretezési eljárással.....	93
7.4.1. A levegő sebességének kontúrjai	93
7.4.1.1. A légsebesség kontúrjai horizontális metszősíkon.....	93
7.4.1.2. A légsebesség kontúrjai vertikális, X normálisú metszősíkon.....	96
7.4.1.3. A légsebesség kontúrjai vertikális, Y normálisú metszősíkon.....	98
7.4.2. A levegő hőmérsékletének kontúrjai	99
8. Nagylégterű helyiség méretezése egyszerűsített eljárással.....	101
9. Összefoglalás	105
10. Summary	107
Források.....	109
Mellékletek.....	113
A melléklet – Hálózó modul kódja	113
B melléklet – Áramlási elemek peremfeltételeit számító modul kódja.....	121
C melléklet – Peremfeltétel és kezdeti érték megadó modul kódja.....	125
D melléklet – Solver modul kódja	147
E melléklet – Az egyszerűsített sugárzásos-hőcsere számító modul kódja	177
F melléklet – A post-processing modul kódja.....	179
G melléklet – A világítás hőterhelésének meghatározásához használt anyagok.....	197
H melléklet – A számítás további eredményei	203

Rajzmellékletek	213
A rajzmelléklet – BBNH - Földszint	213
B rajzmelléklet – BBNH – 1. karzat.....	214
C rajzmelléklet – BBNH – 2. karzat.....	215
D rajzmelléklet – BBNH – 3. karzat.....	216
E rajzmelléklet – BBNH – Elszívási helyek	217
F rajzmelléklet – BBNH – Jegytérkép.....	218
G rajzmelléklet – BBNH – Kapcsolási rajz	220

1. BEVEZETÉS

Jelen dolgozat célja, hogy az igényes nagyterű helyiségek méretezésének módszereit bemutassa. Nagyterű helyiségek számos különböző funkciójú épületben előfordulnak. Ilyenek az előcsarnokok, a színháztermek, mozik vetítőtermei vagy sportcsarnokok is. Ide sorolhatóak az ipari csarnokok is, melyek méretezése jelen munkában nem szerepel.

A nagyterű helyiségek méretezése során az elsődleges problémát az jelenti, hogy a tartózkodási zóna a helyiség teljes térfogatához képest igen kicsi és a nagy belmagasság miatt a hőmérséklet-gradiens nem hanyagolható el. Ez figyelhető meg a 1.1 ábrán is, melyen egy stadionban mért hőmérsékletek szerepelnek. Ez a tény kihat a helyiség hőterhelésére és a tartózkodási zóna komfortjára is. Egy megfelelően méretezett rendszerrel az energiafogyasztás is csökkenthető, mely napjainkban kiemelt szempont.



1.1. ábra: Vertikális hőmérséklet-eloszlás egy stadionban [1].

A fentebb említett helyiségek méretezésére a hazai gyakorlatban nem ismert egyszerűen alkalmazható módszer. A dolgozat első felében ezért tanulmányban foglalom össze az ilyen terek esetében alkalmazható méretezési eljárásokat. Az eljárások közül a későbbiekben kettőnek az alkalmazását fogom demonstrálni egy konkrét tervezési feladaton.

2. NAGYTERŰ HELYISÉGEK MÉRETEZÉSI MÓDSZEREINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

A felhasználható méretezési módszereket a rendelkezésre álló szakirodalom [2] alapján fogom bemutatni, mely kiválóan foglalja össze a témában a megjelenéséig eltelt időben elért eredményeket. A hivatkozott munka számos számítási eljárást tartalmaz, emellett pedig esettanulmányokat is melyek az eljárások eredményeit hasonlítják össze mért eredményekkel. Ezen kívül a mérési módszereket is ismerteti. A következő fejezetben összefoglalom a fontosabb eljárásokat.

2.1. MÉRETEZÉSI ELJÁRÁSOK CSOPORTOSÍTÁSA

Az egyes méretezési eljárásokat célszerűen a tervezésben betöltött szerepük alapján lehet csoportosítani. A tervezési munka elvégzésének kezdetén valamilyen módszerrel meg kell becsülni a szükséges légmennyiséget, hiszen az építésznek szüksége van a várható légcsatorna méretekre a szellőző aknák kialakításához. Az építészeti kialakítás finomodása folytán a későbbiekben a légtechnikai terveket is finomítani kell, melyhez bonyolultabb módszerek alkalmazása is szükséges lehet. A tervezés véglegesítéséhez célszerűen valamilyen ellenőrzés szükséges. Az egyes fázisokban alkalmazható módszereket a következő, a korábbiakban ismertetett forrásból átvett 2.1. táblázatban foglalhatjuk össze.

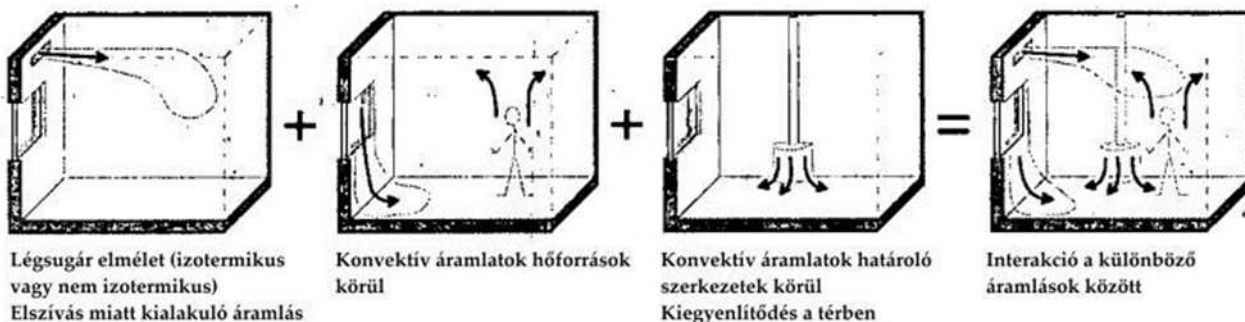
2.1. táblázat: Nagy tér tervezésének fázisai és az alkalmazható modellek [2].

	Sematikus tervezés	Alapvető tervezés	Részletes tervezés
Megtervezendő részletek	- Az épület alakja és a határoló szerkezetek anyagai. - A belső környezet minősége. - A fűtő-, hűtő-, szellőztető-rendszer alapkoncepciója.	- Az épület alakjának és a határoló szerkezeteknek a finomítása. - Az elszívási és befűvési helyek megtervezése, a befűvott levegő hőmérsékletének és a mennyiségnek a megállapítása. - A fűtő-, hűtő-, szellőztető-rendszer vázlata.	- Végleges döntés az épület alakjáról, a határoló szerkezetekről. - Végeleges döntés a fűtő-, hűtő-, szellőztető-rendszerről. - Az épület aktív elemeit és gépészeti rendszereit szabályozó rendszer megtervezés.
Szükséges adatok	- A hőterhelés és hőszükséglet közelítő értéke. - A hőmérséklet eloszlás és a légvezetési rendszer közelítő meghatározása.	- A hőszükséglet és hőterhelés pontos értékének számítása. Energiafogyasztás és üzemeltetési költségek számítása. - A hőmérséklet-eloszlás és a légvezetési rendszer meghatározása. - A hőkomfort paramétereinek meghatározása. - A lokális diszkomfort illetve kondenzáció kialakulásának szempontjából veszélyes területek keresése. - Előfűtés, előhűtés szükségességének elemzése.	
Tervezői eszközök	- Tervezői tapasztalatok és mérési eredmények, létező épületekből. - Egyszerű makroszkopikus modellek.	- Fejlettebb makroszkopikus modell, esetleg mikroszkopikus modell - Szellőztetési hatásfok modell (A légtechnikai rendszer működésének elemzése)	Mikroszkopikus modell validációhoz és hibakereséshez

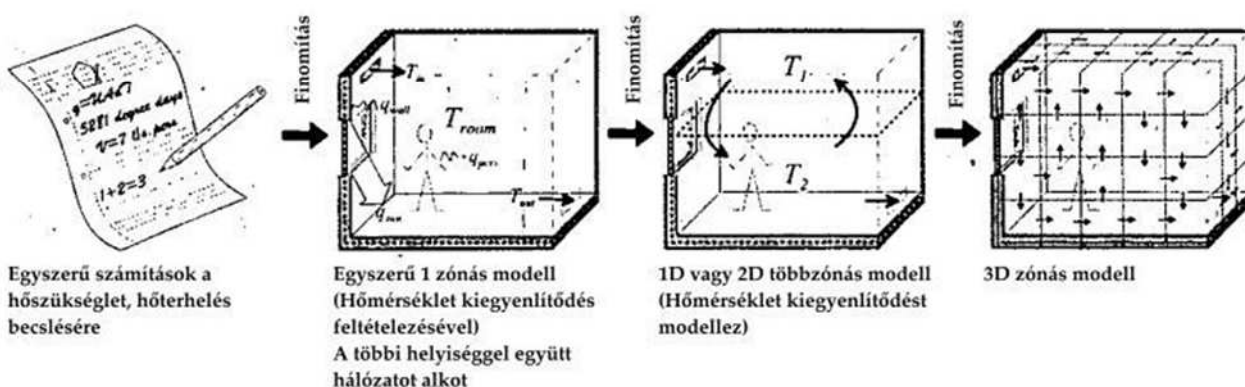
Az egyes módszerek vázlatosan az 2.1. ábrán láthatóak, melynek eredetije szintén az említett forrásban található.

Egyszerű (makroszkopikus) modellek

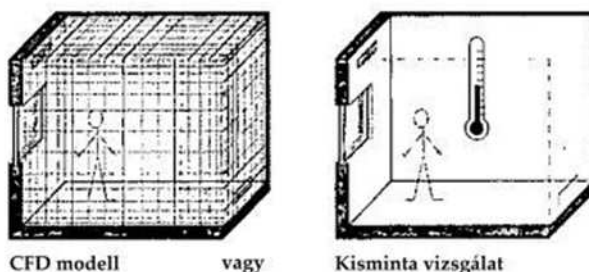
Áramlási elemeken alapuló modellek



"Mérnöki" modellek



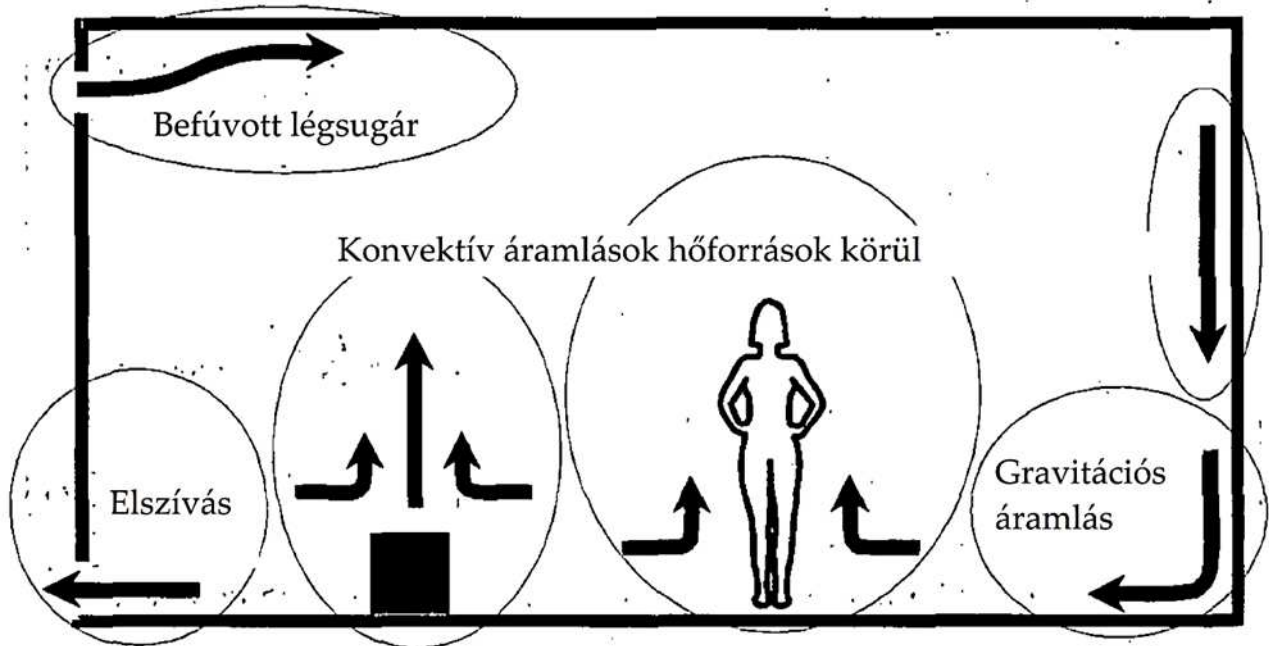
Részletes (mikroszkopikus) modellek



2.1. ábra: Az egyes alkalmazható modellek [2].

2.2. ÁRAMLÁSI ELEM MODELLEK

A legegyszerűbb méretezésre használó modellek az áramlási elem modelljei. Ezekkel a modellekkel gyorsan és egyszerűen határozhatjuk meg a helyiségben kialakuló áramlás legfontosabb peremétereit (pl. légsebesség a tartózkodási zónában). Ezzel együtt hátrányuk az egyszerűségükben rejlik. Egy nagy térben jellemzően több áramlási elem befolyásolja a kialakuló helyiségáramlásokat, egymásra hatásuk pedig részben, vagy egyáltalán nem állapítható meg magasabb rendű módszerek alkalmazása nélkül. Az egyes modelleket a 2.2. ábrával lehet illusztrálni.



2.2. ábra: Áramlási elem modellek [2].

Mindenképpen fontos tisztázni, hogy mit is értünk áramlási elem alatt. Áramlási elemek alatt a helyiség olyan, izolált térfogatra hatást gyakorló elemeit érthetjük, melyekre a helyiség többi részében kialakuló áramlások csak elhanyagolható mértékben hatnak.

Ilyen áramlási elemek lehetnek a

- különböző típusú légsugarak (kör keresztmetszetű légsugarak, radiális légsugarak, stb.)
- a különböző típusú konvektív áramlások (pl. az ember, mint hőforrás miatt kialakuló áramlás vagy a melegebb illetve hideg határoló felületek mellett kialakuló határréteg áramlások)
- az infiltráció miatt kialakuló légáramlások

Az egyes áramlási elemek leírására vonatkozó összefüggéseket a későbbiekben fogom bemutatni.

Ezen modellek jelentőségét az adja, hogy önmagukban is felhasználhatóak (pl. vetőtávolság becslése, légsugár sebessége a tartózkodási zónában) és emellett bonyolultabb modellek alapjául is szolgálnak.

2.3. „MÉRNÖKI” MODELLEK

Az áramlási elemek használatán túlmutató modelleket az idegen nyelvű szakirodalom [2] mérnöki modelleknek nevezi. Ezen modellek bonyolultabbak, mint a korábban említettek, viszont pontosabb becslésre alkalmasak. Ezen gyűjtőfogalom alá több modell is tartozik, ugyanakkor itt csak az ún. zonális modelleket fogom ismertetni.

2.3.1. Zonális modellek

A zonális modellek lényege, hogy a helyiségeket vagy az épületet több alzónára bontjuk. Ezen zónák egymáshoz szervesen kapcsolódnak.

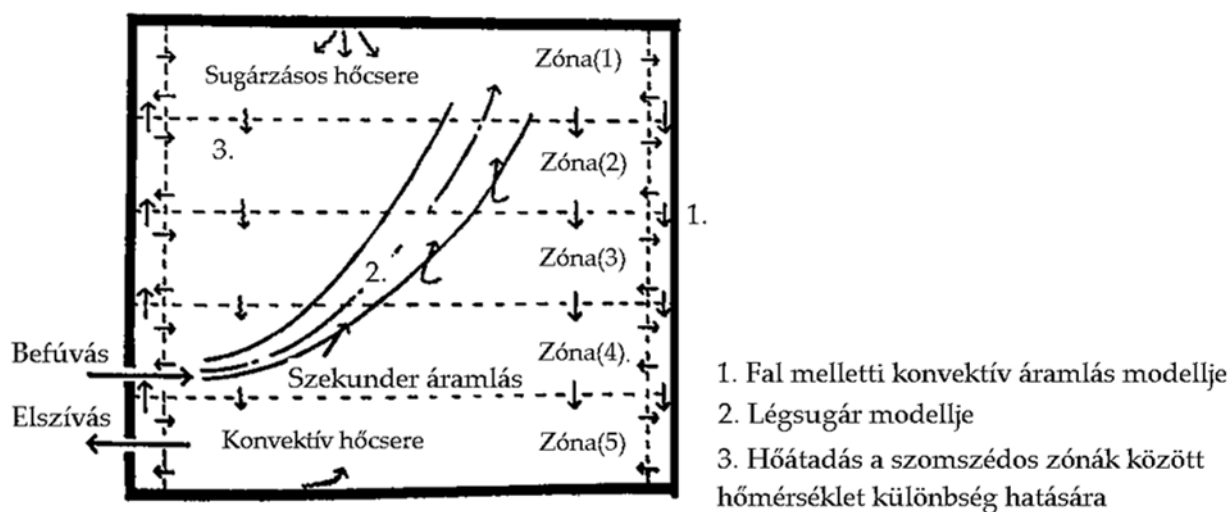
2.3.1.1. EGY ZÓNÁBÓL ÁLLÓ MODELL

Ezen modell esetében a helyiséget egyetlen egységként kezeljük. Ahhoz, hogy ez a modell kellően jól működhessen, a helyiség levegőjének szinte tökéletes keveredése szükséges, minimális hőmérsékleti gradienssel. Ez a nagylégterű helyiségek esetében a legtöbbször nem teljesül. A modell pontosítására több kísérlet is történt. Erre példa egy feltételezett hőmérsékleti gradiens felvétele. A problémát az jelenti, hogy a gradiens értékét korábbi mérések alapján lehet becsülni. A mérési helyszínektől jelentősen eltérő geometriájú, más eloszlású hőforrásokat tartalmazó, más jellegű légvezetési rendszert alkalmazó helyiségekben ez a közelítés nyilvánvalóan igen pontatlan lesz.

2.3.1.2. KÉTDIMENZIÓS, TÖBB ZÓNÁBÓL ÁLLÓ ZONÁLIS MODELL

A kétdimenziós több zónából álló modellek pontosabb számításokat tesznek lehetővé, ugyanakkor azonban bonyolultabbak is. Ezek a modellek a határoló felületek mellett, a különböző légsugarak és hőforrások miatt kialakuló áramlások figyelembevételére is képesek. A legegyszerűbb modell az ún. kétzónás modell, mely abban az esetben használható jól, ha a helyiségben jól definiálható hőmérséklet gradiens alakul ki.

A legegyszerűbb ilyen modell a Togari et al. [3] által alkalmazott megoldás. A modell azon az egyszerűsítésen alapszik, hogy a zónák hőmérséklete horizontálisan homogén. Így a teret elegendő vertikálisan felosztani (lásd 2.3. ábra).



2.3. ábra: Togari et al. [3] által alkalmazott modell.

A fő komponensei a légmozgásnak a térben a konvektív áramlások a falak mellett és a befúvó légsugarak.

2.3.1.3. HÁROMDIMENZIÓS ZONÁLIS MODEL

A háromdimenziós zonális modellek előnye a korábbiakkal szemben, hogy bonyolultabb geometriákat is vizsgálhatunk felhasználásukkal. A teret nagyobb méretű hálózattal kell makró cellákra osztani. Az így létrehozott hálón kell megoldani az anyag és energia megmaradást leíró egyenleteket. A modell részletesebb ismertetése a 2. fejezetben található.

2.4. MIKROSZKOPIKUS MODELLEK

Mikroszkopikus modelleknek nevezhetjük a CFD-t (Computational Fluid Dynamics – Áramlás Numerikus Modellézése) illetve a kisminta vizsgálatot vagy az 1:1 arányú mérést. Közös bennük, hogy a legrészletesebb eredményeket szolgáltatják a helyiségben kialakuló hőmérsékletekről, áramlásról. Hátrányuk a korábbiakkal szemben az, hogy jóval időigényesebbek. A méréses vizsgálatok költsége jóval magasabb, mint a számításoké, ugyanakkor azonban előnyük, hogy a számításokkal szemben az eredmények megbízhatóbbak, hiszen a valós áramlást vizsgáljuk. A számítások során az (pl. a turbulencia modell kidolgozása során tett) elhanyagolások miatt elképzelhető, hogy a megkapott eredmények totálisan rosszak.

3. HÁROMDIMENZIÓS ZONÁLIS MODELLEK

3.1. INARD ET AL. (1996) ZONÁLIS MODELLJÉN ALAPULÓ MODELLEK

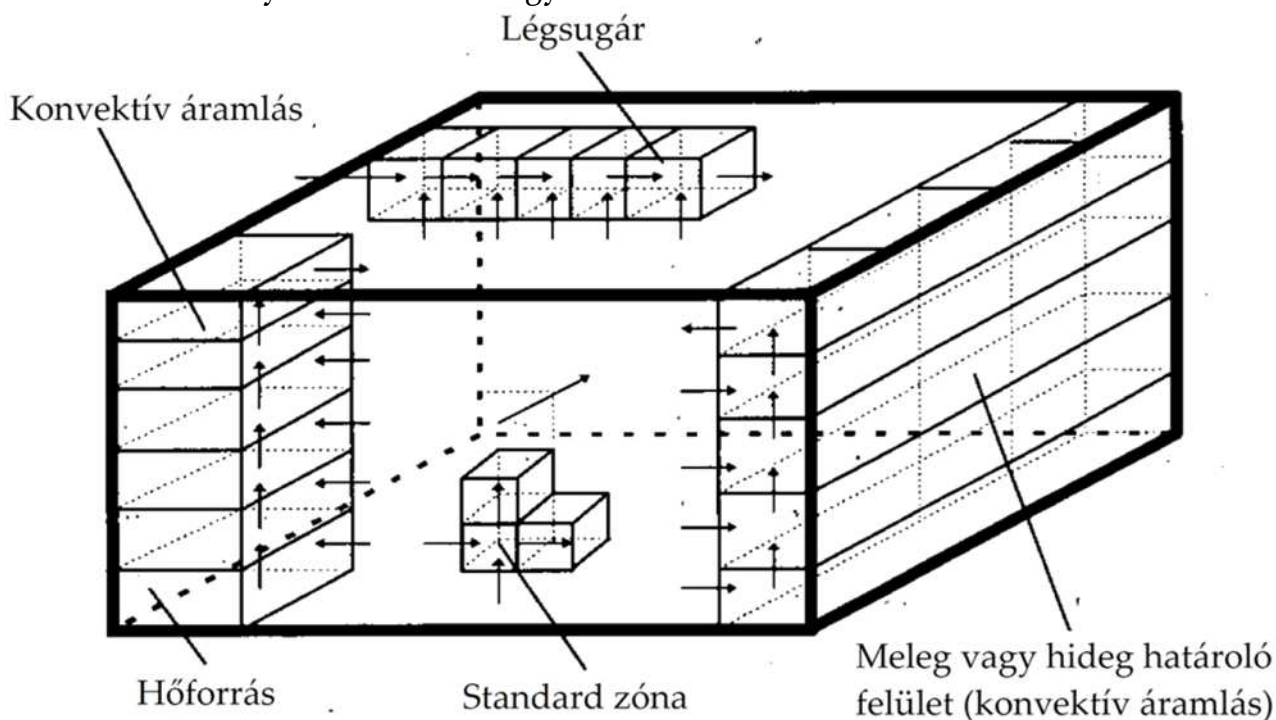
Mivel a turbulencia modellezése a nagy cellaméret miatt nem lehetséges, empirikus összefüggéseket is fel kell használni a modell felépítésére. Ezek az összefüggések a korábban említett áramlási elemek.

A térben többféle zónát különböztethetünk meg Inard et. al. [4] szerint:

- Standard zónát
- Áramlási elemet tartalmazó zónát

Az általa alkalmazott modellt többen fejlesztették tovább, különböző módon. A modell az anyagmegmaradást, az energia-megmaradást és az impulzus megmaradást leíró egyenletekre épül. Továbbfejlesztésére az impulzus megmaradást leíró egyenleteknél van lehetőség elsősorban, de az energia-megmaradást leíró egyenleteken is hajtottak végre módosításokat publikálása óta.

A standard zónákban az anyag-, impulzus- és energia-megmaradást leíró egyenleteket, az áramlási elem által befolyásolt zónában pedig az impulzus megmaradás helyett az adott elemet leíró törvényt kell felírni. Az egyes zónákat az 3.1. ábrán szemléltettem.



3.1. ábra: Az egyes zónák szemléltetése [2].

3.1.1. Az anyag- és energia-megmaradás alapegyenletei

A standard zóna első alapegyenlete a kontinuitás egyenlete, az i. zónára felírva:

$$\sum_{j=1}^N \dot{m}_{j,i} + \dot{m}_{s,i} - \dot{m}_{e,i} = 0, \quad (3.1.)$$

ahol:

- $\dot{m}_{j,i}$ az i. zóna és a j. határoló zóna közötti előjelhelyes tömegáram, [kg/s],
- $\dot{m}_{s,i}$ az i. zónába befűvott tömegáram, [kg/s],
- $\dot{m}_{e,i}$ az i. zónából elszívott tömegáram, [kg/s],
- N az összes folyadék számára átjárható felülettel kapcsolódó határoló zóna száma.

Az energia-megmaradást leíró alapegyenlet az i. zónára:

$$\sum_{j=1}^N \dot{m}_{j,i} \cdot c_p \cdot \Delta T_{j,i} + P_i + \sum_{l=1}^M \Phi_{conv,l,i} = 0, \quad (3.2.)$$

ahol:

- c_p a levegő izobár fajhője, [J/(kgK)],
- $\Delta T_{j,i}$ az i. zóna és a j. határoló zóna közötti előjelhelyes hőmérséklet különbség, [K],
- P_i a zónában található hőforrásokból felszabaduló hőteljesítmény, [W],
- $\Phi_{conv,l,i}$ az i. zóna és l. határoló felülete közötti előjelhelyes konvektív hőáram, [W],
- M a folyadék számára nem átjárható határoló felületek száma.

Az egyenletet Musy et al. [5] a következő módon módosította:

$$\sum_{j=1}^N \dot{m}_{j,i} \cdot c_p \cdot \Delta T_{j,i} + \sum_{j=1}^N \frac{\lambda}{\delta_{j,i}} \cdot A_{j,i} \cdot \Delta T_{j,i} + P_i + \sum_{l=1}^M \Phi_{conv,l,i} = 0, \quad (3.3.)$$

ahol:

- λ a levegő hővezetési tényezője, [W/(mK)],
- $\delta_{j,i}$ az i. zóna és a j. határoló zóna súlypontja közötti távolság, [m],
- $A_{j,i}$ az i. zónát és a j. határoló zónát elválasztó felület nagysága, [m²].

Ez a módosítás azt a fogalmazza meg lényegében, hogy a zónák között nem csak konvektív transzport van (a levegő áramlása miatt), hanem konduktív is.

3.1.2. Az impulzus megmaradás alapegyenletei

Az impulzus megmaradás alapegyenlete a következő módon írható Inard et al. [4] szerint:

$$\dot{m}_{j,i} = \varepsilon_{j,i} \cdot C_{d,j,i} \cdot A_{j,i} \cdot \sqrt{2\rho_j \cdot |\Delta p_{j,i}|}, \quad (3.4.)$$

ahol:

- $\varepsilon_{j,i}$ a légáramlás irányát kifejező konstans, értéke 1 és -1 lehet,
- $C_{d,j,i}$ a dimenziótlan átfolyási szám, mely empirikus módon határozható meg és az áramlási veszteséget fejezi ki, [-], Inard et al. szerint értéke 0,8-re vehető,
- ρ_j a j. zóna levegőjének sűrűsége, [kg/m³],
- $\Delta p_{j,i}$ a két zónában uralkodó nyomás közötti különbség, [Pa].

A $\Delta p_{j,i}$ nyomáskülönbség attól függően, hogy a zónák egymáshoz képest hogyan helyezkednek el többféleképpen számítható.

Abban az esetben, ha a zónák egy magasságban vannak:

$$\Delta p_{j,i} = p_j - p_i, \quad (3.5.)$$

ahol p_i illetve p_j az egyes zónák nyomása, [Pa].

Ha az egyik zóna a másik fölött vagy alatt van:

$$\Delta p_{j,i} = p_j - p_i - \frac{1}{2} \cdot (\rho_j \cdot g \cdot h_j + \rho_i \cdot g \cdot h_i), \quad (3.6.)$$

ahol:

- h_i illetve h_j a megfelelő zóna magassága, [m],
- g a nehézségi gyorsulás, [m/s²].

Az $\varepsilon_{j,i}$ iránytényező számítása a nyomáskülönbség számításához hasonlóan kétféleképpen történhet. Vertikális határoló felület esetén (a két zóna egy magasságban helyezkedik el):

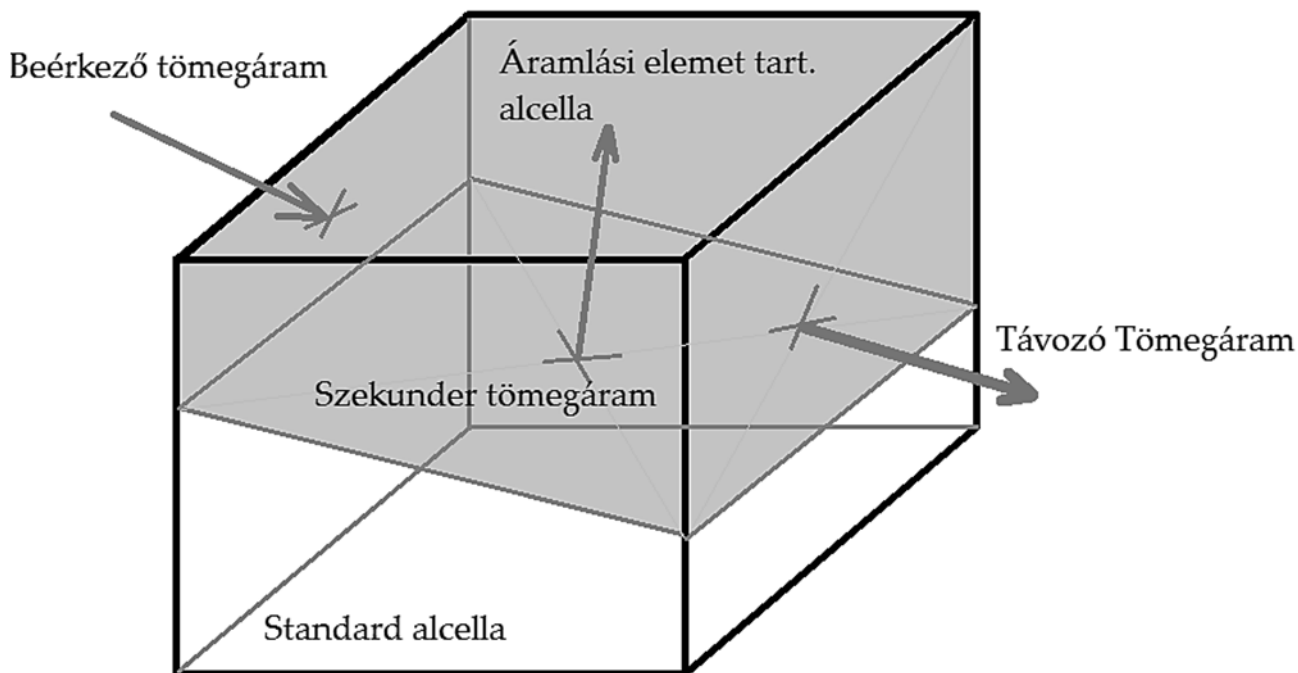
$$\varepsilon_{j,i} = \frac{p_j - p_i}{|p_j - p_i|}, \quad (3.7.)$$

illetve:

$$\varepsilon_{j,i} = \frac{p_j - p_i - \frac{1}{2} \cdot (\rho_j \cdot g \cdot h_j + \rho_i \cdot g \cdot h_i)}{\left| p_j - p_i - \frac{1}{2} \cdot (\rho_j \cdot g \cdot h_j + \rho_i \cdot g \cdot h_i) \right|}, \quad (3.8.)$$

3.1.2.1. A MODELL MÓDOSÍTÁSAI

Az Inard et al. [4] által prezentált munka nem tisztázta annak a kérdését, hogy az áramlási elemet tartalmazó zóna nagyságát hogyan kell megválasztani. Ahogy például egy légsugár a térben kifejlődve egyre szélesebb lesz, egyes részei standard zónákba is „átlóghatnak”. Ha a zóna méretet túl nagyra választjuk, megelőzendő a felvázolt folyamatot, akkor lényegében a sugár kezdeti részén, ahol még mérete kisebb, az áramlási elemet tartalmazó zóna egy része lényegében standard zóna lesz. Erre keresett megoldást Abadie et al. [6]. Javaslatuk szerint az ilyen cellákat két alcellára kell bontani: egy áramlási elemet tartalmazó alcellára és egy standard alcellára. Az eljárás vázlatát a 3.2. ábrán látható.



3.2. ábra: Cella felbontása alcellákra.

A két cella határán áthaladó szekunder tömegáram a távozó és a beérkező tömegáram különbsége. A tömegáram vektor az elválasztó felületre merőleges. Ezen kikötések mellett a standard alcella standard cellaként vesz részt a számításban.

A modell gyenge pontja egyértelműen a dimenziótlan átfolyási szám. Már Inard et al. is kijelentette, hogy az általuk használt érték további vizsgálatra szorul. Nyilvánvalóan a sűrűlésnek valamilyen módon függenie kell a sebességtől is, az átfolyási számmal kapcsolatban azonban nem létezik olyan összefüggés mely egyértelmű kapcsolatot teremtené a sebesség, a viszkozitás, az átfolyási felület nagysága és az átfolyási szám között. A következő átfolyási számokat használták eddig:

- 0,8, Inard et al. [4],
- 0,63, Abadie et al. [6],
- 15, Guerfala et al. [7]

A különböző értékekből is látható, hogy milyen nagy a bizonytalanság a tényező nagyságát illetően. Azt is meg kell említeni, hogy a felhasznált értékek közül mindegyikkel sikerült mérési eredményekkel jó egyezést elérni.

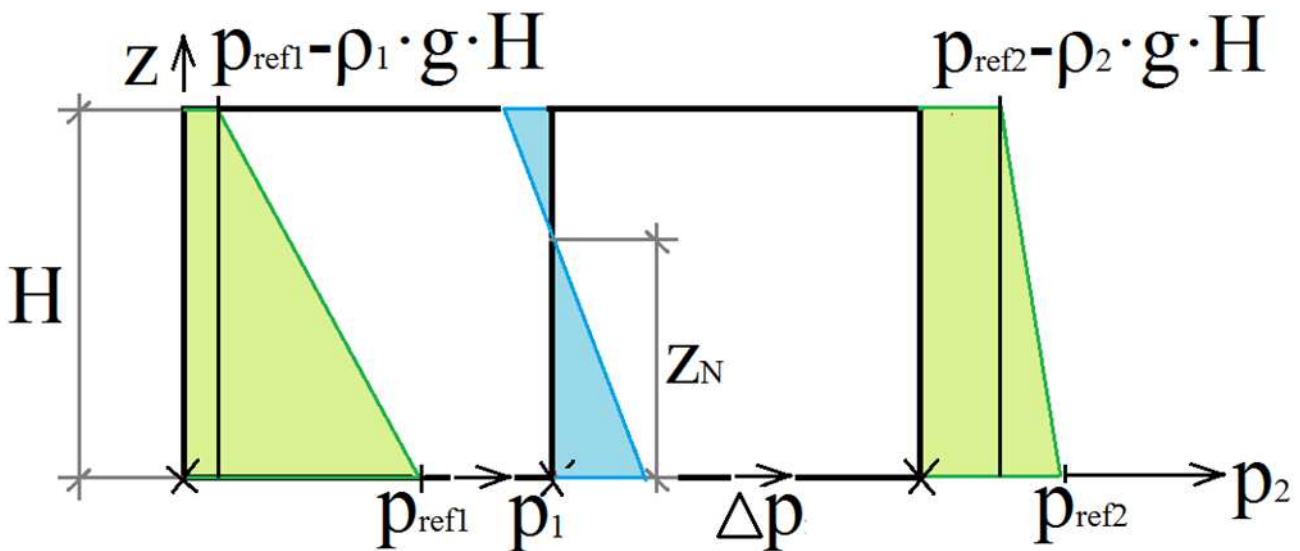
3. HÁROMDIMENZIÓS ZONÁLIS MODELLEK

További módosítást jelent a cellákban lamináris és turbulens áramlás megkülönböztetése is. Ezt a (3.4.)-es egyenlet következő módon történő módosításával lehet megtenni [7]:

$$\dot{m}_{j,i} = \varepsilon_{j,i} \cdot C_{d,j,i} \cdot A_{j,i} \cdot \sqrt{2\rho_{j,i}} \cdot |\Delta p_{j,i}|^n. \quad (3.9.)$$

Az n kitevő értéke lamináris áramlás esetén 1, turbulens áramlás esetén a már bemutatott 0,5. Problémát jelent, hogy a vonatkozó források nem determinálják egyértelműen, hogy helyiség levegője milyen körülmények között áramlik turbulensen és milyen körülmények között laminárisan.

Ennél jelentősebb mértékben módosította a tömegáram és a nyomáskülönbség kapcsolatát Yi Lin [10], Wurtz et al. [8] és Haghighat et al. [9]. Gondolamenetük lényege az volt, hogy a cellán belül a nyomás eloszlást nem tekintették homogénnek. Nyilvánvaló, hogy állandó sűrűségű gáz esetében is változik a statikus nyomás, a magasság függvényében. Ezt szemlélteti 3.3. ábra.



3.3. ábra: A nyomás változása cellákon belül.

Az ábrán zöld színnel a nyomás változása látható, késsel pedig a nyomáskülönbség. A p_{ref} nyomás a referencia nyomást jelöli. A cellák határán található egy olyan Z_n magasság melyben a két cella nyomása egyenlő. Meg kell jegyezni, hogy ez nem minden esetben igaz. Egyes esetekben ez a magasság a cellák alatt illetve fölött is elhelyezkedhet (lásd: [9]). A nyomáseloszlást egy cellán belül a következő egyenlettel írhatjuk le:

$$p(z) = p_{ref} - \rho \cdot g \cdot z. \quad (3.10.)$$

A továbbiak előtt mindenképpen meg kell említeni azt az egyszerűsítést, hogy a sűrűséget egy cellában állandónak tekintjük.

Ezzel az egyenlettel a nyomáskülönbség a két cella határán a következő módon írható fel:

$$\begin{aligned} \Delta p(z) &= p_{ref1} - \rho_1 \cdot g \cdot z - (p_{ref2} - \rho_2 \cdot g \cdot z) = p_{ref1} - p_{ref2} - (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot z = \\ \Delta p(z) &= \Delta p_{ref} - \Delta \rho \cdot g \cdot z. \end{aligned} \quad (3.11.)$$

Ebből meghatározható Z_n ún. neutrális magasság:

$$Z_n = \frac{\Delta p_{ref}}{\Delta \rho \cdot g}. \quad (3.12.)$$

Ezzel a (3.11.) egyenlet átírható a következő alakra:

$$\Delta p(z) = \Delta \rho \cdot g \cdot (Z_n - z). \quad (3.13.)$$

A tömegáram a zóna egy elemi szakaszán a következő módon számítható:

$$d\dot{m} = C_d \cdot \bar{\rho} \cdot dA \cdot |\Delta p(z)|^n, \quad (3.14.)$$

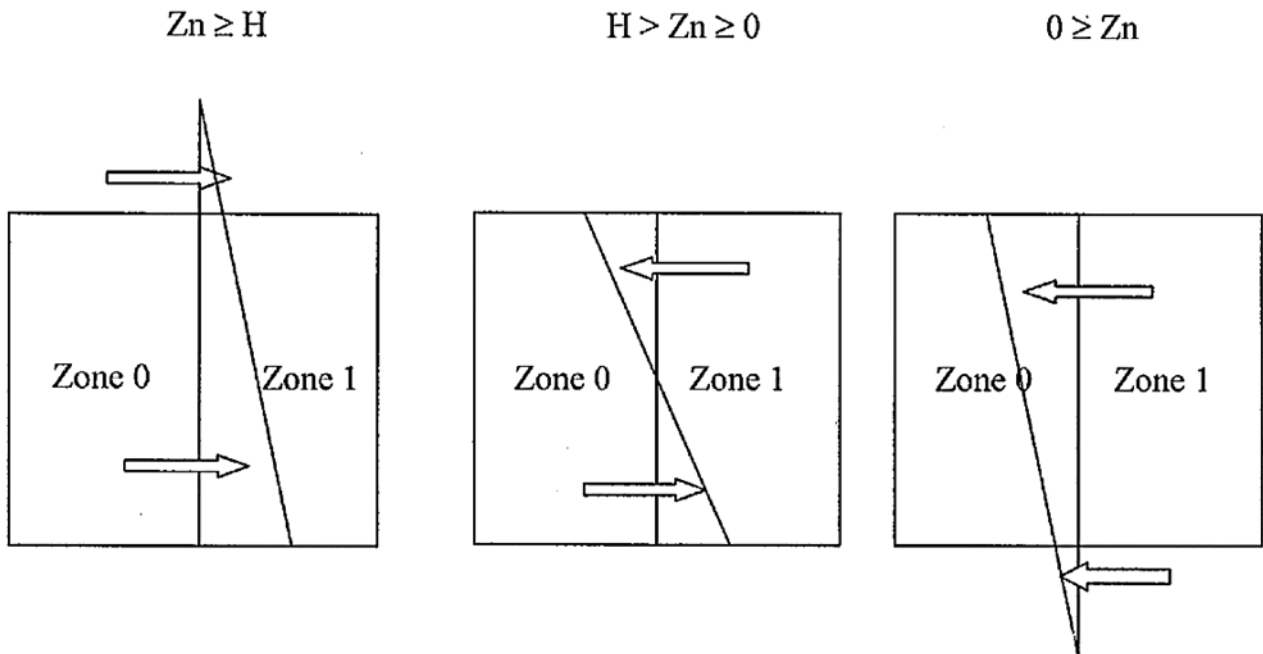
amiben dA , az elemi felület a következő módon írható át [9] [10]:

$$d\dot{m} = C_d \cdot \bar{\rho} \cdot W \cdot dz \cdot |\Delta p(z)|^n, \quad (3.15.)$$

ahol W a cellák közötti határoló felület szélessége, $\bar{\rho}$ pedig a két cellában lévő levegő sűrűségének az átlaga. Az egyenletből integrálással kapható meg a teljes határfelületen átáramló tömegáram. A problémát az jelenti, hogy a tömegáram iránya a függ a nyomáskülönbségtől, azaz attól hogy melyik cellában van nagyobb nyomás az adott magasságban. Az áramlás iránya a nagyobb nyomástól fog a kisebb felé mutatni. Ezért a cella Z_n alatti részében például a cellába beáramolhat a levegő, míg az afeletti részében kiáramlik belőle. A cellák határán kicserélődő levegő a két tömegáram különbsége lesz. A kifejezés a következő módon integrálható két vertikális koordináta között:

$$\int_0^{\dot{m}_{z_1-z_2}} d\dot{m} = \int_{z_1}^{z_2} C_d \cdot \bar{\rho} \cdot W \cdot |\Delta p(z)|^n \cdot dz = C_d \cdot \bar{\rho} \cdot W \cdot |\Delta \rho \cdot g|^n \cdot \frac{|z_2 - z_1|^{n+1}}{n+1}. \quad (3.16.)$$

Attól függően, hogy a Z_n neutrális magasság hol található, több esetet különböztethetünk meg. Az esetek a következő ábrákon láthatóak, melyek Haghighatól származnak [9].



3.4. ábra: A lehetséges esetek, ha a $\Delta \rho = \rho_1 - \rho_0$ sűrűségkülönbség kisebb 0-nál. (Haghighat [9])

A 3.4. ábrán látható esetek közül az elsőben a tömegáram a következő módon számítható:

$$\dot{m}_{0-1} = C_d \cdot \bar{\rho} \cdot W \cdot |\Delta \rho \cdot g|^n \cdot \frac{|H - 0|^{n+1}}{n+1}. \quad (3.17.)$$

Azaz az 1-es cellába „beáramlik” a 0. cella levegője. A másodikban:

$$\dot{m}_{0-1} = C_d \cdot \bar{p} \cdot W \cdot |\Delta p \cdot g|^n \cdot \frac{|Z_n|^{n+1}}{n+1} - C_d \cdot \bar{p} \cdot W \cdot |\Delta p \cdot g|^n \cdot \frac{|H - Z_n|^{n+1}}{n+1}. \quad (3.18.)$$

Míg a harmadikban:

$$\dot{m}_{0-1} = -C_d \cdot \bar{p} \cdot W \cdot |\Delta p \cdot g|^n \cdot \frac{|H - 0|^{n+1}}{n+1}. \quad (3.19.)$$

A 3.5. ábrán látható esetben a korábbiakhoz hasonlóan megkülönböztethetünk 3 esetet.

Az első esetben:

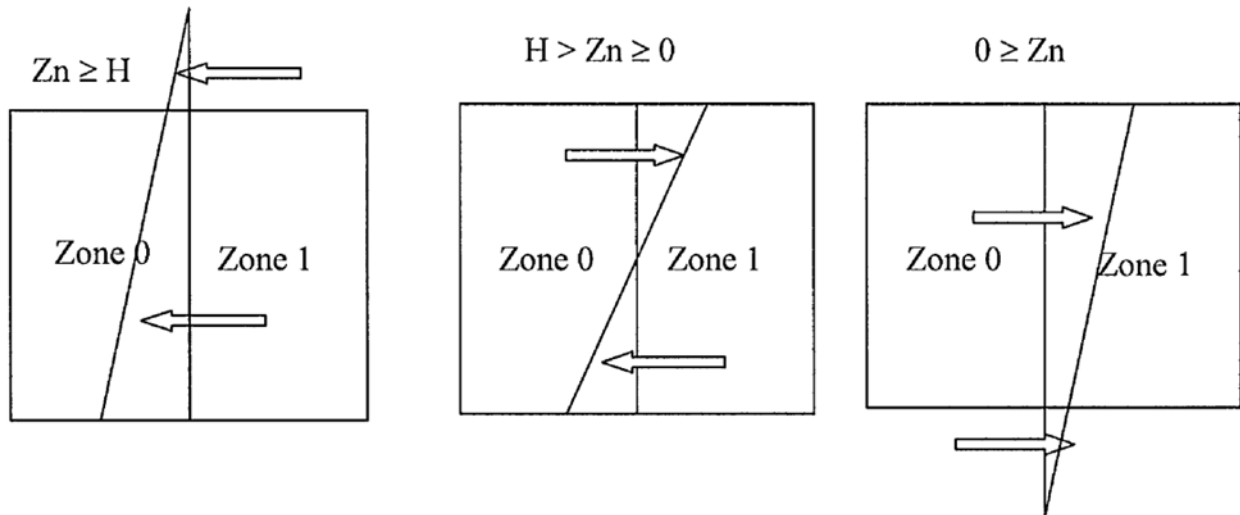
$$\dot{m}_{0-1} = -C_d \cdot \bar{p} \cdot W \cdot |\Delta p \cdot g|^n \cdot \frac{|H - 0|^{n+1}}{n+1}. \quad (3.20.)$$

A második esetben:

$$\dot{m}_{0-1} = C_d \cdot \bar{p} \cdot W \cdot |\Delta p \cdot g|^n \cdot \frac{|Z_n|^{n+1}}{n+1} - C_d \cdot \bar{p} \cdot W \cdot |\Delta p \cdot g|^n \cdot \frac{|H - Z_n|^{n+1}}{n+1}. \quad (3.21.)$$

Míg a harmadik esetben:

$$\dot{m}_{0-1} = C_d \cdot \bar{p} \cdot W \cdot |\Delta p \cdot g|^n \cdot \frac{|H - 0|^{n+1}}{n+1}. \quad (3.22.)$$



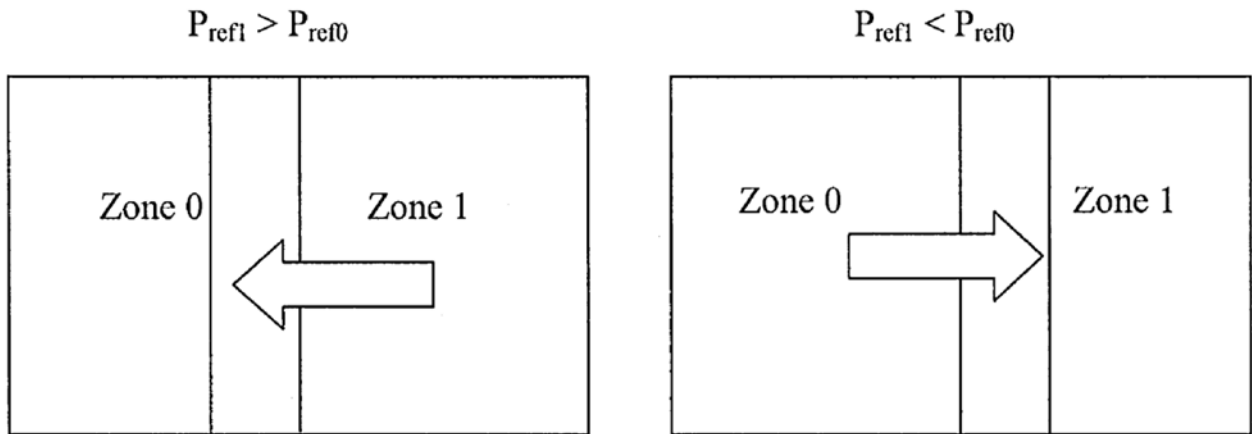
3.5. ábra: A lehetséges esetek, ha a $\Delta p = p_1 - p_0$ sűrűségkülönbség nagyobb 0-nál. (Haghighat [9])

A 3.6.-os ábrán látható esetekben pedig:

$$\dot{m}_{0-1} = -C_d \cdot \bar{p} \cdot A \cdot |\Delta p_{ref1} - \Delta p_{ref0}|^n, \quad (3.23.)$$

illetve:

$$\dot{m}_{0-1} = C_d \cdot \bar{\rho} \cdot A \cdot |\Delta p_{ref1} - \Delta p_{ref0}|^n. \quad (3.24.)$$



3.6. ábra: A lehetséges esetek, ha a $\Delta \rho = \rho_1 - \rho_0$ sűrűségkülönbség egyenlő 0-val. (Haghighat [9])

Az egyes eseteket a 3.1. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban az sgn függvény a signum függvényt jelöli, melynek értéke pozitív szám esetén 1, negatív szám esetén -1. Ha a szám értéke nulla, a signum függvény értéke is nulla.

3.1. táblázat: Tömegáram számítása Haghighat et al. [9] modelljével, különböző esetekben.

$\dot{m}_{0-1} = \text{sgn}[\Delta \rho \cdot (H - Z_n)] C_d \cdot \bar{\rho} \cdot W \cdot \Delta \rho \cdot g ^n \cdot \frac{ H - 0 ^{n+1}}{n+1}$	$\Delta \rho \neq 0$	$Z_n \notin [0; H]$
$\dot{m}_{0-1} = C_d \cdot \bar{\rho} \cdot W \cdot \Delta \rho \cdot g ^n \cdot \frac{ Z_n ^{n+1}}{n+1} - C_d \cdot \bar{\rho} \cdot W \cdot \Delta \rho \cdot g ^n \cdot \frac{ H - Z_n ^{n+1}}{n+1}$	$\Delta \rho \neq 0$	$Z_n \in [0; H]$
$\dot{m}_{0-1} = \text{sgn}(\Delta p_{ref1} - \Delta p_{ref0}) C_d \cdot \bar{\rho} \cdot A \cdot \Delta p_{ref1} - \Delta p_{ref0} ^n$	$\Delta \rho = 0$	

3.2. AXLEY (2001) ZONÁLIS MODELLJE

Az Axley [11] által javasolt zonális modell energia megmaradás és anyagmegmaradás szempontjából a korábban bemutatott (3.1. alfejezet) zonális modellhez hasonló egyenleteken alapul. Eltérés a két modell között a momentum megmaradást leíró egyenletekben van. A korábbiakban alkalmazott empirikus összefüggés helyett egy, a fal közelében kialakuló turbulens és lamináris áramlások elméleti leírásán alapuló modellt dolgozott ki. Ezen modell lényege az, hogy a sebességprofil alakját valamilyen összefüggéssel közelítve a nyomás és a térfogatáram közötti kapcsolatot egy a folyadék rétegek között fellépő csúsztató feszültséget feltételezve lehet számítani.

Axley szerint a korábbiakban bemutatott modell hibás eredményekre vezet, mivel abban az esetben, ha a tér felosztását finomítjuk sem kapunk pontosabb eredményeket. Szerinte ennek az az oka, hogy a modell ilyenkor úgy viselkedik, mintha a helyiség ellenállása megnőne, pedig ez nyilvánvalóan fizikailag helytelen. Ezenkívül a modell hibájának tartja azt is, hogy a súrlódási ellenállást, mely a légrétegek mozgása közben fellép, koncentráltan, a cellák határán értelmezi, míg nyilvánvalóan az a cellákon belül is jelen van.

A csúsztató feszültséget a hivatkozott irodalomban a következő módon közelítették a lamináris esetre, Newtoni folyadékokra:

$$\tau = -\mu \cdot \frac{d\bar{u}}{ds}, \quad (3.25.)$$

ahol

- τ a csúsztató feszültség.
- μ a folyadék dinamikai viszkozitása, [Pa·s].
- $\bar{u}$ az időben átlagolt sebesség, [m/s],
- s az áramlás irányával párhuzamos felületre normális irányban a.

Turbulens esetre a turbulens örvény-viszkozitással:

$$\tau = -\mu_e \cdot \frac{d\bar{u}}{ds}, \quad (3.26.)$$

ahol μ_e a turbulens örvényviszkozitás, vagy a Prandtl-féle keveredési úthossz hipotézisből kiindulva:

$$\tau = -\rho \cdot \kappa^2 \cdot s^2 \cdot \frac{d\bar{u}}{ds}, \quad (3.27.)$$

ahol

- κ a Kármán-féle konstans, melynek értéke 0.36 és 0.41 között változhat, [-],
- s a párhuzamos felülettől mért távolság, [m].

A sebességprofil a következő módon közelítették lamináris áramlás esetében:

$$\bar{u} = \bar{u}_{\max} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot s}{2S}\right), \quad (3.28.)$$

ahol

- S a helyiség karakterisztikus mérete, mely a vizsgált sebesség irányával párhuzamos felületek közötti távolság fel, [m],
- $\bar{u}_{\max}$ pedig egy elméleti maximális sebesség, amit $\bar{u}$ akkor vesz fel, ha $s=S$.

Az ilyen módon közelített profilt a szakirodalom negyed-sinus profilnak nevezi. A továbbiakban QS (quarter-sine) profilként hivatkozunk rá. A lamináris áramlás sebességprofilja hatványprofillal is jellemezhető.

$$\bar{u} = \bar{u}_{\max} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{s}{S}\right)^2\right], \quad (3.29.)$$

A hatványprofil a (3.29.) egyenlet szerint a turbulens áramlás jellemzésére is használható.

$$\bar{u} = \bar{u}_{\max} \cdot \left(\frac{s}{S}\right)^a, \quad (3.30.)$$

ahol a egy az áramlás Reynolds-számától függő hatványkitevő mely közelítőleg 1/7. A profilra a továbbiakban PL (power-law) profilként fogunk hivatkozni.

A fentiekben bemutatott összefüggésekből a következő egyenletek nyerhetőek azok különböző kombinációival, pl. QS profillal, a Newtoni-folyadékokra vonatkozó, lamináris áramlás esetén érvényes (3.22.) egyenletet felhasználva:

$$\Delta p_{j,i} = \frac{\mu \cdot \pi^2 \cdot \Delta r}{2\rho \cdot S^2 \cdot A} \dot{m}_{j,i}, \quad (3.31.)$$

vagy a (3.23.) egyenletet felhasználva:

$$\Delta p_{j,i} = \frac{\mu_e \cdot \pi^2 \cdot \Delta r}{2\rho \cdot S^2 \cdot A} \dot{m}_{j,i}, \quad (3.32.)$$

ahol:

- Δr a cella áramlási iránnyal párhuzamos mérete, [m],
- A pedig a cella áramlási irányra merőleges határoló felületének nagysága, [m²].

3. HÁROMDIMENZIÓS ZONÁLIS MODELLEK

A PL profillal és (3.23.) egyenlettel a következő egyenletet nyerhetjük:

$$\Delta p_{j,i} = \frac{\mu_e \cdot a \cdot (a - 1) \cdot \Delta r}{\rho} \cdot \left\{ \frac{1}{\Delta q \cdot \Delta s^3 \cdot \left[\left(\frac{2n_s - 1}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} \right]} + \frac{1}{\Delta q^3 \cdot \Delta s \cdot \left[\left(\frac{2n_q - 1}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} \right]} \right\} \cdot \dot{m}_{j,i}, \quad (3.33.)$$

vagy PL profillal, de a keveredési úthossz modellel (3.34.):

$$\Delta p_{j,i} = \frac{2\kappa^2 \cdot a^3 \cdot \Delta r}{\rho} \cdot \left[\frac{k_s}{\Delta q^2 \cdot \Delta s^3} + \frac{k_q}{\Delta q^3 \cdot \Delta s^2} \right] \cdot \dot{m}_{j,i}^2, \quad (3.34.)$$

ahol:

- $\Delta q, \Delta s$ a cella áramlási irányra merőleges oldalainak méretei, [m],
- n_s, n_q az áramlási iránnyal párhuzamos felületek és a cella közötti cellák száma,
- $k_s = 4/(4n_s - 3)$ páratlan hálók középső celláira, $k_s = 2/(2n_s - 1)$ minden más cellára, [-], k_q azonos módon számítható, de n_q -val.

A (3.33.)-as egyenlet páratlan hálók középső celláira nem érvényes. Ahogy az látható, a QS profil alkalmazása esetén az nyomáskülönbség és a tömegáram között a kapcsolat lineáris. Probléma ugyanakkor, hogy a QS profil csak a lamináris áramlás profilját közelíti elfogadható mértékben, turbulens áramlásokra nem érvényes. Ennek ellenére célszerű lehet a (3.32.)-as egyenlet felhasználása is, kezdeti feltételek számításához.

Szót kell ejteni a turbulens örvény-viszkozitás számításáról is. Axley a következő összefüggést javasolja:

$$\mu_e = 0.025 \cdot S \cdot \dot{V} / A_{RS}, \quad (3.35.)$$

ahol:

- S a korábbiaknak megfelelően a helyiség karakterisztikus mérete, [m],
- $\dot{V}$ a helyiségbe bevezetett térfogatáram, [m³/h],
- A_{RS} pedig a helyiség keresztmetszetének nagysága az S jellemző méretre merőleges normálisú síkban, [m²].

A turbulens örvény-viszkozitás számítására más összefüggés is létezik. Ilyen például a Q. Chen és W. Xu által kidolgozott turbulencia modellben szereplő (3.36.) egyenlet.

$$\mu_e = 0,0387 \cdot \rho \cdot |\bar{u}| \cdot l, \quad (3.36.)$$

ahol:

- $|\bar{u}|$ adott cellában a lokális sebesség nagysága, [m/s],
- l pedig a turbulencia hosszléptéke, [m].

3.2.1. A modell előnyei

A modellt Daoud és Galanis hasonlította [13] össze a korábbiakban már bemutatottal (3.1. alfejezet). A hivatkozott cikkben arra a megállapításra jutottak, hogy alapvetően mindegyik modell képes minőségileg jól előrejelezni a helyiségáramlásokat, ugyanakkor azonban a 3.1. fejezetben bemutatott összefüggések irreális nyomásokhoz vezetnek. Ezért ezek a nyomások nem használhatóak pl. a sűrűség számításához. Az ezen fejezetben, fentebb bemutatott modell ugyanakkor reális értékeket ad.

3.3. A NAVIER-STOKES EGYENLET KÖZELÍTÉSÉN ALAPULÓ ZONÁLIS MODELL

Létezik olyan modell is, mely az előző kettőtől jelentősebb mértékben eltér. A modellt 3D zonális modellként Bonvini et al. [14] írta le először. A korábban ismertetettekhez hasonlóan írja le a termikus energia és az anyag megmaradását illetve transzportját a cellák között, viszont nem alkalmazza a szabadsugarakat, konvektív áramlásokat leíró összefüggéseket. Helyettük, és a korábban bemutatott, impulzus-megmaradást leíró összefüggések helyett a Navier-Stokes egyenletet diszkretizálja egy hálón a turbulenciát pedig empirikus összefüggésekkel közelíti.

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

A korábbiakban ismertetteken kívül szükséges az áramlási elemeket leíró összefüggések bemutatása is. Nem minden egyes zonális modellhez szükséges alkalmazásuk, de a legtöbb esetben pontosabb eredmény kapható ilyen módon. Az áramlási elemek kialakulhatnak mesterséges és természetes úton is. A mesterséges úton kialakuló légsugarak („jet”) illetve a hőforrások miatt vagy meleg/hideg határoló felületek mellett létrejövő konvektív áramlatok („gravity currents”, „plumes”, „free convection flow”) is meghatározóan befolyásolják a helyiség egyes pontjaiban kialakuló komfortot. Ezen fejezet elsődleges forrása Awbi [15], a fejezet nagy mértékben alapul munkáján.

4.1. LÉGSUGARAK LEÍRÁSA

A légsugaraknak számos típusa létezik melyek leíró egyenletei különbözőek. Egyrészt csoportosíthatóak a befúvó nyílás típusa szerint:

- Tengelyszimmetrikus légsugarak.
- Sík légsugarak.
- 3D légsugarak (jellemzően olyan négyszög keresztmetszetű nyílás esetén mely magasságának és szélességének hányadosa kisebb, mint 40).

Ezen kívül megkülönböztethetünk:

- Izotermikus légsugarakat.
- A helyiség levegőjénél hidegebb/melegebb, nem izotermikus légsugarakat.

Fontos a beépítési környezet hatása is, így léteznek

- szabad és
- korlátozott légsugarak is.

4.1.1. Szabad, izotermikus légsugarak leíró összefüggései

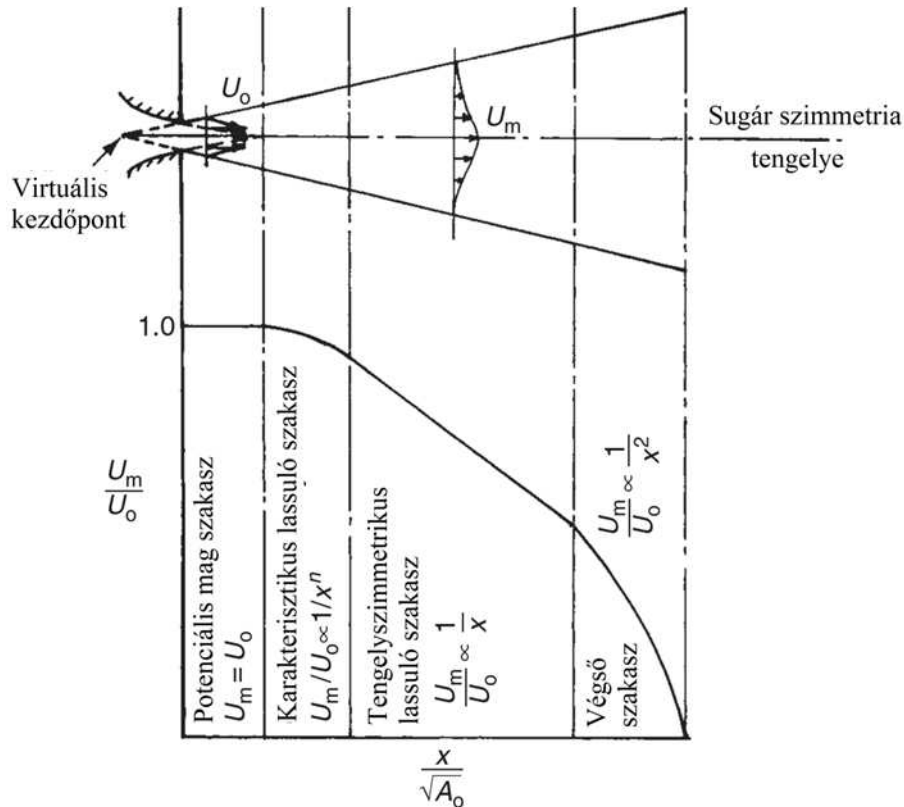
Bár elfordulásuk a gyakorlatban ritka, a további, fontos esetekre történő továbblépés előtt mindképpen ismertetni kell a szabad izotermikus légsugarak leíró összefüggéseit. Egy szabad, izotermikus, szimmetrikus légsugarat a következő 4.1 ábrán látható tartományok jellemzik. Az ábra vízszintes tengelyén a dimenziótlan távolság látható, a függőlegesen a dimenziótlan sebesség. Az ábrán az is szerepel, hogy az egyes tartományokban a tengelysebesség milyen módon arányos a távolsággal.

A befúvónyílásból kilépő légsugár és a helyiség levegőjének határán egy szabad nyíróréteg alakul ki, a helyiség levegője és a sugár levegője pedig a turbulencia miatt keverednek egymással. A sugár kezdeti a potenciális mag szakaszán a tengely sebesség egyenlő a befúvási sebességgel ((4.1.) egyenlet), a keveredés ezen a szakaszon nem tökéletes a helyiség levegőjével.

$$\frac{U_m}{U_0} = 1. \quad (4.1.)$$

A karakterisztikus lassuló szakaszon a tengelysebesség a távolság $-n$. hatványával arányos. n értéke 0.33-tól 1-ig változhat, a befúvó nyílás geometriájától függően. Kör és négyszög km. esetén ez a szakasz elhanyagolható ((4.2.) egyenlet).

$$\frac{U_m}{U_0} \sim \frac{1}{x^n}. \quad (4.2.)$$



4.1. ábra: Szimmetrikus szabadsugár szakaszai [15].

A tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon az áramlás nagymértékben turbulens a sugár határán jelentkező viszkózus nyírás miatt. 3 dimenziós légsugarak esetében ezt a tartományt a teljesen kialakult áramlás régiójának is nevezik, mert a sugár nyílásszöge közelítőleg konstans. Ha a 3 dimenziós sugár négyszög keresztmetszetű, akkor ez a szög a négyszög oldalainak arányától függ. A tengelysebesség leépülése a távolsággal fordítottan arányos ebben a szakaszban ((4.3.) egyenlet).

$$\frac{U_m}{U_0} \sim \frac{1}{x}. \quad (4.3.)$$

A végző szakaszban a sugár megkülönböztethetlenné válik a határoló levegőtől. Ezen a szakaszon a tengelysebesség a távolság -2 . hatványával arányos ((4.4.) egyenlet).

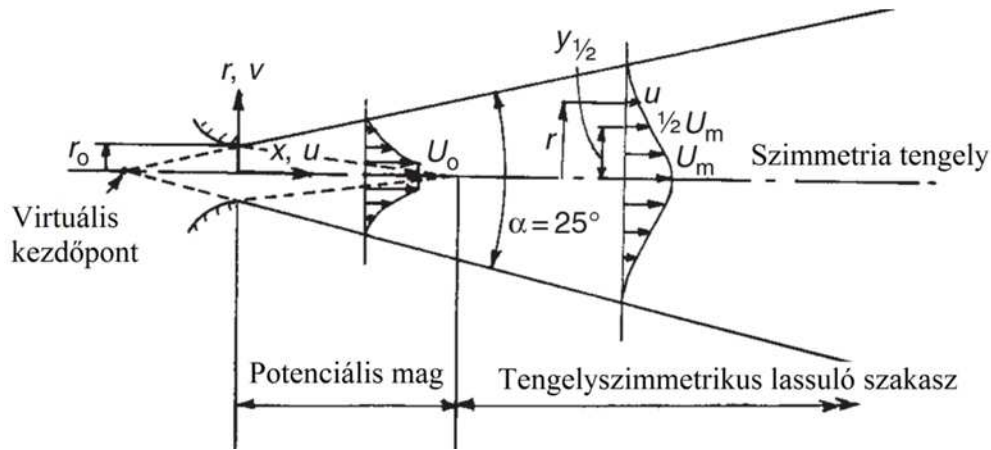
$$\frac{U_m}{U_0} \sim \frac{1}{x^2}. \quad (4.4.)$$

Az egyes szakaszok határa a nyílás geometriájától és turbulencia nyílásbeli jellegétől függ. Sík szabadsugarak esetén a potenciális mag és a karakterisztikus lassuló szakasz a legfontosabb, míg 3 dimenziós, szimmetrikus sugarak esetében a karakterisztikus helyett a tengelyszimmetrikus szakasz válik fontosabbá. Például négyszög keresztmetszet esetén, ha a nyílás oldalaránya végtelenhez tart, a karakterisztikus lassuló szakasz, míg ha egyhez tart, a tengelyszimmetrikus lassuló szakasz lesz fontos.

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMETEK LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

4.1.1.1. KÖR KERESZTMETSZETŰ NYÍLÁSBÓL KILÉPŐ SZABADSUGARAK

Kör keresztmetszetű (vagy négyzet keresztmetszetű, ebben az esetben az átmérőt a keresztmetszet nagyságának a négyzetgyökével helyettesíthetjük) nyílás esetén a légsugár csak a potenciális mag szakaszra és a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszra egyszerűsödik. A sugár vázlata és az egyes jellemző mennyiségek értelmezése a 4.2. ábrán látható. Először az izotermikus esetet tárgyaljuk.



4.2. ábra: Tengelyszimmetrikus kör km. szabadsugár szakaszai [15].

A szabadsugár leírására a következő összefüggések használhatóak fel. A sebesség a szimmetria tengelytől a sugár széle felé haladva fokozatosan csökken. Az egyes, azonos x koordinátákhoz tartozó sebességeket a tengelysebességgel dimenziótlaníthatjuk. A sebességekhez tartozó r sugárirányú, szimmetria tengelytől mért koordinátát azzal a sugárirányú koordinátával dimenziótlaníthatjuk, ahol a sebesség éppen a tengelysebesség fele. Ezen koordináta szokásos jelölése $r_{0,5}$. Értéke a (4.5.) egyenlettel számítható.

$$r_{0,5} = 0,1 \cdot x. \quad (4.5.)$$

A dimenziótlan sugárirányú koordináta függvényében ábrázolt dimenziótlan sebességek a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon közelítőleg egy görbére esnek az x koordinátától függetlenül. A görbe lehet Gauss-féle normális eloszlás, de más féle közelítés is létezik. Például a (4.6.) egyenlettel írható le.

$$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \cdot \left(\frac{r}{r_{0,5}}\right)^2}, \quad (4.6.)$$

A tengelysebesség a (4.7.) egyenlettel számítható.

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{K_v}{x/d_0}, \quad (4.7.)$$

ahol:

- U_m a tengelysebesség, [m/s],
- U_0 a sebesség a befúvónyílásban, [m/s],
- K_v a nyílást jellemző „vetési konstans” (throw constant), [-], értéke egyes kutatók szerint egyszerű kör km. nyílásra 5,75, mások a 7,32-es értéket javasolják, míg a 6,3-as érték is előfordul [15], a továbbiakban ezt használom,
- d_0 a befúvó nyílás átmérője, [m],

- x a nyílástól mért távolság, [m].

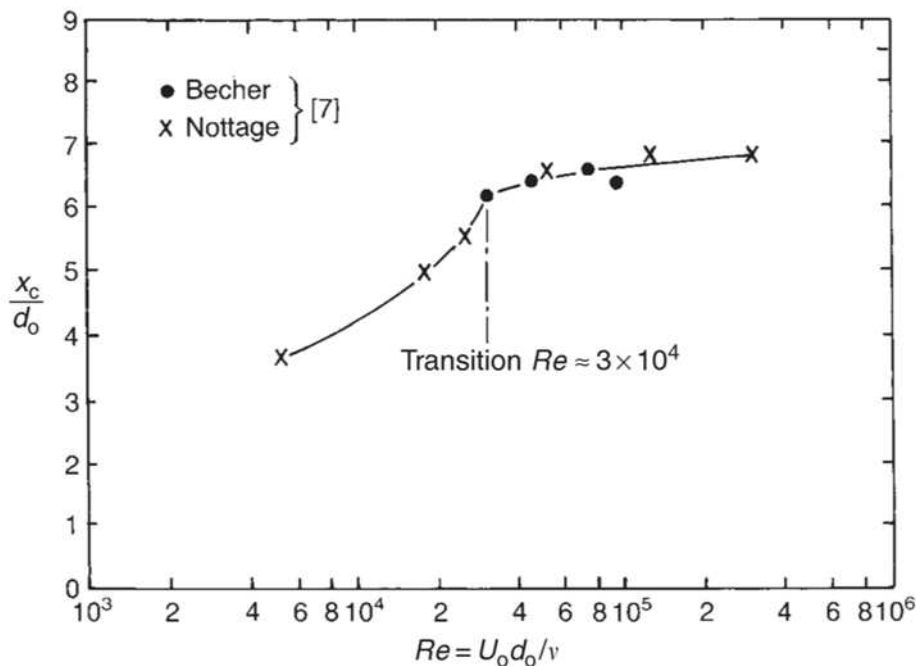
A sugár által mozgatott légtömeg nagysága folyamatosan változik. A (4.8.) összefüggéssel meghatározható hogy a befúvástól adott távolságban mekkora a megmozgatott térfogatáram és a befúvott térfogatáram aránya, az az a légsugár indukciója. A levezetés módszerének részletezésére a későbbiekben kerül sor. Az egyenlet $K_v=5,5$ -re azonos a Rajaratnam [17] által közölttel.

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,0578 \cdot K_v \cdot \frac{x}{d_0}, \quad (4.8.)$$

ahol:

- Q az indukált térfogatáram, [m³/h],
- Q_0 a befúvó nyílásból kilépő térfogatáram, [m³/h].

Az összefüggések csak a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon érvényesek, melynek határa a befúvó nyílásra számolt Reynolds-számtól és a turbulencia intenzitástól függ. A 4.3. ábra a magszakasz végének/lassuló szakasz kezdetének helyét mutatja be a Reynolds-szám függvényében. Awbi [15] megállapítja, ahogy a 4.3 ábrán is látszik, hogy a Reynolds-szám hatása, továbbá a turbulencia intenzitás hatása is minimális a Reynolds-szám 30000-nél nagyobb értékei esetén. Ez szerinte igaz a vetési konstansra is, azaz az is független a Reynolds-számtól a 30000-es érték felett.



4.3. ábra: A magszakasz határa a Reynolds-szám függvényében [15].

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

4.1.1.2. RÉSBŐL KILÉPŐ SÍK SZABADSUGARAK

Sík szabadsugárrol beszélhetünk, ha a sugár egy résből lép ki, és a résre igaz, hogy a rövidebb és hosszabb oldal aránya nagyobb, mint 40. Ekkor az áramlás a szélektől távol 2D-nek tekinthető. Ezért az ilyen sugarakat 2 dimenziós szabadsugaraknak is nevezhetjük. A sugár y irányú sebességeloszlása a korábbiakhoz hasonlóan minden x helyen dimenziótlanítható. A potenciális magszakaszon kívül, az karakterisztikus lassuló szakaszon az egyes x koordinátákhoz tartozó sebességeloszlások azonosak lesznek. Az egyik dimenziótlanítási paraméter jelen esetben is a tengelysebesség, míg a másik az az ipszilon koordináta melynél a tengelysebesség fele mérhető. Ez a koordináta közelítőleg a (4.9.) összefüggéssel számítható.

$$y_{0,5} = 0,1 \cdot x, \quad (4.9.)$$

Az adott x koordinátához tartozó, y irányú sebességeloszlás (4.10.) egyenlettel számítható:

$$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}}\right)^2}, \quad (4.10.)$$

A nyílás magasságát h -val jelölve a (4.11.) összefüggést kaphatjuk a tengelysebességre.

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{K_v}{\sqrt{x/h}}, \quad (4.11.)$$

A vetési konstans K_v értéke Rajaratnam [17] szerint 2,47. Az indukció a (4.12.) egyenletből kapható meg, melynek levezetésére a következő pontban bemutatott módszert használtuk fel. Az egyenlet $K_v=2,9$ -re azonos a Rajaratnam által közölttel.

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,213 \cdot K_v \cdot \sqrt{\frac{x}{h}}, \quad (4.12.)$$

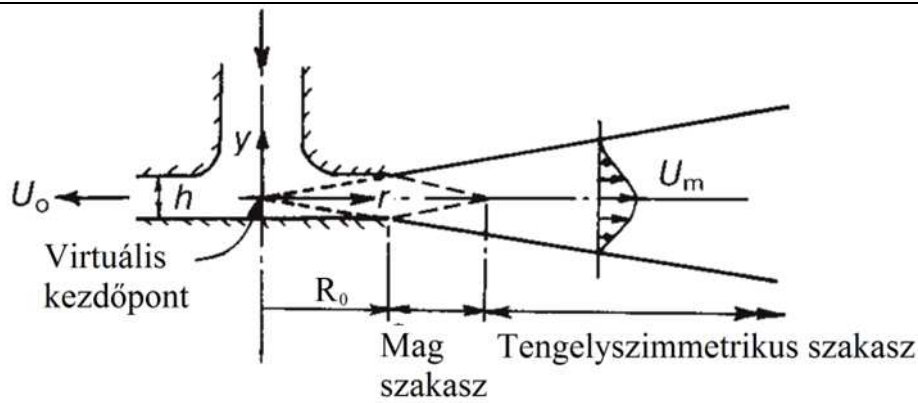
4.1.1.3. RADIÁLIS SZABADSUGARAK

Radiális szabadsugarak akkor jönnek létre, ha például a levegő két körlap közül lép ki. Az ilyen sugarak sebességprofilja a 2D szabadsugarakéhoz hasonló. Ezért a érvényes rájuk a (4.9.) és (4.10.) egyenlet. A (4.9.) egyenletben az $x=(r-R_0)$ helyettesítést kell alkalmazni. A tengelysebesség leépülését a (4.13.) egyenlettel határozhatjuk meg. Az egyes jelölések értelmezése a 4.4. ábrán látható.

$$\frac{U_m}{U_0} = K_v \cdot \sqrt{\frac{R_0 \cdot h}{(r - R_0) \cdot r}}, \quad (4.13.)$$

ahol:

- R_0 a körlapok átmérője, [m],
- r a kilépési keresztmetszettől mért távolság, [m].



4.4. ábra: Radiális szabadsugár definíciós vázlata [15].

A K_v konstans értéke Rajaratnam [17] szerint 2,47, míg máshol [2] értékét 1,8-3,5 közöttinek tartják. A Rajaratnam [17] és Dr. Magyar Tamás [16] által követett módszert és a (4.9.)-es illetve (4.10.)-es egyenletet felhasználva a sugár indukciójára a (4.18.) összefüggést kaptam. A sugár által megmozgatott térfogatáram a nyílástól r távolságra a (4.15.) egyenlettel számítható.

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} u \cdot 2r\pi \, dy. \quad (4.14.)$$

A sebességeloszlás dimenziótlanítható $y_{0,5}$ -el és U_m -el. Így a (4.15.) egyenletet kapjuk.

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u}{U_m} d\left(\frac{y}{y_{0,5}}\right) \cdot 2r\pi \cdot y_{0,5} \cdot U_m. \quad (4.15.)$$

Az integrálás eredményével:

$$Q = 2,129 \cdot 2r\pi \cdot y_{0,5} \cdot U_m. \quad (4.16.)$$

Így a sugár indukciója:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{2,129 \cdot 2r\pi \cdot y_{0,5} \cdot U_m}{U_0 \cdot h \cdot 2R_0\pi} = 2,129 \cdot \frac{r \cdot 0,1 \cdot (r - R_0)}{h \cdot R_0} \cdot K_v \cdot \sqrt{\frac{R_0 \cdot h}{(r - R_0) \cdot r}}. \quad (4.17.)$$

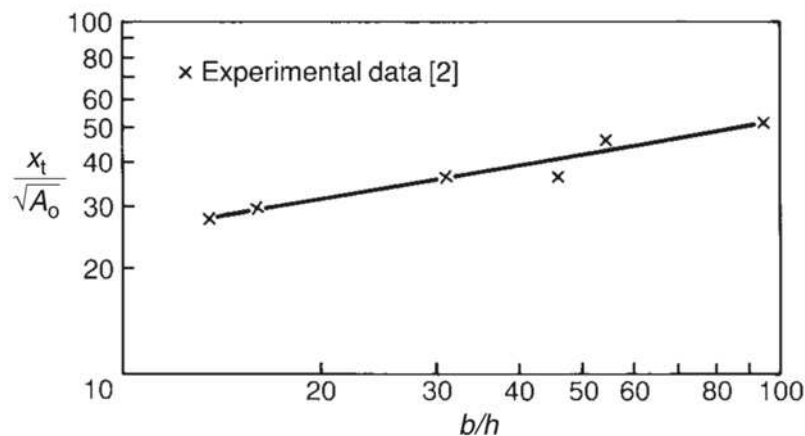
$$\frac{Q}{Q_0} = 0,213 \cdot K_v \cdot \sqrt{\frac{r \cdot (r - R_0)}{h \cdot R_0}}, \quad (4.18.)$$

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

4.1.1.4. 3 DIMENZIÓS SZABADSUGARAK

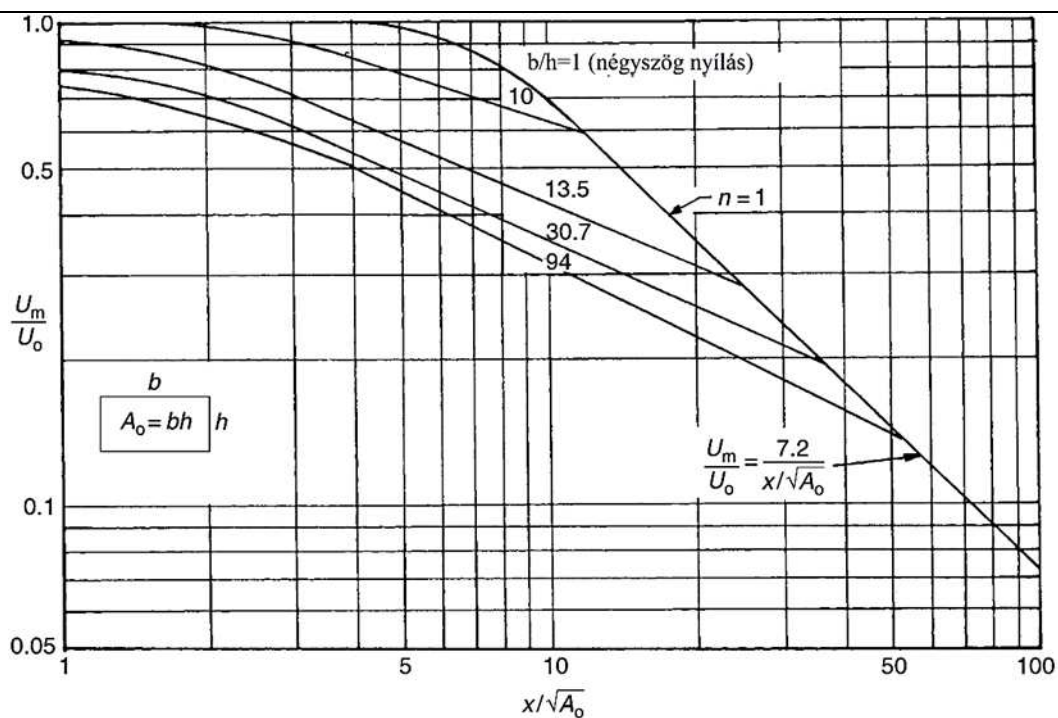
A korábbiakban olyan szabadsugarakkal foglalkoztunk, melyek esetében az áramlás minden egyes metszetükben hasonló volt. Ugyanakkor nem minden szabadsugár viselkedik az előbbieknak megfelelően. Azok a szabadsugarak, melyek olyan nyílásból lépnek ki amely oldalainak aránya 1 és 40 közé esik, 3 dimenziós áramlást hoznak létre melynek jellemzése a korábbiaknál bonyolultabb. A korábbiakban (4.1. ábra) láttuk, hogy a szabadsugarak esetében 4 különböző régió jelenik meg, és míg az egyszerűbb esetekben csupán a 3 régiónak volt jelentősebb szerepe (sík szabadsugár estén a tengelyszimmetrikus lassuló szakasz, míg kör szabadsugár a karakterisztikus lassuló szakasz nincs jelen), addig egy 3D szabadsugárnál mind a négy megjelenik. A karakterisztikus lassuló szakasz és a tengelyszimmetrikus lassuló szakasz határát Awbi [15] a 4.5. ábrán mutatja be. Az ábra alapján a (4.19.) egyenletet határozhatjuk meg. Az egyenlet csak a $b/h=13,5$ fölött érvényes. (h a négyszög magassága, b a szélessége.) Mérési adatok ez alatt nem állnak rendelkezésre, mert itt a karakterisztikus lassuló szakasz kevésbé „hosszú”.

$$\frac{x_t}{\sqrt{A_0}} = 12,1 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^{0,32}, \quad (4.19.)$$



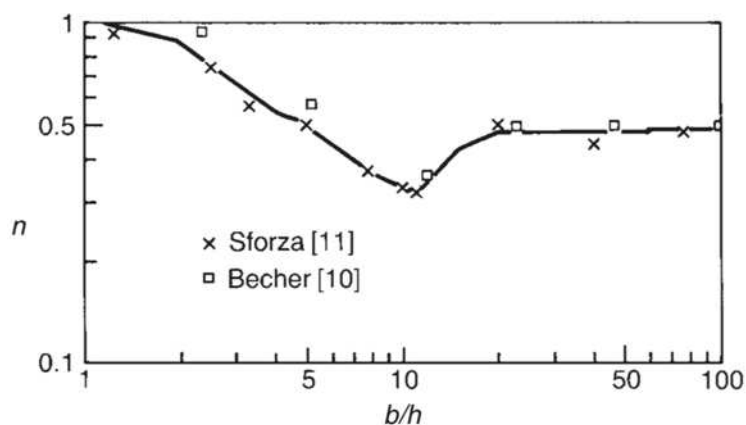
4.5. ábra: Karakterisztikus és a tengelyszimmetrikus lassuló szakasz határa [15].

A tengelysebesség leépülése a következő 4.6. ábrán látható. Az ábrán n a dimenziótlan távolság kitevője. A tengelysebesség a dimenziótlan távolság n . hatványával fordítottan arányos. Dimenziótlan távolság alatt a vízszintes tengelyen is szereplő, a keresztmetszet négyzetgyökével dimenziótlanított x koordinátát értem.



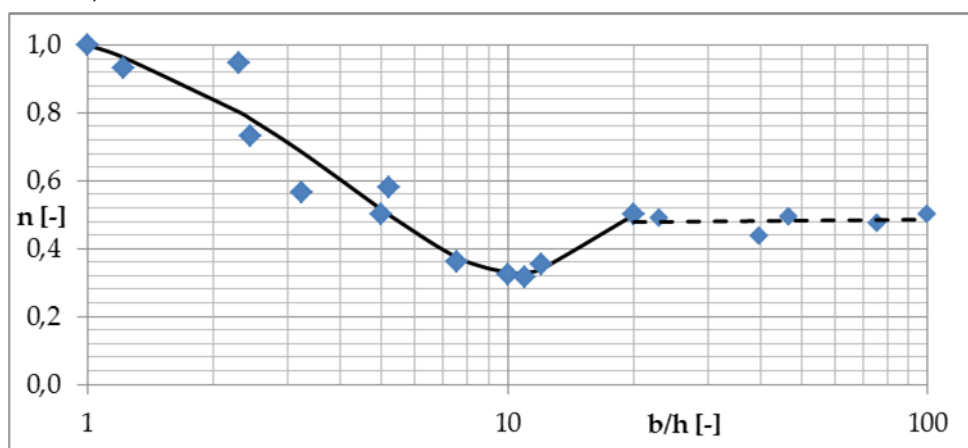
4.6. ábra: Tengelysebesség leépülése 3 dimenziós szabadsugár esetén [15].

Az n kitevő nagysága a 4.7. ábrának megfelelően az oldalarány függvénye.



4.7. ábra: Az n kitevő változása az oldalarány függvényében [15].

Az Awbi által közölt eredményeket a 4.8. ábrán ábrázoltuk. Látható, hogy abban az esetben, ha b/h nagyobb, mint 20, az n kitevő értéke 0,5-re vehető. (Regressziós egyenes: szaggatott vonal.)



4.8. ábra: Az n kitevő változása az oldalarány függvényében Awbi [15] nyomán, regressziós parabolával.

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

Ha kisebb, akkor a regressziós parabolát leíró, a szerző által meghatározott (4.20.) egyenlettel számítható.

$$n = -2,99 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^3 + 1,41 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2 - 1,96 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{b}{h}\right) + 1,18, \quad (4.20.)$$

A tengelyszimmetrikus régióban a tengelysebesség a (4.21.) egyenlettel számítható:

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{K_v}{x / \sqrt{A_0}}. \quad (4.21.)$$

A_0 a nyílás keresztmetszetének nagysága és K_v értéke 7,2-nek vehető. A karakterisztikus lassuló szakaszon a következő megfontolások alapján belátható, hogy a vetési konstans nem 7,2. A szakaszok határán a két leíró egyenlet szerinti tengelysebességnek nyilvánvalóan azonosnak kell lennie, azaz:

$$\frac{K_v^n}{\left(x_t / \sqrt{A_0}\right)^n} = \frac{K_v}{x_t / \sqrt{A_0}}. \quad (4.22.)$$

A (4.19.) egyenlet alapján a (4.22.) egyenlet átalakítható:

$$\frac{K_v^n}{\left(12,1 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^{0,32}\right)^n} = \frac{K_v}{12,1 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^{0,32}}, \quad (4.23.)$$

ami tovább írható:

$$K_v^n = K_v \cdot \left[12,1 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^{0,32}\right]^{n-1}. \quad (4.24.)$$

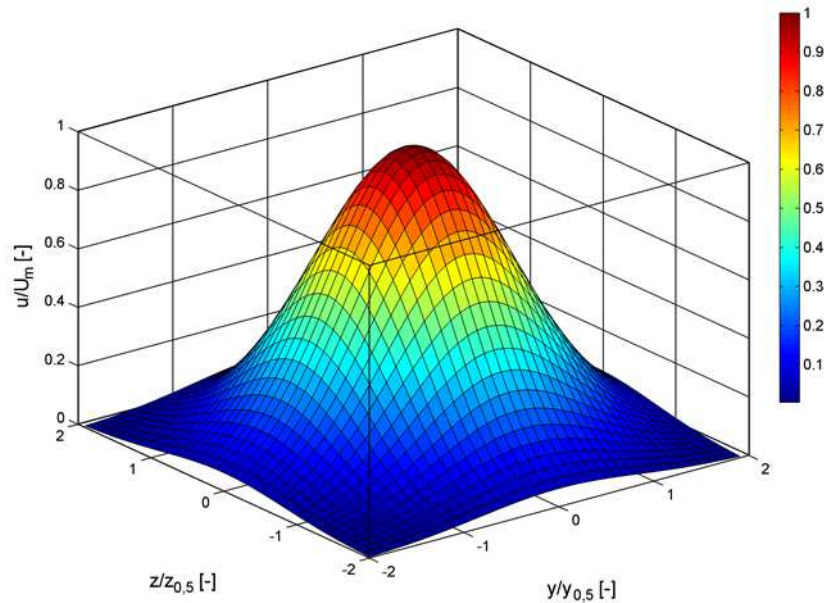
Tehát a vetési konstansot korrigálni kell, az a rés geometriájától függ. Ezzel a karakterisztikus lassuló szakaszon a tengelysebesség leépülése:

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{K_v^n}{\left(x / \sqrt{A_0}\right)^n}. \quad (4.25.)$$

A 3 dimenziós szabadsugarak sebességének eloszlásával kapcsolatban kevés adattal rendelkezünk. Ugyanakkor a Daoud és Galanis [13] által korlátozott, 3 dimenziós légsugarra javasolt technikát használva a következő (4.26.) egyenletet kaphatjuk.

$$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}}\right)^2} \cdot e^{-0,693 \cdot \left(\frac{z}{z_{0,5}}\right)^2}. \quad (4.26.)$$

A sebességprofil a 4.9. ábrán lett szemléltetve.



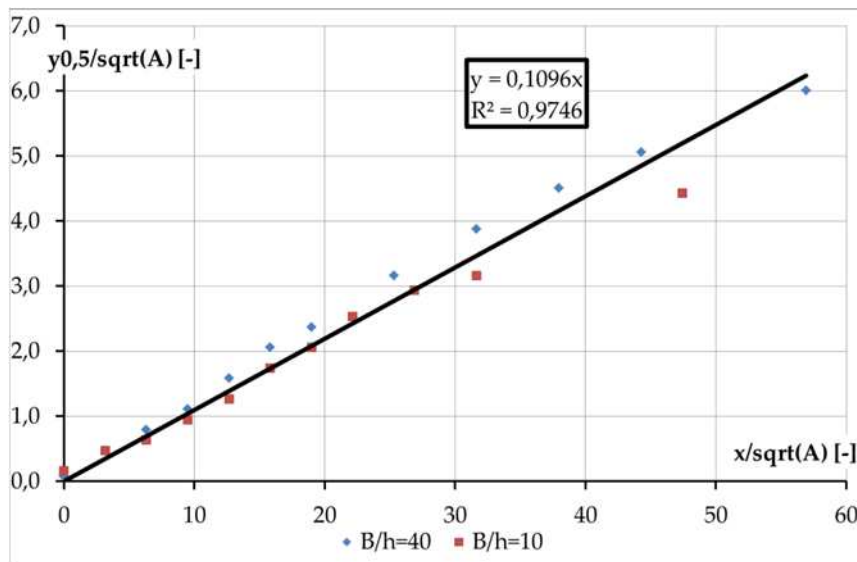
4.9. ábra: A 3 dimenziós szabadsugar közelítő dimenziótlan sebességprofilja.

Az egyes irányokban a jellemző távolságok ($y_{0,5}$, $z_{0,5}$) számítására a (4.27.) és (4.28.) egyenletek használhatóak, melyek a Rajaratnam [17] által közölt, Yevdjevich által gyűjtött adatokon alapulnak. Az $y_{0,5}$ -ra vonatkozó adatpontokat a 4.10. ábrán ábrázoltuk. A (4.28.) összefüggés csak x_t alatt érvényes, fölötté a (4.29.) használandó.

$$y_{0,5} = 0,11 \cdot x, \quad (4.27.)$$

$$z_{0,5} = 0,09 \cdot x, \quad (4.28.)$$

$$z_{0,5} = 6,94 \cdot 10^{-2} \cdot x_t, \quad (4.29.)$$

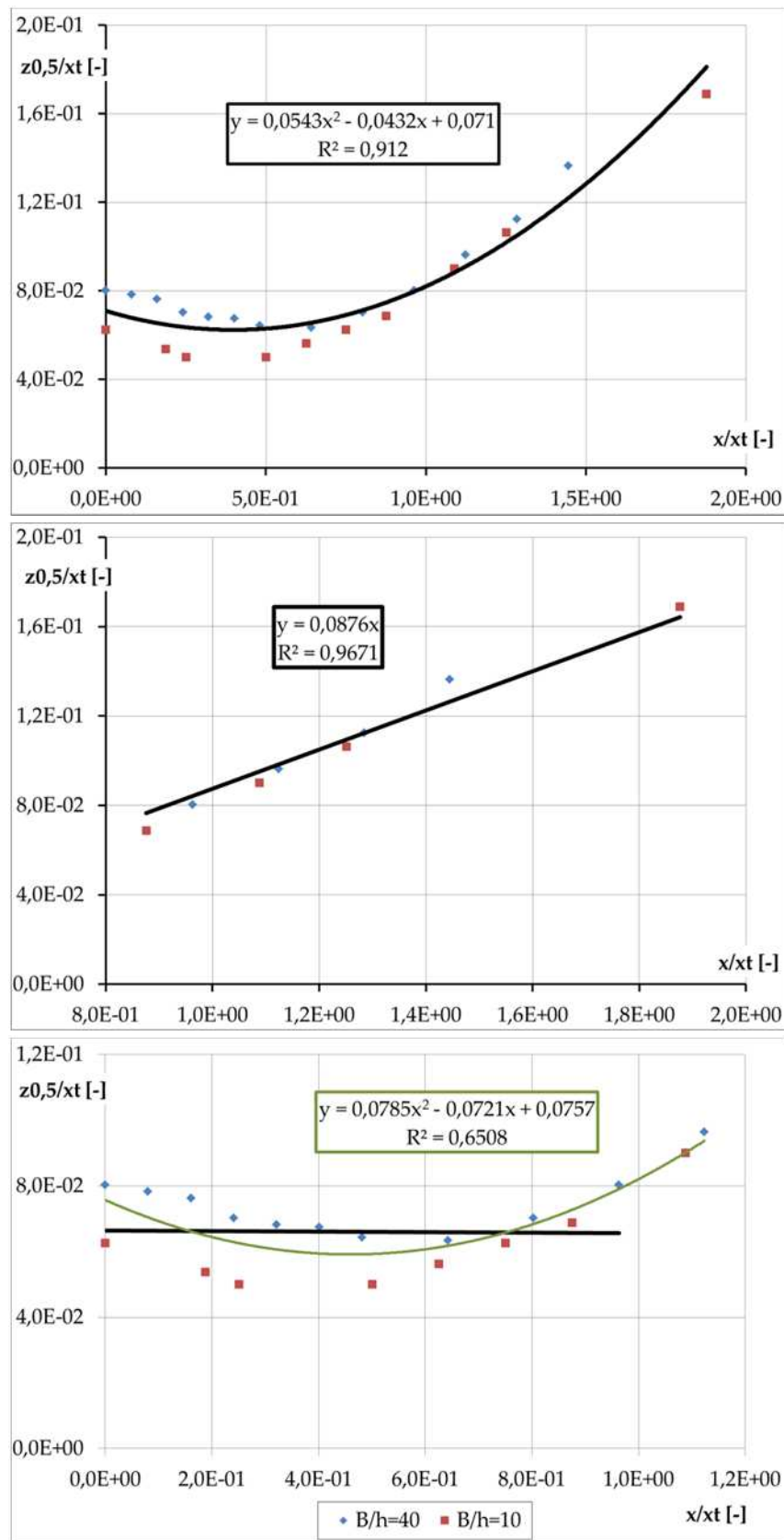


4.10. ábra: A $y_{0,5}$ szakasz hossza a távolság függvényében. Az y tengely a nyílás rövidebb oldalával párhuzamos.

Az $z_{0,5}$ -re vonatkozó adatpontok a 4.11. ábrán lettek ábrázolva. Ebben az esetben a dimenziótlantásra nem a keresztmetszet gyökét, hanem a sugárra jellemző x_t szakasz hosszát célszerű használni, így az adatok jó közelítéssel azonos trendet mutatnak, mely a Rajaratnam által közölt ábrákon nem figyelhető meg. A $z_{0,5}$ szakasz hossza a teljes vizsgált tartományon számítható egy parabolával. Az egyszerűség kedvéért azonban a tartományt két részre, egy x_t alatti és egy x_t fölötti részre bontottuk. A második diagramon látható,

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMETEK LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

hogy x_t fölött $z_{0,5}$ egyszerűen számítható, a pontok egy egyenesre esnek. x_t alatt, ha pontosak akarunk lenni, egy parabolát használhatunk $z_{0,5}$ számítására. Ahogy az jól látszik (lásd: fekete egyenes), akkor sem vétünk nagy hibát, ha feltételezzük, hogy x_t alatt a $z_{0,5}/x_t$ hányados értéke konstans. Ezzel eljutunk a (4.29.) egyenlethez.



4.11. ábra: A $z_{0,5}$ szakasz hossza a távolság függvényében. Az z tengely a nyílás hosszabb oldalával párhuzamos.

A sugár indukcióját a már korábban is alkalmazott módszerrel határozhatjuk meg. A térfogatáram a nyílástól x távolságra a (4.30.) egyenlettel számítható:

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u \, dy \, dz. \quad (4.30.)$$

Ezt az egyenletet át lehet alakítani:

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u}{U_m} \, d\frac{y}{y_{0,5}} \, d\frac{z}{z_{0,5}} \cdot U_m \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5}. \quad (4.31.)$$

Az integrál értékét meghatározva a (4.26.) egyenlet integrálásával:

$$Q = 4,53 \cdot U_m \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5}. \quad (4.32.)$$

Ezzel az indukció felírható a (4.33.) egyenlettel, ami a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon a (4.34.) egyenletnek megfelelő formát, míg a karakterisztikus lassuló szakaszon a (4.35.) egyenletnek megfelelő formát veszi fel.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{4,53 \cdot U_m \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5}}{A_0 \cdot U_0}. \quad (4.33.)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{4,53 \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5} \cdot K_v}{x \cdot \sqrt{A_0}}. \quad (4.34.)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{4,53 \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5}}{x^n / A_0^{1-0,5n}} \cdot K_v \cdot \left[12,1 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,32} \right]^{n-1}. \quad (4.35.)$$

A (4.27.) és a (4.28.) egyenletek (4.34.) egyenletbe történő behelyettesítése után a (4.36.) egyenletet kaphatjuk. A (4.27.), (4.19.) és a (4.29.) egyenletek (4.35.) egyenletbe történő behelyettesítése után a (4.37.) egyenletet nyerhetők.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{4,53 \cdot 0,09 \cdot x \cdot 0,11 \cdot x \cdot K_v}{x \cdot \sqrt{A_0}} = 0,0448 \cdot K_v \cdot \frac{x}{\sqrt{A_0}}. \quad (4.36.)$$

$$\begin{aligned} \frac{Q}{Q_0} &= 4,53 \cdot 0,11 \cdot \frac{x}{\sqrt{A_0}} \cdot 6,94 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{x_t}{\sqrt{A_0}} \cdot \frac{1}{\left(x / \sqrt{A_0} \right)^n} \cdot K_v \cdot \left[12,1 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,32} \right]^{n-1} = \\ &= 4,53 \cdot 0,11 \cdot \frac{x}{\sqrt{A_0}} \cdot 6,94 \cdot 10^{-2} \cdot 12,1 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,32} \cdot \frac{1}{\left(x / \sqrt{A_0} \right)^n} \cdot K_v \cdot \left[12,1 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,32} \right]^{n-1} = \\ \frac{Q}{Q_0} &= 0,0346 \cdot K_v \cdot \frac{x}{\sqrt{A_0}} \cdot \left[12,1 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,32} \right]^n \cdot \left(\frac{\sqrt{A_0}}{x} \right)^n. \end{aligned} \quad (4.37.)$$

A $K_v=7,2$ helyettesítéssel a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon a (4.38.) egyenlettel számítható az indukció értéke. A karakterisztikus lassuló szakaszon a (4.39.) egyenletet lehet használni. Mindenképpen rá kell mutatnunk, hogy a (4.38.) egyenlet nagymértékben hasonlít a kör km. szabadsugarakra bemutatott (4.8.) egyenletre, az ott részletezett helyettesítéssel. A két összefüggés x_t -nél nem ad azonos eredményt az indukció értékére. A (4.38.) egyenlet maximálisan 22%-al kevesebbet ad, mint a (4.39.) egyenlet, holott a két

értéknek meg kellene egyeznie. Ez $z_{0,5}$ egyszerűsítéséből adódik.

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,32 \cdot \frac{x}{\sqrt{A_0}}. \quad (4.38.)$$

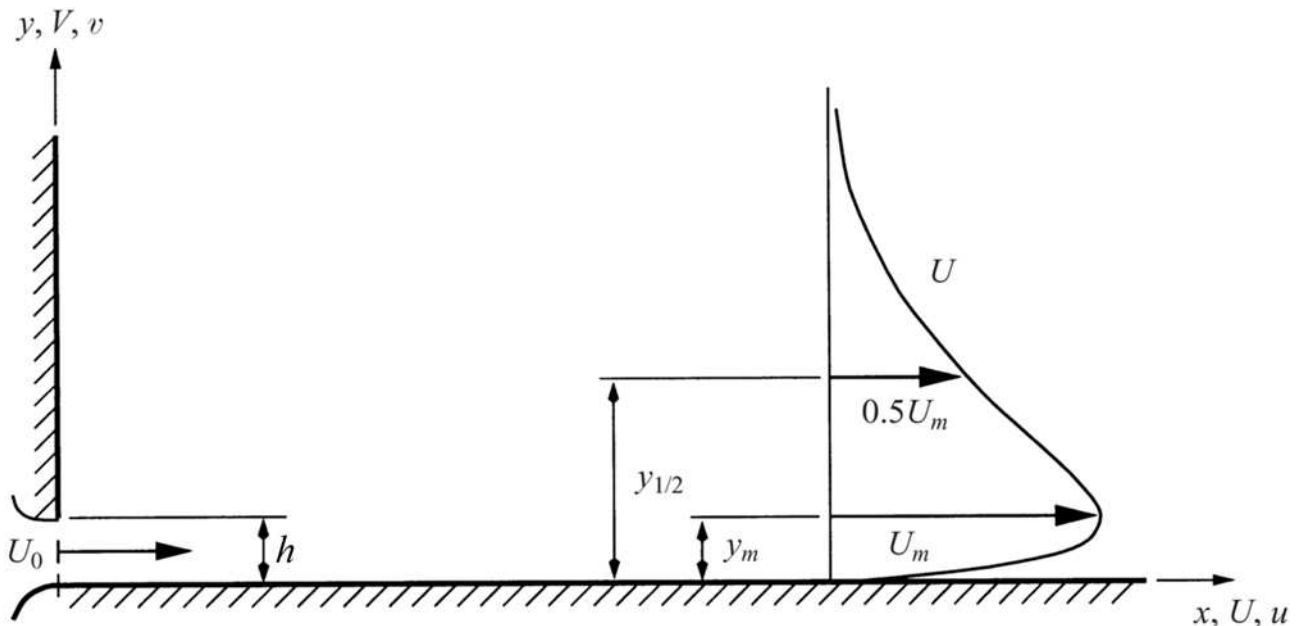
$$\frac{Q}{Q_0} = 0,25 \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{A_0}} \right) \cdot \left[12,1 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,32} \right]^n \cdot \left(\frac{\sqrt{A_0}}{x} \right)^n. \quad (4.39.)$$

4.1.2. Korlátozott, izotermikus légsugarak leírása

Egy légsugarat korlátozottnak nevezünk, ha a befúvónyíláshoz elegendően közel egy fal felület található, mely a légsugár szabad fejlődését akadályozza.

4.1.2.1. RÉSBŐL KILÉPŐ KORLÁTOZOTT SÍK SUGARAK

A korlátozott sík sugarak tekinthetők a legegyszerűbb korlátozott sugaraknak, továbbá sebességprofiljuk és egyéb jellemzőik megjelennek a későbbiekben tárgyalandó bonyolultabb szabadsugaraknál is. A sugár egyes jellemzői a 4.12. ábrán láthatóak.



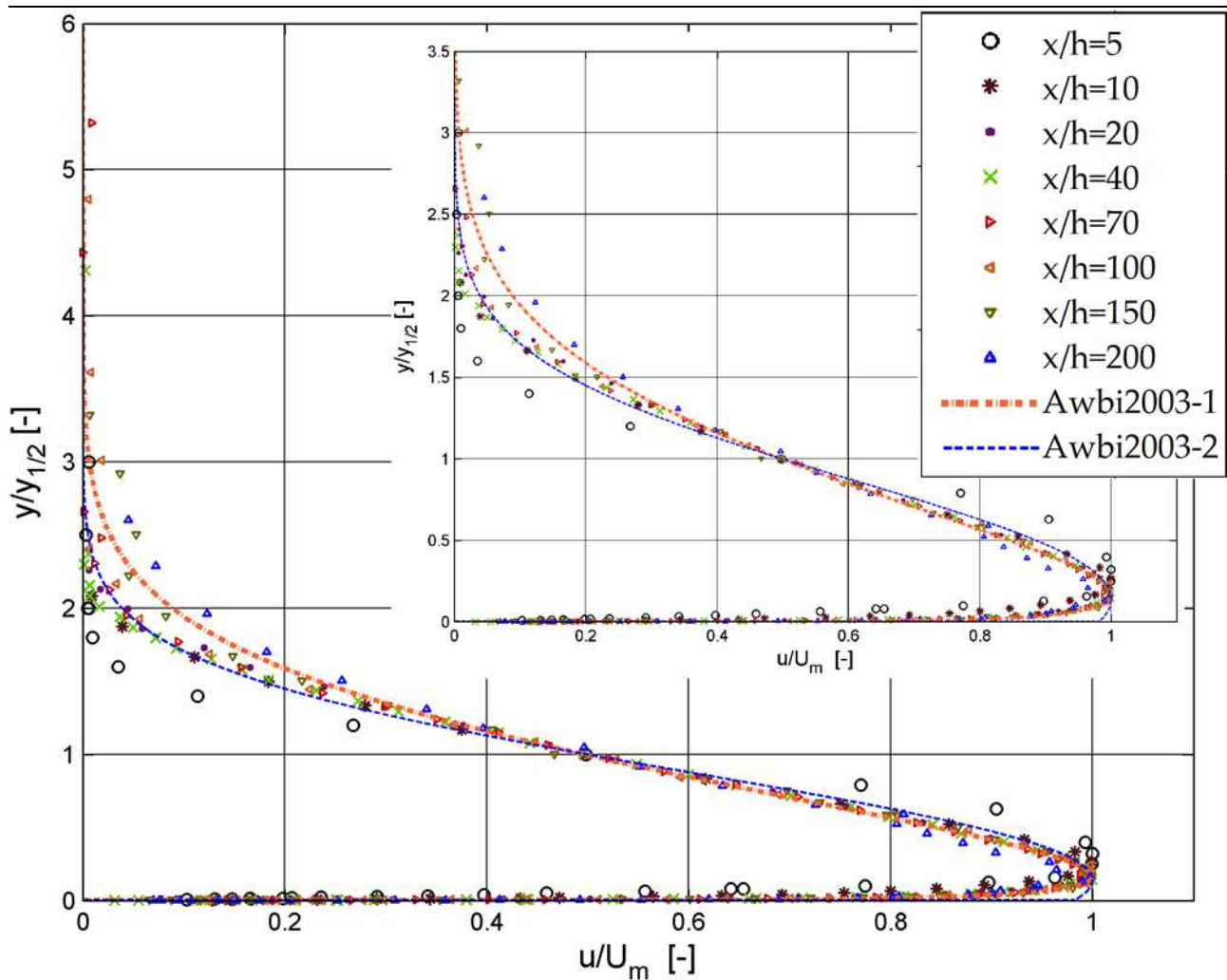
4.12. ábra: 2D korlátozott légsugár definíciós vázlata.

Awbi [15] szerint a sebességprofil a (4.40.) illetve a (4.41.) egyenletekkel írható le a kialakult turbulens áramlás tartományában. Az áramlás kialakultnak akkor tekinthető, ha a rés magassága (h) és az réstől mért távolság (x) aránya (x/h) legalább 7. Ez figyelhető meg a 4.13. ábrán. A pontok jó közelítéssel egybe esnek, az első mérési hely kivételével. A diagramon ábrázoltam a (4.40.) egyenletet (Awbi2003-1) illetve a (4.41.) egyenletet (Awbi2003-2).

$$\frac{u}{U_m} = 1,48 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1/7} \cdot \left(1 - \operatorname{erf} \left[0,68 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right) \right] \right), \quad (4.40.)$$

$$\frac{u}{U_m} = e^{\left[-0,937 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} - 0,14 \right)^2 \right]}. \quad (4.41.)$$

A (4.41.) egyenlet csak $\frac{y}{y_{0,5}} > 0,14$ -re érvényes.



4.13. ábra: A dimenziótlan sebességprofilok a réstől mért távolság függvényében, Karlsson et al. mérései alapján. [20]

A tengelysebesség leépülésére W. K. George et al. [21] a (4.42.) egyenletet javasolta. Az egyenlet levezetéséhez a hasonlóság elméletet használta fel, elemezve a sugár egyik oldalán, a fal mellett kialakuló turbulens határréteg áramlást, illetve a külső oldalon kialakuló szabad nyíróréteget.

$$\frac{U_m}{U_0} = B_0 \cdot \left(\frac{y_{0,5}}{h} \right)^n. \quad (4.42.)$$

Az n kitevő értéke -0,528, míg a B_0 konstans értéke 1,12. Kérdés, hogy az $y_{0,5}/h$ érték milyen módon függ x -től. B. E. Launder és W. Rodi [22] nagyszámú mérés eredményét elemezte, egészen 1980-ig. A legtöbb mérés konklúziója az volt, hogy a kapcsolat lineáris. A hivatkozott munka alapján a (4.43.) egyenletet kaphatjuk.

$$y_{0,5} = (0,073 \pm 0,002) \cdot x + c. \quad (4.43.)$$

Meg kell jegyezni, W. K. George et al. [21] hasonlóság-elméleti megoldása is hasonló eredményre vezetett. Szerinte $y_{0,5}$ és x között a kapcsolat nem lineáris, de a lineáristól való eltérés minimális. Ezt az egyenletet egyszerűsítve a következő közelítésre lehet jutni:

$$y_{0,5} = 0,073 \cdot x. \quad (4.44.)$$

Ilyen összefüggést közölt Rajaratnam [17] is, melyben a konstans értéke 0,068 volt.

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

Ezzel a (4.42.) egyenlet a következő alakot veszi fel:

$$\frac{U_m}{U_0} = 1,12 \cdot \left(0,073 \cdot \frac{x}{h} \right)^{-0,528}. \quad (4.45.)$$

Ami tovább alakítható:

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{4,46}{(x/h)^{-0,528}}. \quad (4.46.)$$

Rajaratnam [17], Awbi [15] illetve az [2]-es forrás is a következő egyenletet közli, mely közelítőleg azonos a (4.46.) egyenlettel.

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{K_v}{\sqrt{x/h}}, \quad (4.47.)$$

K_v értéke a források szerint 2 és 4 között változhat, ezen értékeknél ~12%-al nagyobb a (4.46.) egyenletben szereplő konstans.

A légsugár indukciójának számításához a Rajaratnam [17] és Dr. Magyar Tamás [16] által alkalmazott módszert használhatjuk. A sugár által megmozgatott összes térfogatáram a nyílástól x távolságra a (4.48.) egyenlettel számítható. A számításokat a sugár egy méterére vonatkoztathatjuk.

$$Q = \int_0^\infty u \, dy \cdot 1m. \quad (4.48.)$$

A sebességeloszlás a pl. a (4.40.) egyenletnek megfelelően dimenziótlanítható $y_{0,5}$ -el és U_m -el. Így a (4.31.) egyenletet kapjuk.

$$Q = \int_0^\infty \frac{u}{U_m} d\left(\frac{y}{y_{0,5}}\right) \cdot y_{0,5} \cdot U_m \cdot 1m. \quad (4.49.)$$

Ez az integrál kiszámítható, hiszen csak a (4.40.) egyenletet kell integrálni. Az integrálás eredményével:

$$Q = 1,094 \cdot y_{0,5} \cdot U_m \cdot 1m. \quad (4.50.)$$

Így a sugár indukciója:

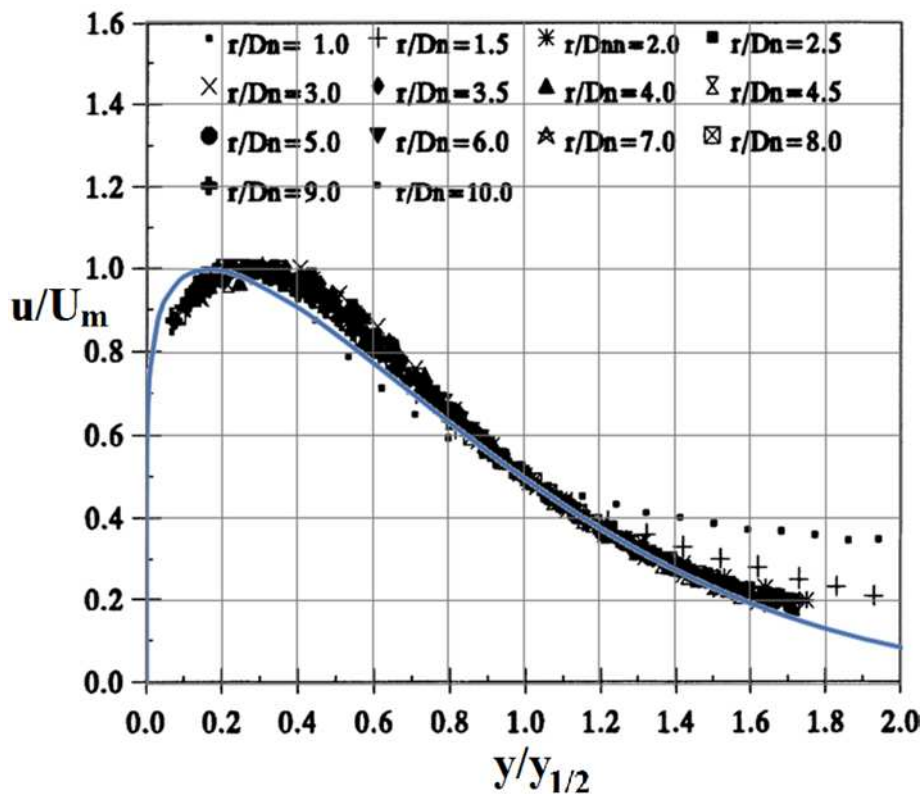
$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1,094 \cdot y_{0,5} \cdot U_m}{U_0 \cdot h} = 1,094 \cdot 0,073 \cdot \frac{x}{h} \cdot \frac{K_v}{(x/h)^n} = 0,08 \cdot \frac{K_v}{(x/h)^{n-1}}. \quad (4.51.)$$

Amiben n értéke a korábbiaknak megfelelően vagy 0,528 vagy 0,5 lehet. Rajaratnam [17] szerint az indukció a (4.52.) egyenlettel írható le, mely azonos az előzővel, ha $n=0,5$ K_v pedig 3,1.

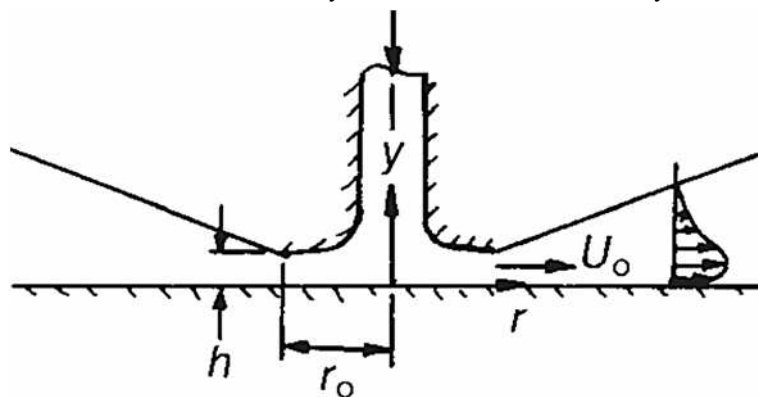
$$\frac{Q}{Q_0} = 0.248 \cdot (x/h)^{0,5}. \quad (4.52.)$$

4.1.2.2. RADIÁLIS KORLÁTOZOTT LÉGSUGARAK

A radiális korlátozott légsugarak az előző, résből kiáramló sugarakhoz hasonló sebességprofillal rendelkeznek. Ki kell emelni, hogy mind Rajaratnam [17], mind G. Krishnan és K. Mohseni [23] beszámolt arról, hogy a (4.40.) egyenlettel számított, 2 dimenziós korlátozott légsugarakra érvényes profil Reynolds-szám függő és nem teljesen azonos a radiális korlátozott légsugarakra meghatározott sebességprofilokkal. Ennek ellenére közelítésre felhasználható. Az ily módon vett hiba nagyságáról képet kaphatunk a 4.14. ábra alapján, melyen K. Knowles és M. Myszko [24] mérési eredményeit ábrázoltuk. A kék vonal a sebességprofil (4.40.) egyenlettel meghatározott alakja, míg a pontok a mérési eredményeket ábrázolják. A radiális korlátozott sugarat egy síklapnak ütköző légsugár hozta létre (ahogy G. Krishnan és K. Mohseni [23] esetében is). D_n a sugarat kibocsátó fúvóka átmérője volt, r értelmezése megegyezik a 4.15. ábrán jelölttel.



4.14. ábra: A dimenziótlan sebességprofilok radiális korlátozott légsugár esetén, K. Knowles és M. Myszko [24] mérési eredményei.

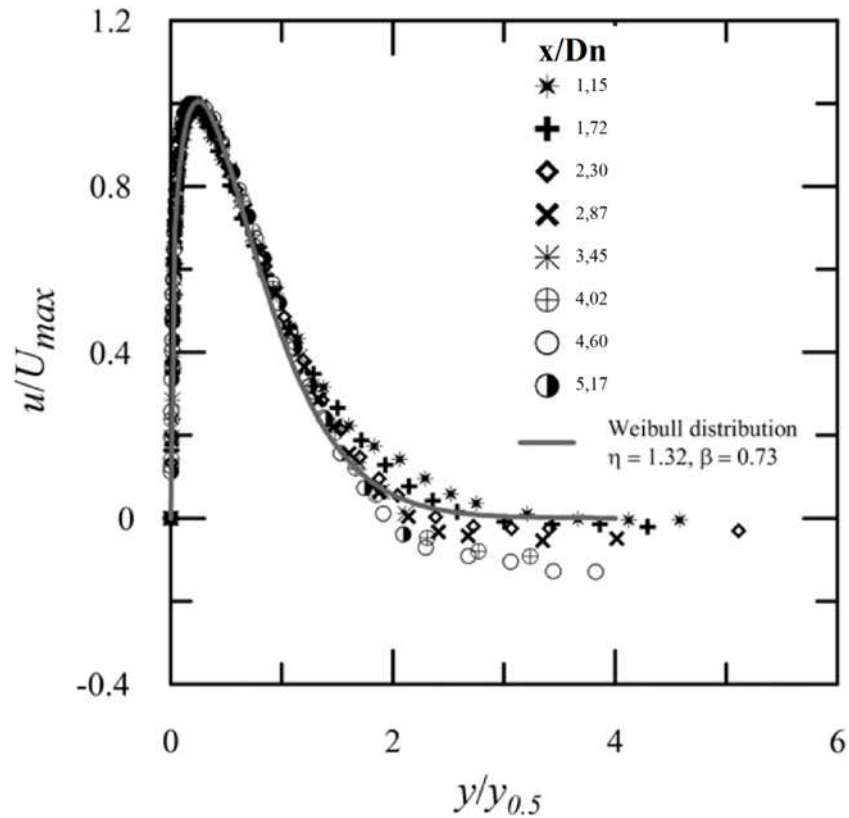


4.15. ábra: Radiális korlátozott légsugár definíciós vázlat. (Awbi [15])

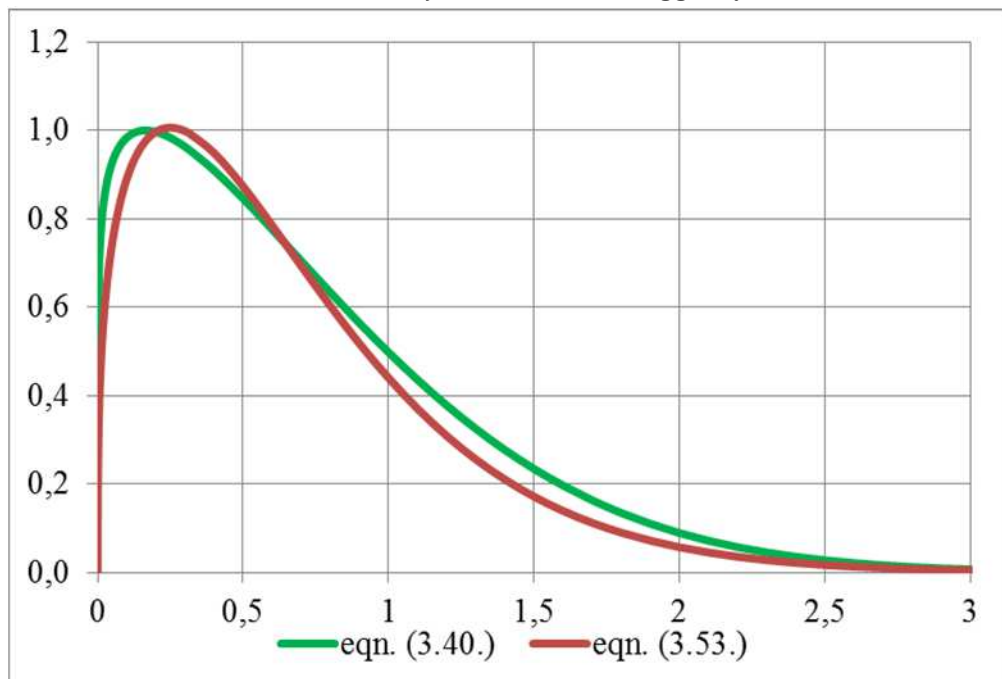
4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

J. B. R. Loureiro és A. P. Silva Freire [25] szintén síknak ütköző légsugárral végeztek méréseket, és a sebességprofil leírására a (4.53.) egyenletet határozták meg, mely a Weibull-eloszlás egyenlete, melyben csak a β és η paraméterek határozták meg az eredeti forrásban. A forrásban közölt értékeket behelyettesítve kapjuk az itt közölt egyenletet.

$$\frac{u}{U_m} = 2 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{0,32} \cdot e^{-1,515 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1,32}}. \quad (4.53.)$$



4.16. ábra: J. B. R. Loureiro és A. P. Silva Freire [25] mérési eredményei és az általuk javasolt eloszlás-függvény.



4.17. ábra: A sebességprofilra vonatkozó két különböző összefüggés összehasonlítása.

A tengelysebesség leépülése a (4.54.) egyenlettel számítható. Az egyes jelölések értelmezése a 4.15. ábrán látható.

$$\frac{U_m}{U_0} = K_v \cdot \sqrt{\frac{R_0 \cdot h}{(r - R_0) \cdot r}}, \quad (4.54.)$$

Az $y_{0,5}$ koordináta a (4.55.) összefüggéssel számítható [17].

$$y_{0,5} = 0,078 \cdot r, \quad (4.55.)$$

A K_v konstans értéke Rajaratnam [17] szerint 3,5, az [2]-es forrás szerint 1-2 között változhat és Awbi [15] 3,1-es értéket is közöl. A korábbiaknak megfelelően (4.1.1.3. pont) a sugár indukciója a sebességprofil és az $y_{0,5}$ távolság ismeretében számítható, a (4.56.)- (4.59.) egyenletekkel.

$$Q = \int_0^\infty u \cdot 2r\pi \cdot dy. \quad (4.56.)$$

A sebességeloszlás dimenziótlanítható $y_{0,5}$ -el és U_m -el, majd az integrálás (4.53.) egyenlet ismeretében elvégezhető, így a (4.56.) egyenletre juthatunk.

$$Q = 1 \cdot 2r\pi \cdot y_{0,5} \cdot U_m. \quad (4.57.)$$

Így a sugár indukciója a (4.59.) egyenlettel kapható meg, melyben a konstans tag ($0,078 \cdot K_v$) $K_v=2,57$ esetén azonos a Rajaratnam által közölt 0,201-es értékkel.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1 \cdot 2r\pi \cdot y_{0,5} \cdot U_{mm}}{U_0 \cdot h \cdot 2R_0\pi} = 1 \cdot \frac{r \cdot 0,078 \cdot (r - R_0)}{h \cdot R_0} \cdot K_v \cdot \sqrt{\frac{R_0 \cdot h}{(r - R_0) \cdot r}}. \quad (4.58.)$$

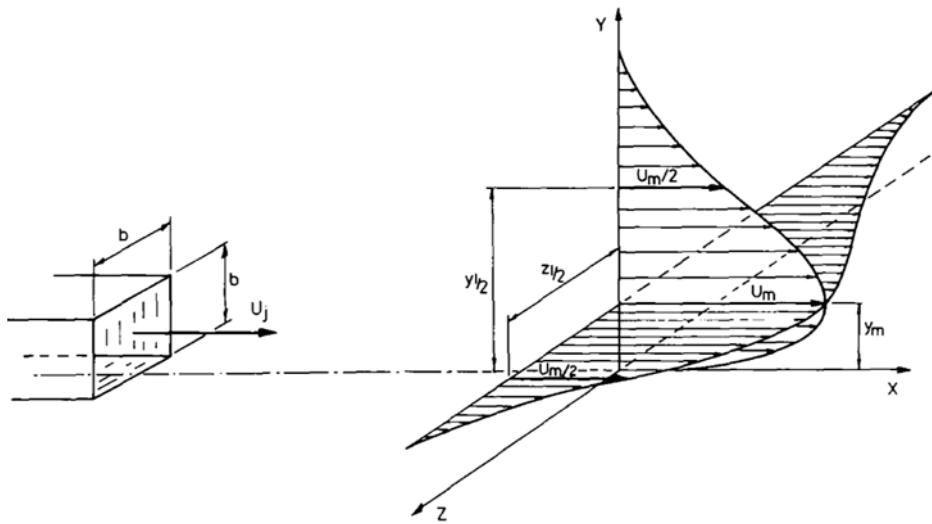
$$\frac{Q}{Q_0} = 0,078 \cdot K_v \cdot \sqrt{\frac{r \cdot (r - R_0)}{h \cdot R_0}}, \quad (4.59.)$$

4.1.2.3. 3 DIMENZIÓS KORLÁTOZOTT LÉGSUGARAK

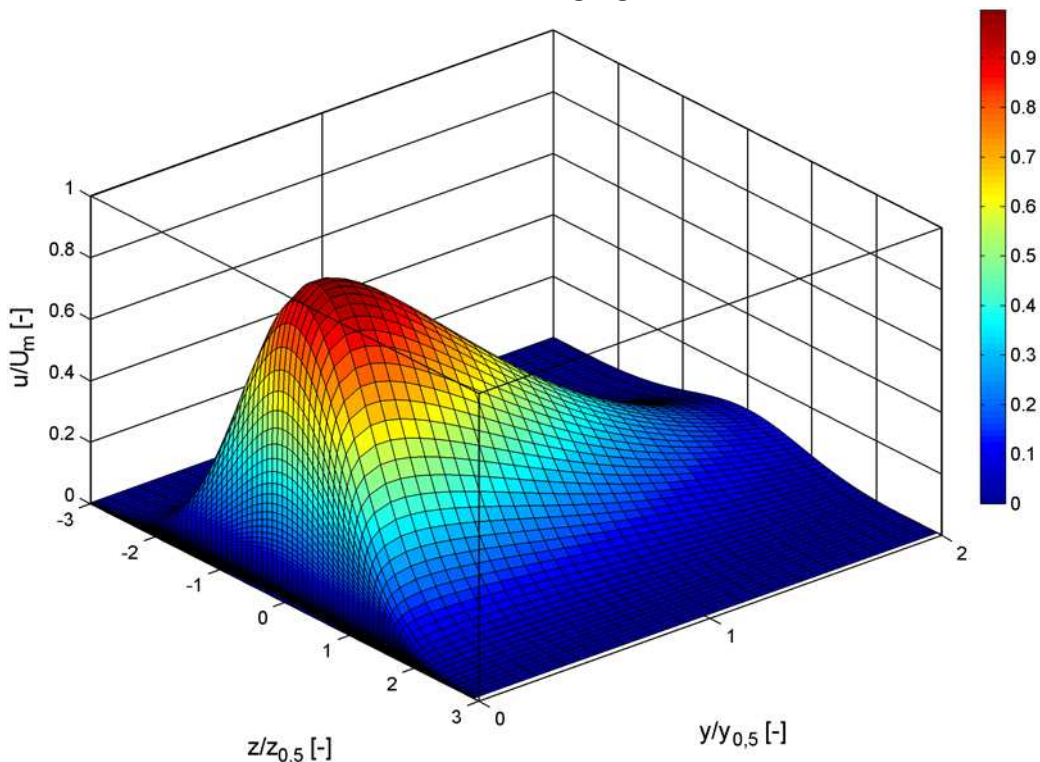
Ahogy a szabadsugarak estében is látható volt, a korlátozott szabadsugaraknál is léteznek olyan befúvónyílások, melyek 3 dimenziós sebességmezőt eredményeznek. Ilyenek a korábbiakhoz hasonlóan a 40-nél kisebb oldalarányú négyszögletű befúvónyílások vagy a kör keresztmetszetű befúvónyílások. Az ilyen légsugarak sebességeloszlása B. E. Launder és W. Rodi [22] szerint a nyílástól elegendő távolságra (a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon) nem függ a nyílás alakjától, és a függőleges szimmetria síkon olyan, mint egy résből kivezetett korlátozott légsugár sebességprofilja. Azon a horizontális síkon, mely a maximális sebességnél metszi a szimmetria síkot, pedig olyan, mint pl. egy kör km. szabadsugár profilja. Ez egybe vág Rajaratnam [17] eredményeivel. Ezek alapján a sebességprofil a (4.60.) egyenlettel számítható.

$$\frac{u}{U_m} = 1,48 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}}\right)^{1/7} \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left[0,68 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}}\right)\right]\right) \cdot e^{-0,693 \cdot \left(\frac{z}{z_{0,5}}\right)^2}, \quad (4.60.)$$

A jelölések értelmezései a 4.18. ábrán láthatóak. Meg kell jegyezni, hogy ehhez hasonló egyenletre jutott Daoud és Galanis [13] is, melyet sikeresen használtak fel egy 3 dimenziós légsugár által létrehozott áramlás leírására. A sugár sebességprofilja a 4.19. ábrán 3 dimenzióban látható.



4.18. ábra: 3 dimenziós, korlátozott légsugár definíciós vázlata [22].



4.19. ábra: 3 dimenziós, korlátozott légsugár sebességprofilja a (4.60.) egyenlet alapján.

Az egyenlettel kapott eredményeket összehasonlítottam Abrahamsson et al. [26] mérési eredményeivel is (4.20. és 4.21. ábrák). A mérési eredmények kielégítő egyezést mutatnak a (4.60.) egyenlet által meghatározott sebességprofilokkal. A nyílás alakja kör volt, a méréseket a nyílástól $x/d=80$ távolságra. A vertikális sebességprofilt a szimmetria síkon mérték, a horizontálisat a $y=y_m$ -nél.

Sforza és Herbst [27] adatait elemezve, az látszik, hogy a karakterisztikus lassuló szakasz hosszabb, mint a szabad 3 dimenziós légsugaraknál. Rajaratnam szerint tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon a tengelysebesség leépülése x/h -val lineárisan arányos. A mérési adatokat a 4.22. ábrán ábrázoltam. A tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon a tengelysebesség leépülése a (4.61.) egyenlettel számítható. K_v értéke a mérések alapján 8,25.

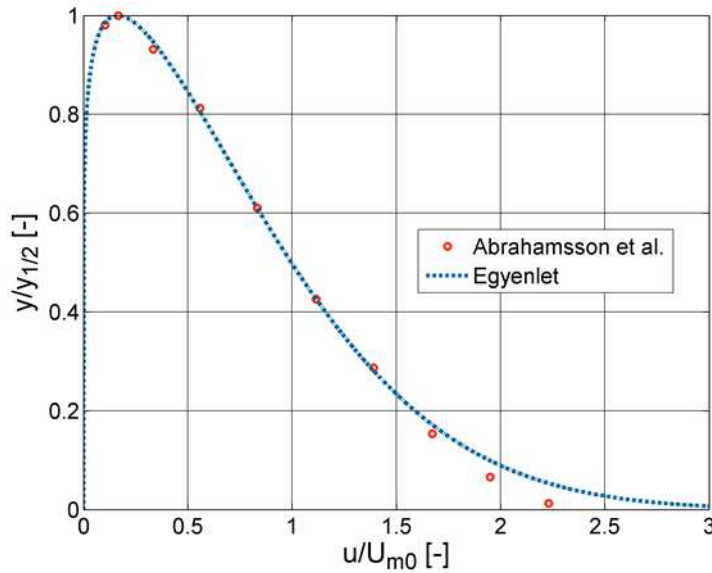
$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{K_v}{x / \sqrt{A_0}}. \quad (4.61.)$$

A karakterisztikus lassuló szakaszon a (4.62.) egyenlet használható.

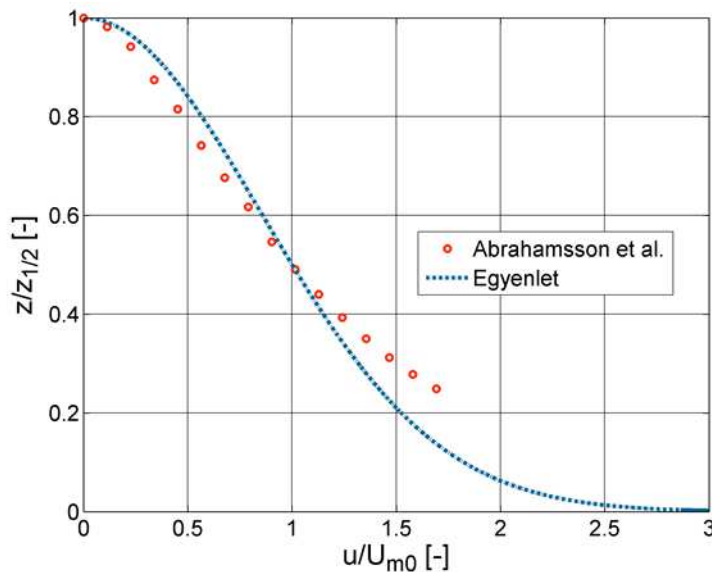
$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{K_{vn}}{\left(x / \sqrt{A_0}\right)^n}, \quad (4.62.)$$

ahol K_v^n a korrigált vetési konstans. A vetési konstans és az n kitevő értéke a nyílás oldalarányának függvényében változik. Az n kitevő értékeit mérésekkel határozták meg, azok a 4.23. ábrán láthatóak, a korlátozott és szabad légsugárra vonatkozó közelítéssel együtt. Ahogy a 3D szabadsugár esetében, most is egy harmadfokú polinommal közelíthetjük n értékét. ((4.63.) egyenlet)

$$n = -3,67 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^3 + 1,78 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^2 - 2,45 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{b}{h}\right) + 1,22. \quad (4.63.)$$

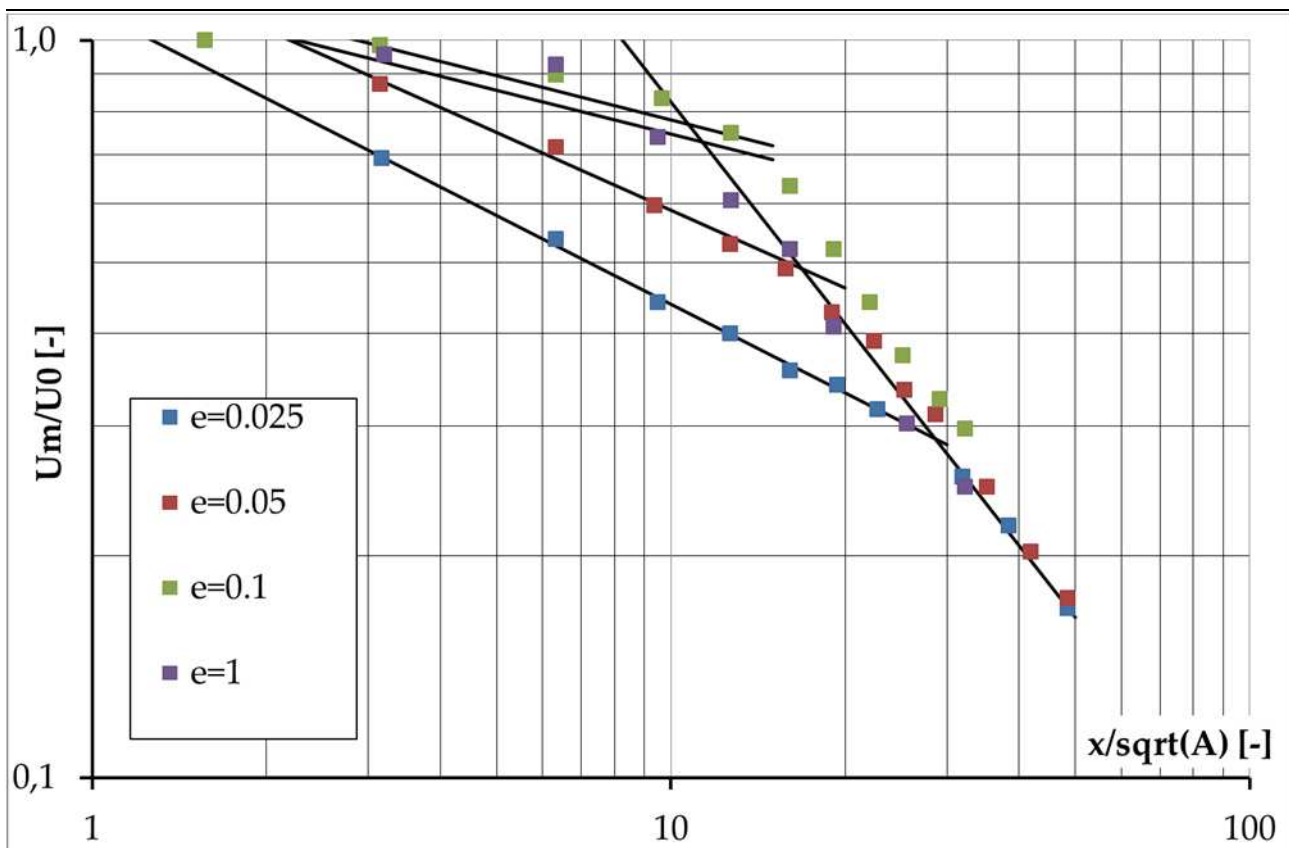


4.20. ábra: A (4.60.) egyenlet összehasonlítása Abrahamsson et al. [26] méréseivel. Vertikális sík.

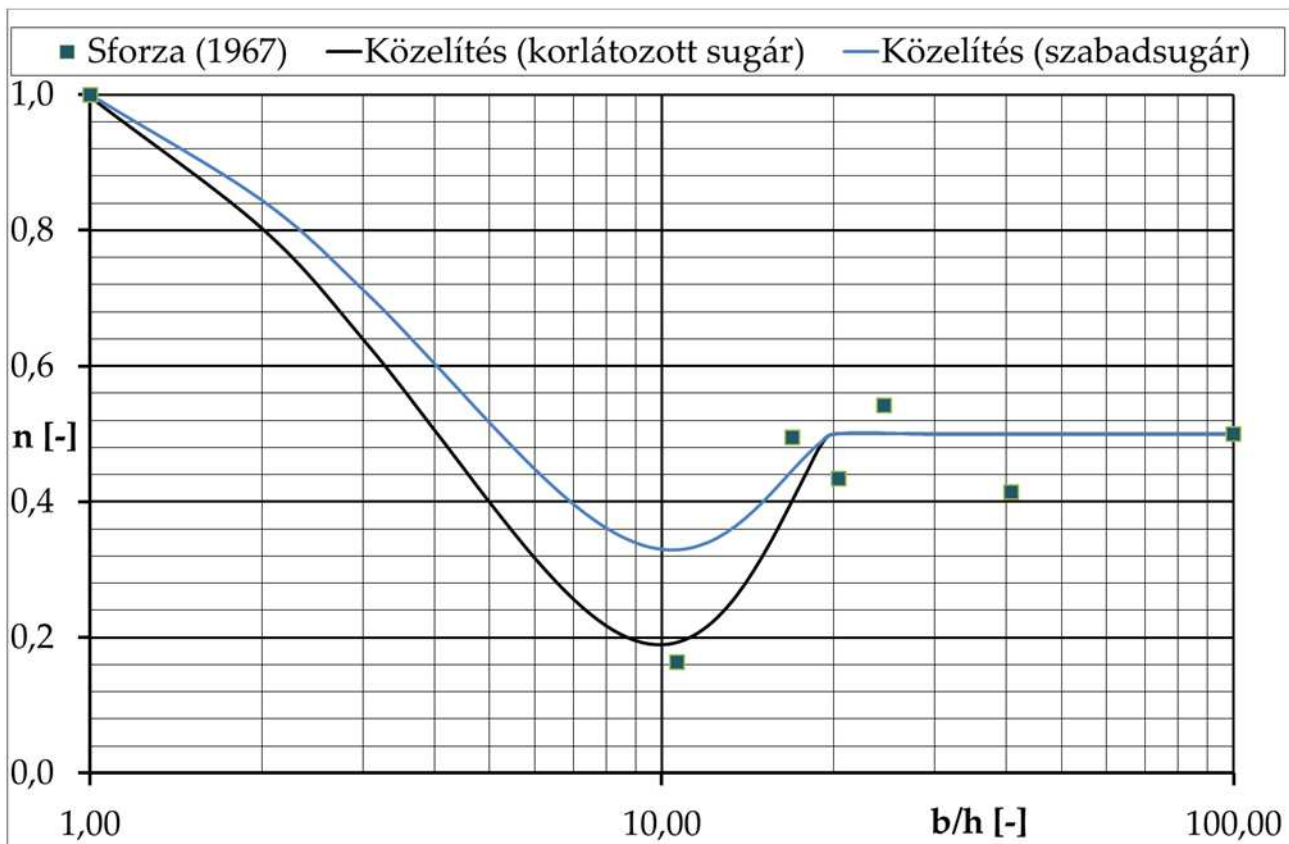


4.21. ábra: A (4.60.) egyenlet összehasonlítása Abrahamsson et al. [26] méréseivel. Horizontális sík.

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK



4.22. ábra: A tengelysebesség leépülése. Sforza és Herbst [27] mérési eredményei és az egyenletekkel meghatározott görbék.



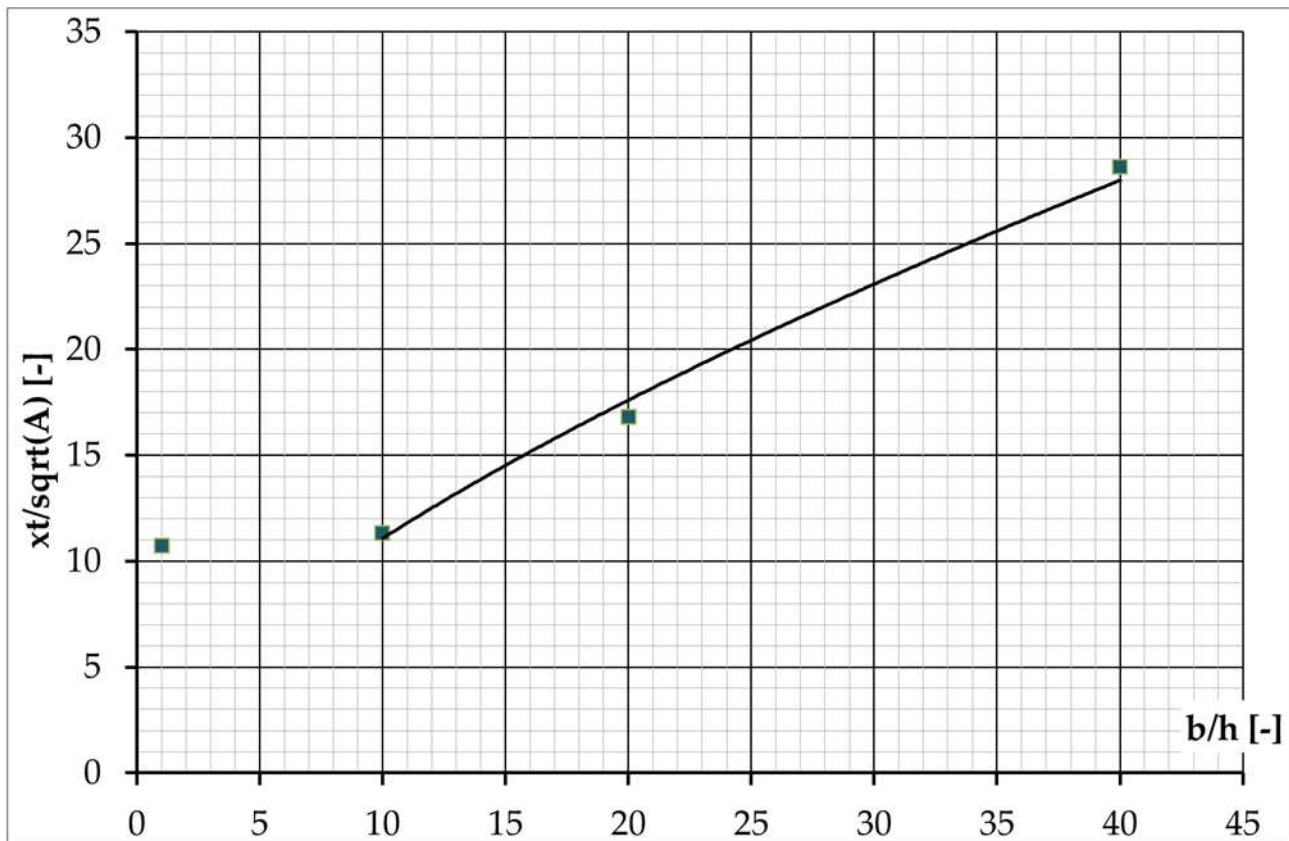
4.23. ábra: Az n kitevő értékei Sforza és Herbst [27] nyomán, a közelítő összefüggéssel együtt.

A (4.63.) egyenlet $b/h < 20$ esetén érvényes. Abban az esetben, ha $b/h > 20$, közelítésként $n=0,5$ -nek vehető. A tengelyszimmetrikus és a karakterisztikus lassuló szakaszok határa a

(4.64.) egyenlettel számítható, melyet a 4.24. ábrán ábrázoltam, a Sforza és Herbst [27] mérései alapján meghatározott pontokkal. Ezek alapján a vetési konstans korrigálására a 4.1.1.4. pontban bemutatott levezetés megismételve a (4.65.) egyenletet kaphatjuk.

$$\frac{x_t}{\sqrt{A_0}} = 2,4 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^{0,67} . \quad (4.64.)$$

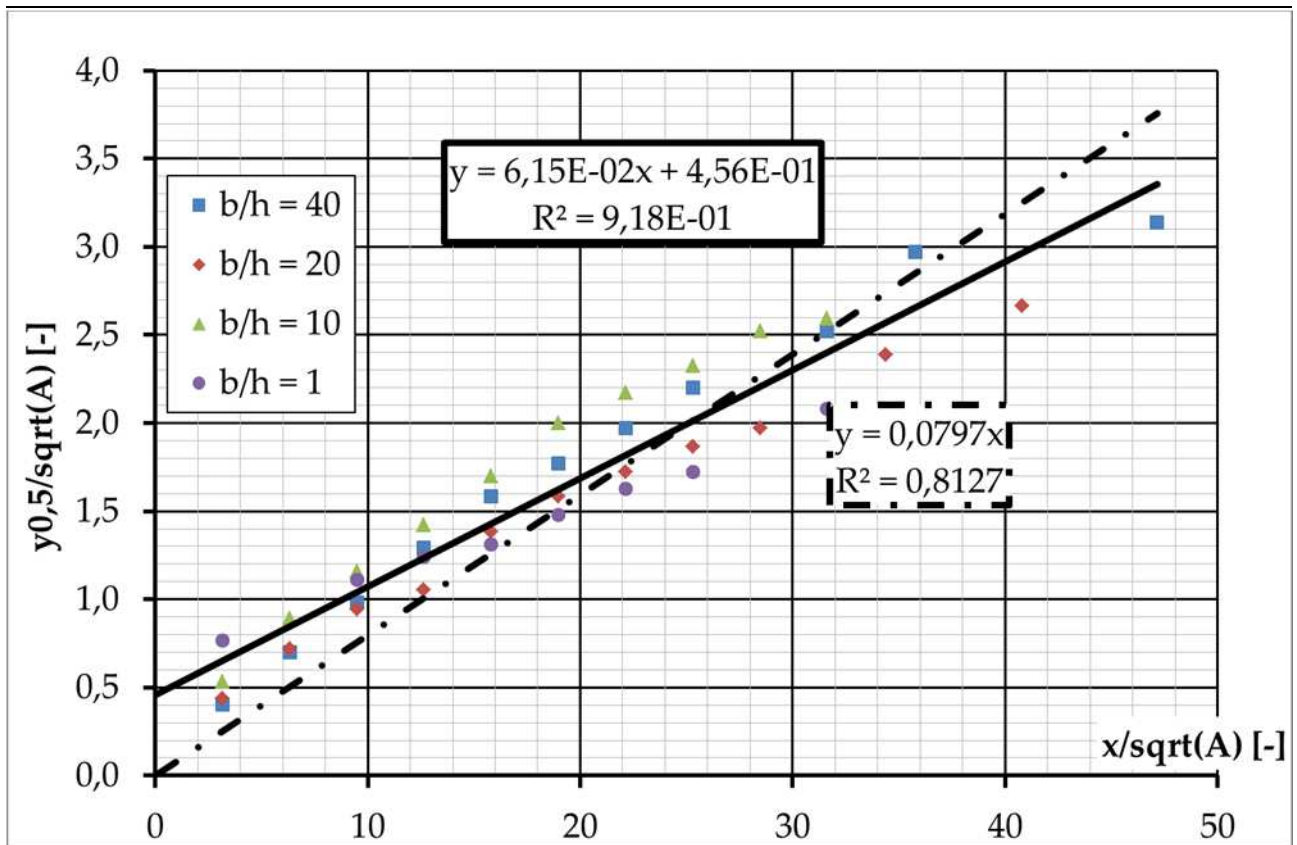
$$K_{vn} = K_v \cdot \left[2,4 \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^{0,67} \right]^{n-1} . \quad (4.65.)$$



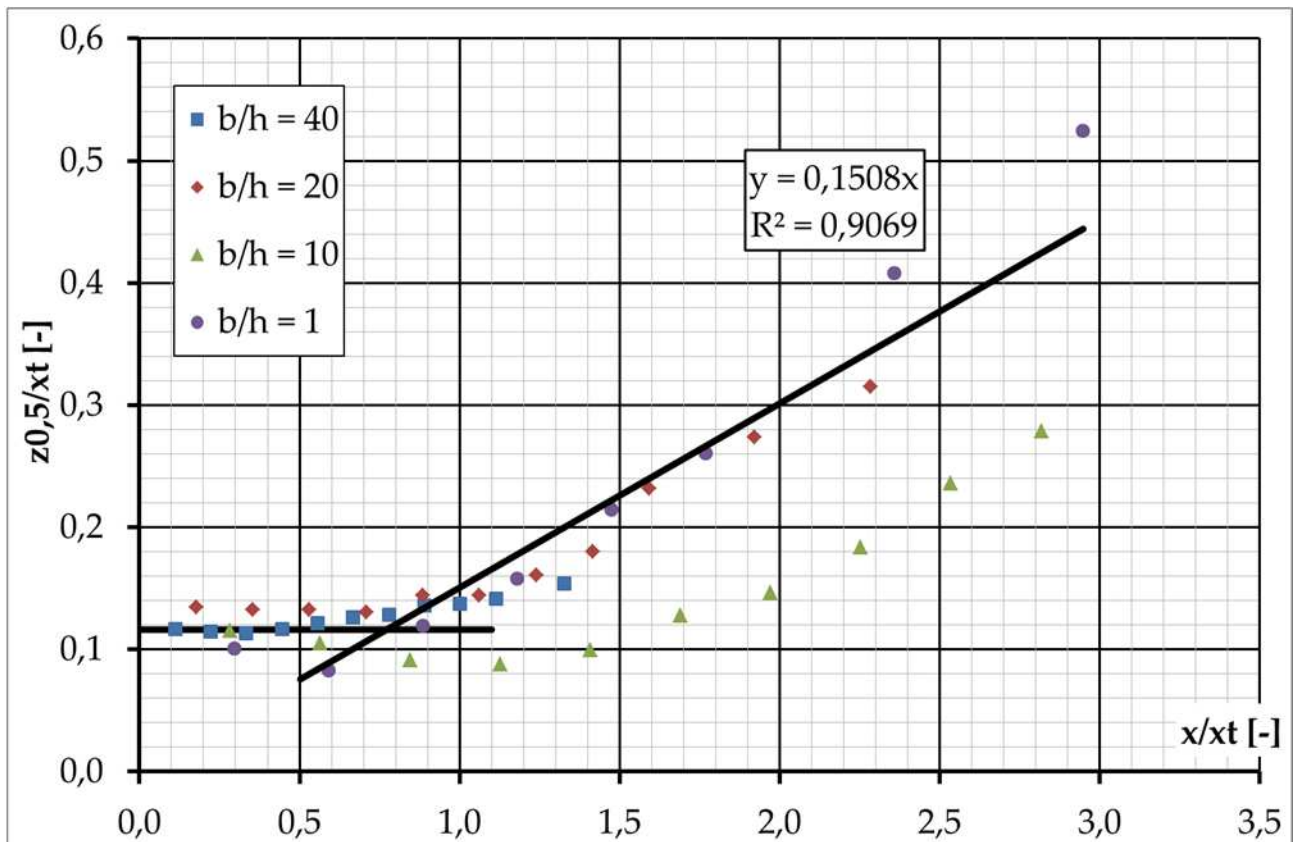
4.24. ábra: Az x_t távolság Sforza és Herbst [27] mérési eredményei alapján, közelítő összefüggéssel.

Az egyes irányokban a jellemző távolságok ($y_{0,5}$, $z_{0,5}$) számítási összefüggéseinek meghatározásához a már korábban is említett forrásban [27] közölt mérési eredményeket elemeztem. Ezek alapján a 4.25. és 4.26. ábrára jutottam. Az ábrákon a közelítésre használható függvény is szerepel.

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK



4.25. ábra: Az $y_{0,5}$ távolság Sforza és Herbst [27] mérési eredményei alapján.



4.26. ábra: Az $z_{0,5}$ távolság Sforza és Herbst [27] mérési eredményei alapján.

Az $y_{0,5}$ jellemző méret esetében két különböző közelítést alkalmazhatunk. Az első esetében megjelenik a virtuális kezdőpont létét igazolóan egy konstans tag a közelítő függvényében. Jól látható, hogy a mérési eredményektől akkor sem térünk el jelentős

mértékben, ha ez elhanyagoljuk. Így a (4.66.) egyenletre jutunk. A korábbiaknak megfelelően (4.1.1.4. pont) az $z_{0,5}$ jellemző méret esetében két tartományt különböztethetünk meg. Az karakterisztikus lassuló szakaszon ($x/x_t < 1$) a 4.68. egyenlet, a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon a (4.68.) egyenlet használható. Az egyenletek meghatározásánál nem vettük figyelembe a zölddel jelölt, $b/h=10$ -re érvénye pontokat, mert jól láthatóan különböznek az összes többi eredménytől, aminek oka ismeretlen, de nagy valószínűséggel mérési hiba lehet.

$$y_{0,5} = 0,08 \cdot x, \quad (4.66.)$$

$$z_{0,5} = 0,15 \cdot x, \quad (4.67.)$$

$$z_{0,5} = 1,16 \cdot 10^{-1} \cdot x_t, \quad (4.68.)$$

Ezek az egyenletek jó összhangban vannak a Zhi-wei Li et al [19] által közölt mérési eredményekkel. A sugár indukcióját a 4.1.1.4. pontban alkalmazott módszerrel határozhatjuk meg. A térfogatáram a nyílástól x távolságra a (4.69.) egyenlettel számítható:

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} u \, dy \, dz. \quad (4.69.)$$

Ezt az egyenletet át lehet alakítani:

$$Q = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{u}{U_m} d \frac{y}{y_{0,5}} d \frac{z}{z_{0,5}} \cdot U_m \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5}. \quad (4.70.)$$

Az integrál értékét meghatározva a (4.60.) egyenlet integrálásával:

$$Q = 2,33 \cdot U_m \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5}. \quad (4.71.)$$

Ezzel az indukció felírható a (4.72.) egyenlettel, ami a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon a (4.73.) egyenletnek megfelelő formát, míg a karakterisztikus lassuló szakaszon a (4.74.) egyenletnek megfelelő formát veszi fel.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{2,33 \cdot U_m \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5}}{A_0 \cdot U_0}. \quad (4.72.)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{2,33 \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5} \cdot K_v}{x \cdot \sqrt{A_0}}. \quad (4.73.)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{2,33 \cdot y_{0,5} \cdot z_{0,5}}{x^n / A_0^{1-0,5n}} \cdot K_v \cdot \left[2,4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,67} \right]^{n-1}. \quad (4.74.)$$

A behelyettesítések elvégzése után a (4.75.) és (4.76.) egyenletek nyerhetőek.

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,028 \cdot K_v \cdot \frac{x}{\sqrt{A_0}}. \quad (4.75.)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,0216 \cdot K_v \cdot \frac{x}{\sqrt{A_0}} \cdot \left[2,4 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,67} \right]^n \cdot \left(\frac{\sqrt{A_0}}{x} \right)^n. \quad (4.76.)$$

A $K_v=8,25$ helyettesítéssel a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon a (4.77.) egyenlettel számítható az indukció értéke. A karakterisztikus lassuló szakaszon a (4.78.) egyenletet lehet használni. A (4.77.) összefüggés x_t -nél 27%-al többet ad az indukcióra, mint a (4.78.).

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

Ez $z_{0,5}$ egyszerűsítéséből adódik. Az is látszik, hogy a korlátozott, háromdimenziós légsugarak indukciója kisebb, mint a szabadsugaraké, a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon körülbelül 30%-kal.

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,23 \cdot \frac{x}{\sqrt{A_0}}. \quad (4.77.)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,18 \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{A_0}} \right) \cdot \left[12,1 \cdot \left(\frac{b}{h} \right)^{0,32} \right]^n \cdot \left(\frac{\sqrt{A_0}}{x} \right)^n. \quad (4.78.)$$

Ismételten utalnék rá, hogy B. E. Launder és W. Rodi [22] szerint a tengelyszimmetrikus lassuló szakaszon a légsugár jellemzői nem függenek a nyílás alakjától, azaz itt a fenti eredmények kör keresztmetszetre is érvényesek. A karakterisztikus lassuló szakaszon kör keresztmetszetű befúvónyílásokra közelítésként használhatóak. A Rajaratnam [17] mind kör, mind négyszög keresztmetszetű befúvónyílásokkal végzett méréseket. A négyszög keresztmetszetű befúvónyílások oldaláránya kicsi volt. Eredményeiből az látszik, hogy a kör és négyszög keresztmetszetű befúvónyílások között nincsenek lényeges különbségek.

4.1.3. Anizotermikus légsugarak leírása

A légtechnikai gyakorlatban előforduló légsugarak a legtöbb esetben nem izotermikusak. Ez azt jelenti, hogy térbe befújt levegő hőmérséklete vagy nagyobb, vagy kisebb, mint a helyiség hőmérséklete és emiatt a légsugár alakja görbült lesz.

Az ilyen légsugarak jellemzésére az Archimedesi-számot vezették be, mint hasonlósági kritériumot. Az Archimedesi-szám a (4.79.)-(4.81.) képletekkel számítható a nyílás alakjától (azaz a jellemző mérettől függően).

$$Ar_{0A_0} = \frac{g \cdot \Delta T_0}{T_b \cdot U_0} \cdot \sqrt{A_0}, \quad (4.79.)$$

$$Ar_{0h} = \frac{g \cdot \Delta T_0}{T_b \cdot U_0} \cdot h, \quad (4.80.)$$

$$Ar_{0Ad_0} = \frac{g \cdot \Delta T_0}{T_b \cdot U_0} \cdot d_0, \quad (4.81.)$$

ahol $\Delta T_0 = T_0 - T_b$, T_0 a befújt levegő hőmérséklete [K], T_b a belső levegő hőmérséklete [K]. Az anizotermikus légsugarak esetében nem csak sebesség, hanem hőmérséklet profilról is beszélhetünk. A hőmérséklet profil alakja a sebességprofilhoz hasonló. A két profil a (4.82.) összefüggéssel köthető egymáshoz. Az összefüggés érvényességét többen megállapították. A kitevőben a turbulens Prandtl-szám reciproka látható. [29]

$$\frac{u}{U_m} = \left(\frac{\Theta}{\Theta_m} \right)^{1/Pr_t}, \quad (4.82.)$$

ahol:

- $\Theta = T - T_b$ a relatív hőmérséklet, [°C], T a hőmérséklet az adott pontban
- $\Theta = T_m - T_b$ a relatív hőmérséklet a tengelyben, [°C].
- Pr_t a turbulens Prandtl-szám, például a turbulens kinematikai-viszkozitás és a hőátadási tényező hányadosaként definiálható: $Pr_t = \nu_t / \alpha_t$. Értéke 0,5 és 1 között változhat [29]. A továbbiakban a 0,5-ös értéket fogom használni.

Ezek alapján a különböző légsugarak hőmérséklet profilja a táblázatnak megfelelően számítható. A hőmérséklet profilokat a sebességeloszlásra vonatkozó jellemző mértékekkel dimenziótlanított koordinátákkal írtuk le.

4.1. táblázat: Összefüggések a légsugarak sebesség-és hőmérséklet-eloszlásának számítására.

Szabadsugarak		
Kör	$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \left(\frac{r}{r_{0,5}} \right)^2}$	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = e^{-0,347 \left(\frac{r}{r_{0,5}} \right)^2}$
Rés (2D)	$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^2}$	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = e^{-0,347 \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^2}$
Radiális		
3D (négyyszög, b/h<40)	$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^2} \cdot e^{-0,693 \left(\frac{z}{z_{0,5}} \right)^2}$	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = e^{-0,347 \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^2} \cdot e^{-0,347 \left(\frac{z}{z_{0,5}} \right)^2}$
Korlátozott légsugarak		
Rés (2D)	$\frac{u}{U_m} = 1,48 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1/7} \cdot \left(1 - \operatorname{erf} \left[0,68 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right) \right] \right)$	$\frac{u}{U_m} = e^{\left[-0,937 \left(\frac{y}{y_{0,5}} - 0,14 \right)^2 \right]}$
	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = 1,22 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1/14} \cdot \sqrt{1 - \operatorname{erf} \left[0,68 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right) \right]}$	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = e^{\left[-0,469 \left(\frac{y}{y_{0,5}} - 0,14 \right)^2 \right]}$
Radiális	$\frac{u}{U_m} = 1,48 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1/7} \cdot \left(1 - \operatorname{erf} \left[0,68 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right) \right] \right)$	$\frac{u}{U_m} = 2 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{0,32} \cdot e^{-1,515 \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1,32}}$
	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = 1,22 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1/14} \cdot \sqrt{1 - \operatorname{erf} \left[0,68 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right) \right]}$	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = 1,41 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{0,16} \cdot e^{-0,758 \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1,32}}$
3D (négyyszög b/h<40 és kör)	$\frac{u}{U_m} = 1,48 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1/7} \cdot \left(1 - \operatorname{erf} \left[0,68 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right) \right] \right) \cdot e^{-0,693 \left(\frac{z}{z_{0,5}} \right)^2}$	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = e^{-0,347 \left(\frac{z}{z_{0,5}} \right)^2}$
	$\frac{\Theta}{\Theta_m} = 1,22 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right)^{1/14} \cdot \sqrt{1 - \operatorname{erf} \left[0,68 \cdot \left(\frac{y}{y_{0,5}} \right) \right]}$	

A tengely-hőmérséklet leépülése a maximális sebesség leépüléséhez hasonlóan számítható. A hőmérsékletre vonatkozó vetési konstans azonban nem azonos a sebességre vonatkozóval. Azt a turbulens Prandtl-szám függvényében számíthatjuk a (4.83.) egyenlettel.

$$K_{vT} = K_v \cdot \sqrt{\frac{1 + Pr_t}{2}}, \quad (4.83.)$$

ahol K_{vT} a hőmérsékletre vonatkozó vetési konstans. Ezen kívül fontos megjegyezni, hogy a sebességre vonatkozó vetési konstans korrekciója is szükséges, mégpedig a (4.84.) egyenletnek megfelelően.

$$K_v = K_{\text{viso}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_m}{\rho_0}}, \quad (4.84.)$$

ahol K_{viso} a vetési konstans izotermikus értéke. A tengely-sűrűségre a következő egyenletet vezethetjük le.

$$\rho_m = \frac{p}{R \cdot T_m} = \frac{p}{R \cdot (\Theta_m + T_b + 273,15)}. \quad (4.85.)$$

Mivel a légsugárban mérhető, és a környezeti nyomás közel azonos, a légsugár levegőjének kezdeti sűrűségére egy hasonló egyenletet felírva a (4.84.) egyenlet átalakítható.

$$K_v = K_{\text{viso}} \cdot \sqrt{\frac{(\Theta_0 + T_b + 273,15)}{(\Theta_m + T_b + 273,15)}}. \quad (4.86.)$$

Ez pl. kör keresztmetszetű szabadsugárra a (4.87.) egyenletnek megfelelő módon írható.

$$K_v = K_{\text{viso}} \cdot \sqrt{\frac{(\Theta_0 + T_b + 273,15)}{\left(\Theta_0 \cdot \frac{K_v \cdot \sqrt{\frac{1 + Pr_t}{2}}}{x/d_0} + T_b + 273,15 \right)}}, \quad (4.87.)$$

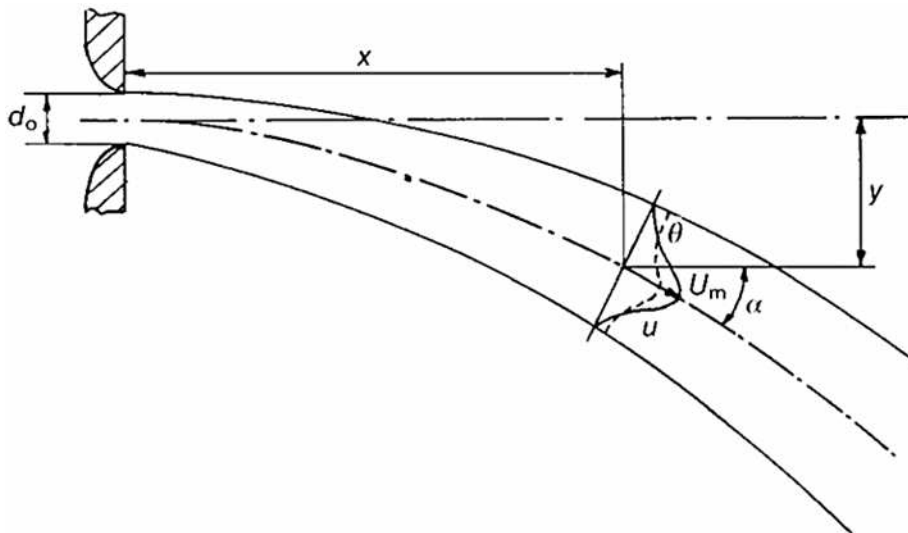
mely tovább alakítható:

$$K_v^3 \cdot \left(\sqrt{\frac{1 + Pr_t}{2}} \cdot \frac{\Theta_0}{x/d_0} \right) + K_v \cdot (T_b + 273,15) - K_{\text{viso}}^2 \cdot (\Theta_0 + T_b + 273,15) = 0. \quad (4.88.)$$

Tehát egy harmadfokú egyenletre jutunk. A legtöbb esetben ezt azonban nem kell megoldanunk. A levegő sűrűsége a belső terekben szokásos hőmérsékletek (~20-26°C) és a befűvott levegő hőmérséklete illetve tér hőmérséklete közötti maximális hőmérséklet különbségek (~10-12°C) mellett kevesebbet változik, mint ±3%.

4.1.3.1. ANIZOTERMIKUS SZABADSUGARAK

A korábbiakban a szakaszban bemutatott összefüggések egyaránt érvényesek voltak korlátozott és szabadsugarakra. Ez a pont azonban a speciálisan csak szabadsugarakra vonatkozó jellemzőket tárgyalja. A szabadsugarakkal kapcsolatban a legfontosabb még nem tárgyalt jelenség a sugár tengelyének az elhajlása, mely a 4.27. ábrán látható. Ez közelítőleg $|Ar| > 0,001$ -re következik be [16].



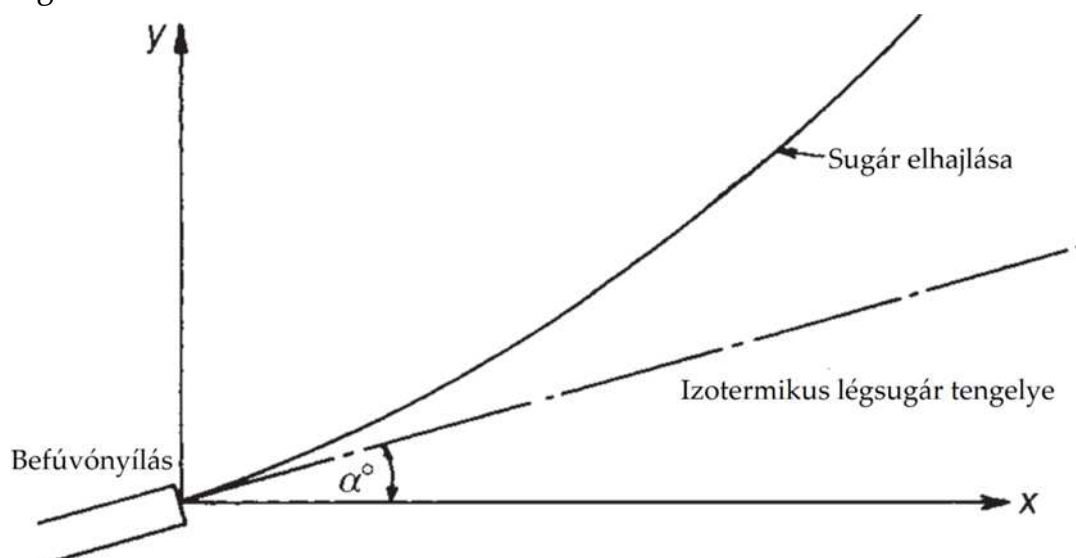
4.27. ábra: Hideg légsugár tengelyének elhajlása [15].

A légsugár elhajlására attól függően, hogy milyen alakú nyílásból lép ki, más és más képletekkel számítható. A különböző szerzők [15] [16] [28] [29] által közölt egyenletek elemzéséből a (4.89.) és (4.90.) egyenletekre juthatunk. Kör keresztmetszetű és 3D légsugárra a (4.89.) egyenlet használható, míg a résből kivezetett légsugárra a (4.90.).

$$\frac{y}{\sqrt{A_0}} = \frac{x}{\sqrt{A_0}} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \pm 0,47 \cdot \frac{K_{vT}}{K_v^2} \cdot Ar_{0A_0} \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{A_0} \cdot \cos(\alpha)} \right)^3, \quad (4.89.)$$

$$\frac{y}{h} = \frac{x}{h} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \pm 0,4 \cdot \frac{K_{vT}}{K_v^2} \cdot Ar_{oh} \cdot \left(\frac{x}{h \cdot \cos(\alpha)} \right)^{2,5}, \quad (4.90.)$$

Az α szög értelmezése a 4.28. ábrán látható.



4.28. ábra: Az α szög értelmezése [15].

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

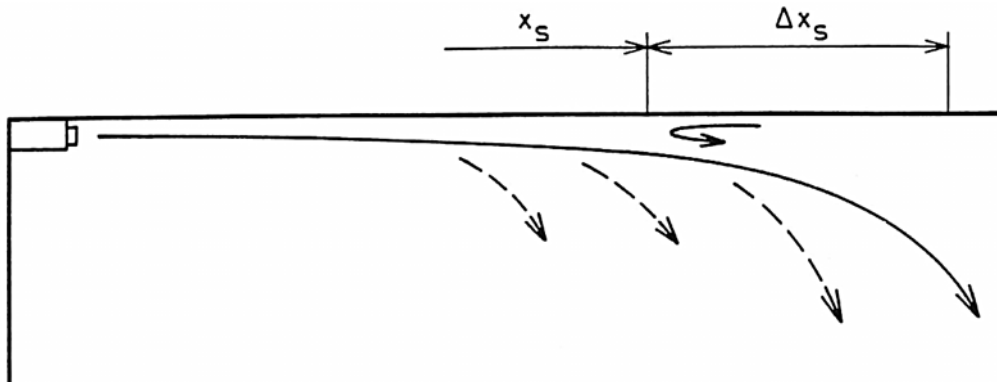
4.1.3.2. ANIZOTERMIKUS KORLÁTOZOTT LÉGSUGARAK

A korlátozott légsugarak esetében az elhajlás jelensége máshogyan jelentkezik, mint az izotermikus légsugaraknál. Ezen légsugarak a Coanda-effektus miatt feltapadnak a falra. Ez csak egy bizonyos távolságig igaz, mely után a hőmérséklet különbség miatt leválnak a róla. Az ilyen légsugarakra a korábbiakban levezetett összefüggések csak a leválási pontig érvényesek. A leválási pont számítására a (4.91.) egyenlet használható 3D, a (4.92.) részből kivezetett, a (4.93.) pedig radiális légsugár esetén Li et al. [30] szerint. Hasonló eredményre jutott P. V. Nielsen és A. T. A. Möller [31] is.

$$\frac{x_s}{\sqrt{A_0}} = \frac{0,55 \cdot K_v}{\sqrt{K_{vT} \cdot Ar_{0A_0}}} \quad (4.91.)$$

$$\frac{x_s}{h} = \frac{0,4 \cdot K_v^{4/3}}{(K_{vT} \cdot Ar_{0h})^{2/3}} \quad (4.92.)$$

$$\frac{x_s}{\sqrt{A_0}} = \frac{0,45 \cdot K_v}{\sqrt{K_{vT} \cdot Ar_{0A_0}}} \quad (4.93.)$$



4.29. ábra: A leválási távolság értelmezése [31].

4.1.4. Vetési konstans megállapítása

4.1.4.1. KORREKCIÓ KORREKCIÓS TÉNYEZŐKKEL

Dr. Magyar Tamás [16] szerint a korábbiakban bemutatott vetési konstansok a (4.87.)-es egyenletnek megfelelő módon korrigálhatóak:

$$K_v^{cor} = K_v \cdot \frac{C_v}{C_F \cdot C_O}, \quad (4.94.)$$

ahol:

- C_v a fúvókából kilépő folyadék sebesség eloszlásának egyenetlensége miatti korrekciós tényező, $-0,83$ kialakult turbulens, illetve $0,5$ kialakult lamináris áramlásra, [-],
- C_F a befúvó nyílás szabad és valós területének aránya a gyök alatt, [-],
- C_O a nyílás geometriai jellemzőjétől függő tényező, mely a kontrakciós szám gyöke, legömbölyített fúvóka esetén ~ 1 , éles peremű nyílás esetén $\sim 0,8$, [-].

4.1.4.2. VETÉSI KONSTANS MEGHATÁROZÁSA KATALÓGUSADATOKBÓL

Abban az esetben, ha a befúvó elem gyári adatai ismertek, abból is számítható a K_v értéke. Ezt a módszert javasolja az [2]-es forrás. A 4.27. ábrán egy Lindab GD sugárfúvóka adatai láthatóak. A diagramon $I_{0,3}$ van megadva, ami az a távolság, ahol a sebesség $0,3\text{m/s}$. A fúvóka geometriai jellemzői ismertek, így felírható a következő egyenlet, a (4.7.) egyenletet átalakítva:

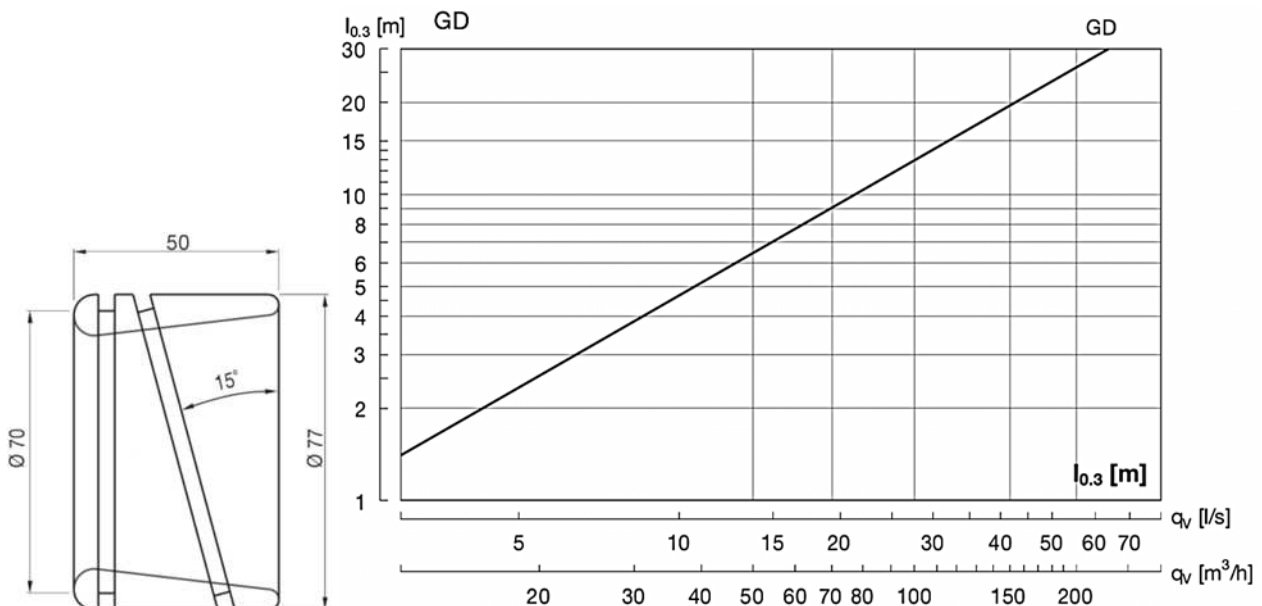
$$\frac{0,3[\text{m/s}]}{q_v / (d_0^2 \cdot \pi / 4)} = \frac{K_v}{I_{0,3} / d_0} \quad (4.95.)$$

Ez az egyenlet tovább alakítható. Így a (4.81.) egyenletre jutunk.

$$K_v = \frac{0,3[\text{m/s}]}{q_v / (d_0^2 \cdot \pi / 4)} \cdot I_{0,3} / d_0 = \frac{0,3[\text{m/s}] \cdot \pi \cdot I_{0,3} \cdot d_0}{4q_v} \quad (4.96.)$$

Ebből jelen esetben a következő értékre juthatunk:

$$K_v = \frac{0,3 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 0,067}{4 \cdot 71 / 3600} = 7,2.$$

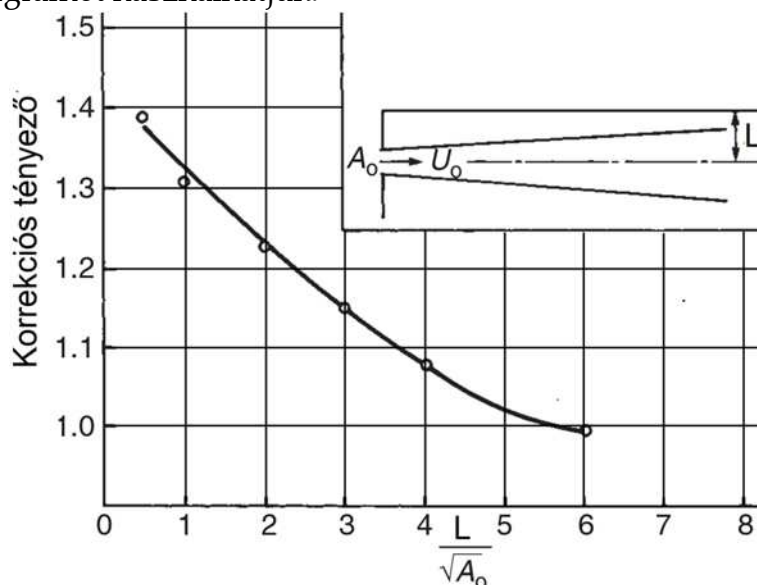


4.30. ábra: Lindab GD sugárfúvóka adatai.

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

4.1.4.3. VETÉSI KONSTANS SZÁMÍTÁSA KORLÁTOZOTT LÉGSUGÁRRA

A katalógusok sok esetben a vetési konstansot csak szabadsugárra adják meg. Abban az esetben, ha a befúvó szerkezetet úgy építjük be, hogy korlátozott légsugár jön létre, nyilvánvalóan a korlátozott légsugárra vonatkozó értékre van szükségünk. Ekkor felhasználható az, hogy az [2] forrás szerint a korlátozott légsugárra vonatkozó konstans a szabadsugárra vonatkozó gyök-kettőszöröse. Attól függően, hogy a nyílás dimenziótlan távolsága a faltól mekkora, ez a szorzó változik. A szorzó nagyságára vonatkozóan a 4.31. ábraán látható diagramot használhatjuk.



4.31. ábra: A fal közelsége miatti korrekciós szorzó nagysága [15].
(L a faltól számított távolság.)

4.2. HŐFORRÁSOK HATÁSÁRA KIALAKULÓ KONVEKTÍV ÁRAMLÁSOK LEÍRÁSA

A korábbiakban bemutatásra kerültek az olyan légsugarak, melyek esetében meghatározó a sugár kezdeti impulzusa. A következőkben olyan légsugarokról lesz szó, melyek esetében a levegő áramlását sűrűség különbség létrejötte okozza, melyet egy hőforrás hoz létre. Az ilyen áramlások esetében alapvetően két esetet különböztethetünk meg. Az első esetben a környezetet semlegesnek nevezhetjük. Ez azt jelenti, hogy nincs vertikális hőmérséklet gradiens. Abban az esetben, ha hőmérséklet gradiens van, a légsugarak kialakulása ettől az esettől eltérő.

4.2.1. Hőforrások által konvekció útján leadott teljesítmény

A hőforrások által leadott teljesítménynek csak bizonyos hányada távozik konvekció útján. Ezen teljesítmény számítására a következő képlet használható:

$$Q_c = Q_{\text{tot}} \cdot C_c, \quad (4.97.)$$

ahol:

- Q_c a hőforrás konvekció útján leadott teljesítménye, [W] vagy vonalforrás esetén [W/m],
- Q_{tot} a hőforrás összes teljesítménye, [W],
- C_c korrekciós tényező a konvekció útján leadott hőmennyiséggel arányos, [-], hőforrástól függő közelítő értékei a 4.2. táblázatban szerepelnek.

4.2. táblázat: A C_c korrekciós tényező közelítő értékei [15], [32].

Hőforrás megnevezése	C_c [-]
Csövek és csatornák	0,7-0,9
Emberek	0,5
Kisebb méretű berendezések	0,4-0,6
Nagyméretű gépek és berendezések	0,3-0,5
Nagyméretű felületek	0,5
Pontszerű források	0,8-1

4.2.2. Konvektív légsugarak leírása

4.2.2.1. EGYSZERŰ LÉGSUGARAK SEMLEGES KÖRNYEZETBEN

Semleges környezetben a légsugarak fejlődését nem akadályozza a hőmérsékleti gradiens jelenléte. A valós forrásokat (emberek, számítógépek, egyéb hőforrások, stb.) ún. virtuális forrásokkal kell helyettesíteni. Ezeknek két alapvető tengelyszimmetrikus típusuk van: a pontforrás és a vonalforrás. A pontforrás esetében a légáramlatot egyetlen pontból, míg a vonalforrás esetében egyetlen, elhanyagolható szélességű vonalból eredőnek feltételezzük. Az egyes forrásokat leíró összefüggések a 4.3 táblázatban szerepelnek.

4.3. táblázat: A pont és vonalforrásokra vonatkozó összefüggések [15], [32].

Jellemző megnevezése	Pontforrás	Vonalforrás
Középvonali sebesség, v_c [m/s]	$0,128 \cdot Q_c^{1/3} \cdot (z + z_0)^{-1/3}$	$0,067 \cdot Q_c^{1/3}$
Középvonali túlhőmérséklet, θ_c [°C]	$0,329 \cdot Q_c^{2/3} \cdot (z + z_0)^{-5/3}$	$0,094 \cdot Q_c^{2/3} \cdot (z + z_0)^{-1}$
Térfogatáram, q_v [l/s] vagy [l/s/m] (vonallforrás esetén)	$5 \cdot Q_c^{1/3} \cdot (z + z_0)^{5/3}$	$13 \cdot Q_c^{2/3} \cdot (z + z_0)$

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMÉKET LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

A táblázatban szereplő Θ a légsugár és a környezet hőmérsékletének különbsége, z pedig a vertikális koordináta. z_0 értéke egyszerű források esetén 0. A 4.2.2.2. pontban ki fogok térni a kiterjedt források esetén történő számítási metódusokra, mellyel z_0 0-tól eltérő értéke meghatározható. Ezen kívül szót kell ejteni a vertikális meleg vagy hideg felületek mellett kialakuló áramlásokról is. Az ilyen áramlások leírására a 4.4 táblázat összefüggései használhatóak.

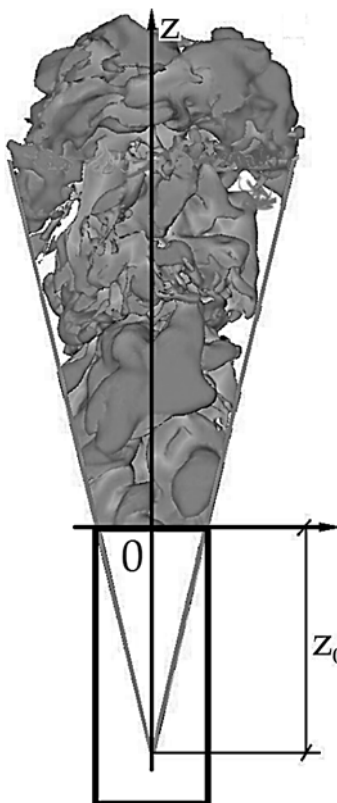
4.4. táblázat: Vertikális meleg vagy hideg felületekre vonatkozó összefüggések [15], [32].

Jellemző megnevezése	Lamináris tartomány	Turbulens tartomány
Maximális sebesség, v_c [m/s]	$0,1 \cdot \sqrt{\Theta \cdot z}$	
Határreteg vastagság, δ [m]	$0,05 \cdot (z / \Theta)^{0,25}$	$0,11 \cdot \Theta^{-0,1} \cdot z^{0,7}$
Térfogatáram, q_v [l/s/m]	$2,87 \cdot \Theta^{0,25} \cdot z^{0,75}$	$2,75 \cdot \Theta^{0,4} \cdot z^{1,2}$

Az összefüggések között attól függően, hogy az áramlás turbulens vagy lamináris, jelentős különbségek vannak. Ahhoz, hogy eldönthessük, hogy az áramlás az adott tartományban már turbulens-e, a Grasshof és a Prandtl szám szorzatának számítása szükséges. Ha ez a szorzat nagyobb, mint $7 \cdot 10^8$, az áramlás turbulens. Ez kis hőmérséklet különbségek esetén körülbelül 1m magasságban következik be [32].

4.2.2.2. KITERJEDT HŐFORRÁSOK HATÁSÁRA KELETKEZŐ LÉGÁRAMOK SZÁMÍTÁSA

A legtöbb esetben a hőforrások nem tekinthetők sem vonalszerűnek, sem pontszerűnek. Ebben az esetben, hogy az előző összefüggések használhatóak legyenek, a forrásokat az egyszerű forrásokkal kell helyettesíteni. Ehhez meg kell határozni a források virtuális eredetét. A virtuális eredet értelmezése a 4.32. ábrán látható. Jele a továbbiakban z_0 lesz. Ezzel a z_0 távolsággal el kell tolni a koordináta rendszert.



4.32. ábra: Kiterjedt hőforrás hatására létrejövő áramlás virtuális eredetének értelmezése.

A virtuális eredet számítására több képlet is létezik. Az egyik lehetőség a (4.98.) egyenlet [15].

$$z_0 = C \cdot (D/2 + \delta), \quad (4.98.)$$

ahol:

- C egy konstans, mely a forrás jellegétől függ. Vonalforrás esetén értéke 3,8, míg pontforrás esetén 4,2, [-],
- D a hengeres hőforrás átmérője, [m],
- δ a határréteg vastagsága a forrás tetejénél. Értéke a 4.4 táblázat összefüggéseivel számítható.

Ezen kívül a virtuális eredet számítható a (4.99.) egyenlettel is [15].

$$z_0 = 1,7 - 2,1L, \quad (4.99.)$$

ahol:

- L a forrás jellemző mérete, hengeres test vagy gömb esetén az átmérője, téglalap alakú test esetén a szélessége, [m].

A legáltalánosabb képlet talán a (4.100.) egyenlet, melyet konyhai berendezések által létrehozott konvektív áramlások számításához lehet elsősorban alkalmazni [33].

$$z_0 = 1,7D_h, \quad (4.100.)$$

ahol:

- D_h a forrás hidraulikailag egyenértékű átmérője, [m], a (4.101.) egyenlettel számítva.

$$D_h = \frac{2 \cdot l \cdot w}{l + w}, \quad (4.101.)$$

ahol:

- l a forrás hossza, [m],
- w a forrás szélessége, [m].

A (4.100.) egyenlethez hasonló egyenletet máshol is találhatunk [32]. Az (4.102.) és (4.103.) egyenletben eredetileg a forrás átmérője szerepelt. Az összefüggések között a különbség az, hogy míg a (4.102.) egyenlet magas hőmérsékletű, addig (4.103.) egyenlet alacsony hőmérsékletű források esetében használandó.

$$z_0 = 1,8D_h, \quad (4.102.)$$

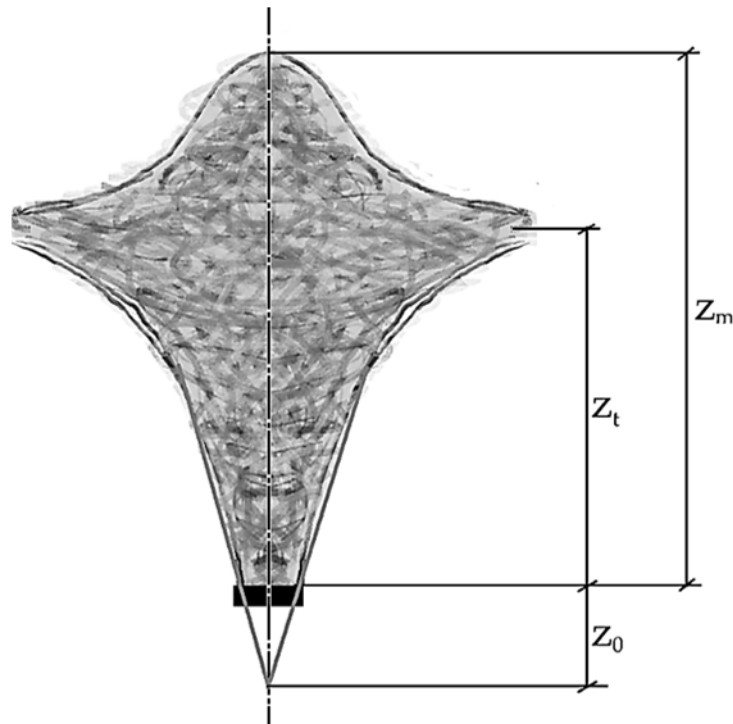
$$z_0 = 2,3D_h, \quad (4.103.)$$

A z_0 virtuális eredet meghatározása után a légsugár jellemzői a korábbi összefüggésekkel számíthatóak.

4. AZ ÁRAMLÁSI ELEMETEK LEÍRÓ ÖSSZEFÜGGÉSEK

4.2.2.3. EGYSZERŰ LÉGSUGARAK ÁLLANDÓ HŐMÉRSÉKLETI GRADIENS MELLETT

Abban az esetben, ha a térben hőmérsékleti gradiens alakul ki, a légsugarak kifejlődése a semleges környezetben kialakuló légsugarakétól eltérő. A továbbiakban közlendő összefüggések leírása több helyen is megtalálható [15], [32]. Az ilyen légsugarak esetében be kell vezetni egy dimenziótlan helykoordinátát. A Q_c konvektív teljesítmény értelmezése a 4.2.1 pontnak megfelelő. A dimenziótlan koordináta felhasználásával a konvektív légáram számítható.



4.33. ábra: Légsugar vázlatos alakja állandó hőmérsékleti gradiens mellett.

A vonatkozó összefüggések a 4.5. táblázatban szerepelnek. Az egyes paraméterek értelmezését a 4.33. ábra segíti, s a hőmérsékleti gradiens $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ -ben.

4.5. táblázat: Egyszerű forrásokat leíró összefüggések állandó hőmérséklet-gradiens mellett [15], [32].

Jellemző megnevezése	Számítási összefüggés. Felső: pont, alsó: vonalforrás.
Dimenziótlan helykoordináta értelmezése, ζ [-]	$\zeta = 2,86 \cdot Q_c^{-1/4} \cdot s^{3/8} \cdot (z + z_0)$
	$\zeta = 5,78 \cdot Q_c^{-1/3} \cdot s^{1/2} \cdot (z + z_0)$
Térfogatóram, q_v [l/s] vagy [l/s/m] (vonalforrás)	$q_v = 2,38 \cdot Q_c^{3/4} \cdot s^{-5/8} \cdot (0,004 + 0,039 \cdot \zeta + 0,38 \cdot \zeta^2 - 0,062 \cdot \zeta^3)$
	$q_v = 4,82 \cdot Q_c^{2/3} \cdot s^{-1/2} \cdot (0,004 + 0,477 \cdot \zeta + 0,029 \cdot \zeta^2 - 0,018 \cdot \zeta^3)$
Összefüggések érvényességi tartománya	$\zeta \leq 2,125$; $2,125 \leq \zeta \leq 2,8$ esetén a 4.3. táblázat összefüggései használandóak, $\zeta = 2,8$ esetén a légsugar elérte maximális magasságát.
	$\zeta \leq 2$; $2 \leq \zeta \leq 2,95$ esetén a 4.3. táblázat összefüggései használandóak, $\zeta = 2,95$ esetén a légsugar elérte maximális magasságát.
A légsugar maximális magassága, z_m [m]	$z_m = 0,98 \cdot Q_c^{1/4} \cdot s^{-3/8} - z_0$
	$z_m = 0,51 \cdot Q_c^{1/3} \cdot s^{-1/2} - z_0$
A légsugar kiegyenlítődési magassága, z_t [m]	$z_t = 0,74 \cdot Q_c^{1/4} \cdot s^{-3/8} - z_0$
	$z_t = 0,35 \cdot Q_c^{1/3} \cdot s^{-1/2} - z_0$

4.2.2.4. KONVEKTÍV LÉGSUGARAK INTERAKCIÓJA

Abban az esetben, ha több hőforrás egymáshoz közel helyezkedik el, az általuk indukált légsugarak egyesülnek egyetlen légsugárrá. Ebben az esetben a hőforrások teljesítményét össze kell adni és a térfogatáram a szokott módon számítható [15]. Ha N darab teljesen azonos hőforrásról beszélünk, a térfogatáram így a (4.104.) egyenlettel számítható.

$$q_{vN} = N^{1/3} \cdot q_{v1} \cdot \quad (4.104.)$$

4.2.2.5. KORLÁTOZOTT KONVEKTÍV LÉGSUGARAK

Abban az esetben, ha a légsugarat kifejlődésében fal korlátozza, korlátozott légsugárról beszélhetünk. Az ilyen légsugarak térfogatárama kisebb. Abban az esetben, ha a fal mellett jön létre, a légsugár térfogatárama a nem korlátozotténak 63%-a [34]. ((4.105.) egyenlet)

$$q_{vfal\ mellett} = 0,63 \cdot q_{vnem\ korlátozott} \cdot \quad (4.105.)$$

Ha a légsugár egy falsarokban jön létre, akkor a térfogatáram a nem korlátozotténak csak 40%-a [34]. ((4.106.) egyenlet)

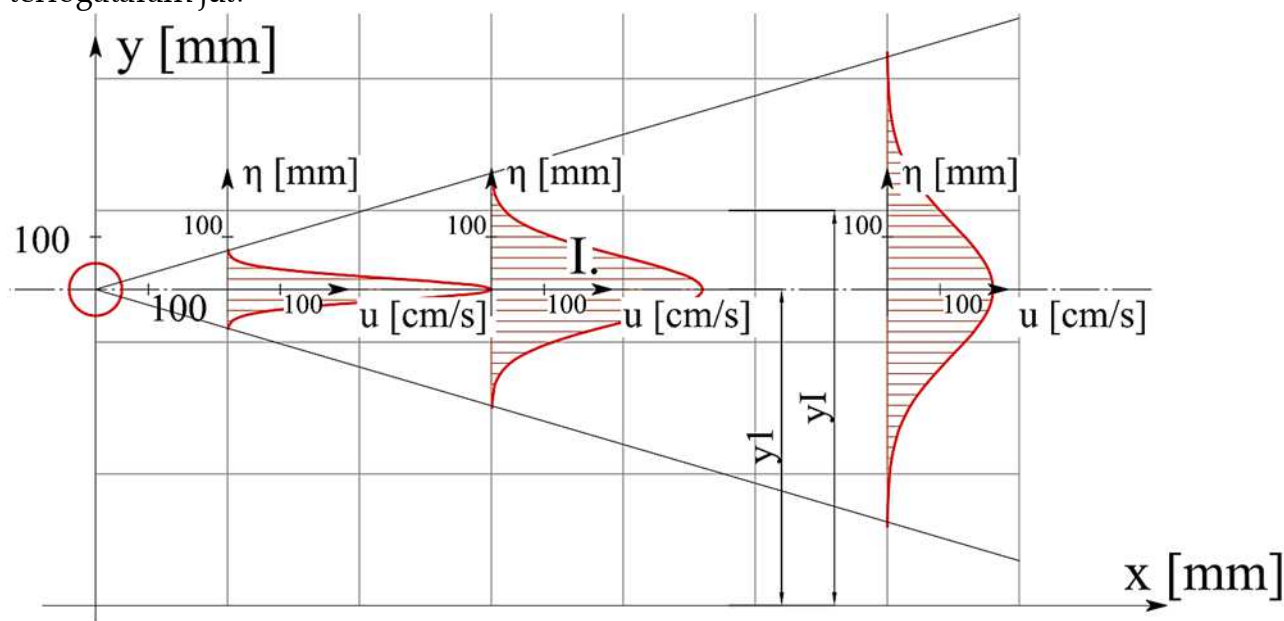
$$q_{vfalsarokban} = 0,4 \cdot q_{vnem\ korlátozott} \cdot \quad (4.106.)$$

5. ÁRAMLÁSI ELEMOK BEÉPÍTÉSE ZONÁLIS MODELLEKBE

Ebben a fejezetben az áramlási elemek zonális modellekbe történő beépítésére mutatok egy lehetséges módszert. A későbbiekben bemutatásra kerülő programban lehetőség van a tömegáramok peremfeltételként történő megadására. Ehhez azonban szükséges a tömegáramok számítása. Erre nyújt egy megoldási lehetőséget a következő módszer, melynek alapjául a légsugarak sebesség és hőmérséklet-profiljának ismerete szükséges. Mivel az egyes profilokat korábban ismertettem (4.1. táblázat), ezért elvi akadályuk nincs az eljárás akadályozásának.

5.1. IZOTERMÍKUS LÉGSUGÁR ÁLTAL SZÁLLÍTOTT TÖMEGÁRAM SZÁMÍTÁSA

Ha a befújt levegő és a helyiség levegője között nincs jelentős hőmérséklet-különbség, izotermikus levegőbefújásról beszélhetünk. Ekkor a légsugár pályája egyenes, mint ahogy az az 5.1. ábrán is látható. A légsugár a befúvó-nyílástól távolodva a helyiség levegőjét indukálja, így a szállított térfogatáram egyre nagyobb lesz. Ezen folyamat során a sugár egyre több és több zónát érint. Elképzelhető az is, hogy a sugár tengelye nem pont a zónák határán halad, így nem lehet egyszerűen megmondani, hogy az egyes zónákba mennyi térfogatáram jut.



5.1. ábra: Légsugár sebesség-profiljának változása a távolság függvényében.

A különböző légsugár-típusok sebességprofilja egyszerű összefüggésekkel leírható. A szakirodalom négy alaptípust különböztet meg a befúvó nyílás geometriájától függően: kört, négyszöget (az oldalak aránya kisebb, mint 40, ezeket a légsugarakat 3 dimenziós légsugárnak nevezik, mert a létrejövő áramlás háromdimenziós), rést (mely a négyszöggel ellentétben kétdimenziósnak nevezhető) és radiálisat. Ezen kívül beszélhetünk korlátozott (a fal jelenléte a sugár szabad fejlődését korlátozza) és szabad légsugárról, illetve izotermikus vagy anizotermikus légbevezetésről. Az egyes esetekben használható sebességprofilok az 5.1. táblázatban újra szerepeltetésre kerültek az ebben a fejezetben alkalmazott eltérő jelölésrendszer miatt. Ahogy az látható, 6 különböző esetről beszélhetünk. Ezek közül itt a legegyszerűbbel foglalkozok, a résből kivezetett szabad légsugárral.

5.1. táblázat: Különböző típusú légsugarak sebességprofiljai.

Nyílás alakja	Izotermikus vagy anizotermikus	
Kör	Szabad	$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \cdot \left(\frac{r}{r_{0,5}}\right)^2}$
	Korlátozott	$\frac{u}{U_m} = 1,48 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^{2^{1/7}} \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left[0,68 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^2\right]\right) \cdot e^{-0,693 \cdot \left(\frac{\zeta}{\zeta_{0,5}}\right)^2}$
Rész	Szabad	$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^2}$
	Korlátozott	$\frac{u}{U_m} = 1,48 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^{2^{1/7}} \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left[0,68 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^2\right]\right)$
Radiális	Szabad	$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^2}$
	Korlátozott	$\frac{u}{U_m} = 2 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^{2^{0,32}} \cdot e^{-1,515 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^{2^{1,32}}}$
Négyszög	Szabad	$\frac{u}{U_m} = e^{-0,693 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^2} \cdot e^{-0,693 \cdot \left(\frac{\zeta}{\zeta_{0,5}}\right)^2}$
	Korlátozott	$\frac{u}{U_m} = 1,48 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^{2^{1/7}} \cdot \left(1 - \operatorname{erf}\left[0,68 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}}\right)^2\right]\right) \cdot e^{-0,693 \cdot \left(\frac{\zeta}{\zeta_{0,5}}\right)^2}$

A táblázatban szereplő ismeretlen mennyiségek: U_m a légsugár tengelysebessége, [m/s], η az y irányú lokális koordináta, ζ a z irányú lokális koordináta, r a lokális koordináta hengersizmetrikus esetben. $\eta_{0,5}$, $r_{0,5}$ és $\zeta_{0,5}$ azok a koordináták, ahol a sebesség a tengelysebesség fele.

Ha például az I-es cellába bejutó térfogatáramokat kívánjuk meghatározni, formálisan az (1)-es egyenletet kell elvégeznünk.

$$\dot{m}_{Ipx} = \rho \cdot \int_{A_{Ix}} u(\eta) dA, \quad (5.1.)$$

ahol:

- $\dot{m}_{Ipx}$ a légsugár által szállított x irányú primer tömegáram a zónában, [kg/s],
- ρ zóna levegőjének sűrűsége, [kg/m³],
- $u(\eta)$ a légsugár sebességeloszlása a lokális koordináta-rendszerében, [m/s],
- A_{Ix} a zóna x normálisú határoló-felülete.

Az (5.1.)-es egyenlet átalakítható a (5.2.)-essé:

$$\dot{m}_{\text{Ipx}} = \rho \cdot \int_{\eta_1}^{\eta_2} U_m \cdot e^{-0,693 \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}} \right)^2} d\eta \cdot l_{\text{Iz}}. \quad (5.2.)$$

l_z a cella z irányú mérete. Egy 2 dimenziós légsugár tengelysebességének leépülése a (5.3.)-as egyenlettel számítható.

$$U_m = U_0 \cdot \frac{K_v}{\sqrt{x/h}}. \quad (5.3.)$$

ahol:

- h a rés magassága, [m],
- K_v a sugár vetési konstansa, [-].

A lokális koordinátarendszer változóját (η) fel kell írni a globális koordinátarendszer változójával (y), mivel a cellák koordinátái a globális koordinátarendszerben adottak. Ez a (5.4.) és (5.5.) egyenletekkel tehető meg. Ezen kívül szükség van $\eta_{0,5}$ -re is, melynek számítási összefüggése a (5.6.)-os egyenlet. A b konstans Rajaratnam [17] szerint 0,1.

$$\eta_1 = (y_I - l_y - y_1), \quad (5.4.)$$

$$\eta_2 = (y_I - y_1), \quad (5.5.)$$

$$\eta_{0,5} = b \cdot x. \quad (5.6.)$$

Ezekkel a (5.7.)-es összefüggést kaphatjuk meg a cellába belépő térfogatáramra.

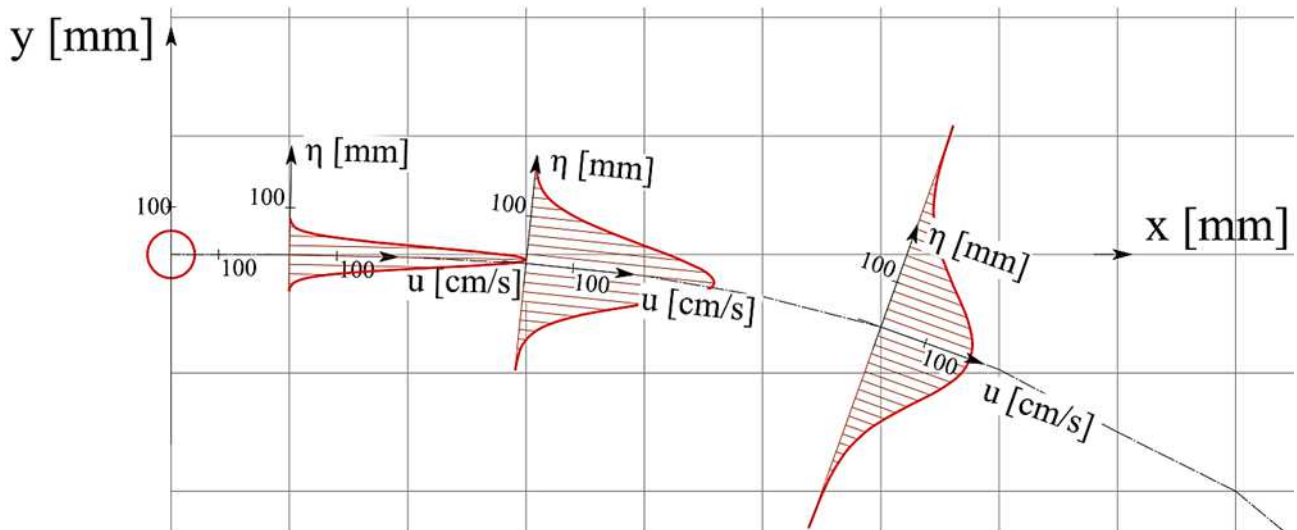
$$\dot{m}_{\text{Ipx}} = \rho \cdot \int_{(y_I - l_y - y_1)}^{(y_I - y_1)} U_0 \cdot \frac{K_v}{\sqrt{x/h}} \cdot e^{-0,693 \left(\frac{\eta}{b \cdot x} \right)^2} d\eta \cdot l_{\text{Iz}}. \quad (5.7.)$$

Az integrálás elvégzése után a (5.8.)-as egyenletet kapjuk.

$$\dot{m}_{\text{Ipx}} = \rho \cdot U_0 \cdot \frac{K_v}{\sqrt{x/h}} \cdot l_z \left[\frac{\sqrt{\pi}}{2 \cdot \sqrt{\frac{0,693}{(b \cdot x)^2}}} \cdot \text{erf} \left(\frac{\eta}{\sqrt{\frac{0,693}{(b \cdot x)^2}}} \right) \right]_{(y_I - l_y - y_1)}^{(y_I - y_1)}. \quad (5.8.)$$

5.2. ANIZOTERMIKUS LÉGSUGÁR ÁLTAL SZÁLLÍTOTT TÖMEGÁRAM SZÁMÍTÁSA

Az 5.2. ábrán egy anizotermikus légsugár pályája látható. Jól látszik, hogy a sűrűség különbség miatt a pályája az izotermikus esettől eltérően nem egyenes.

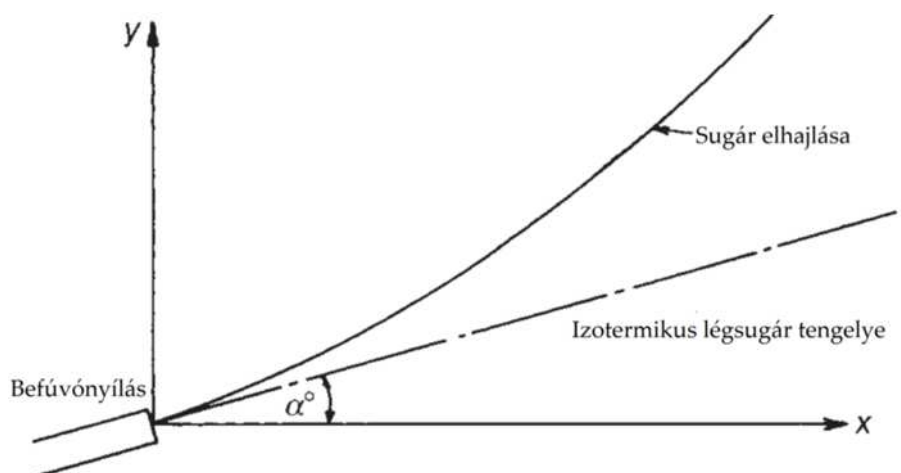


5.2. ábra: Anizotermikus légsugár sebesség-profiljának és pályagörbéjének változása

A pálya görbe leírására számos összefüggés létezik, ezek közül mi az a (5.9.)-es és (5.10.)-as egyenletek használhatóak. Kör keresztmetszetű és háromdimenziós légsugárra a (5.9.) egyenlet használható, míg a résből kivezetett légsugárra az (5.10.). Az α szög értelmezése az 5.3. ábrán látható.

$$\frac{y}{\sqrt{A_0}} = \frac{x}{\sqrt{A_0}} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \pm 0,47 \cdot \frac{K_{vT}}{K_v^2} \cdot Ar_{0A_0} \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{A_0} \cdot \cos(\alpha)} \right)^3, \quad (5.9.)$$

$$\frac{y}{h} = \frac{x}{h} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \pm 0,4 \cdot \frac{K_{vT}}{K_v^2} \cdot Ar_{0h} \cdot \left(\frac{x}{h \cdot \cos(\alpha)} \right)^{2,5}, \quad (5.10.)$$



5.3. ábra: Az α szög értelmezése [15].

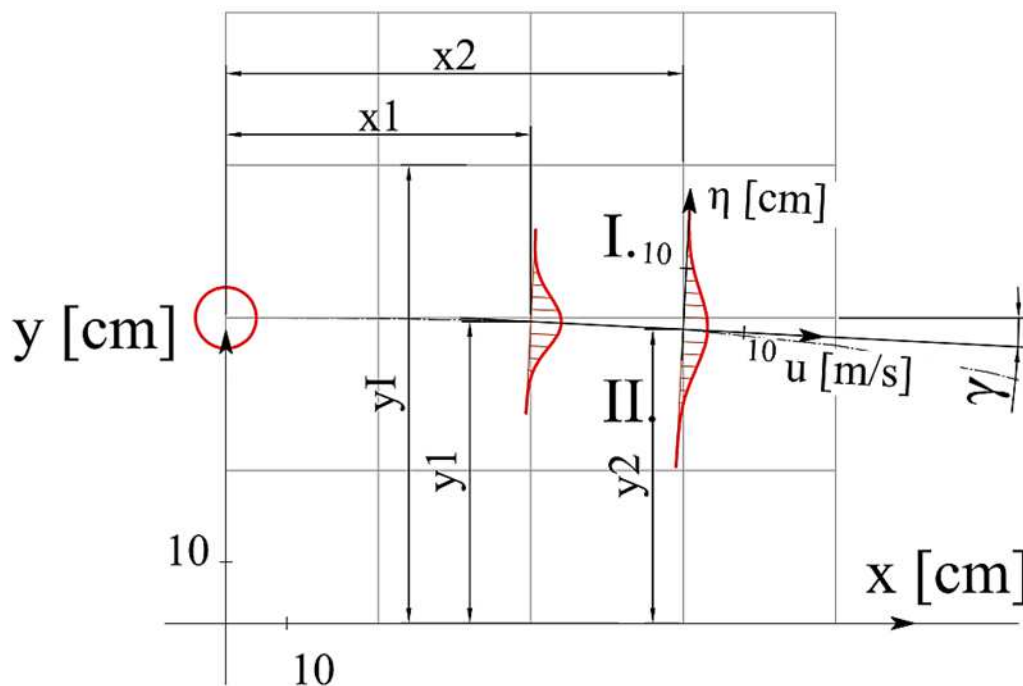
Az egyenletekben szerepel az Archimedesi szám, Az Archimedesi-szám a (5.11.)-es és (5.12.)-es képletekkel számítható a nyílás alakjától (azaz a jellemző mérettől függően).

$$Ar_{0A_0} = \frac{g \cdot \Delta T_0}{T_b \cdot U_0} \cdot \sqrt{A_0}, \quad (5.11.)$$

$$Ar_{0h} = \frac{g \cdot \Delta T_0}{T_b \cdot U_0} \cdot h. \quad (5.12.)$$

Ezzel egyértelműen meghatározható a pályagörbe egyes pontjainak koordinátája. Ezt a tényt továbbá azt felhasználva, hogy a különböző típusú légsugarak (tengelyszimmetrikus, kétdimenziós, stb.) sebességprofiljára és tengelysebességük leépülésére vonatkozóan számos összefüggés létezik, az egyes zónákba bejutó térfogatáram számítható. Ehhez a következő megfontolásokat tehetjük. A 5.4. ábrán jól látszik, hogy a légsugár által érintett két zónában a térfogatáram megoszlása a sugár elhajlása miatt nem azonos. Az elhajlás szöge pontról pontra változik (az (5.9.)-es, (5.10.)-es egyenletekből ez egyértelműen látszik, a derivált értéke nem konstans, így az érintők iránytangense sem lehet az). Számítására a következő közelítés használható:

$$\tan(\gamma) = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}, \quad (5.13.)$$

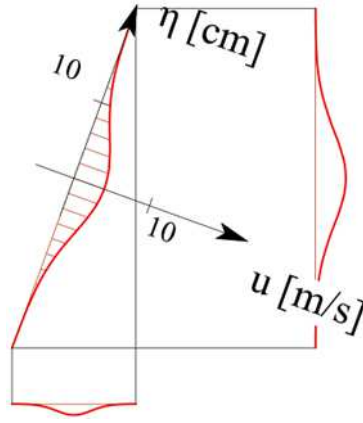


5.4. ábra: Légsugár sebességprofiljai az I-es és II-es zónák határán.

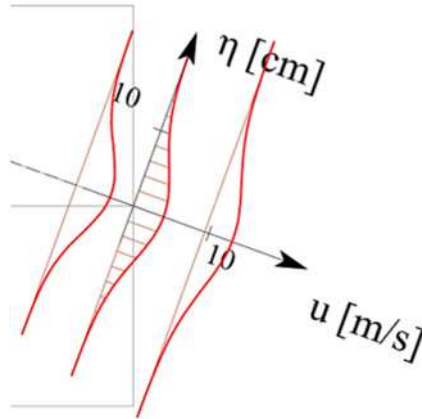
Ezek után a sebesség x és y irányú komponensei a (5.14.) és (5.15.) egyenletekkel számíthatóak. Az egyes irányokban ily módon számítható sebességprofilok a 5.5. ábrán láthatóak. Az egyes zónák határfelületén áthaladó sebességet az (x_2, y_2) pontban számítva nyilvánvalóan közelítést alkalmazunk, hiszen a sebességek az 5.6. ábrán látható két profil között lesznek valahol az egyes zónák határfelületén történő áthaladáskor. Ezt azonban elhanyagoljuk.

$$u_x = \cos(\gamma) \cdot u(\eta), \quad (5.14.)$$

$$u_y = \sin(\gamma) \cdot u(\eta), \quad (5.15.)$$



5.5. ábra: A légsugár (x2,y2) pontjában lévő sebességprofiljának felbontása. (Az ábra az előzőekhez képest torzított.)



5.6. ábra: A légsugár profiljának változása az I-es zónán történő áthaladás során.

Ezen elhanyagolások mellett a határfelületen áthaladó sebességprofil ismertnek tekinthető. Az egyes zónákon áthaladó térfogatáram integrálással kapható meg. Ahogy az az 5. ábrán is látszik, két térfogatáramról beszélhetünk, egy x irányúról és egy y irányúról. Az integrált az 1-es zónára formálisan a (5.16.) és az (5.17.) egyenletnek megfelelően írhatjuk. A negatív előjel abból adódik, hogy a kilépő térfogatáramot számítjuk, mely az (x2,y2) pontban lévő profil integrálásával történhet.

$$\dot{m}_{Ipx} = -\rho \cdot \int_{A_{Ix}} \cos(\gamma) \cdot u(\eta) dA, \quad (5.16.)$$

$$\dot{m}_{Ipy} = -\rho \cdot \int_{A_{Iy}} \sin(\gamma) \cdot u(\eta) dA. \quad (5.17.)$$

$$\dot{m}_{Ipx} = -\rho \cdot \int_{\eta_1}^{\eta_2} \cos(\gamma) \cdot U_m \cdot e^{-0,693 \left(\frac{\eta}{\eta_{0,5}} \right)^2} d\eta \cdot l_z, \quad (5.18.)$$

Az egyenletben szereplő ismeretlenek az (5.19.)-es és (5.20.)-as egyenleteknek megfelelő módon írhatóak. Ezen kívül fel kell használni a (5.3.)-as és (5.6.)-os egyenleteket is.

$$\eta_1 = (y_I - l_y - y_2) / \cos(\gamma), \quad (5.19.)$$

$$\eta_2 = (y_I - y_2) / \cos(\gamma), \quad (5.20.)$$

Ezek alapján az egyenlet:

$$\dot{m}_{Ipx} = -\rho \cdot \int_{(y_I - l_y - y_2) / \cos(\gamma)}^{(y_I - y_2) / \cos(\gamma)} \cos(\gamma) \cdot U_0 \cdot \frac{K_v}{\sqrt{x/h}} \cdot e^{-0,693 \left(\frac{\eta}{b \cdot x} \right)^2} d\eta \cdot l_z. \quad (5.21.)$$

Ennek az integrálnak az értéke:

$$\dot{m}_{I_{px}} = -\rho \cdot U_0 \cdot \frac{K_v}{\sqrt{x/h}} \cdot \cos(\gamma) \cdot l_z \left[\frac{\sqrt{\pi}}{2 \cdot \sqrt{\frac{0,693}{(b \cdot x)^2}}} \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{\eta}{\sqrt{\frac{0,693}{(b \cdot x)^2}}} \right) \right]_{(Y_1 - l_y - Y_2) / \cos(\gamma)}^{(Y_1 - Y_2) / \cos(\gamma)} \quad (5.22.)$$

Ezzel az I-es cellában a légsugár x irányú, kilépő térfogatáramát meghatározhatjuk. Ha az y irányú térfogatáram meghatározása szükséges, a (5.17.)-es egyenletből indulhatunk ki.

$$\dot{m}_{I_{py}} = -\rho \cdot \int_{(Y_1 - l_y - Y_2) / \cos(\gamma)}^{(Y_1 - Y_2) / \cos(\gamma)} \sin(\gamma) \cdot U_0 \cdot \frac{K_v}{\sqrt{x/h}} \cdot e^{-0,693 \left(\frac{\eta}{b \cdot x} \right)^2} d\eta \cdot l_z \quad (5.23.)$$

Ez az egyenlet a (5.22.)-es egyenlethez hasonló eredményre vezet.

$$\dot{m}_{I_{px}} = -\rho \cdot U_0 \cdot \frac{K_v}{\sqrt{x/h}} \cdot \sin(\gamma) \cdot l_z \left[\frac{\sqrt{\pi}}{2 \cdot \sqrt{\frac{0,693}{(0,1 \cdot x)^2}}} \cdot \left[\operatorname{erf} \left(\frac{\eta}{\sqrt{\frac{0,693}{(0,1 \cdot x)^2}}} \right) \right]_{(Y_1 - l_y - Y_2) / \cos(\gamma)}^{(Y_1 - Y_2) / \cos(\gamma)} \right] \quad (5.24.)$$

6. NAGYLÉGTERŰ HELYISÉG ZONÁLIS MODELLEZÉSE

A dolgozat célja az volt, hogy egy nagylégterű helyiség zonális modellezésére alkalmas program elméleti alapjait lefedtesse. Ezen kívül cél volt egy olyan program megalkotása mely képes egy helyiség légállapotainak zonális modellezéssel történő számítására. A program fejlesztése a Matlab R2012a által biztosított környezetben történt. Ebben a fejezetben a program fontosabb jellemzőit fogom bemutatni. A program kódja a mellékletek között szerepel.

6.1. A PROGRAM SZERKEZETÉNEK VÁZLATOS BEMUTATÁSA

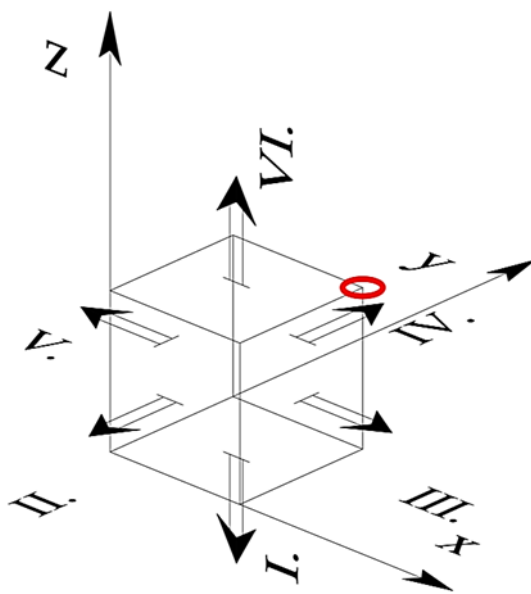
A program 5 részből áll:

- egy hálózó és geometriakészítő modulból, mely képes az elkészült geometria vizualizálására
- egy olyan peremfeltétel számító modulból, mely az áramlási elemek által meghatározott peremfeltételek felvitelére alkalmas
- egy kezdeti érték és peremfeltétel megadó modulból
- egy számításokat végző („Solver”) modulból
- egy egyszerűsített sugárzásos hőcserét számító modul
- és egy az eredmények vizualizálására szolgáló modulból

Az egyes modulok ugyanabban a tömbben tárolják el az információkat, mely az egyes modulok lefutása után mentésre kerül. A tömböt a következő modul betölti, majd a kívánt adatok felvitele után ismételtelen elmenti.

6.1.1. Hálózó és geometriakészítő modul

A geometriakészítő modul jelen pillanatban csak állandó cellaméret generálására képes. A cellákat a program a jobb felső sarkukkal azonosítja. Egy ilyen cella látható a 6.1. ábrán. Az egyes irányok jelölésre kerültek a cellán. A cellák azonosítása a pirossal megjelölt csúccsal történik.



6.1. ábra: A cellák határoló felületeinek jellemzésére használt irányok és a cellák jellemzésére használt csúcs pirossal jelölve.

A cellák jellemzői az „S” nevű tömbben kerülnek eltárolásra. Az egyes oszlopokba a 6.1. táblázatnak megfelelő jellemzők kerülnek.

6.1. táblázat: Az „S” tömb egyes oszlopaiban tárolt jellemzők bemutatása. Az egyes jellemzők SI mértékegységben értendők.

1	Oszlop száma																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A cella sorszáma	Cella koordinátái			Cella élhosszúságai			Cella x, y, z normálisú felületei			Cella térfogat	Cella aktivitását jelölő konstans	Cella határoló-felületeit jellemző konstansok					
	x	y	z	lx	ly	lz	Ax	Ay	Az	V	ia	wI	wII	wIII	wIV	wV	wVI

Külön figyelmet érdemel a cella „aktivitását” jelölő konstans és a cella „határoló felületeit jellemző konstansok” különböző irányokban. Az ia konstans értéke azt határozza meg, hogy a cella részt vesz-e a számításban. Ha értéke 0, a cella nem vesz részt a számításban, míg ha értéke 1 akkor részt vesz. Az inaktív cellára a program semmilyen egyenletet nem ír fel.

A cella határoló felületeit jellemző w konstans értéke 0, 1 és -1 lehet, attól függően, hogy a adott síkja fal-e (0), vagy átjárható felület-e (1). Ha a konstans értéke -1, az azt jelenti, hogy az adott sík az egész modell szempontjából egy szimmetria sík.

6.1.2. Légsugár peremfeltétel számító modul

A légsugár peremfeltétel számító modul működése az 5. fejezetben leírtakon alapul. Bemenő adatként igényli a hálózó és geometriakészítő modul kimenő adatait, a légsugár elhelyezkedését a térben és a számítási határokat, azaz azt, hogy a tér mely részében kívánjuk figyelembe venni a légsugár hatását.

6.1.3. Kezdeti érték és peremfeltétel megadó modul

A kezdeti érték és peremfeltétel megadó modul feltölti a hálót a számításhoz szükséges fizikai paraméterekkel. Ezek a fizikai paraméterek:

- a cellákban uralkodó nyomások
- a cellák levegőjének hőmérséklete
- a cellák egyes felületein átáramló térfogatáramok

Ezen kívül a cellák levegőjének fizikai jellemzői is tárolásra kerülnek. A fizikai jellemzőket a cellák hőmérsékletétől függően a modul kiszámítja, azok eltárolásra kerülnek. A 6.2. táblázatban szerepelnek az egyes oszlopokban eltárolt jellemzők értelmezései. Ezen kívül a modulban lehetőség van a tömegáram peremfeltételek, a befűjt és elszívott tömegáramok, a befűjt levegő hőmérsékletének és a hőterheléseknek a vizualizálására is.

6.2. táblázat: Az „S” tömb egyes oszlopaiban tárolt jellemzők bemutatása a kezdeti érték és peremfeltétel megadó modul lefutása után. Az egyes jellemzők SI mértékegységben értendők.

Nyomás	Térfogatáramok					
19	20	21	22	23	24	25
p	mI	mII	mIII	mIV	mV	mVI
Hőmérséklet	Határoló szerkezetek hőmérséklete					
26	27	28	29	30	31	32
T	TwI	TwII	TwIII	TwIV	TwV	TwVI
Anyagjellemzők						
33	34	35	36	37	38	39
ϱ	ν	C_p	Pr	β	λ	a
Hőátadási tényezők a cellával határos falfelületeken						
40	41	42	43	44	45	
αI	αII	αIII	αIV	αV	αVI	
Tömegáram peremfeltételek						
46	47	48	49	50	51	
mIbc	mIIbc	mIIIbc	mIVbc	mVbc	mVIbc	
A légáramlás irányát kifejező konstans értékei						
52	53	54	55	56	57	
εI	εII	εIII	εIV	εV	εVI	
A befűjt levegő tömegáram	Az elszívott levegő tömegáram	Hőterhelés vagy hőelvonás a cellában		A cella x, y, z normálisú felületének kerülete		
58	59	60		61	62	63
ms	me	Q		Kx	Ky	Kz
A cella dimenziótlan átfolyási száma	A befűjt levegő hőmérséklete		A befűjt levegő fajhője			
64	65		66			
Cd	Ts		Cps			

A program az Inard által bevezetett, 3.1. pontban bemutatott modellt használja a számítások alapjául, így az S tömbbe bekerültek a légáramlás irányát kifejező konstansok is.

6.1.4. A „Solver” modul felépítése

6.1.4.1. A „SOLVER” MODUL FIZIKAI ALAPJAI

A „Solver” modul fizikai alapjait a 3.1. pontban leírt összefüggések adják, két módosítással. Az egyik ilyen módosítás, hogy az Inard-féle (3.4.) egyenlettől eltértem, mégpedig a következő formában:

$$\dot{m}_{i,j} = -\text{sign}(\Delta p_{i,j}) \cdot C_{d,i,j} \cdot A_{i,j} \cdot \sqrt{\rho_i + \rho_j} \cdot \sqrt{|\Delta p_{i,j}|}. \quad (6.1.)$$

Az egyenlet a következő módon értelmezhető. Egyrészt, az epszilon iránytényezőt a signum függvénnyel helyettesítettem. Valójában először Inard is ebben az alakban közölte az egyenletet.

Az energia egyenletet is módosítottam. A módosítás azonos azzal, amit A. Voeltzel et al. [35] alkalmazott. Musy et al. [5] egyenlete, mely a módosítás alapjául szolgált, a légáramlás miatti konvektív transzportot (3.3.) egyenlet első tagjával veszi figyelembe. Eszerint hőmérséklet különbséggel arányos a cellába be- és cellából kiáramló energia.

Ha feltételezzük, hogy például az i. cellából a j. cellába áramlik a levegő, úgy nyilvánvaló, hogy az i. cellából kiáramló energia mennyiségét a j. cella hőmérséklete nem befolyásolja. Ezen megfontolás alapján a (3.3.) egyenletet módosítani kell. A módosítás után a (6.2.) egyenletre jutunk.

$$\sum_{j=1}^N \dot{m}_{j,i} \cdot c_p \cdot \Delta T_{j,i} + \sum_{j=1}^N \frac{\lambda}{\delta_{j,i}} \cdot A_{j,i} \cdot \Delta T_{j,i} + P_i + \sum_{l=1}^M \Phi_{\text{conv},l,i} = 0, \quad (3.3.)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \dot{m}_{i,j} \cdot c_p \cdot \{ [1 - \text{sign}(\dot{m}_{i,j})] \cdot T_i + [1 + \text{sign}(\dot{m}_{i,j})] \cdot T_j \} / 2 + \\ + \sum_{j=1}^N \frac{\lambda}{\delta_{j,i}} \cdot A_{j,i} \cdot \Delta T_{j,i} + P_i + \sum_{l=1}^M \Phi_{\text{conv},l,i} = 0. \end{aligned} \quad (6.2.)$$

Abban az esetben, ha az $\dot{m}_{ij}$ térfogatáram kiáramlik az i. cellából, tehát negatív, a cellából T_i hőmérsékletű levegő lép ki. Ha a tömegáram pozitív, azaz a zónába a j. cellából levegő áramlik, a cella levegőjének energiája a T_j hőmérsékletű levegő belépésével nő.

Az utolsó egyenlet, melyről nem beszéltem, a kontinuitás egyenlete. A kontinuitás egyenlete minden cella esetében hat ismeretlent tartalmaz. Ez azt jelenti hogy N darab cellára 6N darab ismeretlenünk van. Az ismeretlenek száma csökkenthető, pl. az egyik cellába beáramló térfogatáram a másiktól kiáramlik, így az egyik a másiknak mínusz egyszerese, vagy ha a cellát egyik irányból fal határolja, akkor abban az irányban a térfogatáram nagysága nulla. Ily módon az ismeretlenek száma redukálható, de bizonytalan a megmaradó ismeretlenek száma, ezért más módon kell eljárni. A kontinuitás egyenletét felírhatjuk a nyomásegyenlet felhasználásával. Ekkor a (3.1.) egyenlet a következő alakot veszi fel:

$$\sum_{j=1}^N -\text{sign}(\Delta p_{i,j}) \cdot C_{d,i,j} \cdot A_{i,j} \cdot \sqrt{\rho_i + \rho_j} \cdot \sqrt{|\Delta p_{i,j}|} + \dot{m}_{s,i} - \dot{m}_{e,i} = 0. \quad (6.3.)$$

Ezek az egyenletek már megoldhatóak. Ekkor N darab ismeretlenünk van. A független egyenletek száma N-1 darab, így egy további egyenletre van szükség. Ezt az egyenletet úgy kaphatjuk meg, hogy az egyik cellában előírjuk a nyomás értékét, pl. előírjuk hogy az első számításban résztvevő cellában atmoszférikus nyomás legyen. Ezen kívül az energia egyenletet kell megoldanunk az egyes cellákra, ebben az esetben N cellára N darab független egyenletet írhatunk fel. A független ismeretek a nyomások és a hőmérsékletek. Látható, hogy az energia egyenlet és a kontinuitás egyenlete a tömegáramokon és a sűrűségeken keresztül kapcsolódik egymáshoz.

A (6.3.)-as egyenlettel kapcsolatban felmerül egy probléma. Az egyenletet az i. nyomás szerint deriválva a (6.4.) egyenletre juthatunk. Ha a két cella között a nyomáskülönbség zérus, akkor derivált nem értelmezett. Ezt a problémát küszöbölte ki Boukhris et al. [45].

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sum_{j=1}^N -\text{sign}(\Delta p_{i,j}) \cdot C_{d,i,j} \cdot A_{i,j} \cdot \sqrt{\rho_i + \rho_j} \cdot \sqrt{|\Delta p_{i,j}|} + \dot{m}_{s,i} - \dot{m}_{e,i}}{\partial p_i} = \\ = -\sum_{j=1}^N C_{d,i,j} \cdot A_{i,j} \cdot \sqrt{\rho_i + \rho_j} / \sqrt{|\Delta p_{i,j}|}. \end{aligned} \quad (6.4.)$$

6. NAGYLÉGTERŰ HELYSÉG ZONÁLIS MODELLEZÉSE

Boukhris et al. [45] bevezetett egy úgynevezett nyomásküszöböt, mely alatt a tömegáram és nyomás között lineáris kapcsolat van. Ez a nyomásküszöb az áramlás fizikájával is kapcsolatba hozható, hiszen lamináris áramlás esetén a nyomás és a tömegáram között szintén lineáris a kapcsolat. A nyomásküszöb nagyságát az említett forrásban ugyanakkor nem az áramlás milyensége alapján állapították meg, hanem egy, a számítást jellemző paraméterként. Arra jutottak, hogy értékének $1e-6$ és $1e-9$ Pa között kell lennie. Boukhris et al. [45] a nyomásküszöb alatt is az Inard által javasolt 0,83-as értékű dimenziótlan átfolyási számot használta. Ezzel szemben én a dimenziótlan átfolyási számot a nyomásküszöb függvényében határoztam meg a programban. Az átfolyási szám értékét oly módon határoztam meg, hogy a nyomás és a tömegáram kapcsolata folytonos legyen. Eszerint az áramlást a nyomásküszöb alatt leíró (6.5.) egyenlet által meghatározott tömegáramnak és a (6.1.) egyenletből meghatározható tömegáramnak egyenlőnek kell lennie.

$$\dot{m}_{i,j} = -\text{sign}(\Delta p_{i,j}) \cdot C_{dPT,i,j} \cdot A_{i,j} \cdot \sqrt{\rho_i + \rho_j} \cdot |\Delta p_{i,j}|. \quad (6.5.)$$

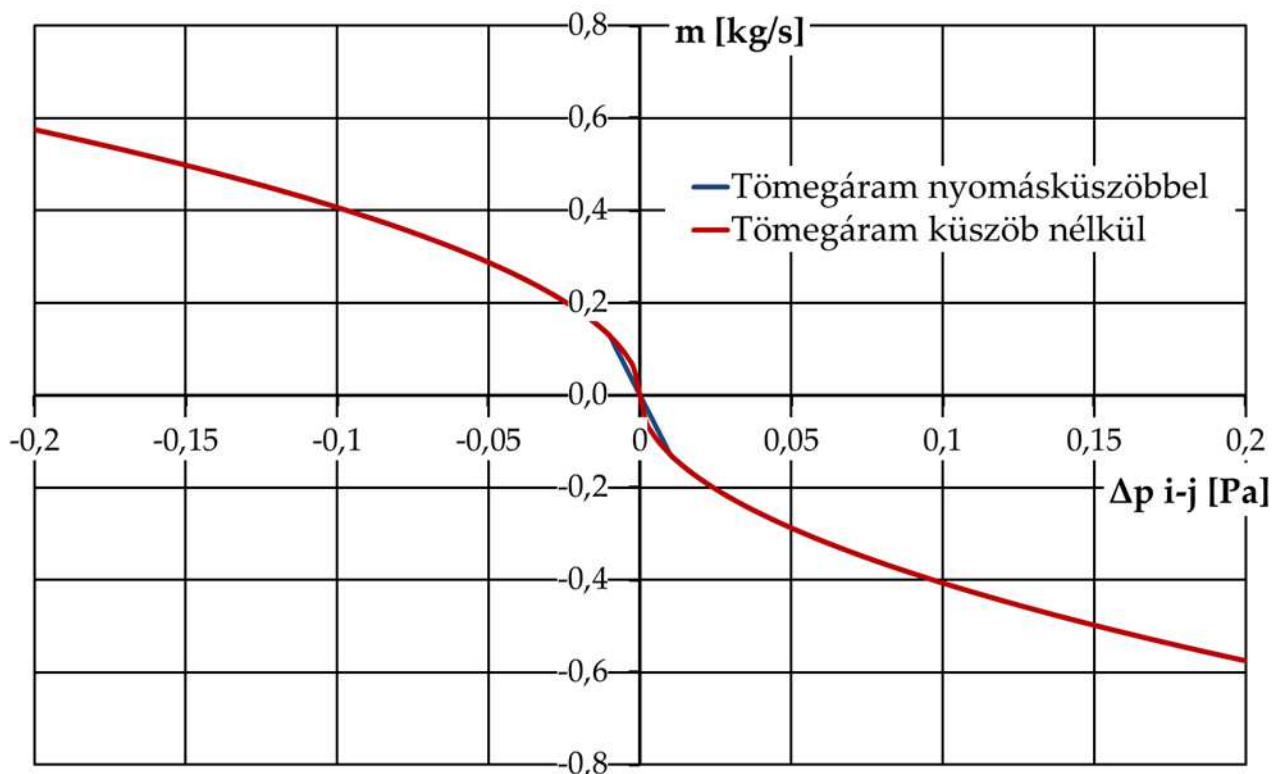
Az átfolyási szám így a (6.6.) egyenletből kapható meg:

$$C_{dPT,i,j} = C_{d,i,j} \cdot \sqrt{|\Delta p_{PT,i,j}|} / |\Delta p_{PT,i,j}|, \quad (6.6.)$$

ahol:

- $C_{dPT,i,j}$ az átfolyási szám a nyomásküszöb alatt, [-],
- $\Delta p_{PT,i,j}$ a nyomásküszöb nagysága, [Pa].

A következő diagramon ábrázolásra került a nyomásküszöb alkalmazása és a nyomásküszöb alkalmazása nélküli kapcsolat a nyomáskülönbség és a tömegáram között, $1e-3$ Pa-os nyomásküszöb mellett. A (6.5.) deriváltja konstans, így nem jelentkezik a (6.4.)-es egyenlettel kapcsolatos probléma.



6.2. ábra: A tömegáram és a nyomáskülönbség kapcsolata nyomásküszöbvel és küszöb nélkül.

6.1.4.2. A SŰRŰSÉG-VÁLTOZÁS HATÁSÁNAK FIGYELEMBEVÉTELE

A „Solver” modul feladata az előző egyenleteken alapulva a létrejövő nem-lineáris egyenletrendszer megoldása. Ahhoz, hogy ezt az egyenletrendszer megoldhassuk, bizonyos egyszerűsítéseket kell végrehajtani. Ilyen egyszerűsítés, hogy az energia-egyenletben mindig az előző iterációs lépés tömegárama szerepel. Ezzel az egyszerűsítéssel is kapcsolat marad az energia-egyenlet és a kontinuitás egyenlete között, a levegő sűrűségén keresztül. Ezért a program két különböző ciklusban oldja meg az energia-egyenletet és a kontinuitás egyenletét. A kezdeti számításokhoz az energia egyenlet kikapcsolása is lehetséges. Opcionálisan lehet számítani a sűrűséget az ideális gáz törvénnyel, vagy a Boussinesq-közelítéshez hasonló módon. A Boussinesq-közelítés a (6.4.) egyenletnek [36] megfelelően a sűrűség változását a nyomástól függetlennek tételezi fel. Valójában a sűrűség változásától eltekintünk, a sűrűségváltozás hatása csak a gravitációs gyorsulás vektorával párhuzamos irányban jelenik meg az egyenletekben.

$$(\rho - \rho_0) \cdot \mathbf{g} = -\rho_0 \cdot \beta_0 \cdot (T - T_0) \cdot \mathbf{g}. \quad (6.7.)$$

ahol:

- ρ_0 a referencia sűrűség, [m³/kg],
- T_0 a referencia hőmérséklet, [K],
- β_0 a referencia köbös hőtágulási-együttható, [1/K].

A referencia értékeket választhatjuk például a 20°C-os levegő jellemzőire. Ekkor a közelítés a 20°C-hoz közeli hőmérsékletek esetén ad jó eredményeket. A programba nem a hivatkozott módszer került beépítésre, hanem egy módosítása. Ezen módosítás értelmében, ha a konstans sűrűség használatát kikapcsoljuk és a „Boussineq”-et bekapcsoljuk, a sűrűség számítása (6.5.) egyenletnek megfelelően történik, és hatása a nyomásegyenletben is megjelenik. A Boussinesq-közelítés előnye, hogy csökkenti a nem-linearitást [36]. Ez a módosított módszerre is igaz lesz, mert a sűrűség a módszer alkalmazásával csak a hőmérséklettől függ.

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 - \beta_0 \cdot (T - T_0)) = \rho_0 \cdot \left[1 - \frac{(T - T_0)}{T_0} \right]. \quad (6.8.)$$

Az egyenlet átalakítása során kihasználtam, hogy a levegő köbös hőtágulási-együtthatója számítható az abszolút hőmérséklet reciprokjaként.

6.1.4.3. A „SOLVER” MODUL MATEMATIKAI ALAPJAI

A „Solver”ben az energia-egyenlet és a „mozgási-egyenlet” szétválasztását segíti az is, hogy az energia-egyenlet átmenetileg kikapcsolható a programban, így az azt nem oldja meg. Ezzel lehetőség van egy bonyolult, nem izotermikus probléma izotermikus kezdeti megoldásának előállítására, amelyből kiindulva a konvergencia felgyorsítható.

A nem-lineáris egyenletek megoldására leggyakrabban használt módszer a Newton-Raphson eljárás [41]. A Newton-Raphson eljárás akkor hatékony, ha jó kezdeti értékeket tudunk adni. [37] Az eljárás a nem-lineáris egyenlet deriváltjának ismeretében alkalmazható. Ha nem-lineáris egyenletrendszer megoldására kívánjuk felhasználni, úgy az egyenletrendszer Jacobi-mátrixát kell ismernünk. Az eljárás alkalmazását a

nyomás egyenleteken keresztül mutatom be.

Az eljárás a következő egyenleten alapul:

$$\underline{X}_{p;k+1} = \underline{X}_{p;k} - \underline{J}(\underline{X}_{p;k})^{-1} \cdot \underline{F}_p(\underline{X}_{p;k}). \quad (6.9.)$$

Az $\underline{X}_{p;k}$ vektor tartalmazza a nyomásokat a k. iterációs-lépésből. Az k+1. iterációs-lépéshez szükséges az $\underline{F}_p(\underline{X}_{p;k})$ függvény k. iterációs-lépésbeli értéke. Az $\underline{F}_p(\underline{X}_{p;k})$ vektor minden sora a (6.1.) egyenletet tartalmazza, így az egyenlet értékét, azaz a kontinuitás egyenletének hibáját kell kiszámítani a k. iterációs-lépésbeli nyomásokkal minden egyes cellára. A $\underline{J}(\underline{X}_{p;k})^{-1}$ mátrix az $\underline{F}_p(\underline{X}_{p;k})$ függvény Jacobi-mátrixa. A Jacobi-mátrixnak a (6.1.) egyenlet p_i és p_j nyomások szerinti parciális deriváltjait kell tartalmaznia.

A Jacobi-mátrix feltöltése során a program a következő szempontokat veszi figyelembe:
aktív-e az i. cella

a cella milyen irányokban átjárható falú, azaz milyen szomszédos cellákkal lehet kapcsolatban. Ha pl. j. a cellával kapcsolatban van, akkor a j. cella nyomása szerint is deriválni kell a (6.1.) egyenletet és a derivált k. iterációs-lépésbeli értékét is be kell írni a mátrixba

a j. cella szerepel-e már a mátrixban? Ha a cella már szerepelt, a derivált értékét a cellának megfelelő oszlopban kell elhelyezni, az i. cellának megfelelő sorban

Ezeket a feltételeket a program egy algoritmussal tudja teljesíteni. Az algoritmus a S tömböt vizsgálja át az elejétől a végéig, ha az adott i. cella aktív, először a főátlóban szereplő deriváltat számítja ki. A derivált helyét eltárolja egy Z_p mátrixban. Ezek után megvizsgálja, hogy a cella mely szomszédos cellákkal van kölcsönhatásban. Amennyiben a j. cellával kölcsönhatásban van, tehát a w konstans értéke az adott irányban 1, a cellára kiszámolja a megfelelő parciális derivált értékét. Közben megvizsgálja Z_p mátrixot, azt keresve, hogy hol szerepelt már korábban az a cella. Ha szerepelt, akkor a derivált értékét a j. cellának megfelelő oszlopba, az i. cella sorába helyezi el. A cellák sora és oszlopa jelen esetben nem egyezik meg a cellák sorszámaival, mert csak az aktív cellák kerülnek be a mátrixba. Ha nem szerepelt még a j. cella, akkor megkeresi a parciális derivált mátrixban elfoglalandó helyét, figyelembe véve, hogy az i. és j. cellák között hány aktív cella van.

A Newton-Raphson eljárás hibája, hogy a keresett gyökökhöz megfelelően közelről kell indítani a számítás ahhoz, hogy konvergáljon. Ha a kezdeti értékek túl messze vannak a gyöktől, az iteráció nem fog konvergálni. Ezért az eljárás csak az egyik lehetséges megoldási módszer, egy másik módszert is fel lehet használni. A másik módszer a K. Jisheng et al. [38] által publikált módosított Newton-Raphson eljárás. Az eljárás alapegyenlete a következő módon írható fel:

$$\underline{X}_{p;k+1} = \underline{X}_{p;k} - h_n \cdot [\underline{\text{diag}}(\lambda_{i;k} \cdot \underline{f}_{p;i}(\underline{X}_{p;k})) + \underline{J}(\underline{X}_{p;k})]^{-1} \cdot \underline{F}_p(\underline{X}_{p;k}) \quad (6.10.)$$

Az egyenletben a következő, eddig nem ismertett jelölések szerepelnek:

- $\underline{f}_{p;i}(\underline{X}_{p;k})$ a kontinuitás egyenlete az i. cellára,

- $\lambda_{i;k}$ egy konstans, melynek értékét úgy kell megválasztani, hogy a $\lambda_{i;k} \cdot f_{p,i}(\underline{X}_{p;k})$ szorzat előjele azonos legyen a $\partial f_{p,i}(\underline{X}_{p;k}) / \partial p_i$ derivált előjelével.
- $\text{diag}(\lambda_{i;k} \cdot f_{p,i}(\underline{X}_{p;k}))$ egy olyan mátrix, melynek főátlójában a $\lambda_{i;k} \cdot f_{p,i}(\underline{X}_{p;k})$ szorzatok szerepelnek.
- h_n a lépésköz, az az lényegében egy „csillapítási” tényező, mellyel szabályozhatjuk a konvergencia sebességét.

Az eljárás lényege az, hogy a $[\text{diag}(\lambda_{i;k} \cdot f_{p,i}(\underline{X}_{p;k})) + \mathbf{J}(\underline{X}_{p;k})]$ ⁻¹ mátrix szingulárisává válását elkerüljük, tehát a $\lambda_{i;k}$ konstansokat úgy kell megválasztani, hogy a mátrix ne legyen szinguláris. Az eljárás egyes esetekben képes akkor is megoldást szolgáltatni, amikor a hagyományos Newton-Raphson eljárás nem [38]. Abban az esetben, ha az összes $\lambda_{i;k}$ konstans értékét nullára választjuk, h_n értékét pedig 1-re, a Newton-Raphson eljárást kapjuk vissza. A programban így módon lehet elérni a hagyományos eljárást.

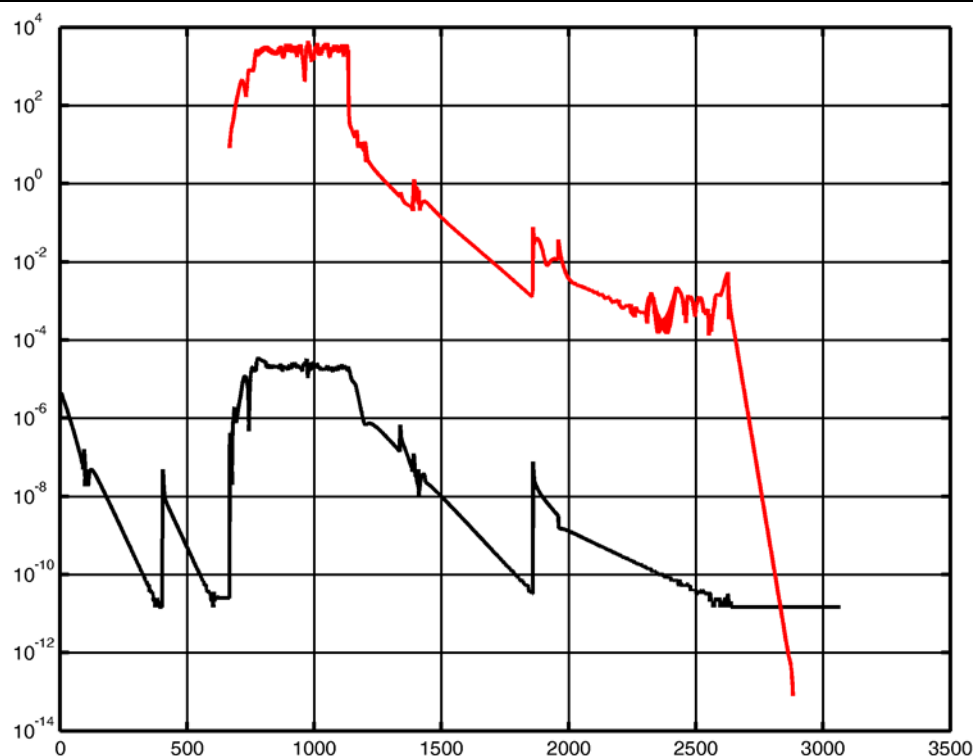
Ezek az eljárásokon kívül tervben van további algoritmusok beépítése is, mivel nagyméretű problémák esetén, ha nem rendelkezünk jó kezdeti értékekkel, a konvergencia sebessége kicsi, vagy éppenséggel lehetetlen a zérushelyek megtalálása.

6.1.4.4. A MEGOLDÁS KONVERGENCIÁJÁNAK FIGYELÉSE

Az egyes paraméterek megfelelő beállításához szükséges az, hogy a vizuálisan megjelenjen a megoldási folyamat. Erre azért is szükség van, hogy megfelelő pontosságú megoldás esetén a számítást leállíthassuk. Ezért a program a megoldás folyamata során tájékoztatásul ábrázolja az kontinuitás egyenletének és az energia-egyenletnek a hibáját. Ezen kívül ábrázolja az iteráció előtti és az iteráció utáni nyomások különbségét is.

A kontinuitás egyenletének hibáját olyan módon számítja, hogy az egyes cellákba beérkező és távozó térfogatáramokat, továbbá a befúvásokat vagy elszívásokat összegzi. Így egy pontosan olyan hosszú vektort kapunk, mint az aktív cellák száma. Ezek után kiszámítja a vektor hosszúságát, azaz az egyes koordináták, azaz hibák négyzetét összegzi, majd gyököt von belőle. Ez az érték kerül ábrázolásra. A nyomások esetében hasonlóan jártam el. A program kivonja az aktuális nyomásokat az iterációs lépést megelőző nyomásokból, majd kiszámolja a különbségeket tartalmazó vektor hosszát. Az energia egyenlet esetében mindig az iterációs lépést megelőző hiba jelenik meg, mivel az energiaegyenlet hibájának számítása több időt igényel, így a programot jelentősen lassítaná.

Erre látható egy példa, melyen a fekete vonal a kontinuitás hibája, míg a piros az energia egyenleté. A diagramot a program az egyik teszt-probléma megoldása során rögzítette.



6.3. ábra: A kontinuitás egyenletének (fekete) és az energia-egyenletnek (piros) a hibája az egyik tesztprobléma megoldása során.

6.1.5. Az eredmények vizualizálására szolgáló „Post-processing” modul

A „Post-processing” modul segítségével lehet feldolgozni a „Solver” modul eredményeit. A modul többféleképpen képes az eredmények vizualizálására. A lehetőségek a következők:

- a hőmérsékletek (operatív közelítő értéke és a léghőmérséklet) ábrázolása kontúrokkal
- a sebességek ábrázolása kontúrokkal.

Szót kell ejteni a sebességek kontúrokkal történő ábrázolásáról. A megoldás során minden cellára 6db tömegáram kerül meghatározásra. A sebességek ábrázolására két megoldást is megvizsgáltam. Az egyik lehetőség az, hogy a x , y , z irányú tömegáramok eredőjét képezzük. Például az x irányú két tömegáramot előjelhelyesen összeadjuk. Ugyanezt tesszük a másik két irány két-két tömegáramával is. Az eredménye ennek az eljárásnak egy tömegáram vektor, melynek abszolút értékét lehet kontúrokkal ábrázolni. Az x , y , z irányú eredő tömegáramokat a cella megfelelő felületével továbbá a levegő sűrűségével osztva a sebességet kapjuk. Ez a sebesség kerül ábrázolásra kivéve, ha cella adott oldala fallal határos. Ekkor az ábrázolt sebesség zérus, hiszen a falon az áramlási sebesség zérus. A program itt közlésre kerülő verziójában ez került alkalmazásra.

A másik lehetőség az volt, hogy a cellát az ábrázolási síkban több részre osztjuk. A programban ez 9 részt jelent (a cella csúcsai az adott síkban – 4 pont és az oldalak középpontjai – 5 pont). Minden egyes pontban kiszámítható egy tömegáram vektor, amely a megfelelő tömegáramok lineáris kombinációja. Ennek a vektornak az abszolút értéke kerül ábrázolásra az adott pontban.

Szót kell ejteni az operatív hőmérsékletek számításáról. Az operatív hőmérséklet definíció szerint a következő képletből számítható:

$$t_o = \frac{t_l \cdot \alpha_c + \bar{t}_s \cdot \alpha_s}{\alpha_c + \alpha_s}, \quad (6.11.)$$

ahol:

- t_l a levegő hőmérséklete a helyiségben, °C,
- α_c a konvektív hőátadási tényező, W/(m²K),
- $\bar{t}_s$ a határoló felületek közepes sugárzási hőmérséklete a helyiségben, °C,
- α_s a sugárzási hőátadási tényező, W/(m²K).

A hőátadási tényezők számítására nem térek ki részletesen, annak módja a szakirodalomban megtalálható. [42] [44] Tipikus belső körülmények között $\alpha_s=4,7$ W/(m²K) [43]. Abban az esetben, ha a levegő sebessége 0 és 0,15 m/s közé esik, $\alpha_c=4,0$ W/(m²K) [44]. A közepes sugárzási hőmérséklet becslése a következő egyenlettel lehetséges:

$$\bar{t}_s = \frac{\sum A_i \cdot t_{fi}}{\sum A_i}, \quad (6.12.)$$

- A_i az i-edik szerkezet felülete, m²,
- t_{fi} az i-edik felület hőmérséklete, °C.

Ezek alapján a közepes sugárzási hőmérséklet és a léghőmérséklet ismeretében az operatív hőmérséklet egy közelítő értéke számítható.

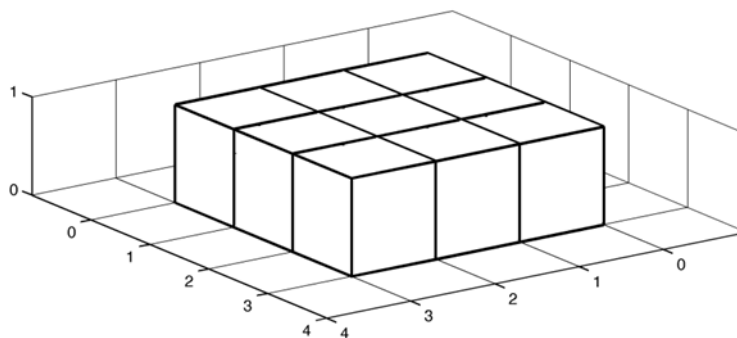
6.1.6. A program eredményeinek bemutatása tesztproblémákon

A program működését először kisebb problémákon vizsgáltam meg. Azt, hogy a program megfelelően működik-e, 4 problémán vizsgáltam meg. Ezek közül a 2. tesztproblémáról lesz szó.

6.1.6.1. 2-ES TESZTPROBLÉMA

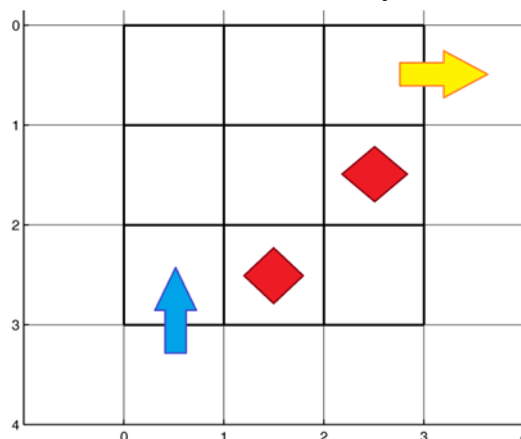
A 2-es tesztprobléma geometriája a 6.3. ábrán látható. A háló 1x1x1m-es cellákból áll. Az alapadatok a következők voltak:

- a falak hőmérsékletét 25°C-ra vettem fel.
- a hőátadási tényező hőmérsékletfüggését elhanyagoltam, egységesen 4W/m²K-nel számoltam
- a helyiségben két ember jelenlétét feltételeztem, mindegyikőjük hőleadását 100W-nak vettem
- a befűjt levegő hőmérséklete 16°C volt



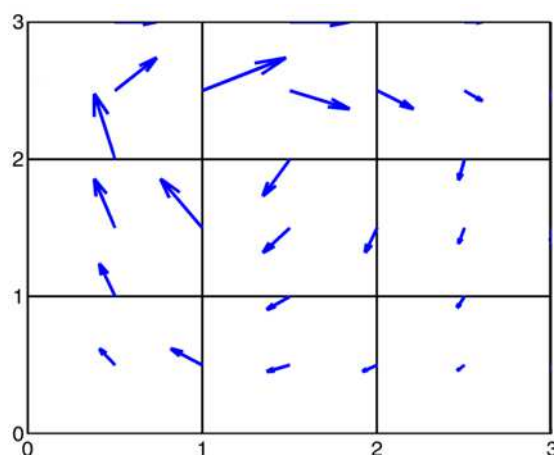
6.4. ábra: A 2-es tesztprobléma során vizsgált geometria.

Az emberek elhelyezkedése és a befúvási/elszívás helyek a 6.4. ábrán láthatóak.

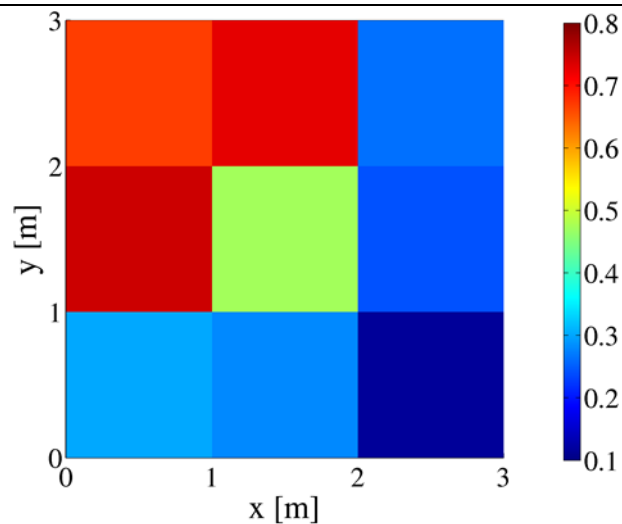


6.5. ábra: A 2-es tesztprobléma befúvási (kék nyíl), elszívási helyei (sárga nyíl). Az emberek elhelyezkedése a klimatizált térben (piros négyzetek).

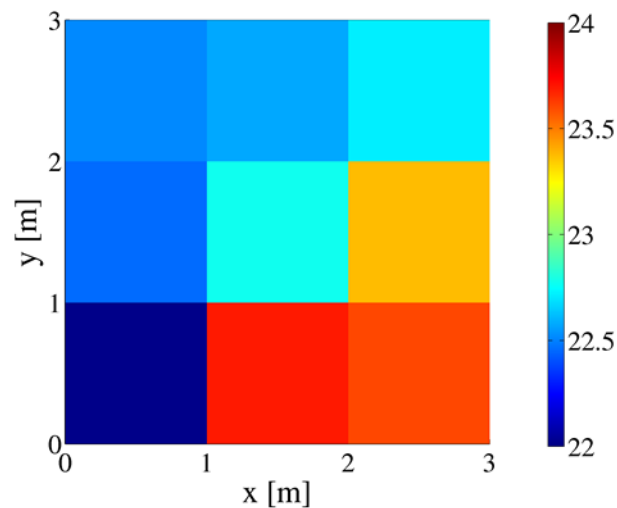
A befúvott és elszívott tömegáramok nagysága egyenlő volt, 0.068 kg/s . A befúvó nyílást kör keresztmetszetűnek feltételeztem, az érintett cellák határán átmenő térfogatáramokat a 4. és 5. fejezetek alapján számítottam. Ezekkel az alapadatokkal a következő 6.5-7. ábrán látható eredményeket kaptam. Az ábrák vizsgálata alapján megállapítható, hogy a program a várt fizikai jelenségeket jól modellezte. Például ha a 6.5. ábrát vizsgáljuk meg, látható, hogy a légsugár hatására egy erősebb primer és egy gyengébb szekunder áramlás alakul ki. A 6.7. ábra alapján a hőforrások környezetében a levegő hőmérséklete magasabb, ez megfelel annak, amire számítani lehetett. A 6.6. ábrával kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy azon a tömegáram kontúrjait az 1-es ábrázolási módszernek megfelelően jelenítettem meg. (Lásd. 6.1.5. szakasz.)



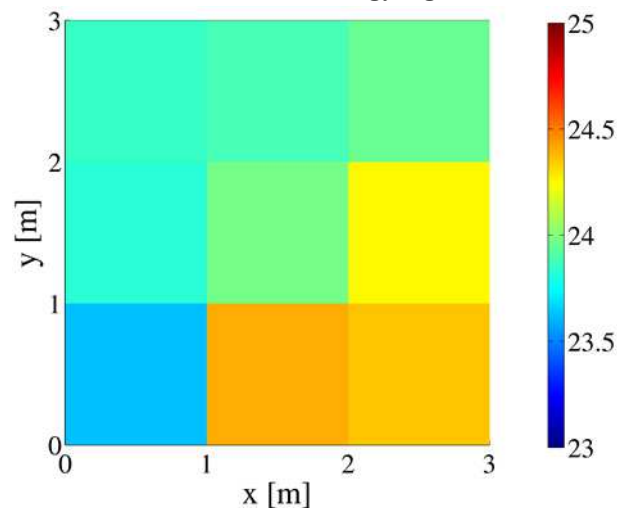
6.6. ábra: A tömegáram vektorok a 2-es számú teszthelyiségben.



6.7. ábra: A sebesség kontúrjai a 2-es számú teszhelyiségben. A színskála mértékegysége [m/s].
A fal mellett nem nullának ábrázoltam jelen esetben a sebességet



6.8. ábra: A léghőmérséklet kontúrjai a 2-es számú teszhelyiségben.
A színskála mértékegysége [°C].

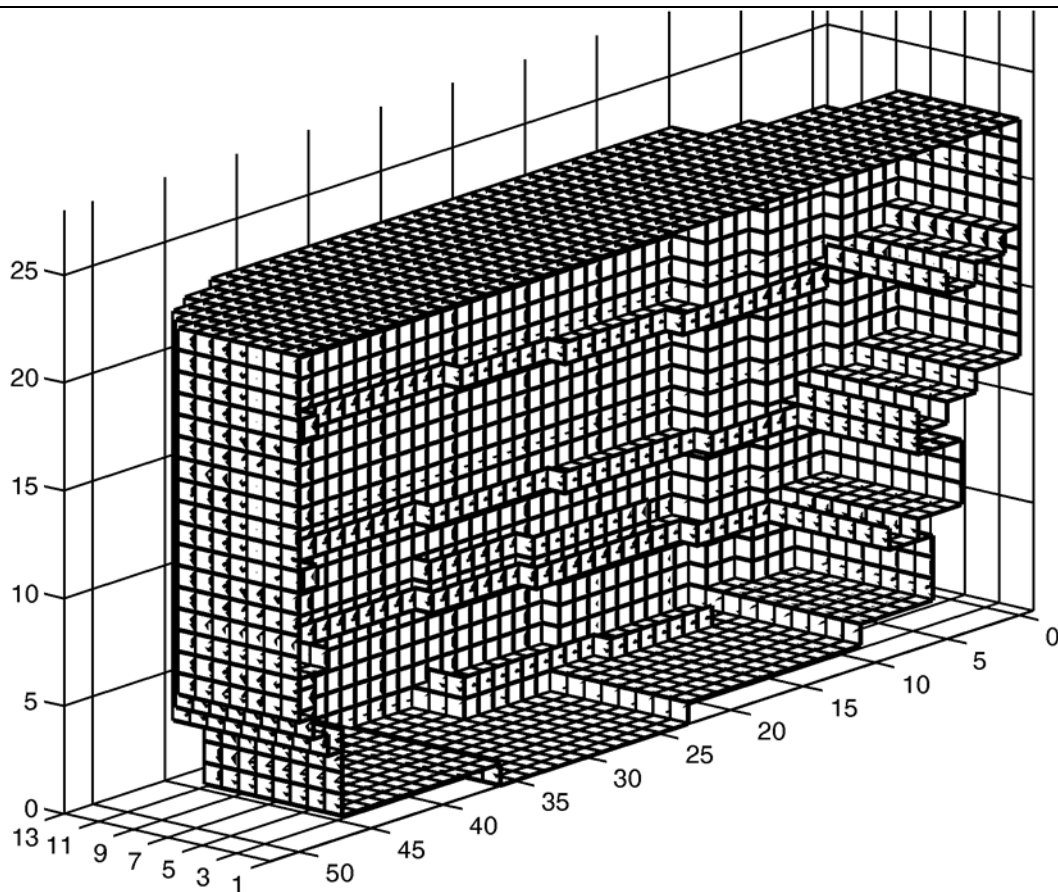


6.9. ábra: Az operatív hőmérséklet kontúrjai a 2-es számú teszhelyiségben.
A színskála mértékegysége [°C].

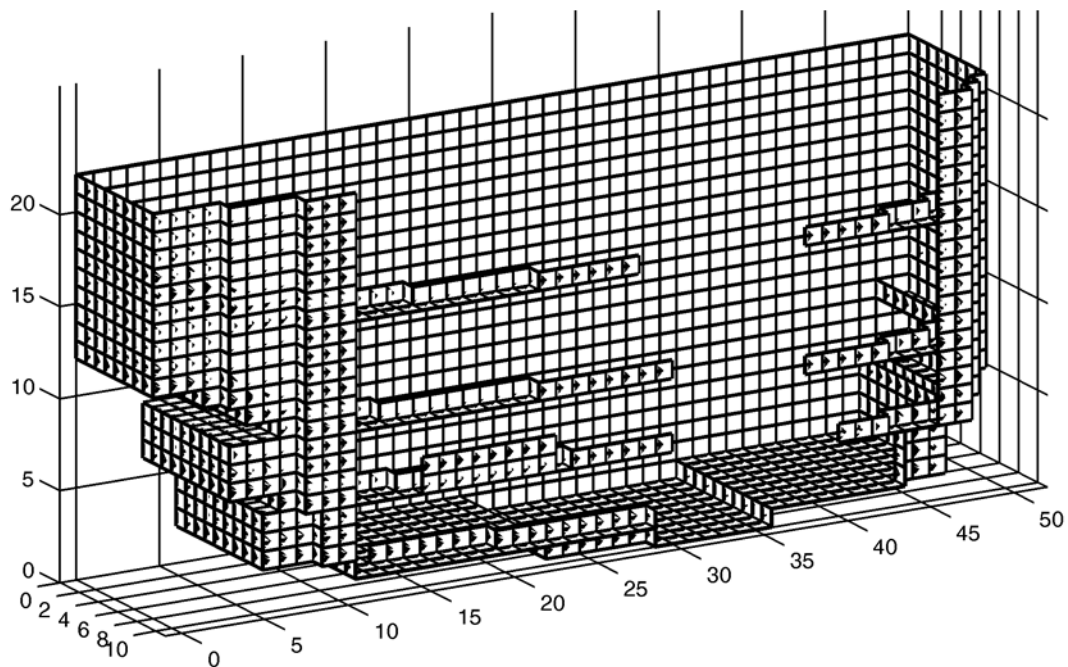
7.1. A GEOMETRIA ÉS A HÁLÓ ELKÉSZÍTÉSE

The diagram illustrates the layout of a building complex, divided into five numbered zones (I, II, III, IV, V). The zones are labeled with Roman numerals. The building footprint is shown as a shaded area on a grid. Below the plan view, a grid-based elevation profile is shown, with the vertical axis labeled from 0 to 12 and the horizontal axis labeled from 50 to 0. The profile shows the building's footprint as a shaded area on a grid of 12x50 units.

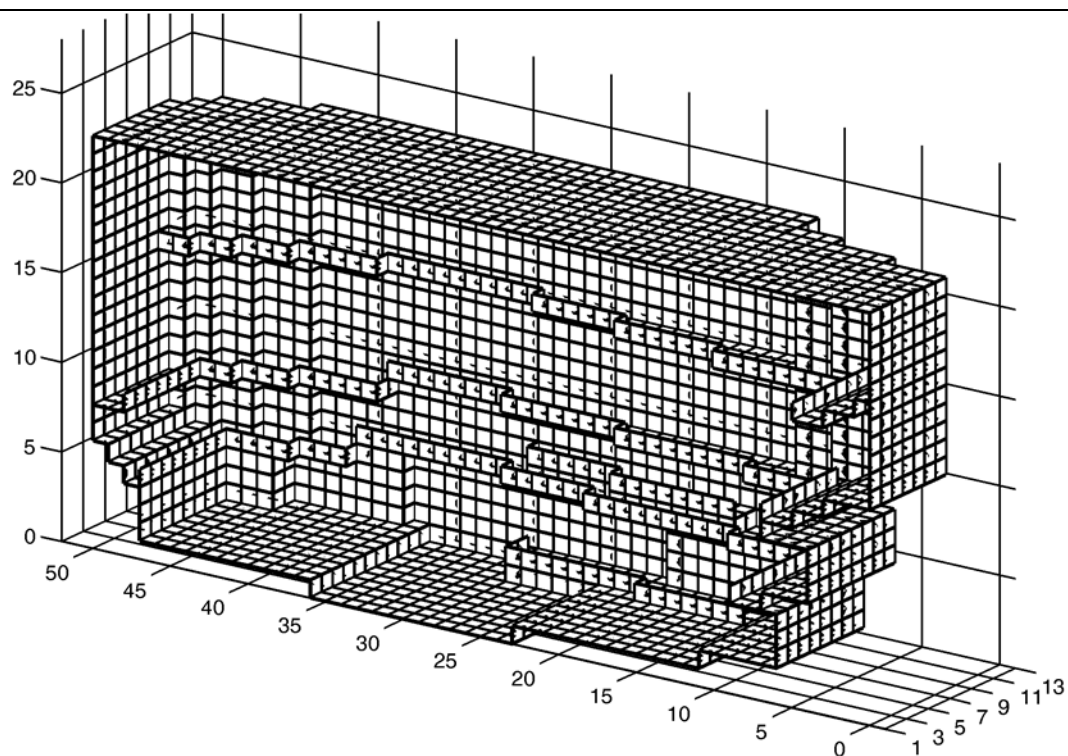
A háló csak a terem felét foglalja el. A terem szimmetria síkja a számításban is szimmetria síkként lesz definiálva. Az AutoCAD rajz alatt a Matlab által létrehozott háló szerepel. Az elkészítet geometriáról további, axonometrikus képek 7.2-7.5. ábrákon láthatóak.



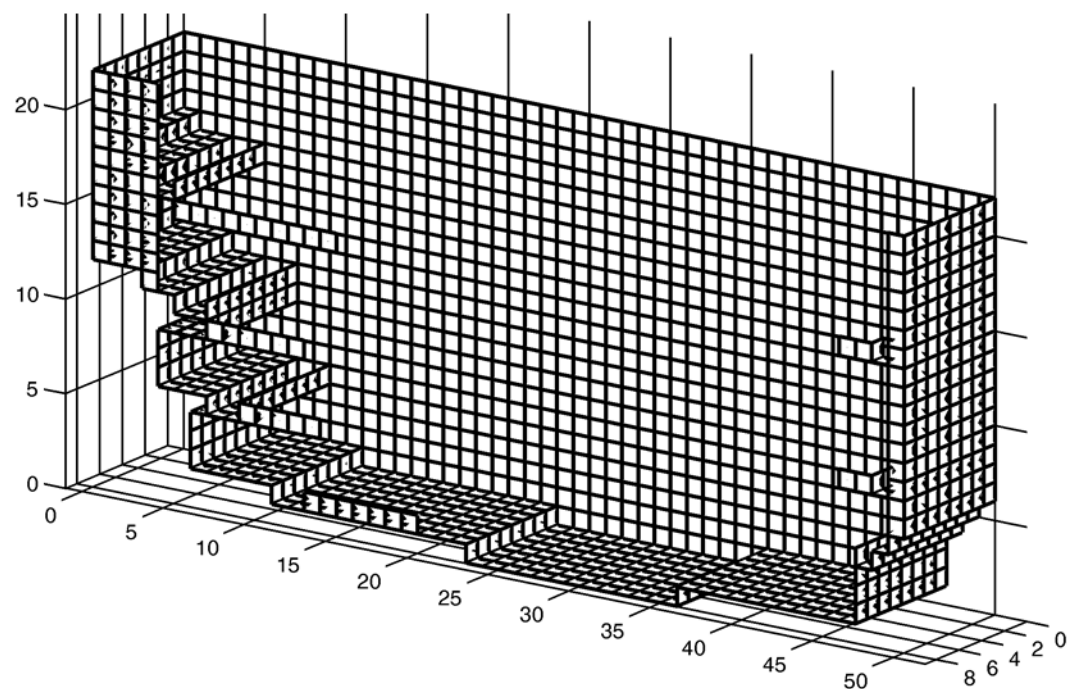
7.2. ábra: A hangversenyerem axonometrikus ábrája. Az $x=0$ koordinátájú szimmetria-síkot eltávolítottam.



7.3. ábra: A hangversenyerem axonometrikus ábrája II. Az $x=10$ -nél nagyobb x koordinátájú falakat eltávolítottam.



7.4. ábra: A hangversenyterem axonometrikus ábrája III. Az $x=0$ koordinátájú szimmetria-síkot eltávolítottam.



7.5. ábra: A hangversenyterem axonometrikus ábrája IV. Az $x=10$ -nél nagyobb x koordinátájú falakat eltávolítottam.

7.2. A KEZDETI ÉRTÉKEK FELVITELE, PEREMFELTÉTELEK MEGADÁSA

7.2.1. Nézőtéri és színpadi hőterhelés és befűjt tömegáramok hőterhelés

A kezdeti értékek és a peremfeltételek definiálásához rendelkezésemre állt az épület elvi kapcsolási rajza továbbá az alaprajzai. A peremfeltételek esetében több egyszerűsítést alkalmaztam. A rajzmelléleteken megfigyelhető, hogy egyes zónákat, ahol hőforrások találhatóak, számokkal láttam el. Minden egyes zónában szerepel az ott maximális kihasználtság esetén tartózkodó emberek száma, melyet a jegytérkép és az építész alaprajzok alapján állapítottam meg. A nem megállapítható adatokat adatközlés formájában kaptam meg konzulensemtől [39]. Ilyen volt például a színpadon maximálisan tartózkodók száma. A legrosszabb esetben a színpadot egy szimfonikus zenekar használja. Ekkor az egész színpadra körülbelül 100 emberrel számolhatunk. Az egyes zónákban tartózkodó emberek száma, a befűjt levegő és a hőterhelés fajlagos nagysága a 7.1. táblázatban került közlésre.

7.1. táblázat: Az egyes zónákban tartózkodó emberek száma, a fajlagos hőterhelés nagysága és a befűjt levegő fajlagos nagysága.

Földszint								
Terület száma	Emberek száma [fő]	Hőterhelés [W]	Zóna alapterülete [m ²]	Zóna magassága [m]	Fajlagos hőterhelés [W/m ²]	Befűjt levegő hőmérséklete [°C]	Fajlagos légmennyiség [m ³ /h/m ²]	Fajlagos tömegáram [kg/s/m ²]
I.	50,0	6286	88,0	1	71	19,0	114	0,0377
II.	197,5	16552	117,0	1	141	19,5	68	0,0226
III.	8,0	670	12,0	1	56	19,5	27	0,0089
IV.	134,5	11272	110,0	1	102	19,5	49	0,0163
V.	69	5783	45,0	1	129	19,5	62	0,0205
1. karzat								
Terület száma	Emberek száma [fő]	Hőterhelés [W]	Zóna alapterülete [m ²]	Zóna magassága [m]	Fajlagos hőterhelés [W/m ²]	Befűjt levegő hőmérséklete [°C]	Fajlagos légmennyiség [m ³ /h/m ²]	Fajlagos tömegáram [kg/s/m ²]
I.	12	1006	6,0	1	168	19,5	67	0,0221
II.	14,5	1215	7,0	1	174	19,5	69	0,0229
III.	15,0	1257	8,0	1	157	19,5	62	0,0207
IV.	7,5	629	4,0	1	157	19,5	77	0,0257
V.	5,5	461	3,0	1	154	19,5	75	0,0251
VI.	16,0	1341	8,0	1	168	19,5	82	0,0274
VII.	10,0	838	6,0	1	140	19,5	69	0,0228
VIII.	3,0	251	2,0	1	126	19,5	62	0,0205
IX.	12,0	1006	7,0	1	144	19,5	70	0,0235
X.	15,0	1257	6,0	1	210	19,5	103	0,0342
XI.	3,0	251	3,0	1	84	19,5	41	0,0137
XII.	27,5	2305	16	1	144	19,5	70	0,0232
XIII.	38,5	3227	24	1	134	19,5	65	0,0217
2. karzat								
Terület száma	Emberek száma [fő]	Hőterhelés [W]	Zóna alapterülete [m ²]	Zóna magassága [m]	Fajlagos hőterhelés [W/m ²]	Befűjt levegő hőmérséklete [°C]	Fajlagos légmennyiség [m ³ /h/m ²]	Fajlagos tömegáram [kg/s/m ²]
I.	14	1173	10	1	117	19,5	102	0,0338
II.	7	587	6	1	98	19,5	85	0,0282
III.	17	1425	12	1	119	19,5	103	0,0342
IV.	27,5	2305	16	1	144	19,5	131	0,0437
V.	25,5	2137	14	1	153	19,5	139	0,0463
VI.	36,5	3059	21	1	146	19,5	133	0,0442

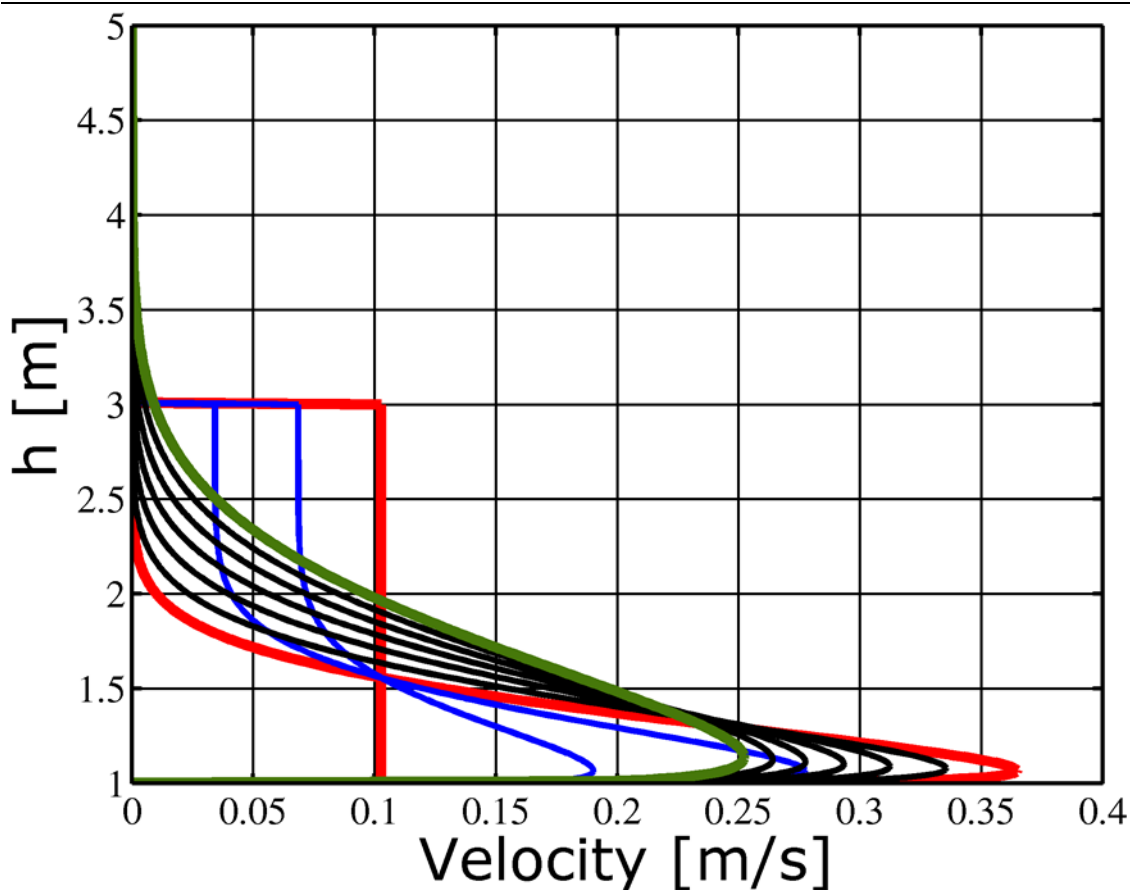
7. A BARTÓK BÉLA NEMZETI HANGVERSENYTEREM ZONÁLIS MODELLEZÉSE

3. karzat								
Terület száma	Emberek száma [fő]	Hőterhelés [W]	Zóna alapterülete [m ²]	Zóna magassága [m]	Fajlagos hőterhelés [W/m ²]	Befűjt levegő hőmérséklete [°C]	Fajlagos légmennyiség [m ³ /h/m ²]	Fajlagos tömegáram [kg/s/m ²]
I.	44	3688	44	1	84	19,5	103	0,0342
II.	25,5	2137	14	1	153	19,5	146	0,0485
III.	23,5	1969	14	1	141	19,5	134	0,0447
IV.	11	922	7	1	132	19,5	126	0,0418

Az alapadatok segítségével minden helyen definiáltam a befűjt térfogatáram nagyságát és a hőterhelést. Áramlási elemeket csak a pódiumnál használtam. A pódiumon a tervezés során alacsony sebességű elárasztásos szellőzést alkalmaztak. A levegő egy áteresztő szöveten keresztül jut a színpadra. A befűvő-nyílás végighúzódik a pódium mögött, hosszúsága 22m, magassága 2m. Ebből következően egy 3D légsugárról beszélhetünk (szélesség/magasság<40). Ennek ellenére 2D légsugárként kezeltem, mivel a falak hatása miatt (a befűvő-nyílás közelítőleg faltól falig húzódik) az nem fejlődhet szabadon.

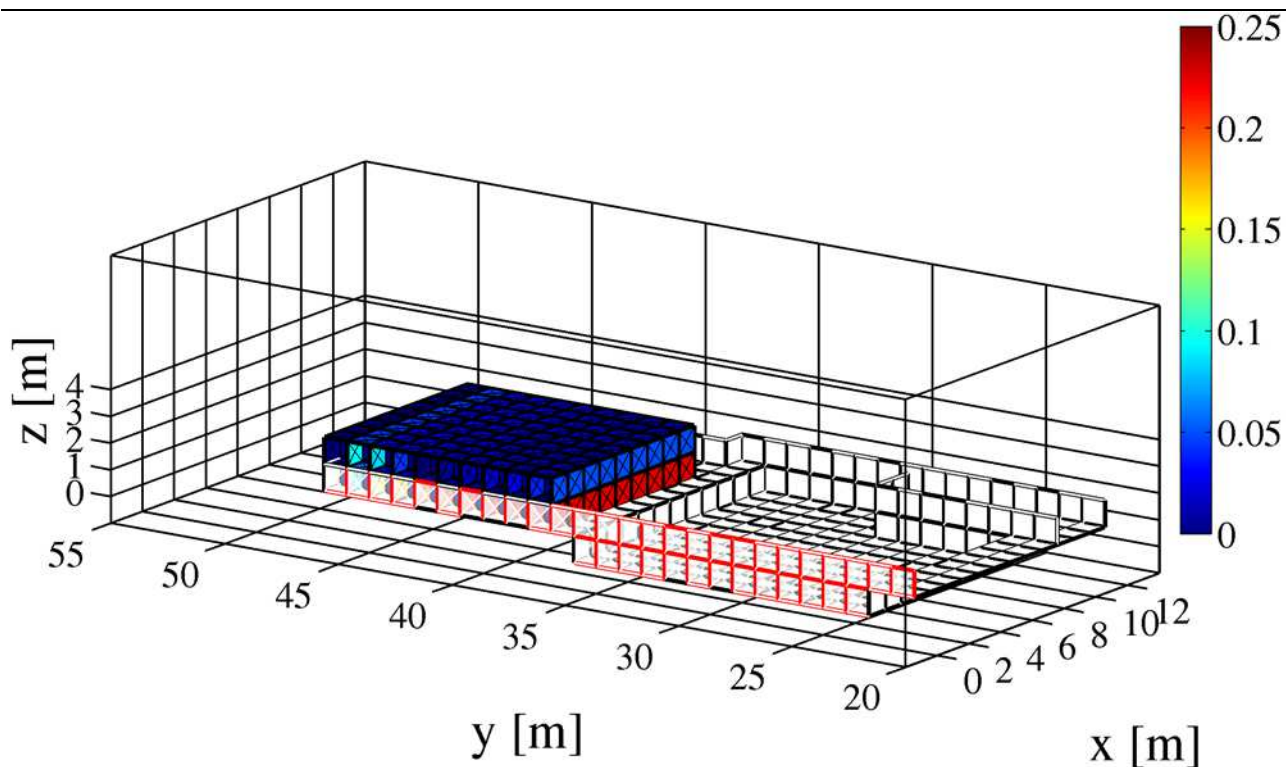
A légsugár profilját a 2D korlátozott légsugár profiljával közelítettem. A vetési konstans értéke Nielsen [40] nyomán függ a sugarat jellemző Archimedesi-számtól. Ezt azonban elhanyagoltam. A vetési konstansot 2,5-nek vettem, mely a 2D korlátozott légsugárra vonatkozó fejezetnek megfelelően került kiválasztásra. A légáteresztő szövet szabad és nettó felületének arányát 75%-ra vettem. Ezzel korrigálva számítottam ki az U_0 magsebességet. A vetési konstans korrekciója is megtörtént. Ezekkel a mellékeltek között szereplő algoritmus kiszámította a térfogatáram peremfeltételeket.

Külön említést érdemel az, hogy a sugár nem mindenhol tekinthető kifejlett sugárnak, az alkalmazott sebességprofil azonban csak a magszakaszon kívül érvényes, ahol a sugár már kifejlődött. A magszakasz kezdetén feltételeztem, hogy a kilépő sebesség állandó. A kifejlett szakasz és a magszakasz között a profilt interpolációval határoztam meg. A kifejlett szakasz kezdetének azt a pontot tekintettem, ahol a profil integrálásával számítható térfogatáram már nagyobb, mint a kezdeti térfogatáram. Ezen a ponton számításra került a kifejlett 2D légsugár profilja, mely a lineáris interpoláció során figyelembe lett véve. A tengelysebesség elméletben nem lehet nagyobb, mint a belépési sebesség. Nielsen [40] mérései azonban azt igazolták, hogy alacsony sebességű elárasztásos befűvők esetében ez mégis előfordulhat. A peremfeltételek meghatározására használt profilok a 7.6. ábrán láthatóak.



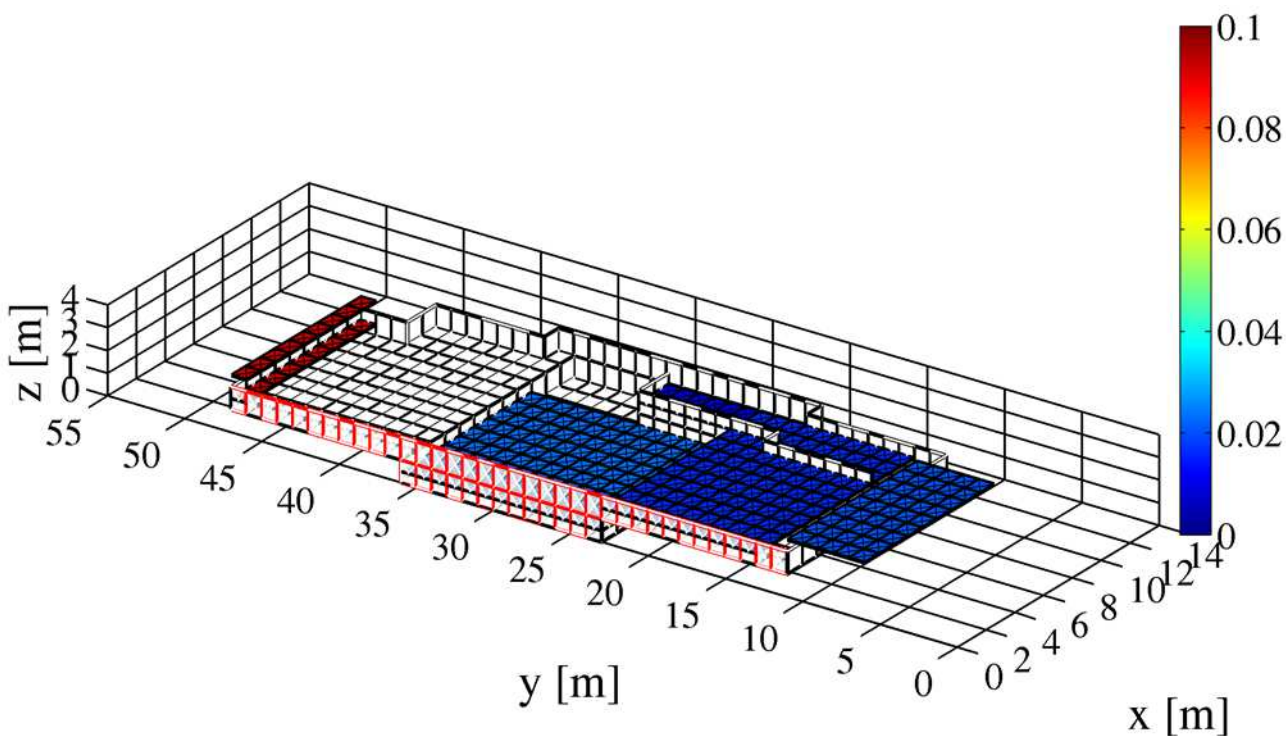
7.6. ábra: Tömegáram peremfeltételek számítására használt profilok. A légsugár hatása a színpad végétől számítva 10 méteren lett figyelembe véve. Az utolsó figyelembe vett profil a zölddel ábrázolt. Az interpoláció a két piros profil között történt. Az interpolált profilok kékkel vannak jelölve, a 2D korlátozott légsugárra vonatkozó törvények alapján számítottak pedig feketével.

Az inicializáló modul a peremfeltételeket vizualizálta, azok a 7.7. ábrán láthatóak. A térfogatáram peremfeltételeket csak a légsugár panel magasságáig határoztam meg. Y irányban az utolsó pontokat ott vettem fel, ahol a tengelysebesség ~kisebb, mint 0,25m/s. A légsugár által indukált levegő nagysága is meg lett adva. A profilokból a tömegáramok integrálással lettek számítva, a sűrűséget állandónak tekintettem, azaz a sűrűségváltozást elhanyagoltam.



7.7. ábra: Tömegáram peremfeltételek a vizsgált térben. A színskála mértékegysége [kg/s].

A 7.8. ábra a földszinten befűjt térfogatáramokat ábrázolja.



7.8. ábra: Irányfüggetlen befűjt és elszívott térfogatáram peremfeltételek a vizsgált térben. A színskála mértékegysége [kg/s].

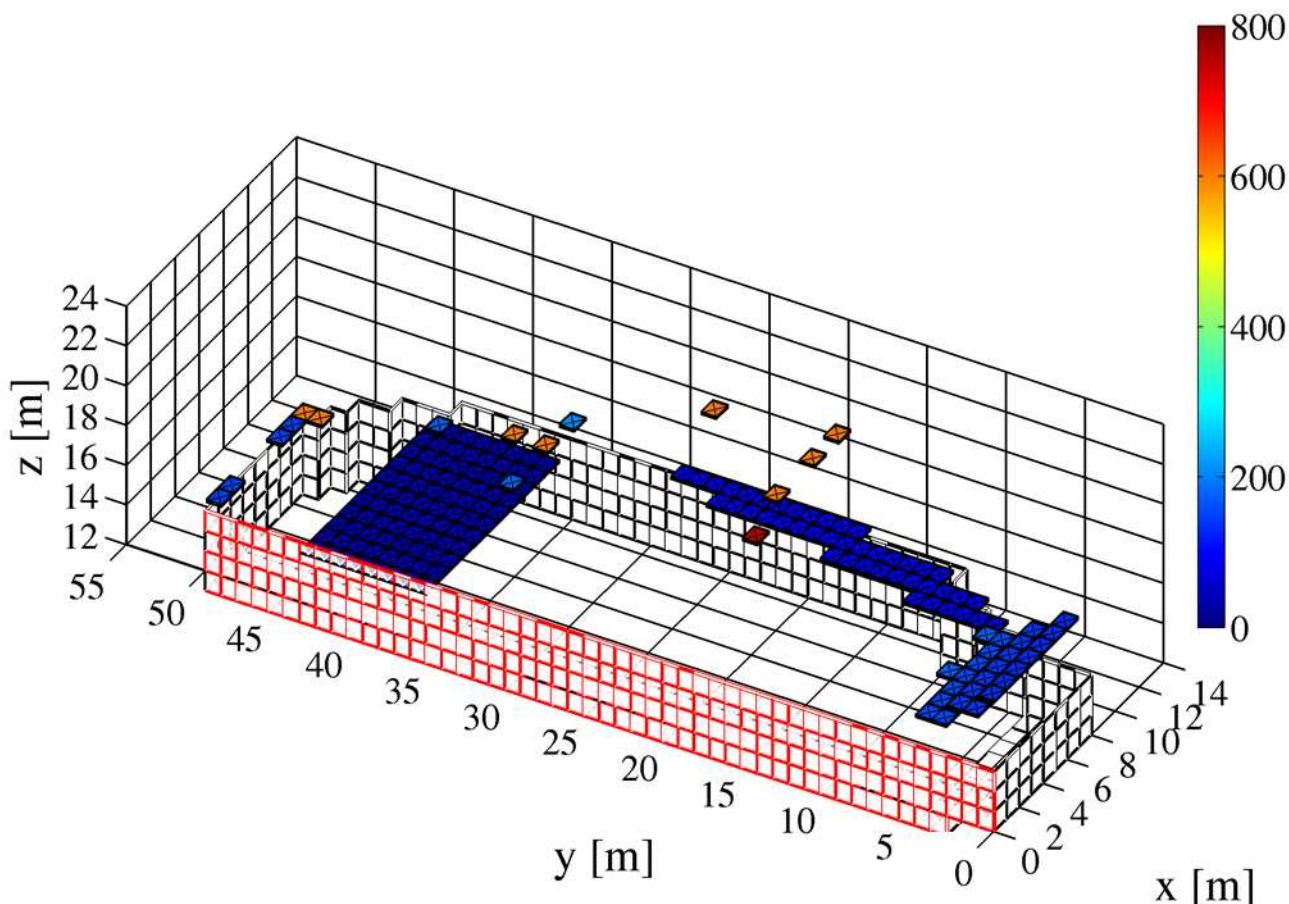
7.2.2. A világítás hőterhelésének figyelembevétele

A világítás, akárcsak az emberek konvektív és sugárzásos úton is ad le hőt. Az emberek hőterhelésének számítása során azt feltételeztem, hogy a leadott hő teljes mértékben az adott személy ülőhelyénél koncentrálódik, azaz csak az ember által elfoglalt zóna levegőjét melegíti. Ez azt jelenti, hogy a sugárzásos komponens is ott jelentkezik hőterhelésként, ahol a forrás, azaz az ember tartózkodik. Ez nyilvánvalóan elhanyagolás, mely a világítás esetében egyértelműen nem tehető meg. A világítási hőterheléssel kapcsolatban források közlik [46] [47], hogy adott világító berendezés esetében mekkora a hőterhelés konvektív és sugárzásos része. A világító testek által felvett elektromos energia teljes egészében hőenergiává alakul a térben, melynek nagysága jelentős. Az alábbi táblázatban szerepelnek a hangversenytérben található világítótestek, melyek adatait és elhelyezkedését a mellékletek között található képek és tájékoztatók alapján határoztam meg. A térben található összes világító berendezés továbbá azok teljesítménye és a számítás során figyelembe vett mennyisége a 7.2. táblázatban található.

7.2. táblázat: A térben lévő világító berendezések darabszáma, fajlagos és össze teljesítménye továbbá a számításban figyelembe vett teljesítményük részaránya.

Fényvető megnevezése	Fényvető teljesítménye	Fényvető mennyisége	Számításban figyelembe vett mennyiség	Leadott teljesítmény	Figyelembe vett teljesítmény / Összes
Alapszolgáltatás					
PROFIL FÉNYVETŐK					
	[kW/db]	[db]	[db]	[kW]	[-]
Robert Juliat 710 SX2	2	2	1	2	50%
Robert Juliat 711 SX2	2	18	4	8	22%
Robert Juliat 713 SX2	2	2	1	2	50%
Robert Juliat 714 SX2	2	4	1	2	25%
PAN-KONVEX LENCSÉS FÉNYVETŐK					
Spotlight COM 25 PC	2	6	1	2	17%
INTELLIGENS FÉNYVETŐK					
VARI-LITE VR 1000 AS	0,575	15	4,5	2,5875	30%
VARI-LITE VL 1000 AI	0,575	6	2	1,15	33%
Martin MAC 700	0,7	12	3	2,1	25%
CANOPY FÉNYVETŐI					
ETC Par MCM Hpl	0,575	154	38	21,85	25%
LEDES FÉNYVETŐK					
Martin Stagedar 54	0,116	8	0	0	0%
Egyéb bérelhető hatásvilágítási eszközök:					
KÖVETŐ FEJGÉPEK					
Robert Juliat 1013 Aramis	2,5	2	1	2,5	50%
INTELLIGENS FÉNYVETŐK					
VARI-LITE VL1000 AS	0,575	2	0	0	0%
Martin MAC 550	0,4	4	0	0	0%
LEDES FÉNYVETŐK					
Martin Stagedar 54	0,116	4	0	0	0%
				46,1875	25,4%

Az egyes berendezések az F mellékletben található ábrán jelölt helyükön lettek figyelembe véve. A geometriai pozíciójuk a 7.3. táblázatban is rögzítve lett. A táblázatban szereplő adatok alapján lett megadva a hőterhelés konvektív részének leadási helye a Matlabban. A megadott hőterhelések a 7.9. ábrán kerültek ábrázolásra. Az ábrán szerepelnek a világításból származó hőterhelések és az emberek egy részéből eredő hőterhelések is.



7.9. ábra: Hőterhelések a vizsgált térben. A színskála mértékegysége [W].

A konvektív rész arányának meghatározása a [47]-es forrás segítségével történt. Eszerint az alkalmazott világító berendezések esetében a konvektív arány 30%.

7.3. táblázat: A számításban figyelembe vett világító berendezések darabszáma, fajlagos és összes teljesítménye továbbá sugárzásos és konvektív hőleadása.

Terület száma	Fényvető megnevezése	Teljesítménye	Mennyisége	Sugárzásos hőterhelés	Konvektív hőterhelés	Konvektív arány	Zóna adatai			Zóna pozíciója					
		[kW]	[db]	[W]	[W]	[-]	Alapterülete	Magassága	Fajlagos hőterhelés	Kezdőpont			Végpont		
							[m ²]	[m]	[W/m ²]	x	y	z	x	y	z
V1	Martin MAC 700	0,7	1	490	210	30%									
V1	VARI-LITE VR 1000 AS	0,575	0,5	201,25	86	30%									
V1				691,25	296		2	1	148,125	0	49	15	2	50	16
V2	Martin MAC 700	0,7	1	490	210	30%									
V2	VARI-LITE VR 1000 AS	0,575	0,5	201,25	86	30%									
V2				691,25	296		2	1	148,125	5	49	15	7	50	16
V3	Robert Juliat 714 SX2	2	1	1400	600	30%									
V3	Robert Juliat 713 SX2	2	1	1400	600	30%									
V3				2800	1200		2	1	600	7	48	15	8	50	16
V4	VARI-LITE VR 1000 AS	0,575	1	402,5	173	30%	1	1	172,5	9	42	15	10	43	16
V5	VARI-LITE VL 1000 AI	0,575	1	402,5	173	30%	1	1	172,5	9	42	15	10	43	16
V6	Spotlight COM 25 PC (színváltóval)	2	1	1400	600	30%	1	1	600	10	38	15	11	39	16
V7	Robert Juliat 710 SX2	2	1	1400	600	30%	1	1	600	10	36	15	11	37	16
V8	Martin MAC 700	0,7	1	490	210	30%	1	1	210	7	32	19	8	33	20
V9	VARI-LITE VL 1000 AI	0,575	1	402,5	173	30%	1	1	172,5	2	32	19	3	33	20
V10	Robert Juliat 711 SX2	2	1	1400	600	30%	1	1	600	7	23	22	8	24	23
V11	Robert Juliat 711 SX2	2	1	1400	600	30%	1	1	600	8	16	22	9	17	23
V12	Robert Juliat 711 SX2	2	1	1400	600	30%	1	1	600	6	16	22	7	17	23
V13	Robert Juliat 711 SX2	2	1	1400	600	30%	1	1	600	3	16	22	4	17	23
V14	Robert Juliat 1013 Aramis	2,5	1	1750	750	30%	1	1	750	0	15	22	1	16	23
V15	VARI-LITE VR 1000 AS	0,575	1	402,5	173	30%	1	1	172,5	6	5	16	7	6	17
V16	VARI-LITE VR 1000 AS	0,575	1	402,5	173	30%	1	1	172,5	3	5	16	4	6	17
V17	ETC Par MCM Hpl	0,575	38	15295	6555	30%	176	1	37,2	0	36	15	11	44	16

7.2.2.1. A VILÁGÍTÁS HŐTERHELÉSÉNEK SUGÁRZÁS FORMÁJÁBAN LEADOTT RÉSZÉ

A világítás hőterhelésének sugárzás formájában leadott része az összes terhelés 70%, mivel a konvektív hányad megállapítása során 30%-os konvektív hőleadást vettem figyelembe. A problémát tehát nem a hányad nagyságának meghatározása jelenti, hanem az, hogy az pontosan hol jelentkezik. A sugárzásos hányad hatásának vizsgálatára egy egyszerű sugárzásos hőterhelés hatását számító modult építettem be a programba, mely egy Excel táblázat felhasználásával szolgáltatja azokat az adatokat, amiket közvetlenül használhatunk a számításban.

A modul feladata az, hogy az Excel tábla számára bemenő adatokat biztosítson. Ezek a bemenő adatok:

- a levegő közepes hőmérséklete a vertikális falak mellett, T_{aov} [°C],
- a levegő közepes hőmérséklete a horizontális falak mellett, T_{aoh} [°C],
- a levegő közepes hőmérséklete a színpad fölött, T_{as} [°C],
- a vertikális felületek nagysága, A_{ov} [m²],
- a horizontális felületek nagysága, A_{oh} [m²],
- a színpad felületének nagysága, A_s [m²].

Ezekre az adatok lehetővé teszik, hogy a falak felületi hőmérsékletei megállapításra kerüljenek az Excel tábla segítségével. A folyamat nyilvánvalóan iteratív. Az Excelben megállapításra kerülnek a felületi hőmérsékleteken kívül a konvektív hőátadási tényezők is. A konvektív hőátadás során a fal a környező levegőt hűti vagy melegíti, tehát a környező levegő közepes hőmérséklete változik. Ezért a számítás során az Excelben meghatározott adatokat vissza kell tölteni, a számítást ismételten futtatni a kívánt konvergencia kritériumok teljesüléséig, majd ismételten kiszámolni a hőátadás egyensúlyi állapotát.

A hőátadás folyamata a 7.10. ábrán lett ábrázolva. A világítás sugárzásos része beérkezik a színpad felületére, egy része elnyelődik, míg másik része reflektálódik és távozik a tér többi felülete felé. A színpad felülete által abszorbeált hő egy részét a felület a környező felületek felé kisugározza, másik része a „külső levegő” felé, a falon keresztüli vezetéssel távozik, végül egy része pedig konvekció útján a belső levegő részére adódik át. A folyamatot matematikailag egy egyenletrendszerrel lehet leírni. A színpadra és a környező egyéb felületekre is fel lehet írni az energia-megmaradás egyenletét.

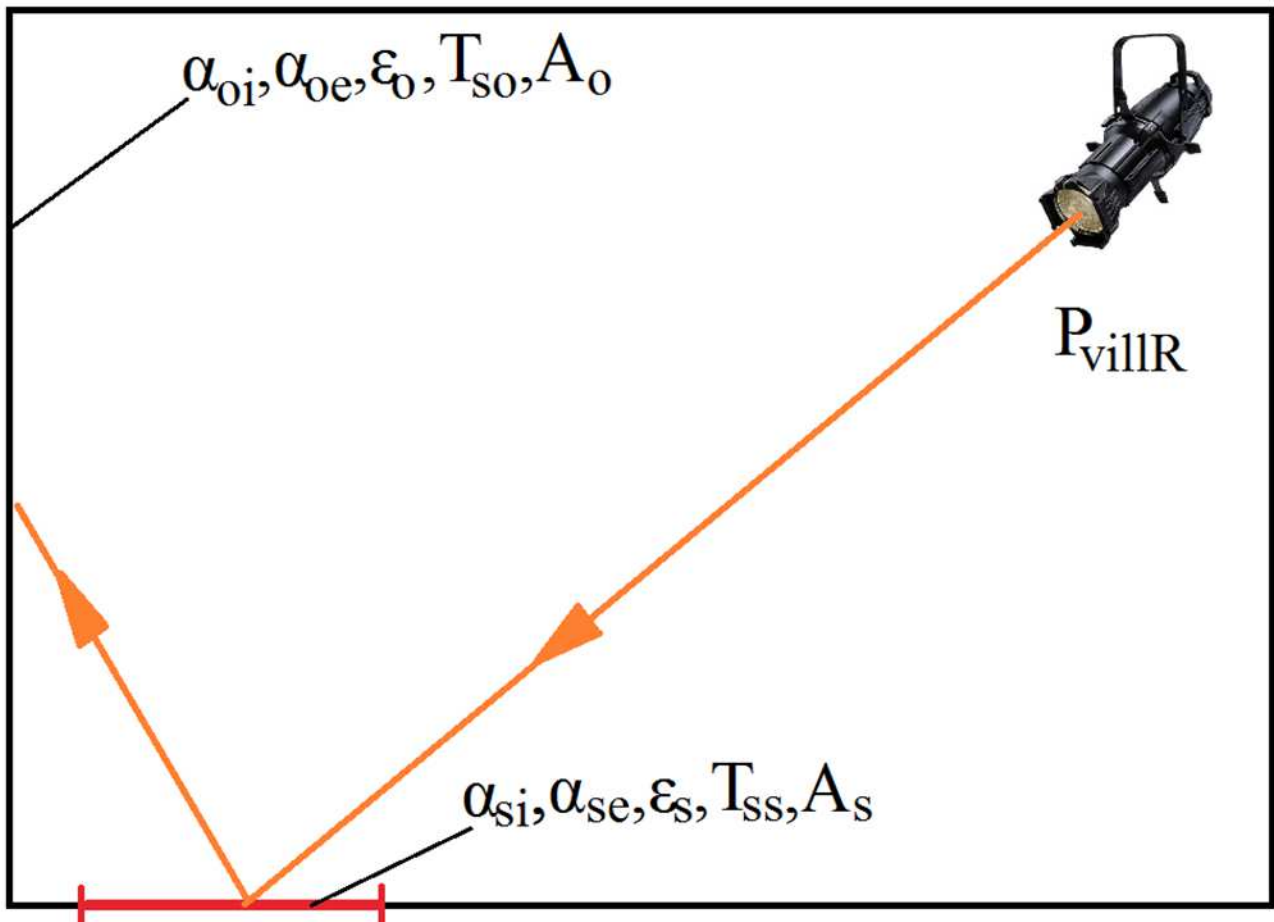
$$0 = \alpha_s \cdot P_{villR} - \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_{ss}^4 - T_{so}^4) - U_s \cdot A_s \cdot (T_{ss} - T_e) - \alpha_{si} \cdot A_s \cdot (T_{ss} - T_{as}), \quad (7.1.)$$

$$0 = \rho_s \cdot P_{villR} + \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot A_s \cdot (T_{ss}^4 - T_{so}^4) - U_o \cdot A_o \cdot (T_{os} - T_e) - \alpha_{oi} \cdot A_o \cdot (T_{ss} - T_{ao}), \quad (7.2.)$$

az egyenletek a konduktív, a sugárzásos és a konvektív hőáramok egyensúlyát fejezik ki. A (7.1.) egyenlet a színpadra vonatkozik. Az egyenletrendszerben szereplő eddig nem ismertetett paraméterek:

- a levegő közepes hőmérséklete az egyéb falak mellett, T_{ao} [°C], a horizontális és vertikális közepes hőmérsékletek megfelelő felületekkel súlyozott átlagaként számítva,

- az egyéb felületek nagysága, A_o [m^2], $A_o = A_{ov} + A_{oh}$,
- α_s [-] a színpad abszorpciós tényezője, Kirchhoff törvénye értelmében egyenlő a színpad ϵ_s [-] emissziós tényezőjével,
- ρ_s [-] a színpad reflexiós tényezője, a színpadot nem áteresztő szürke testnek tekintve $\rho_s = 1 - \epsilon_s$,
- U_s [$W/(m^2K)$] a színpad részleges hőátbocsátási tényezője a hangversenytermet körülvevő üreg felé, az α_{si} [$W/(m^2K)$] belső oldali hőátadási tényező jelentette $1/\alpha_{si}$ hőellenállás nélkül, a szokásos módon számítva,
- U_o [$W/(m^2K)$] az egyéb felületek részleges hőátbocsátási tényezője a hangversenytermet körülvevő üreg felé, az α_{oi} [$W/(m^2K)$] belső oldali hőátadási tényező jelentette $1/\alpha_{oi}$ hőellenállás nélkül, a szokásos módon számítva,
- P_{villR} a világítás sugárzás útján leadott teljesítménye, [W],
- T_e a hangversenytermet körülvevő üreg levegőjének hőmérséklete, [$^{\circ}C$],
- σ a Stefan-Boltzmann állandó, $5,67 \cdot 10^{-8}$ [$W/(m^2K^4)$].



7.10. ábra: Egyszerűsített hősugárzásos hőcsere modell a világítási hőterhelés sugárzásos részének figyelembevételére.

Szót kell ejteni a (7.1.) egyenlet aláhúzott részéről. Az összefüggés a színpad és az egyéb felületek közötti sugárzásos hőtranszportot írja le, melytől figyelembe írható ilyen formában, hogy az egyéb felületek jelentősen nagyobbak, mint a színpad [48].

7. A BARTÓK BÉLA NEMZETI HANGVERSENYTEREM ZONÁLIS MODELLEZÉSE

Az α_{si} és α_{oi} hőátadási tényezők nagysága függ a felület és környező levegő hőmérsékletkülönbségének nagyságától. Ugyanez igaz pl. az α_{se} külső oldali hőátadási tényezőre is, de a külső oldalon ez a törvényszerűség el lett hanyagolva, egységesen 8 [W/(m²K)] lett használva a számítás során. A hőátadási tényezőkre a szakirodalomban [49] szereplő összefüggésekből, a 20 °C-os levegő anyagjellemzőit behelyettesítve a (7.3-5.) összefüggések vezethetők le.

$$\alpha_{conv,n} = 1,83 \cdot \Delta T^{1/3} \quad (7.3.)$$

$$\alpha_{conv,n} = 1,22 \cdot \Delta T^{1/3} \quad (7.4.)$$

$$\alpha_{conv,f} = 166 \cdot \frac{w^{4/5}}{L^{1/5}} - \frac{20}{L} \quad (7.5.)$$

A (7.3.) egyenlet olyan horizontális síkra vonatkozik, melynek felületi hőmérséklete nagyobb, mint a környező levegőé. A (7.4.) egyenlet vertikális síkra használható. A (7.5.) egyenlet kényszerített áramlásnál érvényes (az előző kettő természetesnél). w a szabad áramlás sebessége, L pedig síklap áramlási irányú mérete. Az összefüggés akkor használható, ha a Reynolds-szám kisebb, mint 10⁸. A színpad esetében az elárasztásos szellőzés miatt egyszerre beszélhetünk kényszerített és természetes áramlásról is. Mivel a két áramlás során a hőátadás iránya azonos, azaz egymást segítik, az eredő hőátadási tényező mindkét hőátadási tényezőnél nagyobb lesz. Az eredőjüket horizontális felület esetében a (7.6.) egyenlettel lehet kiszámítani [48].

$$\alpha_{conv} = (\alpha_{conv,f}^4 + \alpha_{conv,n}^4)^{1/4} \quad (7.6.)$$

Az egyszerűsített modell a 7.4. táblázatban szereplő bemenő adatokat igényli. A w sebesség meghatározása az elárasztásos szellőzés ismert térfogatárama és a befúvó szabad felületének ismeretében került kiszámításra. A Reynolds-szám ~67000.

7.4. táblázat: A számításhoz szükséges bemenő adatok.

σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$	[W/m ² /K ⁴]
α_s	0,8	[-]
Q_s	0,2	[-]
ϵ_o	1	[-]
A_s	115	[m ²]
A_{oh}	3350	[m ²]
A_{ov}	7407	[m ²]
T_e	22	[°C]
T_{as}	25,85	[°C]
T_{aoh}	23,61	[°C]
T_{aov}	23,88	[°C]
T_{ao}	23,80	[°C]
w	0,0932	[m/s]
L	11	[m]
P_{villR}	32130	[W]

A színpad laminált fa padlózatának emissziós/abszorpciós tényezője a rendelkezésre álló szakirodalom [48] [49] figyelembevételével lett meghatározva, az egyéb felületek emissziós/abszorpciós tényezőjét 1-nek vettem, mivel az egyéb felületek jelentősen nagyobbak, mint a színpad, ez a közelítés megengedhető [49].

Ezzel a megadott levegőhőmérsékletek mellett kiszámíthatóak a falfelületek hőmérsékletei. Ehhez az Excel solver modulját használtam fel, mely a (7.1-2.) egyenletek hibáját minimalizálta (lásd 7.5. táblázat: összes négyzetes eltérés az egyensúlytól). A részleges hőátbocsátási tényezőket a fal hőelleállításából és a megadott külső hőátadási tényezőtől számoltam. A fal ellenállása: 1 [m²K/W]. A zöld mezők a keresett felületi hőmérsékleteket, a kékek a további eredményeket, a narancssárgák pedig a további szükséges bemenő adatokat tartalmazzák.

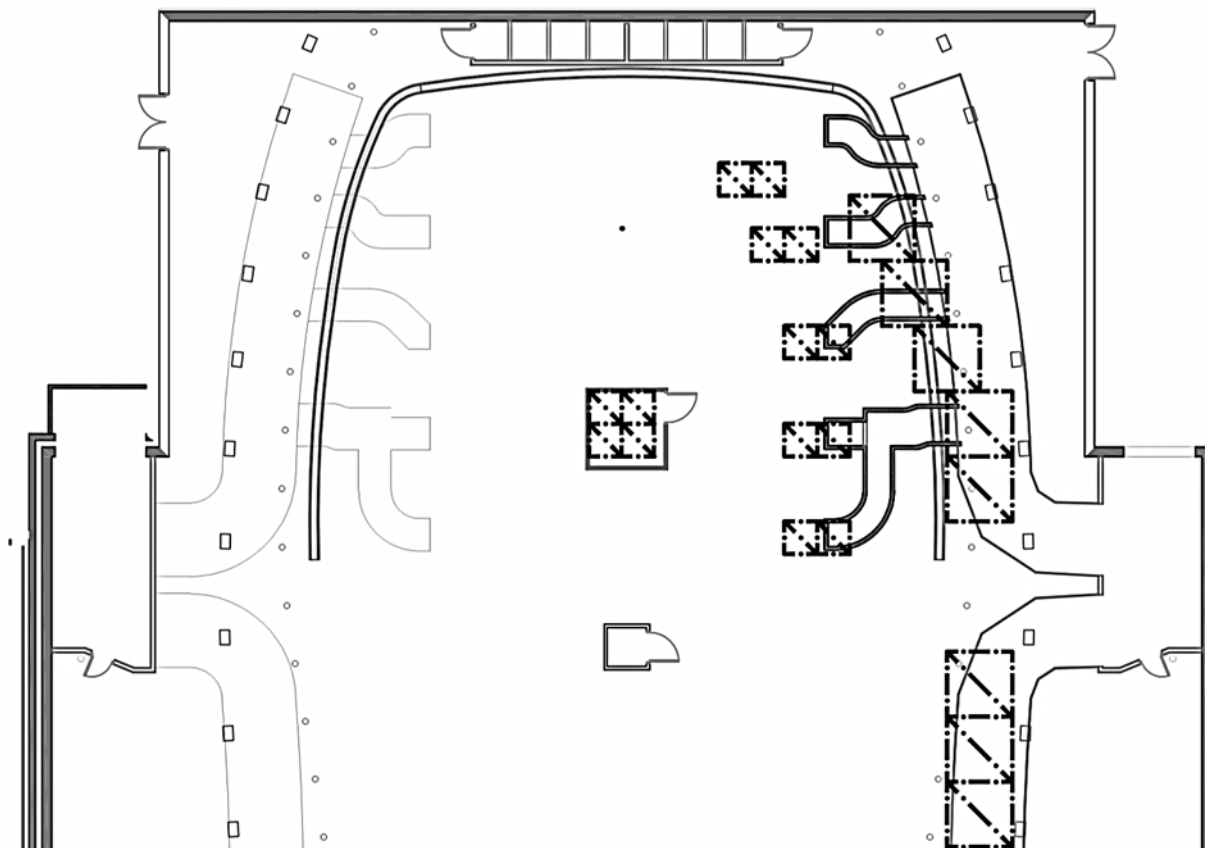
7.5. táblázat: A számításhoz használt táblázat.

Felület megnevezése	T _{ss} [°C]	α _{sin} [W/m ² /K]	α _{sif} [W/m ² /K]	α _{si} [W/ m ² /K]	α _{se} [W/ m ² /K]	U _s [W/m ² /K]
<i>Színpad</i>	36,42	6,45	13,58	13,75	8,00	0,89
	P _{villRef} [W]	P _{villRabs} [W]	Q _{rad s-o} [W]	Q _{cond} [W]	Q _{conv} [W]	Eltérés az egyensúlytól
	-6426	25704	-7513	-1474	-16716	0
Felület megnevezése	T _{so} [°C]	α _{oih} [W/ m ² /K]	α _{oiv} [W/ m ² /K]	α _{oi} [W/ m ² /K]	α _{oe} [W/ m ² /K]	U _o [W/m ² /K]
<i>Egyéb</i>	23,50	0,07	0,15	0,13	8,00	0,89
	P _{villRef} [W]	P _{villRabs} [W]	Q _{rad s-o} [W]	Q _{cond} [W]	Q _{conv} [W]	Eltérés az egyensúlytól
	0	6426	7513	-14346	407	0
Összes négyzetes eltérés az egyensúlyi állapottól						0

Ezeket az adatokat figyelembe véve, visszatöltve az „S” tömbbe a számítás iteratív úton folyhat.

7.3. ELSZÍVÁSI HELYEK MEGADÁSA

Az elszívási helyeket és térfogatáramokat a konzulenssel történt egyeztetések után, a kapcsolási rajzot és az alaprajzokat (E rajzmelléklet) felhasználva határoztam meg. Az elszívási helyek egy része a 7.11. ábrán is látható.



7.11. ábra: Az elszívási helyek a hangversenyteremben.

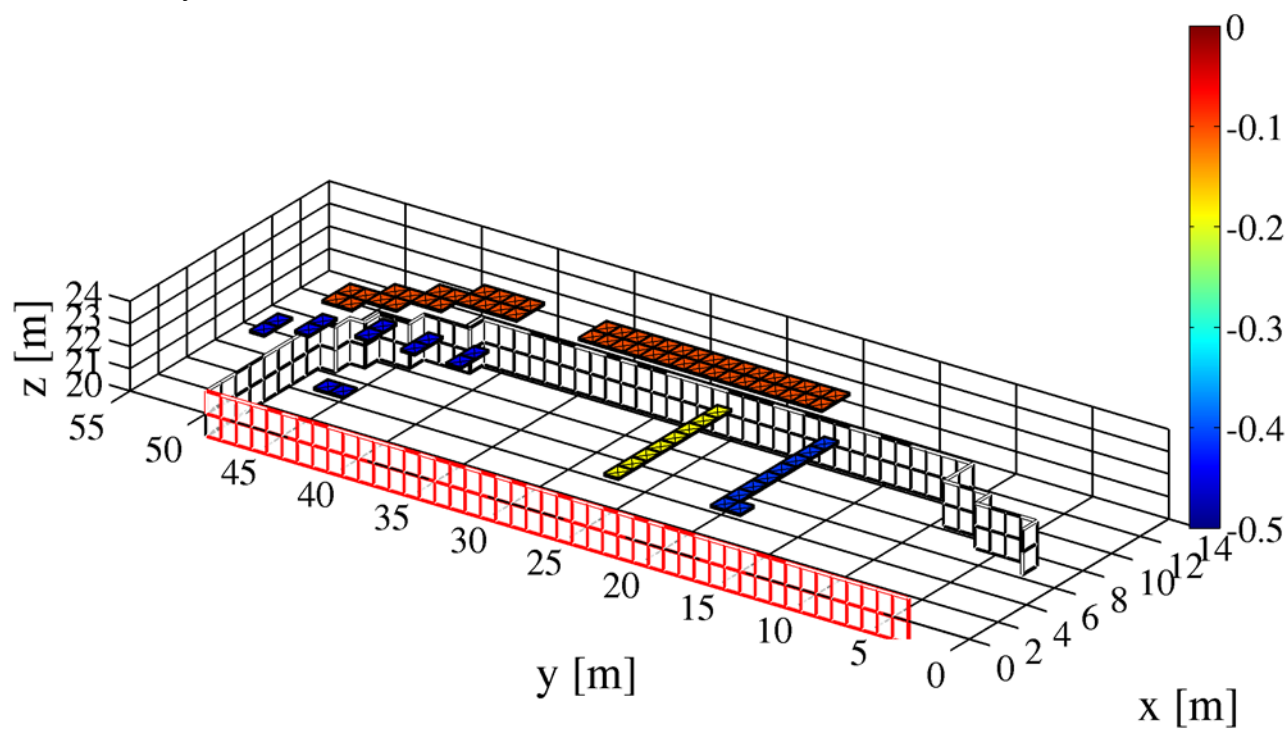
Az elszívási helyek geometriai pozíciója és az egyes zónákban elszívott térfogatáramok a táblázatban is szerepelnek.

7.6. táblázat: Az elszívási helyek és az elszívott tömegáramok.

Zóna száma	Zóna pozíciója						Zóna alapterülete	Elszívott légmennyiség	Levegő sűrűsége	Fajlagos tömegáram
	Kezdőpont			Végpont						
	x	y	z	x	y	z				
1	10	19	22	12	35	23	32,0	9828	1,184	0,1010
2	10	39	22	12	43	23	8,0	2457	1,184	0,1010
3	9	43	22	11	45	23	4,0	1229	1,184	0,1010
4	8	45	22	10	47	23	4,0	1229	1,184	0,1010
5	7	47	22	9	49	23	4,0	1229	1,184	0,1010
6	5	38	22	7	39	23	2,0	2662	1,184	0,4378
7	5	41	22	7	42	23	2,0	2662	1,184	0,4378
8	5	44	22	7	45	23	2,0	2662	1,184	0,4378
9	4	47	22	6	48	23	2,0	2662	1,184	0,4378
10	3	49	22	5	50	23	2,0	2662	1,184	0,4378
11	0	41	22	1	43	23	2,0	2662	1,184	0,4378
12	0	23	22	8	24	23	8,0	4674	1,184	0,1922
13	0	16	22	8	17	23	8,0	10041	1,184	0,4129
14	0	15	22	1	16	23	1,0	1255	1,184	0,4129

Az elszívási helyek vizualizálása azok megadása után az inicializáló modullal lehetséges.

Az eredmény a 7.12. ábrán látható.



7.12. ábra: Az elszívási helyek a hangversenytérben az inicializáló modullal vizualizálva. A színskála mértékegysége $[\text{kg/s}]$.

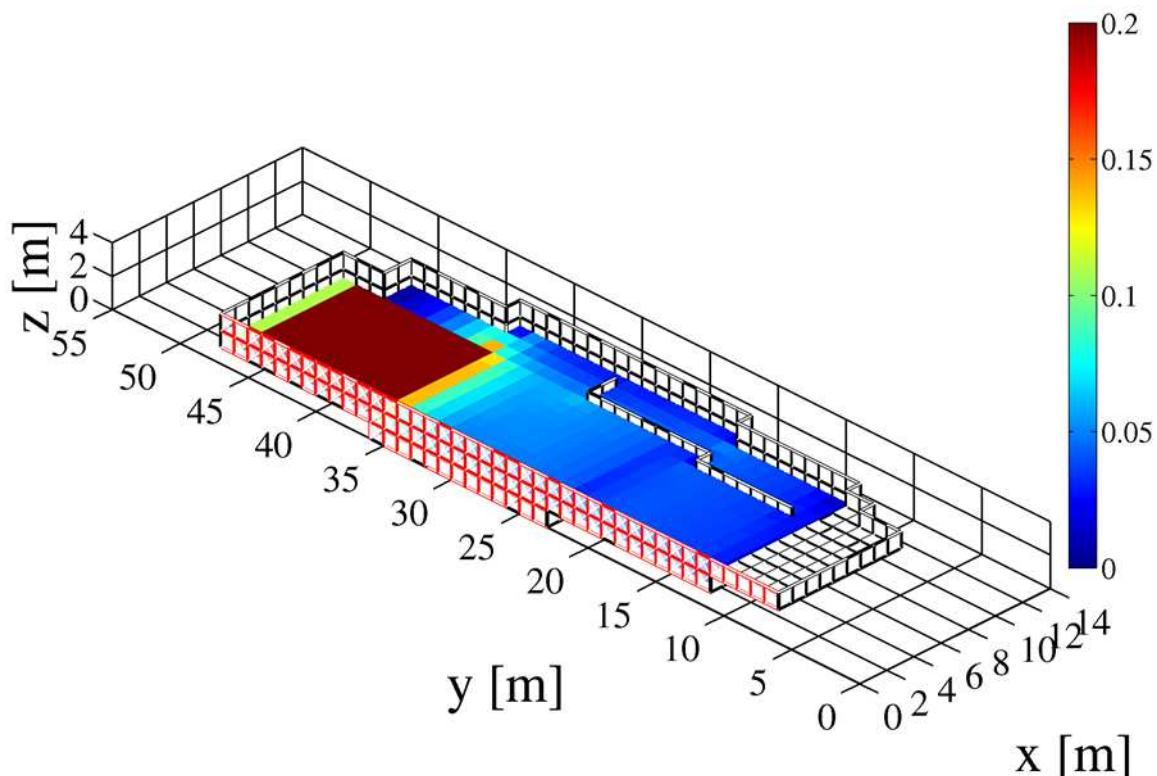
7.4. EREDMÉNYEK ZONÁLIS MODELLEZÉSEL ÉS EGY MÁSIK MÉRETEZÉSI ELJÁRÁSSAL

A dolgozat célja az volt, hogy meghatározásra kerüljön a levegő állapotváltozása egy nagy térben. Ezen kívül fontos a levegő sebességének ismerete is, hiszen azt, hogy az adott helyen tartózkodó emberek a huzathatásnak vannak kitéve csak annak ismeretében lehet megállapítani. Ebben az alfejezetben a program által szolgáltatott eredmények lesznek bemutatva és összehasonlítva a BME Áramlástan Tanszéke által a hangversenyteremre elvégzett numerikus áramlástan szimuláció eredményeivel.

7.4.1. A levegő sebességének kontúrjai

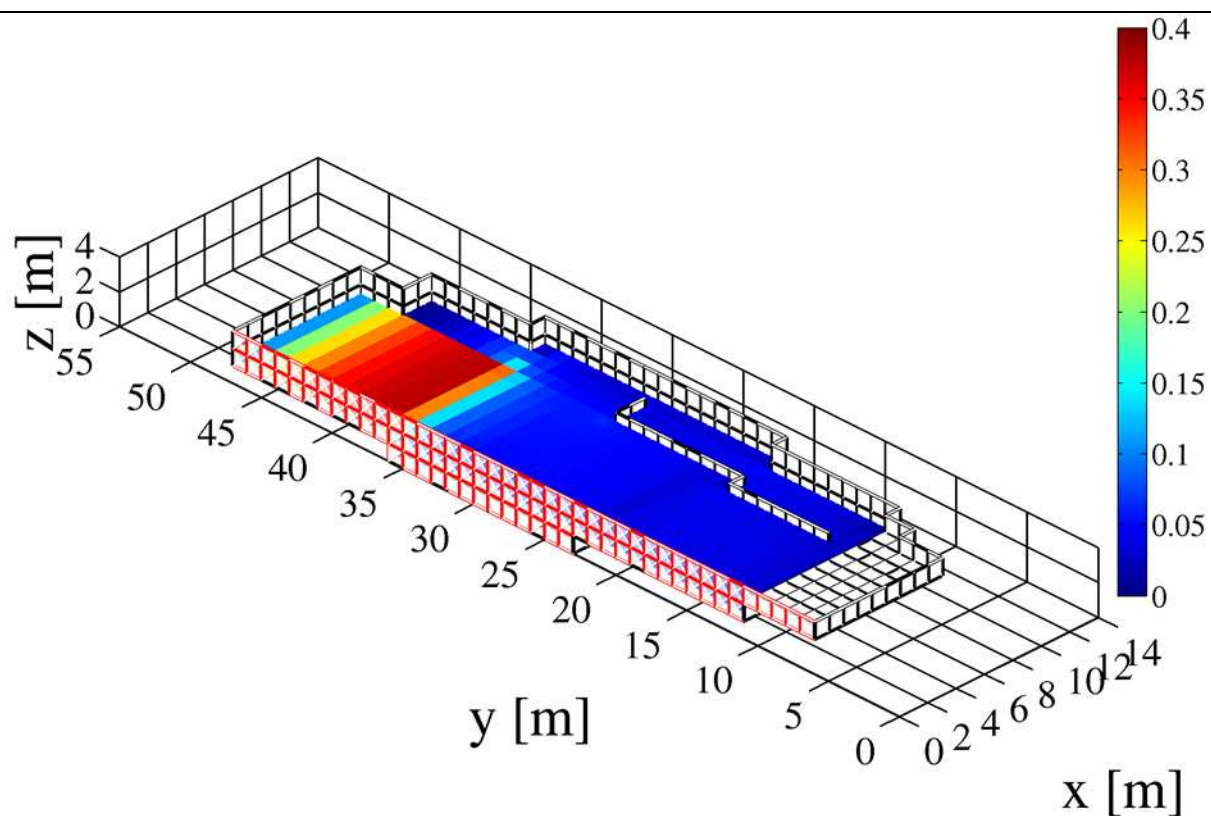
7.4.1.1. A LÉGSEBESSÉG KONTÚRJAI HORIZONTÁLIS METSZŐSÍKON

A következő ábrákon a légsebesség kontúrjai vannak ábrázolva, különböző z -állandó koordinátájú metszősíkokon. Az ábrák alatt feltüntetésre került a metszősík z koordinátája.

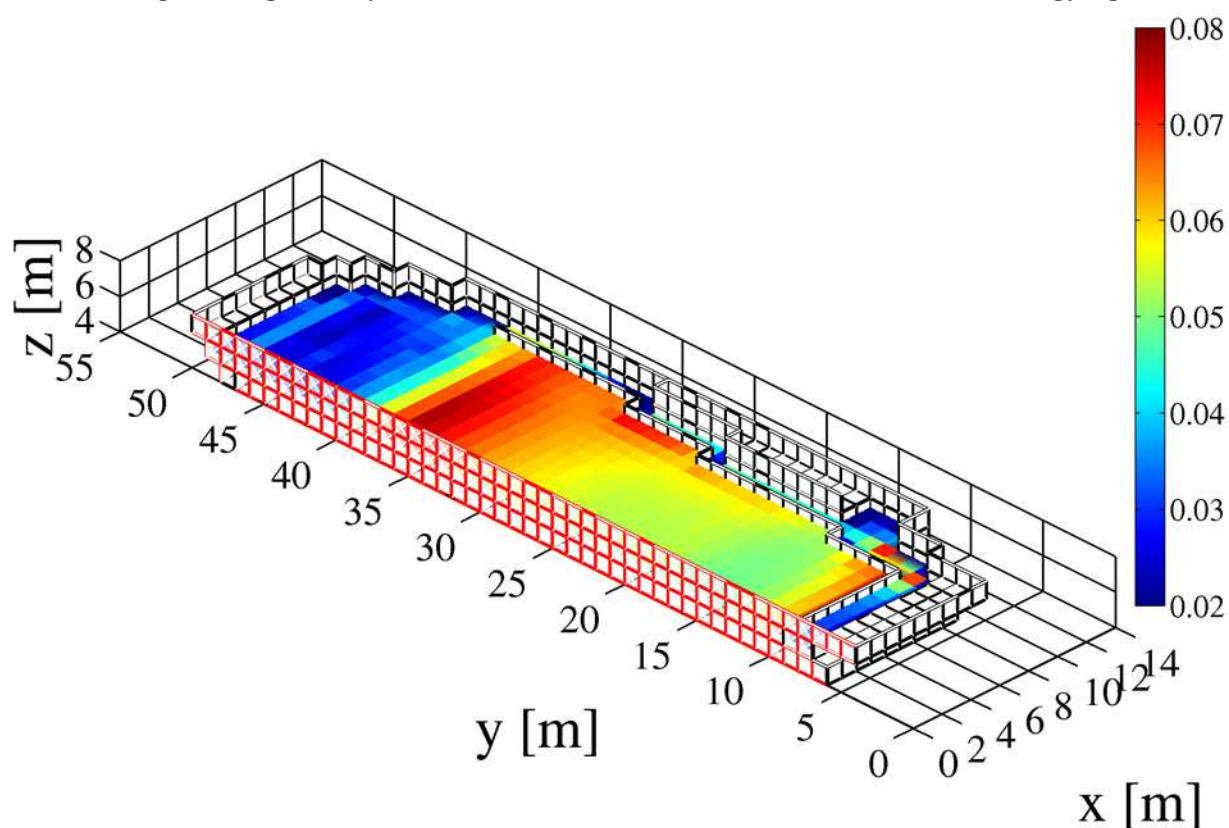


7.13. ábra: A légsebesség kontúrjai horizontális metszősíkon, $z=2\text{m}$. A színskála mértékegysége $[\text{m/s}]$.

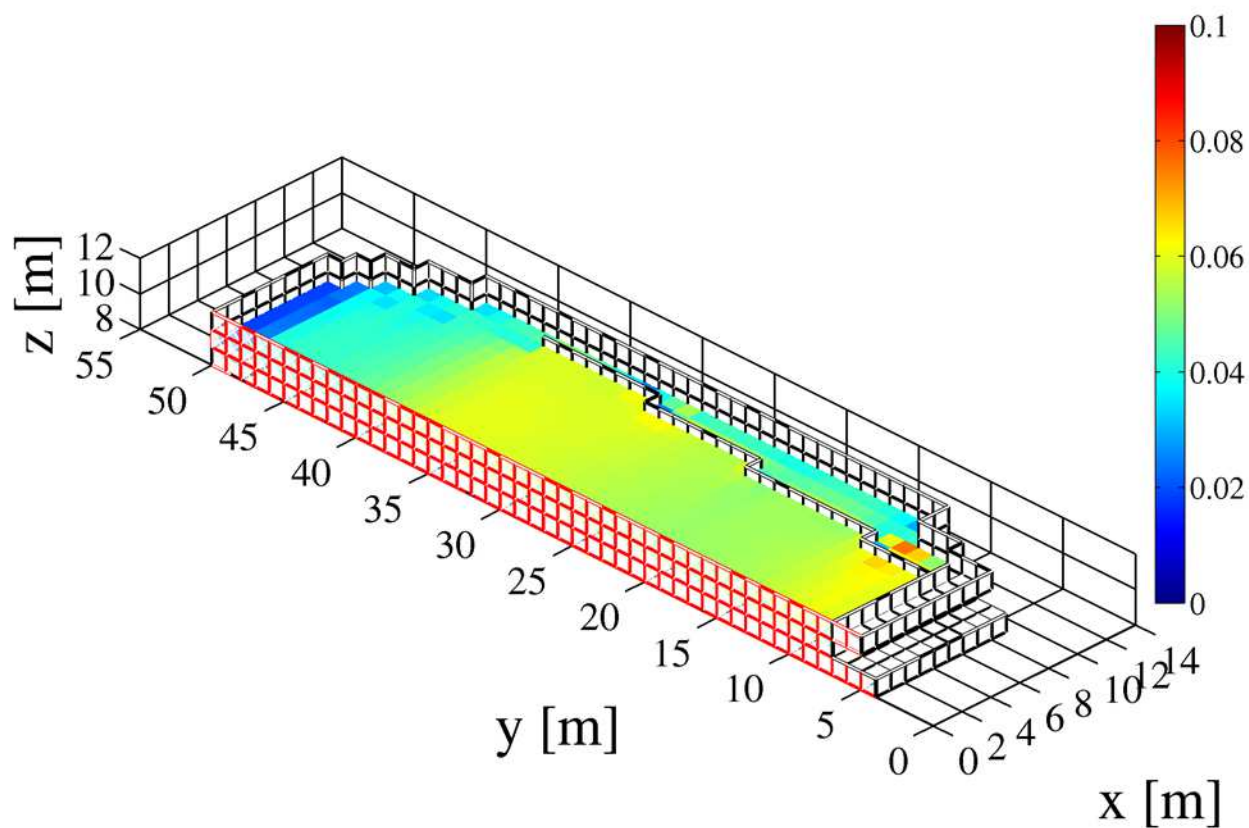
A 7.13. és a 7.14. ábra esetében a z koordináta azonos, a különbséget a színskála beosztása jelenti. A 7.14. ábrán elsősorban a színpad elárasztásos szellőzésének sebessége volt a lényeges, ezért ott a nagyobb sebességekhez illeszkedően a színskála maximuma nagyobb. A 7.13. ábra esetében jobban látszik a tartózkodási zóna színpadon kívüli részeinek sebességeloszlása. Összességében meg állapítható, hogy a tartózkodási zónában a légsebesség alacsony. További eredmények szerepelnek a mellékletek között.



7.14. ábra: A légsebesség kontúrjai horizontális metszősíkon, $z=2\text{m}$. A színskála mértékegysége $[\text{m/s}]$.



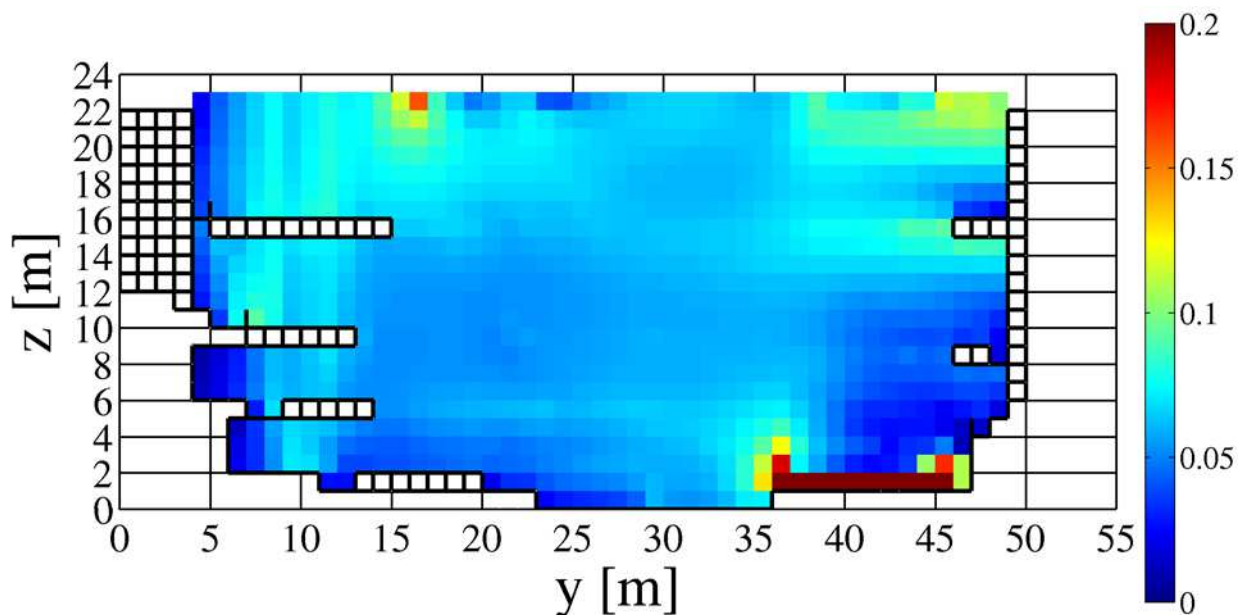
7.15. ábra: A légsebesség kontúrjai horizontális metszősíkon, $z=6\text{m}$. A színskála mértékegysége $[\text{m/s}]$.



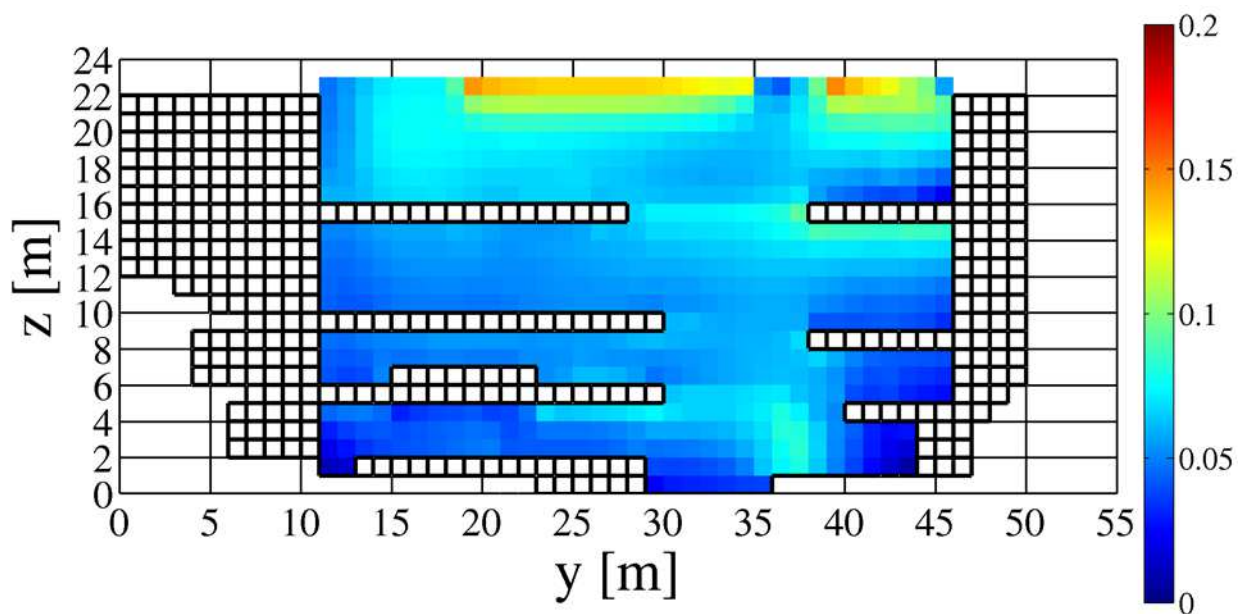
7.16. ábra: A légsebesség kontúrjai horizontális metszősíkon, $z=10$ m. A színskala mértékegysége [m/s].

7.4.1.2. A LÉGSEBESSÉG KONTÚRJAI VERTIKÁLIS, X NORMÁLISÚ METSZŐSÍKON

A program eredményeit vertikális metszősíkokon is ábrázoltam. Ebben a pontban a síkok normálisa az x tengely. A síkok x koordinátája is megadásra került. Az Áramlástan Tanszék CFD eredményei is szerepelnek összehasonlításként a 7.19. ábrán.

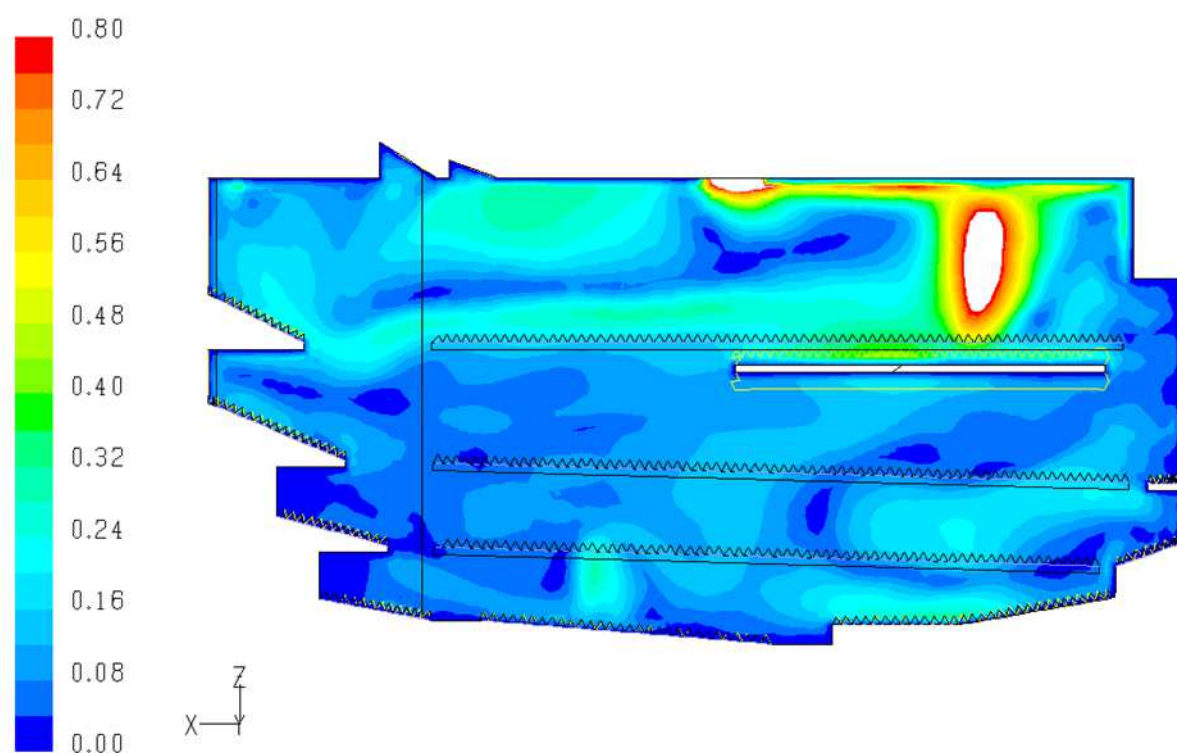


7.17. ábra: A légsebesség kontúrjai vertikális x normálisú metszősíkon, $x=9\text{m}$.
A színskála mértékegysége [m/s].

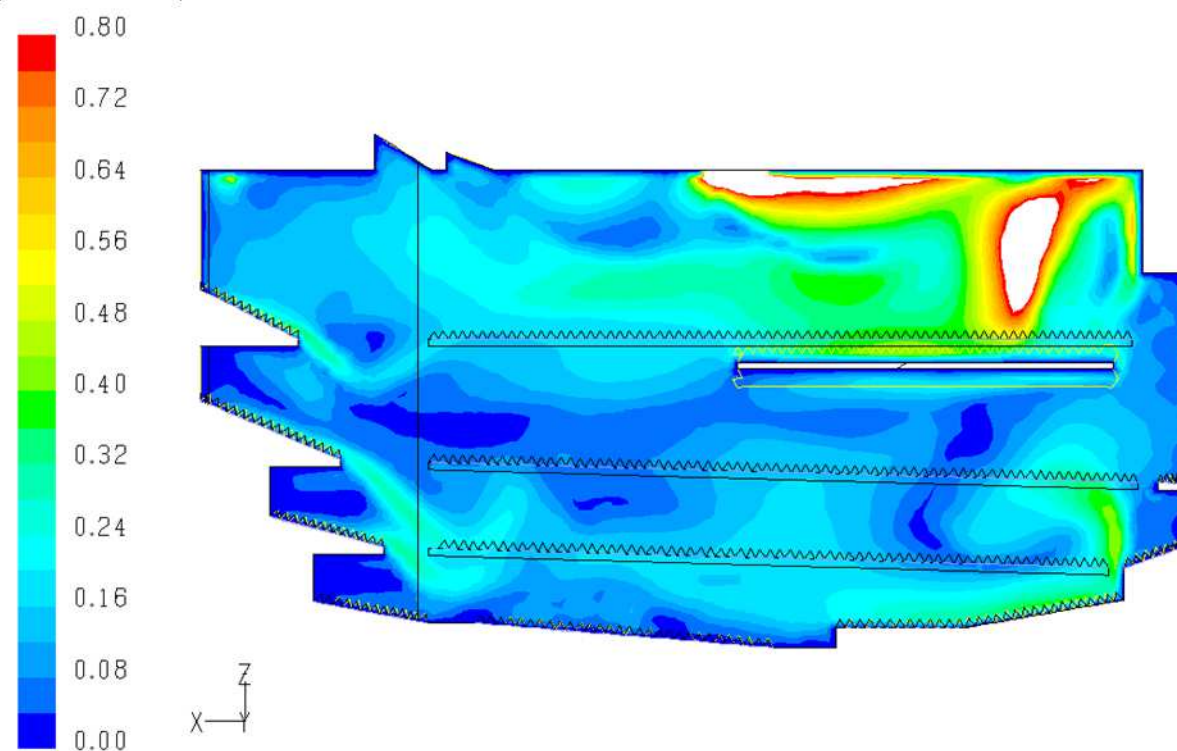


7.18. ábra: A légsebesség kontúrjai vertikális x normálisú metszősíkon, $x=11\text{m}$.
A színskála mértékegysége [m/s].

A 7.18. és 7.17. ábrákat összehasonlítva a 7.19. ábrával megállapítható, hogy a különbségek nem jelentősek. A légsebességek elsősorban az elszívó nyílások közelében jelentősek. Ezen kívül nagyobb légsebességgel lehet számolni a színpadon is. További eredmények szerepelnek a mellékletek között.



Contours of Velocity Magnitude (m/s) (Time=5.9750e+02) Aug 08, 2002
FLUENT 6.0 (3d, segregated, rngke, unsteady)

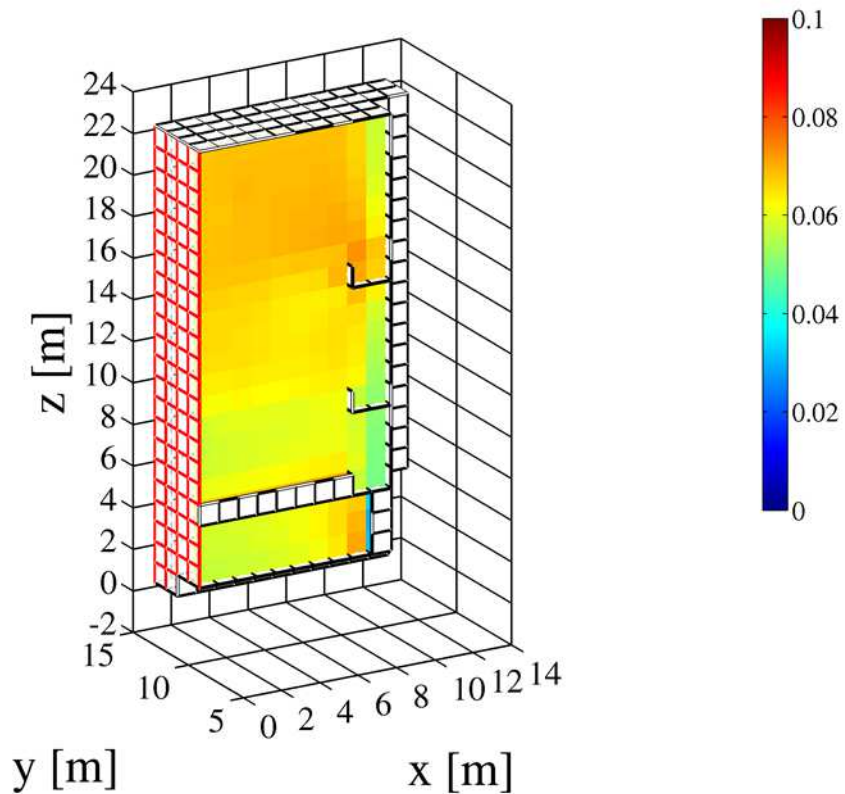


Contours of Velocity Magnitude (m/s) (Time=5.0450e+02) Aug 06, 2002
FLUENT 6.0 (3d, segregated, rngke, unsteady)

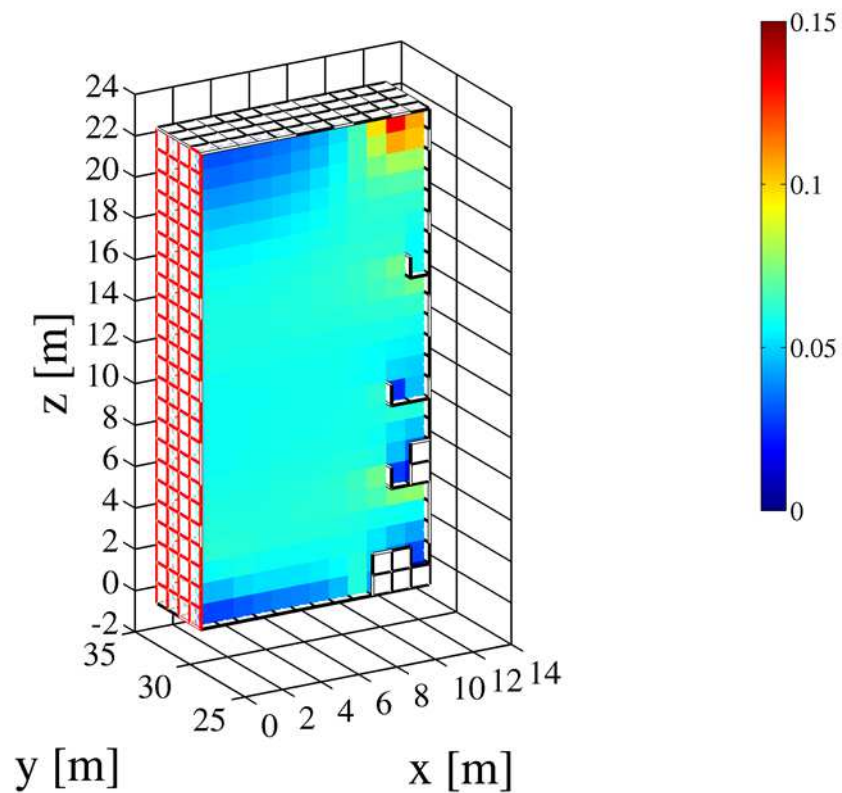
7.19. ábra: Az Áramlástan Tanszék CFD eredményei. A számítás instacioner volt, ezért az eredmények a program futásának két időpillanatában is ábrázolásra kerültek. A skála mértékegysége [m/s]

7.4.1.3. A LÉGSEBESSÉG KONTÚRJAI VERTIKÁLIS, Y NORMÁLISÚ METSZŐSÍKON

A program eredményeit további vertikális metszősíkokon ábrázoltam. Ebben a pontban a síkok normálisa az y tengely.



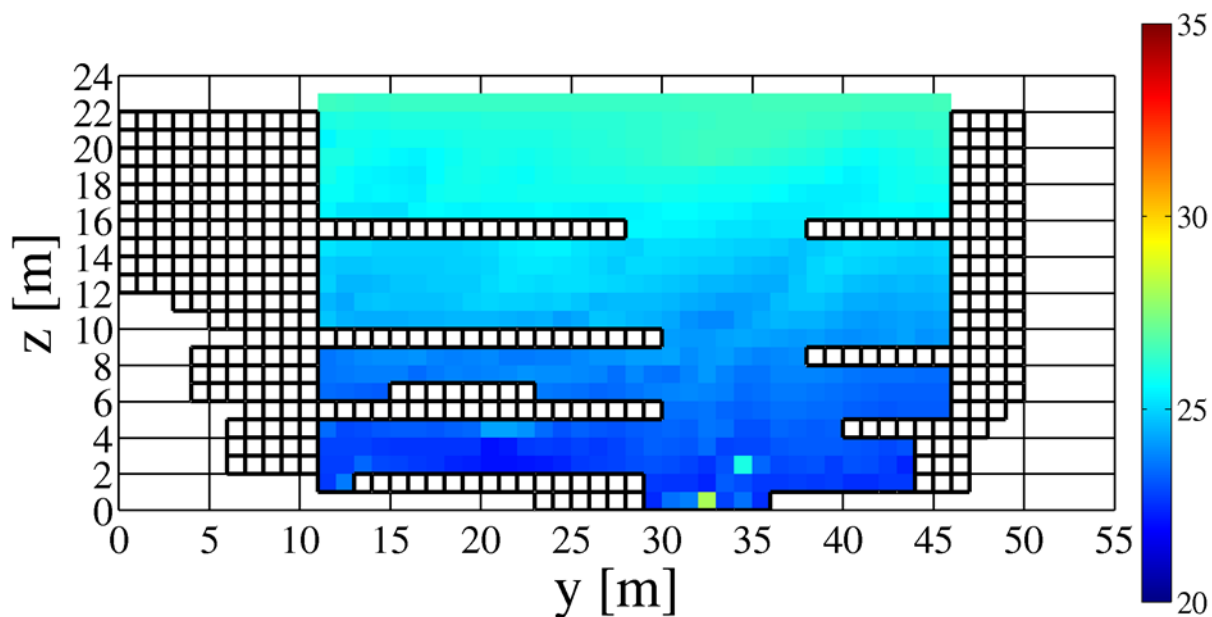
7.20. ábra: A légsebesség kontúrjai vertikális y normálisú metszősíkon, $y=10\text{m}$.
A színskala mértékegysége [m/s].



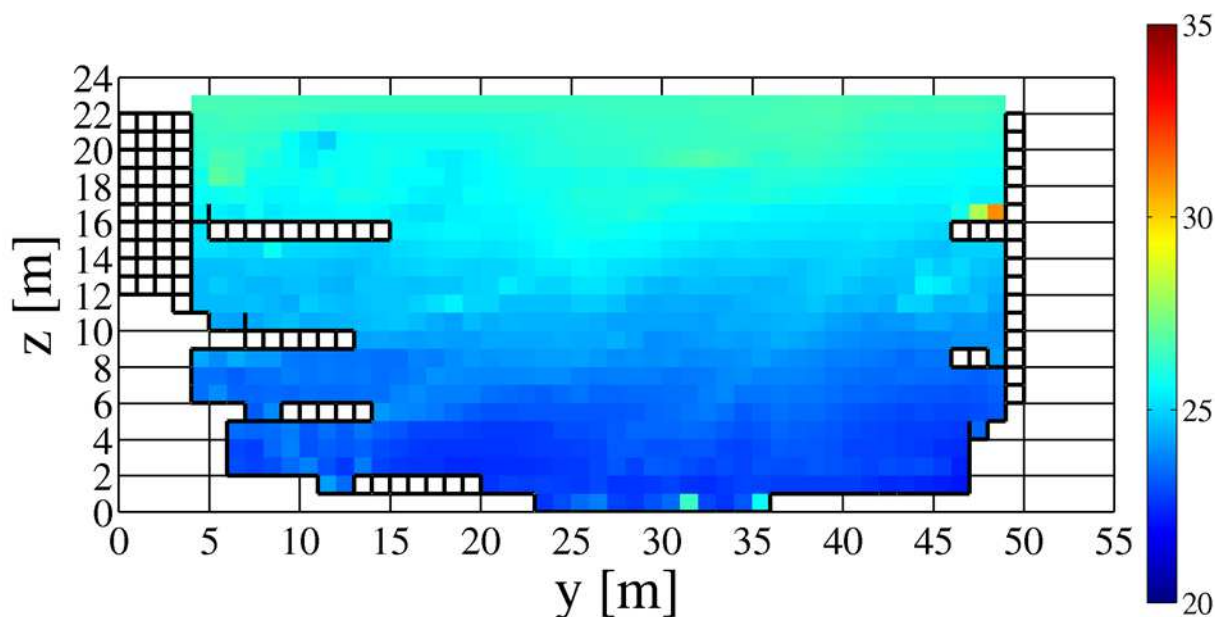
7.21. ábra: A légsebesség kontúrjai vertikális y normálisú metszősíkon, $y=30\text{m}$.
A színskala mértékegysége [m/s].

7.4.2. A levegő hőmérsékletének kontúrjai

A program által számított légsebességek csak vertikális, x normálisú metszősíkokon kerültek ábrázolásra. A síkok x koordinátája is megadásra került. Jelen esetben is az Áramlástan Tanszék CFD eredményei képviselték az összehasonlítási alapot.

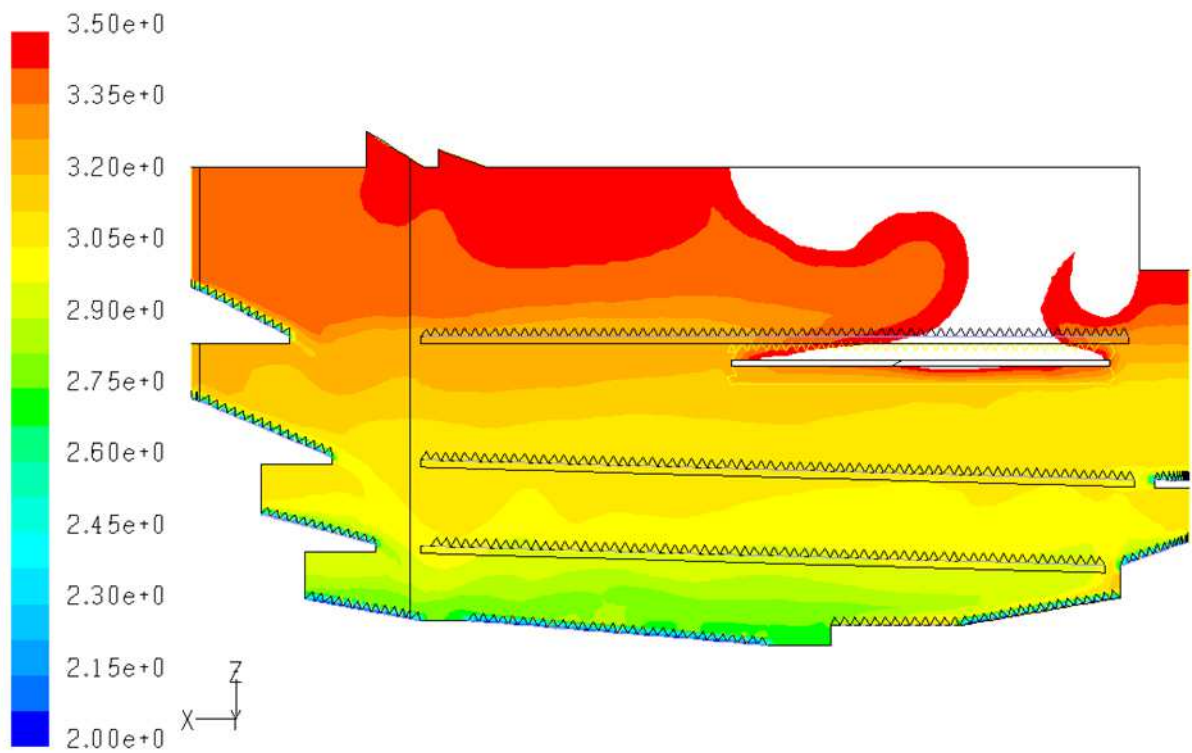


7.22. ábra: A léghőmérséklet kontúrjai vertikális x normálisú metszősíkon, $x=9\text{m}$.
A színskala mértékegysége $^{\circ}\text{C}$.



7.23. ábra: A léghőmérséklet kontúrjai vertikális x normálisú metszősíkon, $x=11\text{m}$.
A színskala mértékegysége $^{\circ}\text{C}$.

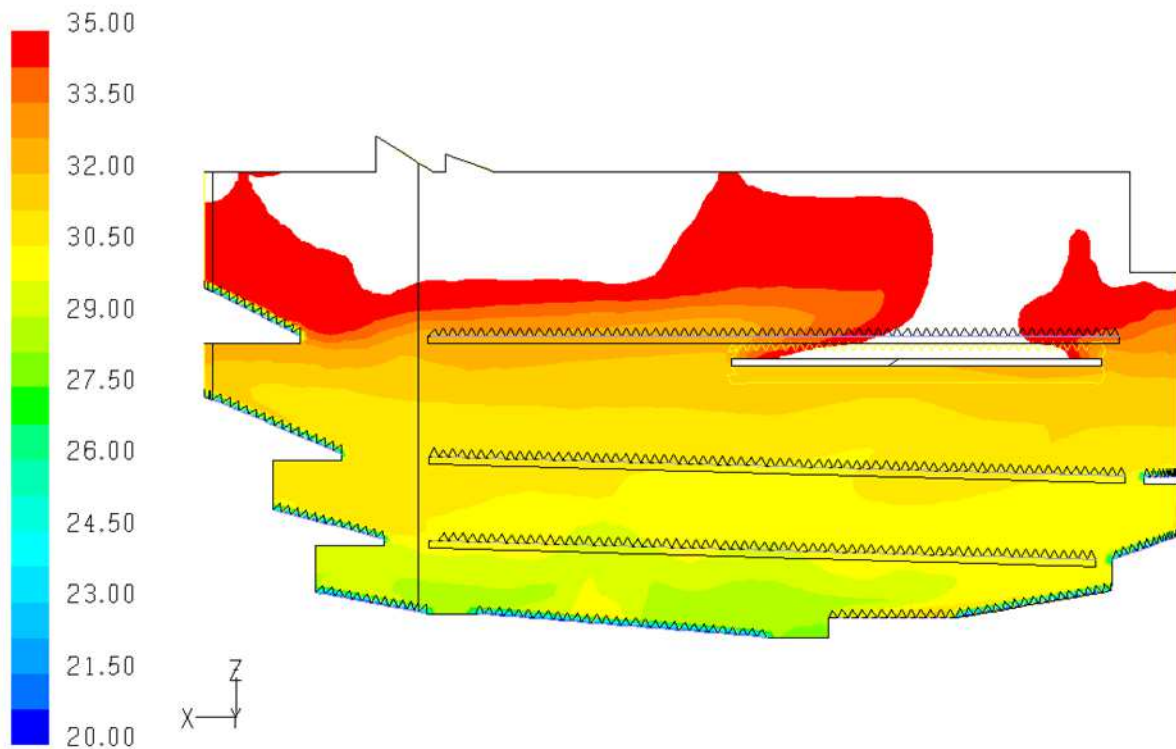
Az ábrák összehasonlítása során jól látszik, hogy az Áramlástan Tanszék által végzett CFD számítás jóval magasabb hőmérsékleteket jelzett előre, mint a zonális modellezés. Ennek oka kereshető esetleg abban, hogy a számítást a teljes világítás működése mellett végezték. Lehet annak is az oka, hogy összességében a CFD számítás pontosabb eredményekre vezethet, hiszen a zonális modellezés során a turbulencia hatása nincs teljes értékűen figyelembe véve. A számítás további eredményei a mellékletek között szerepelnek.



Contours of temp_celsius (Time=5.0450e+02)

Aug 06, 2002

FLUENT 6.0 (3d, segregated, rngke, unsteady)



Contours of temp_celsius (Time=5.9750e+02)

Aug 08, 2002

FLUENT 6.0 (3d, segregated, rngke, unsteady)

7.24. ábra: Az Áramlástan Tanszék CFD eredményei. A számítás instacioner volt, ezért az eredmények a program futásának két időpillanatában is ábrázolásra kerültek.

8. NAGYLÉGTERŰ HELYISÉG MÉRETEZÉSE EGYSZERŰSÍTETT ELJÁRÁSSAL

Természetesen egy nagylégterű helyiség esetén is lehetséges és szükséges egyszerűsített eljárások alkalmazása. A méretezés célja ekkor az állapotváltozás irányjelzőjének meghatározása, melyhez ismerni kell a hő- és nedvesség-terhelések nagyságát. A szellőző levegő térfogatáramának meghatározásához ismerni kell, hogy milyen szennyező-anyag terheléssel számolhatunk. A légvezetési rendszer kiválasztása során meg kell határozni az Archimedesi számot is [50]. A 7. fejezetben közölt adatokra alapozva ezek a számítások elvégezhetők. A megvalósult rendszer alapadatai is rendelkezésre álltak. Ezek az adatok a 8.1. táblázatban szerepelnek, azokat adatszolgáltatás formájában megkaptam és a korábbiakban közöltem már [39]. A légmennyiség fajlagosítását az emberek által elfoglalt területre végeztem el.

8.1. táblázat: A megvalósult rendszer alapadatai.

Tervezési adatok				
Hely	Befűjt levegő hőmérséklete	Befűjt légmennyiség	Fajlagos légmennyiség	Fajlagos légmennyiség
	[°C]	[m ³ /h]	[m ³ /h/fő]	[m ³ /h/m ²]
Nézőtér	19	10000	50	57
Színpad	19,5	84720	26	78

Az alapadatok felhasználásával megállapított szennyező terhelések a 8.3. táblázatban láthatóak, a szennyező anyagok elszállítása miatt szükséges friss levegő mennyisége a 8.2. táblázatban szerepel különböző kategóriákra. Az alapadatok megállapítása során a CR 1752-t használtam, mely a számításnak is alapjául szolgált. A teremre kiszámított Archimedesi-szám a 8.4. táblázatban szerepel. Nagysága meghatározható a 8.1 ábrán szereplő diagram alapján vagy a szakirodalmat [50] felhasználva. A 8.2. ábrán az állapotváltozás irányjelzője látható h-x diagramon. A világítás hőterhelését a 7.2.2. pontban ismertetett módszerrel határoztam meg az egyes területekre. A levegő közepes hőmérsékletét minden felület mellett egységesen 24,5°C-ra vettem fel. A táblázatban a konvekció útján a sugárzással felmelegített felületek által leadott hő szerepel hőterhelésként. A világítás tisztán konvektív terhelése az egész tér szempontjából figyelembe lett véve, de a nézők és a zenészek által elfoglalt helyet feltételezésem szerint nem érinti.

8.2. táblázat: A szellőző levegő mennyisége CR1752 szerint.

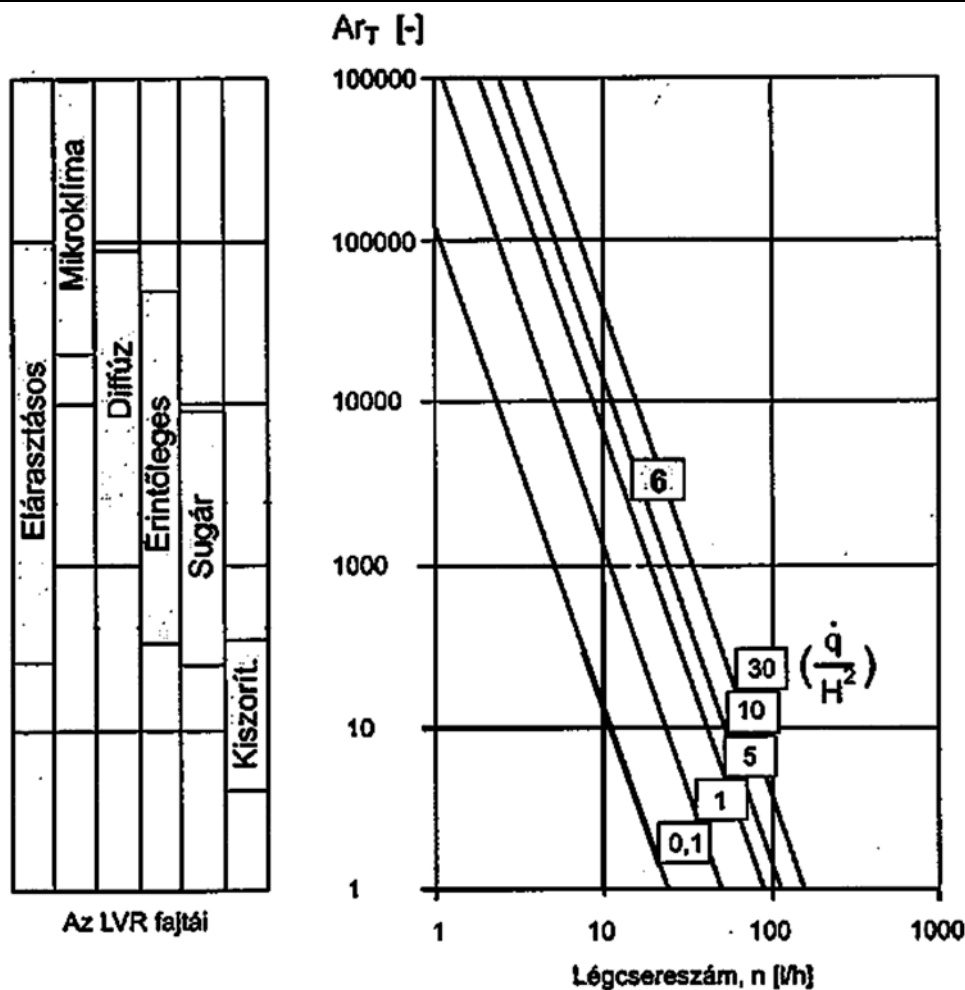
Térrész	Szellőző levegő mennyisége CR1752 szerint						
	εv	Érezhető levegőminőségre - [m ³ /h]			CO ₂ koncentrációra [m ³ /h]		
	-	A. kat.	B. kat.	C. kat.	A. kat.	B. kat.	C. kat.
Nézőtér	1,0	97765	68436	39106	67739	47212	26185
Színpad	1,0	4014	2810	1606	4130	2879	1597
<u>Teljes terem</u>	1,0	101779	71245	40712	71870	50091	27782

8.3. táblázat: A számítás alapadatai.

Forrás megnevezése	Forrás mennyisége	Aktivitási szint vagy hőleadás	Tartózkodási zóna elfoglalt része; Alapterület	Hőterhelés		Nedvességleadás		Érezhető szennyezőanyag terhelés		CO2 terhelés		Az állapotváltozás irányjelzője
				Fajlagos	Összes	Fajlagos	Összes	Fajlagos	Összes	Fajlagos	Összes	
	[fő]; [db]; [m²]	[met]; [W]	[m²]	[W/m²]	[W]	[g/fő/h]	[g/s]	[olf/fő]; [olf/ m²]	[olf]	[l/h/fő]	[l/s]	[kJ/kg]
Nézők	1640	0,8	1090	126	137445	45	20,5	1,00	1640	19	8,66	
Épület - Nézőtér	21514	-	-	-	-	-	-	0,05	1076	-	-	
Világítás nézőtérre eső része	-	-	1574	4,0	6241	-	-	-	-	-	-	
Összesen a nézőtérre			1574	91	143686		20,5		2716		8,66	7009089
Zenészek	100	1,2	176	71	12571	50	1,4	1,00	100	19	0,53	
Világítás színpadra eső része	-	-	230	152	34951	-	-	-	-	-	-	
Épület - Színpad	230	-	-	-	-	-	-	0,05	11,5	-	-	
Összesen a színpadra			230	207	47522		1,4		112		0,53	34215658
Világítás konvektív része	-	-	-	-	13770	-	-	-	-	-	-	
Összesen a teljes teremre	-	-	1804	114	204978	-	22	-	2827	-	9,18	9364480

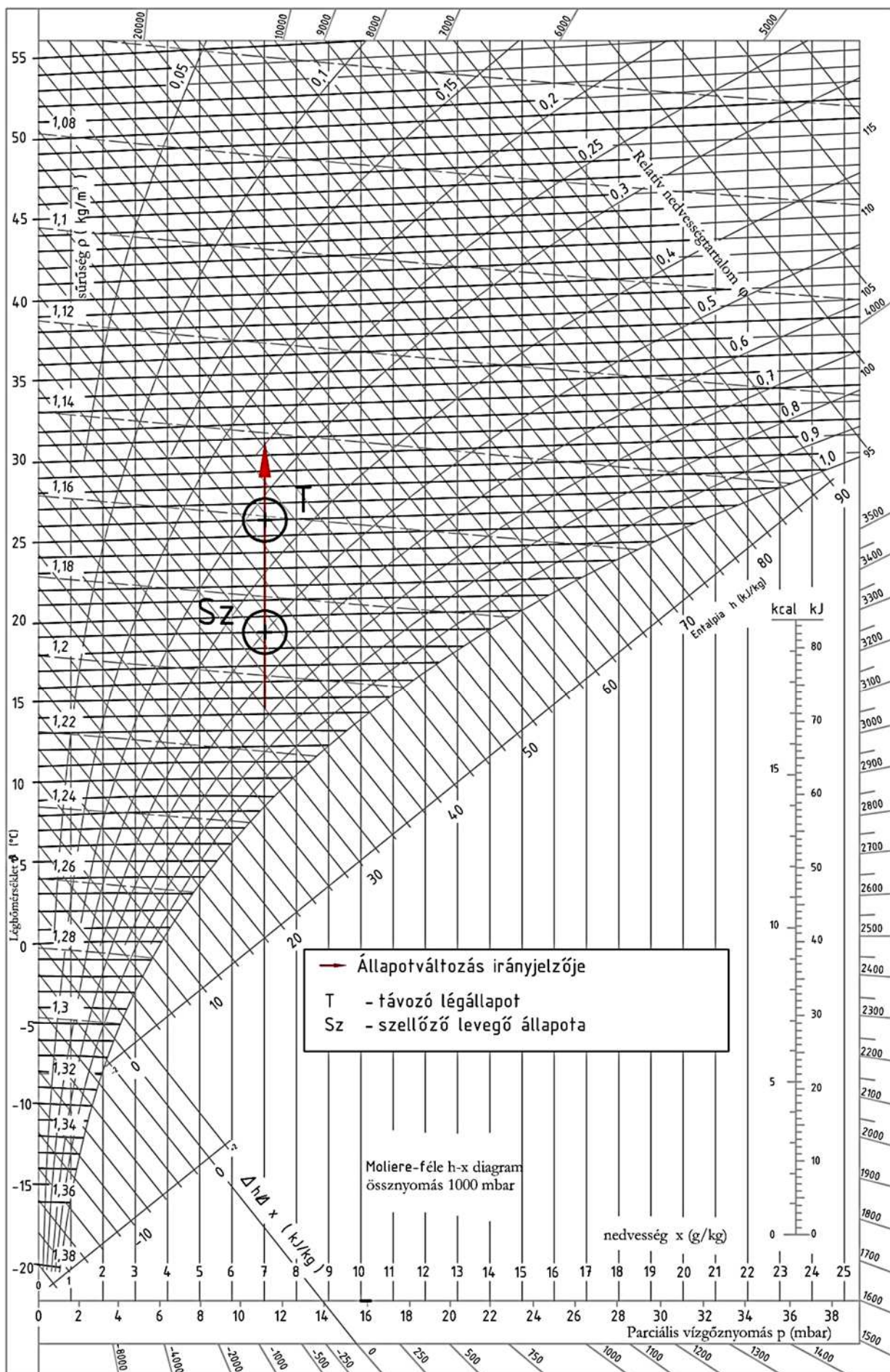
8.4. táblázat: A számítás eredményei.

Térrész	Alapterület	Átlagos Belmagasság	Térfogat	Helyiség-hőmérséklet	Befújt levegő hőmérséklet	Távozó levegő hőmérséklet	Légcserezszám	q/H²	Arr
	[m²]	[m]	[m³]	[°C]	[°C]	[°C]	[1/h]	[W/m²]	[-]
Színpad	230	23	5290	24,5	19,50	33,96	1,89	0,39	74976
Nézőtér	1574	11,3	17814	24,5	19,00	24,07	4,76	0,71	8444
Teljes terem	1804	12,8	23104	24,5	19,05	25,54	4,10	0,69	12845



8.1. ábra: Az Archimedesi-szám és a légvezetési rendszer kapcsolata.

A belső levegő állapota a 8.2. ábrán szándékosan nem lett feltüntetve. A belső levegő állapota függ az alkalmazott légvezetési rendszertől [16]. A nézőtér esetében az alkalmazott légvezetési rendszer az Archimedesi-számnak megfelelő mikroklíma légvezetési rendszer. A színpadon szintén a méretezési kritériumnak megfelelő elárasztásos szellőzés van. A két rendszer egymásra hatása nem állapítható meg egyszerűen, ezen kívül az sem, hogy pl. a földszintről felfelé áramló meleg levegő hogyan hat a magasabb szinten ülők komfortjára. Ebből látható, hogy a belső levegő állapotának meghatározásához mindenképpen szükség van valamilyen, a jelen diplomamunkában tárgyalt bonyolultabb módszerre.



8.2. ábra: A levegő állapotváltozása a hangversenyteremben.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A nagyterű helyiségek megfelelő komfortjának fenntartása sok energiát igényel, ezért ezek méretezése kiemelt jelentőségű. A problémát az jelenti, hogy ezen helyiségek méretezése során nem engedhetők meg azok az egyszerűsítések, amelyeket a kis belmagasságú, kisebb alapterületű helyiségek esetében alkalmazunk, mert ezek az ilyen helyiségek esetében a méretezés pontosságát jelentősen torzíthatják. Elegendő példának okáért arra utalni, hogy egy kisebb helyiségben a hőmérséklet-eloszlás joggal tekinthető homogénnek, míg egy nagyterű helyiségben ez biztosan nem igaz, és jelentős hőmérséklet-gradienssel számolhatunk. Dolgozatom célja bemutatni, mely méretezési módszerek alkalmazhatóak egy nagyterű helyiségben.

Részletesen ismertetem az úgynevezett zonális modelleket, összefoglalva a téma korábbi szakirodalmát. Foglalkozom az ún. áramlási elemekkel is. Áramlási elemeknek nevezhetjük a légsugarakat és a hőforrások, vagy hideg/meleg felületek hatására kialakuló konvektív áramlásokat. Leírom az áramlási elemek térfogatáramának és egyéb fontos jellemzőiknek számítási összefüggéseit továbbá javaslatot teszek az áramlási elemek zonális modellbe történő beillesztésének lehetőségére.

A méretezés lehetséges menetét is bemutatom egy nagyterű helyiségen. A dolgozat készítése során a zonális modellekkel történő számításokhoz egy program készült, melynek kódja Matlabban íródott és szerepel a dolgozat mellékletei között. A zonális modellezés lehetséges geometria alkotási és peremfeltétel-megadási technikáját a Bartók Béla Nemzeti Hangversenytermen mutatom be. Az említett helyiséget azért választottam, mert már a tervezés során is használatra került az itt bemutatott méretezési módszerek közül a CFD számítás. Ezen kívül, mivel meglévő épületről van szó, a számítások eredményeket a későbbiekben akár mérési eredményekkel is össze lehet majd hasonlítani.

A programmal meghatározott megoldás elsősorban a hőmérséklet eloszlás szempontjából eltért a CFD számítás eredményétől, ezért a jövőbeli munka célja az algoritmus olyan irányú továbbfejlesztése, hogy a nagy terek méretezésére az hatékonyan felhasználható legyen. A modellezési technika hatékonyságát támasztja alá a tesztproblémán bemutatott eredmények. A technika mellett szól ezen kívül az is, hogy viszonylag kiterjedt nemzetközi szakirodalma van és validációja többek által is megtörtént már. Újdonságot jelent az a tény, hogy a hangversenyteremhez mérhető nagyságú épületen ez a technika még tudomásom szerint nem került alkalmazásra, ezért egy sikeres számítás lefolytatása, mely mérési eredményekkel is alátámasztható, jelentős előrelépést jelentene a területen. További előrelépést jelentene az, ha az ismertetésre került illetve nem ismertetett [51] modellekből több is beépítésre kerülne a programba.

10. SUMMARY

To maintain desired comfort in large spaces of buildings a lot of energy is needed, so the accurate design of them is crucial. The main difficulty is that the simplifications obviously utilized for the design of small rooms cannot be used as the result may be imprecise or completely wrong. For example, the simplification that the temperature distribution in a small space is homogeneous (which is a quite practical and good assumption) is not true for a large space. The vertical temperature gradient is usually significantly big and therefore appropriate design methods are needed. The goal of my thesis was to present some design methods may be used in the different stages of the design process.

The thesis is focusing on the models known as zonal models. A review is made about the literature on the flow elements, which are the jets, plumes or boundary layer flows next to cold or hot surfaces. It is shown in details how the air flow rate and the other important characteristics can be calculated.

With the theoretical background a calculation example with a large space is included as well. In order to perform the calculations a program in Matlab R2012a was developed. The different stages of the modelling are demonstrated in details for the Béla Bartók National Concert Hall, which is one of the greatest concert halls in Hungary. This hall was chosen as it exists so measurement results may be available in the future. With experimental measurements it is possible to reveal if the program predicts the comfort parameters in the modelled space well or not. In this stage only CFD results were available made by the Department of Fluid Dynamics from the Budapest University of Technology and Economics.

Although the temperature distribution predicted by the zonal model was different from the CFD, with some modifications the zonal model can be more accurate. The international literature is quite extensive in the field, but none of the presented papers have dealt with such big space as the Béla Bartók National Concert Hall, only with smaller problems, so this is the most important feature of this thesis. With all the models presented or not presented [51] in this thesis built in the program, the predictions may will be better.

FORRÁSOK

- [1] C. Huang et al.: *Measurement of indoor thermal environment and energy analysis in a large space building in typical seasons*. Energy and Buildings, Vol. 42, pp. 1869-1877. 2007.
- [2] *Ventilation of Large Spaces in Buildings. Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Annex 26: Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures*. Szerkesztő: Per Heiselberg et al., Aalborg University, Aalborg, Dánia, ISSN 1395-7953 R9083, 1998.
- [3] S. Togari et al.: *A Simplified Model for Predicting Vertical Temperature Distribution in a Large Space*. ASHRAE Transactions, Vol. 99(1), pp. 84-99. 1993.
- [4] C. Inard et al.: *Prediction of air temperature distribution in buildings with a zonal model*. Energy and Buildings, Vol. 24, pp. 125-132. 1996.
- [5] M. Musy et al.: *Generation of a zonal model to simulate natural convection in a room with a radiative/convective heater*. Building and Environment, Vol. 36, pp. 589–596., 2001.
- [6] M.O. Abadie et al.: *Improving the prediction of zonal modeling for forced convection airflows in rooms*. Building and Environment, Vol. 48, pp. 173-182., 2012.
- [7] N. Guerfala et al.: *Air flow prediction and evaluation of ventilation effectiveness with different zonal configurations*. International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Santiago de Compostela, Spanyolország, 2012.03.28-től 30-ig.
- [8] E. Wurtz et al.: *Two- and three-dimensional natural and mixed convection simulation using modular zonal models in buildings*. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 42, pp. 923–940, 1999.
- [9] F. Haghighat et al.: *Development and validation of a zonal model - POMA*. Building and Environment, Vol. 36, pp. 1039–1047, 2001.
- [10] Yin Lin: *POMA – A Zonal Model for Airflow and Temperature Distribution Analysis*. Diplomamunka, Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University, Kanada, 1999.
- [11] James W. Axley: *Surface-drag flow relations for zonal modeling*. Building and Environment, Vol. 36, pp. 843–850, 2001.
- [12] Q. Chen, W. Xu: *A zero-equation turbulence model for indoor airflow simulation*. Energy and Buildings, Vol. 28, pp. 137-144, 1998.
- [13] Ahmed Daoud, Nicolas Galanis: *Prediction of airflow patterns in a ventilated enclosure with zonal methods*. Applied Energy, Vol. 85, pp. 439-448, 2007.
- [14] Bonvini et al.: *Object-oriented quasi-3D sub-zonal airflow models for energy related system-level building simulation*. Simulation Modeling Practice and Theory, Vol. 22, pp. 1-12, 2012.
- [15] Hazim B. Awbi: *Ventilation of Buildings*. Second edition, Spon Press, London, ISBN 0-415-27056-1, 2003.

-
- [16] Dr. Magyar Tamás: *Előadás jegyzetek, Légtechnikai jegyzetek tárgyból*. BME, Budapest, 2013.
- [17] N. Rajaratnam: *Turbulent jets*. Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-41372-3, 1976.
- [18] Q. Liu et al.: *Comparison of Three k-epsilon Turbulence Models for Predicting Ventilation Air Jets*. Transactions of the ASAE, Vol. 39(2), pp. 689-698, 1996.
- [19] Zhi-wei Li et al.: *Large eddy simulation of flow structure in the near region of a circular wall jet*. Procedia Engineering, Vol. 31, pp. 713-722, 2012.
- [20] Mérések Karlsson et al. által, Eroftac adatbázisból, 1999.11.06.
http://www.ercoftac.org/fileadmin/user_upload/bigfiles/sig15/database/5.1/index.html
- [21] W. K. George et al.: *A similarity theory for the turbulent plane wall jet without external stream*. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 425, pp. 367-411., 2000.
- [22] B. E. Launder, W. Rodi: *The turbulent wall jet*. Prog. Aerospace Sci., Vol. 19, pp. 81-128., 1981.
- [23] G. Krishnan, K. Mohseni: *An experimental study of a radial wall jet formed by the normal impingement of a round synthetic jet*. European Journal of Mechanics B/Fluid, Vol. 29, pp. 269-277., 2010.
- [24] K. Knowles, M. Myszko: *Turbulence measurements in radial wall-jet*. Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 17, pp. 71-78., 1998.
- [25] J. B. R. Loureiro, A. P. Silva Freire: *Wall shear stress measurements and parametric analysis of impinging wall jets*. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 55, pp. 6400-6409., 2012.
- [26] B. Venas, H. Abrahamsson et al.: *Pulsed hot-wire measurements in two- and three-dimensional wall jets*. Experiments in Fluids, Vol. 27, pp. 210-218., 1999.
Mérési eredmények forrása:
http://www.ercoftac.org/fileadmin/user_upload/bigfiles/sig15/database/6.1/index.html
- [27] P. M. Sforza, G. Herbst: *A Study of Three-Dimensional, Incompressible Turbulent Wall Jets*. Report 1022. Department of Aerospace Engineering, Polytechnic Institute of Brooklyn, New York, 1967.
- [28] M. I. Grimitlyn and G. M. Pozin: *Fundamentals of Optimizing Air Distribution in Ventilated Spaces*. ASHRAE Transactions, Vol. 99 no. 1., pp. 1128-1138, 1993.
- [29] *Industrial Ventilation Design Guidebook*. Szerkesztő: Howard GoodFellow. Esko Tähti, Academic Press, London, ISBN 0-12-289676-9, 2001.
- [30] Z. H. Li, J. S. Zhang, A. M. Zhivov: *Characteristics of Diffuser Air Jets and Airflow in the Occupied Regions of Mechanically Ventilated Rooms – A Literature Review*. ASHRAE Transactions, Vol. 99 no. 1., pp. 1119-1127, 1993.
- [31] P. V. Nielsen, Ake T. A. Moller: *Measurement on Buoyant Wall Jet Flows in Air-conditioned Rooms*. International Conference on Air Distribution in Ventilated Spaces. Stockholm, 1987.

- [32] *Displacement Ventilation in Non-industrial Premises*. Rehva Guidebook No. 1., editor: Hakon Skistad, Rehva Secretariat, Brussels, Belgium, ISBN 978-825942369, 2002.
- [33] R. Kosonen et al.: *Thermal plumes of kitchen appliances: Idle mode*. Energy and Buildings, Vol. 38, pp. 1130-1139. 2006.
- [34] P. Kofoed, P. V. Nielsen: *Thermal Plumes in Ventilated Rooms – Vertical Volume Flux Influenced by Enclosing Walls*. 12th AIVC-Conference, Ottawa, 1991. ISSN 0902 7513 R9155
- [35] A. Voeltzel et al.: *Thermal and ventilation modelling of large highly-glazed spaces*. Energy and Buildings, Vol. 33, pp. 121-132, 2001.
- [36] *Note 14: Heat Transfer Modeling*. Előadás diák a CFD on Buildings című DTU-n oktatott tárgyból. Jianhua Fan, Technical University of Denmark, 2012.10.
- [37] William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery: *Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press, 1992, Second Edition; ISBN 0-521-43108-5
- [38] K. Jisheng, L. Yitian, W. Xiuhua: *Efficient continuation Newton-like method for solving systems of non-linear equations*. Applied Mathematics and Computation, Vol. 174, pp. 846–853, 2006.
- [39] Csöppenszky Gábor, vezető tervező, Duoplan Kft. Adatok szóbeli közlés formájában, e-mailben és telefonon.
- [40] P. V. Nielsen: *Velocity distribution in a room with displacement ventilation and low-level diffusers*. IEA: Annex 20: Air Flow Pattern within Buildings, 1994.
- [41] Dr. Garbai László: *Hidraulikai számítások az épületgépészetben és az energetikában*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2007, ISBN 978 963 05 8516 3
- [42] *ASHRAE Handbook-Fundamentals*. ASHRAE, 1791 Tullie Circle, Atlanta, 2001.
- [43] *ASHRAE Handbook-Fundamentals*. ASHRAE, 1791 Tullie Circle, Atlanta, 2009.
- [44] Bánhidi László, Kajtár László: *Komfortelmélet*. Műegyetemi Kiadó; 2000.
- [45] Yosr Boukhris et al.: *Modeling coupled heat transfer and air flow in a partitioned building with a zonal model: Application to the winter thermal comfort*. Building Simulation, Vol. 2., pp. 67-74, 2009.
- [46] C. Chantrasrisalai, D.E. Fisher: *Lighting heat gain parameters: Experimental method*. HVAC&R Research, Vol. 13., pp. 283-303, 2007.
- [47] C. Chantrasrisalai, D.E. Fisher: *Lighting heat gain parameters: Experimental results*. HVAC&R Research, Vol. 13., pp. 305-324, 2007.
- [48] Bihari Péter: *Műszaki hőtan - Hőközlés - Feladatgyűjtemény és segédlet*, BME, elektronikusan terjesztett tananyag, 2010.
- [49] T. L. Bergman et al.: *Introduction to Heat Transfer*. John Wiley & Sons, Inc., Sixth edition, ISBN 13: 978-0470-50196-2, 2011.

-
- [50] Stevensné Száday Edit: *Az elárasztásos légvezetési rendszer alkalmazásának korlátai*. Magyar Épületgépészet, Vol. 51., 8. szám, 2002.
- [51] T. E. Jiru, F. Haghighat: *A new generation of zonal models*. ASHRAE Transactions, Vol. 112-2, pp. 163-174, 2006.

MELLÉKLETEK

A MELLÉKLET – HÁLÓZÓ MODUL KÓDJA

Sarokpontok felvitele

```
%Geometria keszites
clear,clc,close all
%Cellák száma adott irányban
Nx=12;
Ny=50;
Nz=23;
%Méretetek
ox=1;
oy=1;
oz=1;

N=Nx*Ny*Nz;
j=1;
i=1;
k=1;

l=1;
k=1;
while k<Nz+1
    j=1;
    while j<Ny+1
        i=1;
        while i<Nx+1
            S(l,1)=l;
            S(l,2)=i*ox;
            S(l,3)=j*oy;
            S(l,4)=k*oz;
            i=i+1;
            l=l+1;
        end
        j=j+1;
    end
    k=k+1;
end
save('Geometry_v01','S','Nx','Ny','Nz','N','ox','oy','oz')
```

Cellameretek szamitasa

```
clear,clc,close all
load('Geometry_v01.mat')
for l=1:N
    H=eye(6);
    q=1;
    while q<6
        z=1-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
        switch q
            case 1
                if and(z>0,z<(N+1))
                    S(l,7)=S(l,4)-S(z,4);
                else
                    S(l,7)=S(l,4);
                end
            case 2
                if and(z>0,z<(N+1))
                    S(l,7)=S(l,4)+S(z,4);
                else
                    S(l,7)=S(l,4);
                end
            case 3
                if and(z>0,z<(N+1))
                    S(l,7)=S(l,4)-S(z,4);
                else
                    S(l,7)=S(l,4);
                end
            case 4
                if and(z>0,z<(N+1))
                    S(l,7)=S(l,4)+S(z,4);
                else
                    S(l,7)=S(l,4);
                end
            case 5
                if and(z>0,z<(N+1))
                    S(l,7)=S(l,4)-S(z,4);
                else
                    S(l,7)=S(l,4);
                end
            case 6
                if and(z>0,z<(N+1))
                    S(l,7)=S(l,4)+S(z,4);
                else
                    S(l,7)=S(l,4);
                end
        end
        q=q+1;
    end
end
```

```

        end
    case 2
        if z<1
            S(1,6)=S(1,3);
        else
            if (S(1,4)-S(z,4))==0
                S(1,6)=S(1,3)-S(z,3);
            else
                S(1,6)=S(1,3);
            end
        end
    end
case 5
    if z<1
        S(1,5)=S(1,2);
    else
        if not((z/Nx==round(z/Nx)))
            S(1,5)=S(1,2)-S(z,2);
        else
            S(1,5)=S(1,2);
        end
    end
end
end
q=q+1;
end
end
save('Geometry_and_Sizes_v01','S','Nx','Ny','Nz','N','ox','oy','oz')

```

Cellak feluleteinek es terfogatanak szamitasa

```

clear,clc,close all
load('Geometry_and_Sizes_v01.mat')
for l=1:N
    S(1,8)=S(1,6)*S(1,7);
    S(1,9)=S(1,5)*S(1,7);
    S(1,10)=S(1,5)*S(1,6);
    S(1,11)=S(1,5)*S(1,6)*S(1,7);
    S(1,61)=(S(1,6)+S(1,7))*2;
    S(1,62)=(S(1,5)+S(1,7))*2;
    S(1,63)=(S(1,5)+S(1,6))*2;
    l=l+1;
end
save('Geometry_Sizes_Volume_Area_v01','S','Nx','Ny','Nz','N','ox','oy','oz')

```

Inaktiv cellak megadasa

```

clear,clc,close all
c = parcluster('local');
job1 = createJob(c);
ms.UseParallel = 'always';

load('Geometry_Sizes_Volume_Area_v01','S','Nx','Ny','Nz','N','ox','oy','oz')
for l=1:N
    if S(1,4)<5 %első "emelet"-----
        if S(1,3)<7

```

```

    S(1,12)=0;
else if and(S(1,3)<12,S(1,4)<3)
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,2)>9,and(S(1,3)>6,S(1,3)<10))
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,2)>10,and(S(1,3)>9,S(1,3)<12))
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,4)<2,and(S(1,3)>11,S(1,3)<24))
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,4)<2,and(and(S(1,3)>23,S(1,3)<30),S(1,2)>9))
    S(1,12)=0;
else if and(and(S(1,3)>37,S(1,3)<45),S(1,2)>11)
    S(1,12)=0;
else if and(and(S(1,3)>44,S(1,3)<48),S(1,2)>9)
    S(1,12)=0;
else if S(1,3)>47
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,2)>11,and(S(1,3)>11,S(1,3)<21))
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,3)>36,S(1,4)<2)
    S(1,12)=0;
else
    S(1,12)=1;
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
else
    if S(1,4)<9 %második "emelet"-----
        if S(1,3)<5
            S(1,12)=0;
        else if and(S(1,2)>9,and(S(1,3)>4,S(1,3)<7))
            S(1,12)=0;
        else if and(S(1,2)>9,and(and(S(1,3)>6,S(1,3)<10),S(1,4)<6))
            S(1,12)=0;
        else if and(S(1,2)>9,and(S(1,3)>6,S(1,3)<9))
            S(1,12)=0;
        else if and(S(1,2)>10,and(S(1,3)>8,S(1,3)<12))
            S(1,12)=0;
        else if and(S(1,2)>11,S(1,3)>43)
            S(1,12)=0;
        else if and(S(1,2)>10,S(1,3)>46)
            S(1,12)=0;
        else if and(S(1,2)>9,S(1,3)>48)
            S(1,12)=0;
        else if and(S(1,2)>8,S(1,3)>49)

```



```

else if and(S(1,2)>9,S(1,3)<9)
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,2)>10,S(1,3)<12)
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,4)<13,S(1,3)<4)
    S(1,12)=0;
else if and(S(1,4)<12,and(S(1,3)>3,S(1,3)<5))
    S(1,12)=0;
else if and(and(S(1,4)<12,S(1,4)>9),and(S(1,3)>4,S(1,3)<6))
    S(1,12)=0;
else if and(and(S(1,4)<11,S(1,4)>9),and(S(1,3)>5,S(1,3)<8))
    S(1,12)=0;
else
    S(1,12)=1;
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
else
if S(1,4)<25 %Negyedik "emelet"-----
    if and(S(1,2)>11,S(1,3)>43)
        S(1,12)=0;
    else if and(S(1,2)>10,S(1,3)>46)
        S(1,12)=0;
    else if and(S(1,2)>9,S(1,3)>48)
        S(1,12)=0;
    else if and(S(1,2)>8,S(1,3)>49)
        S(1,12)=0;
    else if and(S(1,2)>8,S(1,3)<5)
        S(1,12)=0;
    else if and(S(1,2)>9,S(1,3)<9)
        S(1,12)=0;
    else if and(S(1,2)>10,S(1,3)<12)
        S(1,12)=0;
    else
        S(1,12)=1;
    end
end
end
end
end
end
end
end
S(1,12)=0;
end

```

```

        end
    end
end
save('Geometry_Sizes_Volume_Area_Ia_v01','S','Nx','Ny','Nz','N','ox','oy','oz')
% Falak megadása-----
clear,c

```

Visualise mesh 1

```

%Ez a cella kirajzolja a hálót.
clear;close all;clc;
load('MeshCheck_v01')
h=figure('Name','Mesh on Walls','NumberTitle','off');
zlevmin=1;%(egyenlő a magassággal-1)
zlevmax=4;
xmax=Nx*ox+ox-0;
xmin=0-ox;
ymax=Ny*oy+oy;
ymin=0-oy+0;
for l=zlevmin:zlevmax
    for i=1:length(WallsX(1,:,l))
        if and(and(WallsX(:,i,l)>xmin,WallsX(:,i,l)<xmax),and(WallsY(:,i,l)>ymin,WallsY(:,i,l)<ymax))
            if WallsSR(1,i,l)==1
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'FaceAlpha',0.5,'EdgeColor',[1 1 1], 'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-', 'LineWidth',1.8,'Color','red');
                hold on
            else
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'EdgeColor',[1 1 1], 'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-', 'LineWidth',1.8,'Color','black');
                hold on
            end
        end
        colormap(gray(0))
    end
end
end

scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',[10 scrsz(4)*0+50 scrsz(3)/5*3 scrsz(4)/6*4])

set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters');
set(gcf, 'PaperSize', [12 18]);

grid off
box off

set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',1)
axis([xmin+ox xmax ymin ymax+oy 0 (zlevmax*oz+5*oz)])

```

```
set(gca,'XTick',xmin+ox:2*ox:xmax)
set(gca,'YTick',ymin+oy:5*oy:ymax)
set(gca,'ZTick',0:5*oz:(zlevmax*oz+2*oz))
set(gca,'FontSize',14);
axis on

daspect([1 1 1])
grid on
view (115+105,16)
%view (115+190,19)
%
%view (115+-55,17)
%set(gcf,'Position',[-650 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/7*3 scrsz(4)/6*3])
%view (270,90)
%print(h,'Mesh_Top_FSz_v01','-dpng','-r300')
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
%view (90,0)
```

Plot mesh

```
print(h,'Mesh_Iso_4_v01','-dpng','-r300')
%
view (115+30,17)
print(h,'Mesh_Iso_2_v01','-dpng','-r300')
view (115,17)
print(h,'Mesh_Iso_3_v01','-dpng','-r300')
```

plot 2D viewports

```
grid on
view (90,90)
print(h,'Mesh_Top_v01','-dpng','-r300')
view (90,0)
print(h,'Mesh_Front_v01','-dpng','-r300')
view (0,0)
print(h,'Mesh_Right_v01','-dpng','-r300')
%Mesh oszlopai
%1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
%Sorszam Xkoord Ykoord Zkoord lx ly lz Ax Ay Az V
%12 13 14 15 16 17 18
%ia wI wII wIII wIV wV wVI
```


B MELLÉKLET – ÁRAMLÁSI ELEMEL PEREMFELTÉTELEIT SZÁMÍTÓ MODUL KÓDJA

Légsugár típusa 2D

```
clear;clc;close all;
h=2; %m rés magassága
V0=10000; %m3/h a térfogatáram
b=18; %m rés szélessége
ar=max(h,b)/min(h,b); %a rés oldalaránya
freearearatio=0.75; %a rés szabad felületének az aránya
U0=V0/3600/h/b/freearearatio; %m/s
Ts=19;
Ti=24.5;
%Gázállandó
R=287.058;
%Homersekleti nullpont
T0=273.15;
AR=9.81*h*(Ts-Ti)/(273.15+Ti)/(U0^2);
Kv0=5; %vetési konstans
rho0=101325/R/(Ti+T0);
rho=101325/R/(Ts+T0);
Kv0=Kv0/sqrt(freearearatio)*rho/rho0;
%Geometria adatok
x0=0;
xe=9;
y0=47;
eta0=0.75*h;
ye=round(max(y0-(U0/0.2*Kv0)^2*h+eta0,37));
z0=1;
ze=5;
rl=1/eps;
%kszi=x0-x;
m=1;
eta=y0-46;
```

Developed profile check

```
syms zeta
clc;close all;
etadev=y0-43;
Um=U0*Kv0/sqrt((etadev+eta0)/h);
zeta_05=0.073*(etadev+eta0);
qvcheck1=double(round(int(Um*1.48*(zeta/zeta_05)^(1/7)*(1-erf(0.68*(zeta/zeta_05))),zeta,0,ze-z0)*b*rl)/rl);
qvcheck2=h*b*U0*freearearatio;
disp(['qv_profile= ',num2str(qvcheck1),' [m3/s]','; qv_supplied= ',num2str(qvcheck2),' [m3/s]'])
clear zeta
```

Developed profile calc

```
osztas=0.01;clf;close all;
i=1;
clear DevVelProf
for zeta=0:osztas:(ze-z0)
    DevVelProf(i,1)=x0;
    DevVelProf(i,2)=y0-etadev+1;
    DevVelProf(i,3)=zeta+z0;
    zeta_05=0.073*(etadev+eta0);
```

```

    Um=U0*Kv0/sqrt((etadev+eta0)/h);
    DevVelProf(i,4)=Um*1.48*(zeta/zeta_05)^(1/7)*(1-erf(0.68*(zeta/zeta_05)));
    i=i+1;
end
Fig1=figure('Name','Velocity Profiles','NumberTitle','off');
plotprof=plot(DevVelProf(:,4),DevVelProf(:,3));
hold on
set(plotprof,'Color',[255/255 0/255 0/255],'LineWidth',5,'MarkerSize',5);
xlabel('\fontsize{20} Velocity [m/s]','FontName','verdana');
ylabel('\fontsize{20} h [m]','FontName','verdana');
grid on
%inlet profile
i=1;
eta0=0;
clear VelProfIn

for zeta=0:osztas:(ze-z0)
    VelProfIn(i,1)=x0;
    VelProfIn(i,2)=y0-eta0;
    VelProfIn(i,3)=zeta+z0;
    if zeta<h+osztas
        VelProfIn(i,4)=U0;
    else
        VelProfIn(i,4)=0;
    end
    i=i+1;
end

clear VelProf
plotprof2=plot(VelProfIn(:,4),VelProfIn(:,3));
set(plotprof2,'Color',[255/255 0/255 0/255],'LineWidth',5,'MarkerSize',5);
for eta=1:(y0-ye)
    zeta_05=0.073*(eta+eta0);
    Um=U0*Kv0/sqrt((eta+eta0)/h);
    i=1;
    if eta<etadev
        for zeta=0:osztas:(ze-z0)
            VelProf(i,1,eta)=x0;
            VelProf(i,2,eta)=y0-eta;
            VelProf(i,3,eta)=zeta+z0;
            VelProf(i,4,eta)=(VelProfIn(i,4)*(etadev-eta)+DevVelProf(i,4)*(eta-eta0-1))/(etadev-eta0-1);
            i=i+1;
        end
        if not(eta==1)
            plot(VelProf(:,4,eta),VelProf(:,3,eta),'Color',[0 0 1],'LineWidth',3,'MarkerSize',5);
            hold on
        end
    else
        for zeta=0:osztas:(ze-z0)
            VelProf(i,1,eta)=x0;
            VelProf(i,2,eta)=y0-eta;
            VelProf(i,3,eta)=zeta+z0;
            VelProf(i,4,eta)=Um*1.48*(zeta/zeta_05)^(1/7)*(1-erf(0.68*(zeta/zeta_05)));
            i=i+1;
        end
        if not(eta==etadev)
            if eta==(y0-ye)
                plot(VelProf(:,4,eta),VelProf(:,3,eta),'Color',[70/255 120/255 10/255],'LineWidth',5,'MarkerSize',5);
                hold on
            end
        end
    end
end

```

```

else
    plot(VelProf(:,4,eta),VelProf(:,3,eta),'Color',[0 0 0],'LineWidth',3,'MarkerSize',5);
    hold on
end
end
end
end

set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',2)
set(gca,'FontName','Times');
set(gca,'FontSize',18);
print(Fig1,'Velocity_Profiles_StageJet_Mupa','-dpng','-r300')

```

Calculate the mass flows

```

clear MassFlow
for s=1:length(VelProf(1,1,:))
    ny0=1;
    for zeta=1:(ze-z0)
        z=zeta+z0;
        ny=find(VelProf(:,3,s)==z);
        MassFlow(zeta,1,s)=VelProf(ny,1,s);
        MassFlow(zeta,2,s)=VelProf(ny,2,s);
        MassFlow(zeta,3,s)=VelProf(ny,3,s);
        m=trapz(VelProf(ny0:ny,3,s),VelProf(ny0:ny,4,s))*rho;
        if m>10/3600*1.2
            if and(VelProf(ny,2,s)==y0-1,VelProf(ny,3,s)<(h+z0+1))
                MassFlow(zeta,4,s)=m*freearatio;
            else
                MassFlow(zeta,4,s)=m;
            end
        else
            MassFlow(zeta,4,s)=0;
        end
        ny0=ny;
    end
end
end
MassFlow(3,4,10)=0;

```

Calculate the entrained mass flows

```

close all;
for s=1:length(MassFlow(1,1,:))-1
    for z=1:length(MassFlow(:,1,s))
        if MassFlow(z,4,s+1)==MassFlow(z,4,s)
            MassFlow(z,5,s)=0;
            MassFlow(z,6,s)=0;
        else
            MassFlow(z,6,s)=sum(MassFlow(1:z,4,s+1))-sum(MassFlow(1:z,4,s));
            if z>1
                MassFlow(z,5,s)=-(sum(MassFlow(1:(z-1),4,s+1))-sum(MassFlow(1:(z-1),4,s)));
            else
                MassFlow(z,5,s)=0;
            end
        end
    end
end
end
end

```

```

for s=1:length(MassFlow(1,1,:))
    for z=1:length(MassFlow(:,1,s))
        if and(and(MassFlow(z,4,s)==0,MassFlow(z,5,s)==0),MassFlow(z,6,s)==0)
            MassFlow(z,4,s)=NaN;MassFlow(z,5,s)=NaN;MassFlow(z,6,s)=NaN;
        else
            if s==10
                MassFlow(z,5,s)=NaN;MassFlow(z,6,s)=NaN;
            end
        end
    end
end
end
end

```

Load data to S array

```

s=1;
i=1;
load Mesh_v01
S(:,46:51)=NaN;
for l=1:N
    if and(S(l,2)>min(x0,xs),S(l,2)<(max(x0,xs)+1))
        if and(S(l,4)>min(ze,z0),S(l,4)<max(ze,z0)+1)
            clear v
            v=find(and(S(l,3)==MassFlow(S(l,4)-z0,2,:),S(l,4)==MassFlow(S(l,4)-z0,3,:)));
            if not isempty(v)
                S(l,49)=MassFlow(S(l,4)-z0,4,v);
                if not(v==length(MassFlow(1,1,:)))
                    S(l,46)=MassFlow(S(l,4)-z0,5,v)*S(l,13);
                    S(l,51)=MassFlow(S(l,4)-z0,6,v)*S(l,18);
                    if isnan(MassFlow(S(l,4)-z0,5,v))
                        else
                            S(l,47)=0;
                            S(l,48)=0;
                            S(l,50)=0;
                        end
                    end
                end
            end
            if and(S(l,3)==y0,S(l,4)<(h+z0+1))
                S(l,58)=U0*rho*freearratio;
                S(l,46)=0;
                S(l,47)=-S(l,58);
                S(l,48)=0;
                S(l,49)=0;
                S(l,50)=0;
                S(l,51)=0;
                S(l,65)=T0+Ts;%Tsi
                S(l,66)=7/2*R;%cpsi
            end
        end
    end
end

end

clear PBC_S;
PBC_S=S(or(or(not(isnan(S(:,46))./(abs(S(:,13))+S(:,13))/2./S(:,12))),not(isnan(S(:,47))./(abs(S(:,14))+S(:,14))/2))),...
    or(or(not(isnan(S(:,48))./(abs(S(:,15))+S(:,15))/2),not(isnan(S(:,49))./(abs(S(:,16))+S(:,16))/2))),...
    or(not(isnan(S(:,50))./(abs(S(:,17))+S(:,17))/2),not(isnan(S(:,51))./(abs(S(:,18))+S(:,18))/2)))));
PBC_S=PBC_S(PBC_S(:,12)==1,:);
save('Mesh_Inicialised_With_Jets_v01','S','Nx','Ny','Nz','N','ox','oy','oz')

```

C MELLÉKLET – PEREMFELTÉTEL ÉS KEZDETI ÉRTÉK MEGADÓ MODUL KÓDJA

Inicializálás

```

pause
delete('Inicialised_Mesh_v01.mat')

clear;clc;close all;
CPUTALL=cputime;
%Inicializált Mesh oszlopai
%1      2      3      4      5 6 7 8 9 10 11
%Sorszám Xkoord Ykoord Zkoord lx ly lz Ax Ay Az V

%12 13 14 15 16 17 18
%ia wI wII wIII wIV wV wVI

%19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
%pi miI miII miIII miIV miV miVI Ti TwI TwII TwIII TwIV TwV TwVI

%33 34 35 36 37 38 39
%rhoi nui cpi Pr betai lambdai ai

%40 41 42 43 44 45
%alfaI alfaII alfaIII alfaIV alfaV alfaVI

%46 47 48 49 50 51
%miIbc miIIbc miIIIbc miIVbc miVbc miVIbc

%52 53 54 55 56 57
%epsilonI epsilonII epsilonIII epsilonIV epsilonV epsilonVI

%58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72
%msi [kg/s] mei [kg/s] Qi Kx Ky Kz Cd Tsi Cpsi Tsil TsilI TsilII TsilIII TsilIV TsilV TsilVI
if exist('Mesh_Inicialised_With_Jets_v01.mat')==2
    load('Mesh_Inicialised_With_Jets_v01')
else
    load('Mesh_v01')
end
load 'MupaZoneData'
load 'MupaExhaustZoneData'
load 'MupaLightingZoneData'

%Alapadatok megadás
%Környezeti nyomás [Pa]
p0=101325;
%Gázallando levegőre [J/kg/K]
R=287.058;
%Homersekleti nullpont
T0=273.15;
%feltételezett gradiens
TempGrad=0.33;
%Kulso homerseklet
To=25+T0;
%Átfolyási tényező
Cd0=0.83;
npres=0.5;
%Adatok felvitele
m=1;
H=eye(6);

```

```

Tb0=T0+19.45;
rho0=p0/R/(Tb0);
%
for l=1:N
    if S(l,12)==1;

        S(l,26)=Tb0;%+TempGrad*S(l,4); %Ti

        S(l,27)=To*(1-abs(S(l,13))); %Tw
        S(l,28)=To*(1-abs(S(l,14)));
        S(l,29)=To*(1-abs(S(l,15)));
        S(l,30)=To*(1-abs(S(l,16)));
        S(l,31)=To*(1-abs(S(l,17)));
        S(l,32)=To*(1-abs(S(l,18)));

        S(l,33)=rho0; %rho
        S(l,67)=p0/R/S(l,26);
        S(l,34)=184.6e-7*(300/S(l,26))^0.85; %nu
        S(l,35)=7/2*R; %cp
        S(l,36)=0.707*(300/S(l,26))^-0.1; %Pr
        S(l,37)=1/S(l,26); %beta
        S(l,38)=26.3e-3*(300/S(l,26))^0.9; %lambda
        S(l,39)=22.5e-6*(300/S(l,26))^1.89; %a

        S(l,40)=4; %alfa
        S(l,41)=4;
        S(l,42)=4;
        S(l,43)=4;
        S(l,44)=4;
        S(l,45)=4;

        q=1; %mijbc a térfogatáram peremfeltételek megadása-----
        -----
        wi(1,1)=6;wi(2,1)=4;wi(3,1)=5;wi(4,1)=2;wi(5,1)=3;wi(6,1)=1;

        if S(l,58)==0 %Befűjt légáram jellemzőinek és hőterheléseknek a megadása (kapcsolt esetek)-----
        -----
            Em=1; % Földszint-----
            -----

            if and(S(l,2)<10,and(and(S(l,3)>23,S(l,3)<37),S(l,4)==1)) %Zóna II.
                Zone=2;
                rhosi=1.2*(T0+19.5)/293.15;
                S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
                S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
                S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
                S(l,66)=7/2*R;%cpsi
            else if and(and(S(l,2)>9,S(l,2)<12),and(and(S(l,3)>23,S(l,3)<30),S(l,4)==2)) %Zóna III.
                Zone=3;
                S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
                S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
                S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
                S(l,66)=7/2*R;%cpsi
            else if and(S(l,2)<12,and(and(S(l,3)>13,S(l,3)<24),S(l,4)==2)) %Zóna IV.
                Zone=4;
                S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
                S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
                S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
                S(l,66)=7/2*R;%cpsi
                Zone=Zone+1;

```

```

else if and(S(l,2)<10,and(and(S(l,3)>6,S(l,3)<12),S(l,4)==3)) %Zóna V.
    Zone=5;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
end
end
end
Em=2; % 1es karzat-----

if and(S(l,2)<7,and(and(S(l,3)>49,S(l,3)<51),S(l,4)==7)) %Zóna I.
    Zone=1;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
    Zone=Zone+1;
else if and(S(l,2)<8,and(and(S(l,3)>48,S(l,3)<50),S(l,4)==6)) %Zóna II.
    Zone=2;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)<9,and(and(S(l,3)>47,S(l,3)<49),S(l,4)==5)) %Zóna III.
    Zone=3;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)==10,and(and(S(l,3)>43,S(l,3)<48),S(l,4)==5)) %Zóna IV.
    Zone=4;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)==11,and(and(S(l,3)>40,S(l,3)<44),S(l,4)==5)) %Zóna V.
    Zone=5;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)==12,and(and(S(l,3)>32,S(l,3)<41),S(l,4)==6)) %Zóna VI.
    Zone=6;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)==11,and(and(S(l,3)>23,S(l,3)<30),S(l,4)==6)) %Zóna VII.
    Zone=7;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)==12,and(and(S(l,3)>23,S(l,3)<26),S(l,4)==7)) %Zóna VIII.
    Zone=8;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]

```



```

else if and(S(l,2)==11,and(S(l,3)<46,S(l,3)>41))
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)==12,and(S(l,3)<42,S(l,3)>38))
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
end
end
end
end
else if and(S(l,2)==12,and(and(S(l,3)>32,S(l,3)<39),S(l,4)==10)) %Zóna II.
    Zone=2;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,3)>14,S(l,3)<30) %Zóna III.
    Zone=3;
    if and(and(S(l,2)==12,and(S(l,3)<30,S(l,3)>28)),S(l,4)==10)
        S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
        S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
        S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
        S(l,66)=7/2*R;%cpsi
    else if and(and(S(l,2)==11,and(S(l,3)<29,S(l,3)>22)),S(l,4)==10)
        S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
        S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
        S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
        S(l,66)=7/2*R;%cpsi
    else if and(and(S(l,2)==10,and(S(l,3)<23,S(l,3)>17)),S(l,4)==10)
        S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
        S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
        S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
        S(l,66)=7/2*R;%cpsi
    else if and(and(S(l,2)==10,and(S(l,3)<18,S(l,3)>14)),S(l,4)==10)
        S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
        S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
        S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
        S(l,66)=7/2*R;%cpsi
    end
end
end
end
else if and(S(l,2)<9,and(and(S(l,3)>5,S(l,3)<8),S(l,4)==11)) %Zóna IV.
    Zone=4;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)<8,and(and(S(l,3)>3,S(l,3)<6),S(l,4)==12)) %Zóna V.
    Zone=5;
    S(l,58)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,2,Em)*rhosi;%msi [kg/s]
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
    S(l,65)=T0+MupaZoneData(Zone,3,Em);%Tsi
    S(l,66)=7/2*R;%cpsi
else if and(S(l,2)<8,and(S(l,3)<4,S(l,4)==13)) %Zóna VI.

```



```

        end
    end
end
end

%Hőterhelések megadása-----
-----
Em=1; % Földszint-----
-----

if and(S(l,2)<12,and(and(S(l,3)>36,S(l,3)<45),S(l,4)==2))
    Zone=1;
    S(l,60)=S(l,10)*MupaZoneData(Zone,4,Em);%Qi [W]
end

for dz=1:length(MupaExhaustZoneData(:,1)) %Elszívott légáram jellemzőinek megadása -----
-----
    if and(and(and(S(l,2)>MupaExhaustZoneData(dz,3),S(l,2)<MupaExhaustZoneData(dz,6)+1),...
        and(S(l,3)>MupaExhaustZoneData(dz,4),S(l,3)<MupaExhaustZoneData(dz,7)+1)),...
        and(S(l,4)>MupaExhaustZoneData(dz,5),S(l,4)<MupaExhaustZoneData(dz,8)+1));
        S(l,59)=MupaExhaustZoneData(dz,2)*S(l,10);%mei [kg/s]
    end
end

for dz=1:length(MupaLightingZoneData(:,1)) %Világításból származó hőterhelés megadása -----
-----
    if and(and(and(S(l,2)>MupaLightingZoneData(dz,3),S(l,2)<MupaLightingZoneData(dz,6)+1),...
        and(S(l,3)>MupaLightingZoneData(dz,4),S(l,3)<MupaLightingZoneData(dz,7)+1)),...
        and(S(l,4)>MupaLightingZoneData(dz,5),S(l,4)<MupaLightingZoneData(dz,8)+1));
        S(l,60)=MupaLightingZoneData(dz,2)*S(l,10);%Qi [W]
    end
end

while q<7 %kölcsonös cellák közötti térfogatáramok megadása
    if or(isnan(S(l,45+q)),S(l,45+q)==0);
        z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
        if and(z>0,z<(N+1))
            if z<1
                switch q
                    case 2
                        if not((S(l,4)-S(z,4))==0)
                            %S(l,45+q)=NaN;
                        else
                            if S(z,12)==0
                                S(l,45+q)=NaN;
                            else
                                S(l,45+q)=S(z,45+wi(q,1))*-1;
                            end
                        end
                    case 3
                        if ((z-1)/Nx)==round((z-1)/Nx)
                            %S(l,45+q)=NaN;
                        else
                            if S(z,12)==0
                                S(l,45+q)=NaN;
                            else
                                S(l,45+q)=S(z,45+wi(q,1))*-1;
                            end
                        end
                    case 4

```

```

        if not((S(l,4)-S(z,4))==0)
            %S(l,45+q)=NaN;
        else
            if S(z,12)==0
                S(l,45+q)=NaN;
            else
                S(l,45+q)=S(z,45+wi(q,1))*-1;
            end
        end
    case 5
        if ((z)/Nx)==round((z)/Nx)
            %S(l,45+q)=NaN;
        else
            if S(z,12)==0
                S(l,45+q)=NaN;
            else
                S(l,45+q)=S(z,45+wi(q,1))*-1;
            end
        end
    otherwise
        if S(z,12)==0
            S(l,45+q)=NaN;
        else
            S(l,45+q)=S(z,45+wi(q,1))*-1;
        end
    end
    if not(S(l,12+q)==1)
        S(l,45+q)=NaN;
    end
end
end
end
q=q+1;
end

Al(1,1)=0;Al(2,1)=1;Al(3,1)=2;Al(4,1)=1;Al(5,1)=2;Al(6,1)=0;
q=1;
ql=1;
while q<7
    z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
    if and(z>0,z<(N+1))
        if z>1
            if isnan(S(l,45+q))
                S(l,19+q)=0;%(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*0.00000000000001*sign(0.5-rand(1))*rand(1);
            else
                S(l,19+q)=S(l,45+q); %mij
            end
            if not(S(l,19+q)==0)
                ql=q;
            end
        else
            if isnan(S(l,45+q))
                S(l,19+q)=S(z,19+wi(q,1));
            else
                S(l,19+q)=S(l,45+q); %mij
            end
        end
    end
    q=q+1;
end

```

```

    end
    %S(l,19+ql)=0;
    %S(l,19+ql)=-(sum(S(l,20:25))+S(l,58)+S(l,59));
    m=m+1;
end
end
S(S(:,12)==0,46:51)=0;
S(S(:,12)==0,58)=0;

%
clc;
PlaceOfExh=S(not(S(:,59)==0),1);

m=0;n=1;
for i=1:6
    M=S(and(not(S(:,58)==0),not(isnan(S(:,45+i))))),1);
    m=norm(M);
    if m>0
        PlaceOfSupBC(1:length(M),1,n)=M;
        n=n+1;
        m=0;
    end
end
end

if exist('POS')==0;
    if n>2
        for i=1:length(PlaceOfSupBC(1,:,:))
            PlaceOfSupBC(:,1,i)=sortrows(PlaceOfSupBC(:,1,i));
            if i==1;
                POS=PlaceOfSupBC(not(PlaceOfSupBC(:,1,i))==0,1,1);
            else
                n=1;
                POSN(n,1)=0;
                for j=1:length(PlaceOfSupBC(:,1,i))
                    q=find(PlaceOfSupBC(j,1,i)==POS(:,1));
                    if isempty(q)
                        POSN(n,1)=PlaceOfSupBC(j,1,i);
                        n=n+1;
                    end
                end
            end
            if length(POSN)>1
                POS(length(POS)+1:length(POS)+length(POSN),1)=POSN;
                clear POSN
            end
            POS=sortrows(POS);
        end
    end
    clear PlaceOfSupBC
    PlaceOfSupBC=POS(POS(:,1)>0,1);
end
end

PofSp20=S(PlaceOfSupBC(1,1),1);
S(PofSp20,19)=p0;

for l=1:N %Nyomások feltöltése-----
    if S(l,12)==1;
        S(l,19)=p0-rho0*9.81*(S(l,4)-S(PofSp20,4));%p0-rho0*(2-(Tb0+TempGrad*(S(l,4)+S(PofSp20,4))/2)/Tb0)*9.81*(S(l,4)-

```

```

S(PofSp20,4));
end
end

for i=1:length(PlaceOfSupBC(:,1,1))
    S(PlaceOfSupBC(i,1,1),19)=p0-p0/S(PofSp20,65)/R*9.81*(S(PlaceOfSupBC(i,1,1),4)-S(PofSp20,4));
    for q=1:6
        z=S(PlaceOfSupBC(i,1,1),1)-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
        if and(isnan(S(PlaceOfSupBC(i,1,1),45+q)),S(PlaceOfSupBC(i,1,1),12+q)==1)
            S(PlaceOfSupBC(i,1,1),45+q)=0;
            S(z,45+wi(q,1))=0;
        end
    end
end
end

for i=1:length(PlaceOfExh)
    S(PlaceOfExh(i),19)=p0-rho0*9.81*(S(PlaceOfExh(i),4)-S(PofSp20,4));
end

for l=1:N %epsilonj
    if S(l,12)==1;
        z=0;
        q=1;
        while q<7
            z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
            if and(z>0,z<(N+1))
                if not(S(l,4)==S(z,4))
                    dp=S(l,19)-S(z,19)+sign(S(l,4)-S(z,4))*9.81/2*(S(l,33)*S(l,7)+S(z,33)*S(z,7));
                else
                    dp=S(l,19)-S(z,19);
                end
                S(l,51+q)=-dp/abs(dp)*(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2; %epsilonj
            else
                S(l,51+q)=0; %epsilonj
            end
            if isnan(S(l,51+q))
                S(l,51+q)=0;
            end
            q=q+1;
        end
    end
end
end

save('Inicialised_Mesh_v01','S','Nx','Ny','Nz','ox','oy','oz','N','p0','R','T0','To','Cd0')
CPUTime=cputime-CPUTALL

clear;clc;close all;
load Inicialised_Mesh_v01
m=1;
n=1;
s=1;
for l=1:N %Térfogatáram peremfeltételek adatainak felvitele kirajzoláshoz (csak irányfüggő térfogatáramok)
    if l>1;
        if ((l-1)/(Nx*Ny))==round((l-1)/(Nx*Ny));
            n=n+1;
            m=1;
            s=1;
        end
    end
end
if S(l,12)==1;

```

```

% if sum(not(isnan(S(l,46:51))))<sum(S(l,13:18))==1)
q=1;
while q<7
    if not(isnan(S(l,45+q)))
        switch q
            case 1
                m=1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                m=m+1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                m=m+1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                m=m+1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                m=m+1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                s=s+1;
            case 2
                m=1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                m=m+1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                m=m+1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                m=m+1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                m=m+1;
                AirfX(m,s,n)=S(l,2);
                AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
                AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
                AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
                s=s+1;

```

```

case 3
  m=1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  m=m+1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  m=m+1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  m=m+1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  m=m+1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  s=s+1;

```

```

case 4
  m=1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  m=m+1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  m=m+1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  m=m+1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  m=m+1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
  AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
  s=s+1;

```

```

case 5
  m=1;
  AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
  AirfY(m,s,n)=S(l,3);
  AirfZ(m,s,n)=S(l,4);

```

```

    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    m=m+1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    m=m+1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    m=m+1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    m=m+1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    s=s+1;
case 6
    m=1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    m=m+1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    m=m+1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    m=m+1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    m=m+1;
    AirfX(m,s,n)=S(l,2);
    AirfY(m,s,n)=S(l,3);
    AirfZ(m,s,n)=S(l,4);
    AirfVal(m,s,n)=S(l,45+q);
    s=s+1;
end
if s>1
    m=1;
    AirfMX(m,m,s-1,n)=AirfX(m,s-1,n);
    AirfMY(m,m,s-1,n)=AirfY(m,s-1,n);
    AirfMZ(m,m,s-1,n)=AirfZ(m,s-1,n);
    AirfMVal(m,m,s-1,n)=AirfVal(m,s-1,n);
    m=m+1;
    AirfMX(m-1,m,s-1,n)=AirfX(m,s-1,n);
    AirfMY(m-1,m,s-1,n)=AirfY(m,s-1,n);

```

```

        AirfMZ(m-1,m,s-1,n)=AirfZ(m,s-1,n);
        AirfMVal(m-1,m,s-1,n)=AirfVal(m,s-1,n);
        m=m+1;
        AirfMX(m-1,m-2,s-1,n)=AirfX(m,s-1,n);
        AirfMY(m-1,m-2,s-1,n)=AirfY(m,s-1,n);
        AirfMZ(m-1,m-2,s-1,n)=AirfZ(m,s-1,n);
        AirfMVal(m-1,m-2,s-1,n)=AirfVal(m,s-1,n);
        m=m+1;
        AirfMX(m-2,m-2,s-1,n)=AirfX(m,s-1,n);
        AirfMY(m-2,m-2,s-1,n)=AirfY(m,s-1,n);
        AirfMZ(m-2,m-2,s-1,n)=AirfZ(m,s-1,n);
        AirfMVal(m-2,m-2,s-1,n)=AirfVal(m,s-1,n);
        m=m+1;
        AirfMX(m-2,m-3,s-1,n)=AirfX(m,s-1,n);
        AirfMY(m-2,m-3,s-1,n)=AirfY(m,s-1,n);
        AirfMZ(m-2,m-3,s-1,n)=AirfZ(m,s-1,n);
        AirfMVal(m-2,m-3,s-1,n)=AirfVal(m,s-1,n);
        m=1;
        AirfMX(m+2,m,s-1,n)=AirfX(m+1,s-1,n);
        AirfMY(m+2,m,s-1,n)=AirfY(m+1,s-1,n);
        AirfMZ(m+2,m,s-1,n)=AirfZ(m+1,s-1,n);
        AirfMVal(m+2,m,s-1,n)=AirfVal(m+1,s-1,n);
    end
end
q=q+1;
end
%end
end
end

m=1;
n=1;
s=1;
for l=1:N %Térfogatáram peremfeltételek adatainak felvitele kirajzolásához (csak irányfüggetlen térfogatáramok)
    if l>1;
        if ((l-1)/(Nx*Ny))==round((l-1)/(Nx*Ny));
            n=n+1;
            m=1;
            s=1;
        end
    end
    if S(l,12)==1;
        %Befúvás/elszívás vizualizálásához
        m=1;
        FlowLoadX(m,s,n)=S(l,2);
        FlowLoadY(m,s,n)=S(l,3);
        FlowLoadZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
        AirfESVal(m,s,n)=S(l,58)+S(l,59);
        AirfESTVal(m,s,n)=S(l,65);
        HeatSVal(m,s,n)=S(l,60);
        m=m+1;
        FlowLoadX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
        FlowLoadY(m,s,n)=S(l,3);
        FlowLoadZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
        AirfESVal(m,s,n)=S(l,58)+S(l,59);
        AirfESTVal(m,s,n)=S(l,65);
        HeatSVal(m,s,n)=S(l,60);
        m=m+1;
        FlowLoadX(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);

```

```

FlowLoadY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
FlowLoadZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
AirfESVal(m,s,n)=S(l,58)+S(l,59);
AirfESTVal(m,s,n)=S(l,65);
HeatSVal(m,s,n)=S(l,60);
m=m+1;
FlowLoadX(m,s,n)=S(l,2);
FlowLoadY(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
FlowLoadZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
AirfESVal(m,s,n)=S(l,58)+S(l,59);
AirfESTVal(m,s,n)=S(l,65);
HeatSVal(m,s,n)=S(l,60);
m=m+1;
FlowLoadX(m,s,n)=S(l,2);
FlowLoadY(m,s,n)=S(l,3);
FlowLoadZ(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
AirfESVal(m,s,n)=S(l,58)+S(l,59);
AirfESTVal(m,s,n)=S(l,65);
HeatSVal(m,s,n)=S(l,60);

s=s+1;
m=1;
FlowLoadMX(m,m,s-1,n)=FlowLoadX(m,s-1,n);
FlowLoadMY(m,m,s-1,n)=FlowLoadY(m,s-1,n);
FlowLoadMZ(m,m,s-1,n)=FlowLoadZ(m,s-1,n);
AirfESMVal(m,m,s-1,n)=AirfESVal(m,s-1,n);
AirfESTMVal(m,m,s-1,n)=AirfESTVal(m,s-1,n);
HeatSMVal(m,m,s-1,n)=HeatSVal(m,s-1,n);
m=m+1;
FlowLoadMX(m-1,m,s-1,n)=FlowLoadX(m,s-1,n);
FlowLoadMY(m-1,m,s-1,n)=FlowLoadY(m,s-1,n);
FlowLoadMZ(m-1,m,s-1,n)=FlowLoadZ(m,s-1,n);
AirfESMVal(m-1,m,s-1,n)=AirfESVal(m,s-1,n);
AirfESTMVal(m-1,m,s-1,n)=AirfESTVal(m,s-1,n);
HeatSMVal(m-1,m,s-1,n)=HeatSVal(m,s-1,n);
m=m+1;
FlowLoadMX(m-1,m-2,s-1,n)=FlowLoadX(m,s-1,n);
FlowLoadMY(m-1,m-2,s-1,n)=FlowLoadY(m,s-1,n);
FlowLoadMZ(m-1,m-2,s-1,n)=FlowLoadZ(m,s-1,n);
AirfESMVal(m-1,m-2,s-1,n)=AirfESVal(m,s-1,n);
AirfESTMVal(m-1,m-2,s-1,n)=AirfESTVal(m,s-1,n);
HeatSMVal(m-1,m-2,s-1,n)=HeatSVal(m,s-1,n);
m=m+1;
FlowLoadMX(m-2,m-2,s-1,n)=FlowLoadX(m,s-1,n);
FlowLoadMY(m-2,m-2,s-1,n)=FlowLoadY(m,s-1,n);
FlowLoadMZ(m-2,m-2,s-1,n)=FlowLoadZ(m,s-1,n);
AirfESMVal(m-2,m-2,s-1,n)=AirfESVal(m,s-1,n);
AirfESTMVal(m-2,m-2,s-1,n)=AirfESTVal(m,s-1,n);
HeatSMVal(m-2,m-2,s-1,n)=HeatSVal(m,s-1,n);
m=m+1;
FlowLoadMX(m-2,m-3,s-1,n)=FlowLoadX(m,s-1,n);
FlowLoadMY(m-2,m-3,s-1,n)=FlowLoadY(m,s-1,n);
FlowLoadMZ(m-2,m-3,s-1,n)=FlowLoadZ(m,s-1,n);
AirfESMVal(m-2,m-3,s-1,n)=AirfESVal(m,s-1,n);
AirfESTMVal(m-2,m-3,s-1,n)=AirfESTVal(m,s-1,n);
HeatSMVal(m-2,m-3,s-1,n)=HeatSVal(m,s-1,n);
m=1;
FlowLoadMX(m+2,m,s-1,n)=FlowLoadX(m+1,s-1,n);
FlowLoadMY(m+2,m,s-1,n)=FlowLoadY(m+1,s-1,n);

```

```

FlowLoadMZ(m+2,m,s-1,n)=FlowLoadZ(m+1,s-1,n);
AirfESMVal(m+2,m,s-1,n)=AirfESVal(m+1,s-1,n);
AirfESTMVal(m+2,m,s-1,n)=AirfESTVal(m+1,s-1,n);
HeatSMVal(m+2,m,s-1,n)=HeatSVal(m+1,s-1,n);
end
end
delete('FlowLoadCheck_v01.mat')
save('FlowLoadCheck_v01')
zs=2;
%switch zs

```

Terfogataram peremfeltetelek kirajzolasa

```

%case 1
clear;close all;clc;
load('FlowLoadCheck_v01')
load('MeshCheck_v01')
negnot=input('Plot Case: -1-Outflows, 1-Inflows: ');
zlevmin=input(['Start height of the plotted cells (min=',num2str(min(S(:,4))),','; max=',num2str(max(S(:,4))),','; ']);%(egyenlő
a magassággal-1)
zlevmax=input(['End height of the plotted cells (min=',num2str(min(S(:,4))),','; max=',num2str(max(S(:,4))),','; ']);
switch negnot
case 1
h=figure('Name','Flow boundary conditions - Inflows','NumberTitle','off');
maxcb=0;
mincb=30;
case -1
h=figure('Name','Flow boundary conditions - Outflows','NumberTitle','off');
maxcb=0;
mincb=1;
end

zlevmax=min(length(AirfX(1,1,:)),zlevmax);
zlevmaxmesh=zlevmax-2;
zlevmaxmesh=max(zlevmaxmesh,1);
xmax=Nx*ox+ox-0;
xmin=0-ox;
ymax=Ny*oy+5*oy-0;
ymin=20;%0-oy+0;

for l=zlevmin:zlevmax
parfor i=1:length(AirfX(1,:))
if and(and(AirfX(:,i,l)>xmin,AirfX(:,i,l)<xmax),and(and(AirfY(:,i,l)>ymin,AirfY(:,i,l)<ymax),(AirfVal(:,i,l)/negnot)>=0))
plot3(AirfX(:,i,l),AirfY(:,i,l),AirfZ(:,i,l),...
','LineWidth',1.8,'Color','black');
hold on
surf(AirfMX(:,i,l),AirfMY(:,i,l),AirfMZ(:,i,l),AirfMVal(:,i,l))
shading faceted
hold on
mincb1=min(AirfVal(:,i,l));
if not(mincb1==0)
mincb=min(mincb,mincb1);
end
maxcb=max(maxcb,max(AirfVal(:,i,l)));
end
end
end
if mincb>maxcb

```

```

mincb=maxcb*0.5;
end

scaling=0.05;
mincb=floor(mincb/scaling)*scaling;
maxcb=ceil(maxcb/scaling)*scaling;
for l=zlevmin:zlevmaxmesh
    parfor i=1:length(WallsX(1,:))
        if and(and(WallsX(:,i,l)>xmin,WallsX(:,i,l)<xmax),and(WallsY(:,i,l)>ymin,WallsY(:,i,l)<ymax))
            if WallsSR(1,i,l)==-1
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'FaceAlpha',0.5,'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-','LineWidth',1.8,'Color','red');
                hold on
            else
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-','LineWidth',1.8,'Color','black');
                hold on
            end
        end
    end
end
end

caxis([mincb maxcb])
% Visualise mesh 2
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',[10 scrsz(4)*0+50 scrsz(3)/5*3 scrsz(4)/6*4])
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])

grid off
box off

axis([xmin-ox xmax+ox ymin ymax zlevmin-2*oz (zlevmax*oz+5*oz)])
set(gca,'XTick',xmin+ox:2*ox:xmax)
set(gca,'YTick',floor((ymin+oy)/5)*5:5*oy:ceil((ymax)/5)*5)
set(gca,'ZTick',floor((zlevmin)/2)*2:1*oz:ceil((zlevmax)/2)*2)
xlabel('\fontsize{22}x [m]','FontName','Times');
ylabel('\fontsize{22}y [m]','FontName','Times');
zlabel('\fontsize{22}z [m]','FontName','Times');

set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',1)
set(gca,'FontName','Times');
set(gca,'FontSize',16);
daspect([1 1 1])
grid on
box on
axis on

set(gcf,'PaperUnits','centimeters');
set(gcf,'PaperSize',[12 18]);

colormap(jet(200))
c1=colorbar('location','EastOutside');
set(c1,'position',[0.92 0.4 0.023 0.5]);
set(c1,'FontName','Times');
set(c1,'FontSize',16);

```

```

view (115+190,15)
switch negnot
    case 1
        print(h,['Flow_boundary_conditions_zmin_',num2str(zlevmin),'_zmax_',...
            num2str(zlevmax),'_Inflows'],'-dpng','-r300');
    case -1
        print(h,['Flow_boundary_conditions_zmin_',num2str(zlevmin),'_zmax_',...
            num2str(zlevmax),'_Outflows'],'-dpng','-r300');

end
%pause
%view (115+190,19)
%set(gcf,'Position',[- 650 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/7*3 scrsz(4)/6*3])
%view (0,90)
%set(gcf,'Position',[- 350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
%view (90,0)

```

Befujt es elszivott terfogataratok vizualizalasa

```

%case 2
clear;close all;clc;
load('FlowLoadCheck_v01')
load('MeshCheck_v01')

zlevmin=input(['Start height of the plotted cells (min=',num2str(min(S(:,4))),','; max=',num2str(max(S(:,4))),','; ']);%(egyenlő
a magassággal-1)
zlevmax=input(['End height of the plotted cells (min=',num2str(min(S(:,4))),','; max=',num2str(max(S(:,4))),','; ']);

h=figure('Name','Supply and exhaust flow rates','NumberTitle','off');
zlevmax=min(length(FlowLoadX(1,1,:)),zlevmax);
zlevmaxmesh=zlevmax-2;
xmax=Nx*ox+ox;
xmin=0-ox;
ymax=Ny*oy+5*oy-0;
ymin=5-oy-1;
maxcb=0;
mincb=1;

for l=zlevmin:zlevmax
    for i=1:length(FlowLoadX(1,:,l))
        if
and(and(FlowLoadX(:,i,l)>xmin,FlowLoadX(:,i,l)<xmax),and(and(FlowLoadY(:,i,l)>ymin,FlowLoadY(:,i,l)<ymax),not(Airf
ESVal(:,i,l)==0)))
            plot3(FlowLoadX(:,i,l),FlowLoadY(:,i,l),FlowLoadZ(:,i,l),...
                ','LineWidth',1.8,'Color','black');
            hold on
            surf(FlowLoadMX(:,i,l),FlowLoadMY(:,i,l),FlowLoadMZ(:,i,l),AirfESMVal(:,i,l),'EdgeColor',[255/255 255/255
255/255])
            shading faceted
            hold on
            mincb1=min(AirfESVal(:,i,l));
            if not(mincb1==0)
                mincb=min(mincb,mincb1);
            end
            maxcb=max(maxcb,max(AirfESVal(:,i,l)));
        end
    end
end
end
if mincb>maxcb

```

```

mincb=maxcb*0.5;
end
scaling=0.1;
mincb=floor(mincb/scaling)*scaling;
maxcb=ceil(maxcb/scaling)*scaling;
for l=zlevmin:zlevmaxmesh
    parfor i=1:length(WallsX(1,:))
        if and(and(WallsX(:,i,l)>xmin,WallsX(:,i,l)<xmax),and(WallsY(:,i,l)>ymin,WallsY(:,i,l)<ymax))
            if WallsSR(1,i,l)==-1
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'FaceAlpha',0.5,'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-','LineWidth',1.8,'Color','red');
                hold on
            else
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-','LineWidth',1.8,'Color','black');
                hold on
            end
        end
    end
end
end
colormap(jet(200))
caxis([mincb maxcb])
% Visualise mesh 2
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',[10 scrsz(4)*0+50 scrsz(3)/5*3 scrsz(4)/6*4])
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])

grid off
box off

axis([floor((xmin+ox)/2)*2 ceil((xmax)/2)*2 floor((ymin+oy)/5)*5 ceil((ymax)/5)*...
    5 floor((zlevmin)/2)*2 ceil((zlevmax)/2)*2])
set(gca,'XTick',floor((xmin+ox)/2)*2:2*ox:ceil((xmax)/2)*2)
set(gca,'YTick',floor((ymin+oy)/5)*5:5*oy:ceil((ymax)/5)*5)
set(gca,'ZTick',floor((zlevmin)/2)*2:1*oz:ceil((zlevmax)/2)*2)
xlabel('\fontsize{20}x [m]','FontName','Times');
ylabel('\fontsize{20}y [m]','FontName','Times');
zlabel('\fontsize{20}z [m]','FontName','Times');

set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',1)
set(gca,'FontName','Times');
set(gca,'FontSize',16);
daspect([0.75 1 0.75])
grid on
axis on

set(gcf,'PaperUnits','centimeters');
set(gcf,'PaperSize',[12 18]);

colormap(jet(200))
c1=colorbar('location','EastOutside');
set(c1,'position',[0.92 0.4 0.023 0.5]);
set(c1,'FontName','Times');
set(c1,'FontSize',16);

view (115+190,25)

```

```
%set(gcf,'Position',[-650 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/7*3 scrsz(4)/6*3])
%view (270,90)
print(h,['Airf_BCs_SE_Mupa_zmin_',num2str(zlevmin),'_zmax_',...
    num2str(zlevmax)],'-dpng','-r300')
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
%view (90,0)
```

Hoforrasok vizualizalasa

```
%case 3
clear;close all;clc;
load('FlowLoadCheck_v01')
load('MeshCheck_v01')
zlevmin=input(['Start height of the plotted cells (min=',num2str(min(S(:,4))),','; max=',num2str(max(S(:,4))),'):' ]);%(egyenlő
a magassággal-1)
zlevmax=input(['End height of the plotted cells (min=',num2str(min(S(:,4))),','; max=',num2str(max(S(:,4))),'):' ]);

h=figure('Name','Heat Sources','NumberTitle','off');

zlevmax=min(length(FlowLoadX(1,1,:)),zlevmax);
zlevminmesh=max(1,zlevmin-2);
zlevmaxmesh=zlevmin+1;
xmax=Nx*ox+ox;
xmin=0-ox;
ymax=Ny*oy+oy-0;
ymin=1-oy-1;
maxcb=0;
mincb=700;

for l=zlevmin:zlevmax
    for i=1:length(FlowLoadX(1,:,l))
        if
and(and(FlowLoadX(:,i,l)>xmin,FlowLoadX(:,i,l)<xmax),and(and(FlowLoadY(:,i,l)>ymin,FlowLoadY(:,i,l)<ymax),not(HeatSVal(:,i,l)==0)))
            plot3(FlowLoadX(:,i,l),FlowLoadY(:,i,l),FlowLoadZ(:,i,l),...
                '-','LineWidth',1.8,'Color','black');
            hold on
            surf(FlowLoadMX(:,i,l),FlowLoadMY(:,i,l),FlowLoadMZ(:,i,l),HeatSMVal(:,i,l),'EdgeColor',[255/255 255/255
255/255])
            shading faceted
            hold on
            mincb1=min(HeatSVal(:,i,l));
            if not(mincb1==0)
                mincb=min(mincb,mincb1);
            end
            maxcb=max(maxcb,max(HeatSVal(:,i,l)));
        end
    end
end
if mincb>maxcb
    mincb=maxcb*0.5;
end
scaling=100;
mincb=floor(mincb/scaling)*scaling;
maxcb=ceil(maxcb/scaling)*scaling;
for l=zlevminmesh:zlevmaxmesh
    for i=1:length(WallsX(1,:,l))
        if and(and(WallsX(:,i,l)>xmin,WallsX(:,i,l)<xmax),and(WallsY(:,i,l)>ymin,WallsY(:,i,l)<ymax))
```

```

if WallsSR(1,i,l)==-1
    mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'FaceAlpha',0.5,'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
    plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
        '-','LineWidth',1.8,'Color','red');
    hold on
else
    mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
    plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
        '-','LineWidth',1.8,'Color','black');
    hold on
end
end
end
end
colormap(jet(200))
caxis([mincb maxcb])
% Visualise mesh 2
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',[10 scrsz(4)*0+50 scrsz(3)/5*3 scrsz(4)/6*4])
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])

grid off
box off

axis([floor((xmin+ox)/2)*2 ceil((xmax)/2)*2 floor((ymin+oy)/5)*5 ceil((ymax)/5)*...
    5 floor((zlevminmesh)/2)*2 ceil((zlevmax)/2)*2])
set(gca,'XTick',floor((xmin+ox)/2)*2:2*ox:ceil((xmax)/2)*2)
set(gca,'YTick',floor((ymin+oy)/5)*5:5*oy:ceil((ymax)/5)*5)
set(gca,'ZTick',floor((zlevminmesh)/2)*2:2*oz:ceil((zlevmax)/2)*2)
xlabel('\fontsize{20}x [m]','FontName','Times');
ylabel('\fontsize{20}y [m]','FontName','Times');
zlabel('\fontsize{20}z [m]','FontName','Times');

set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',1)
set(gca,'FontName','Times');
set(gca,'FontSize',16);
daspect([0.75 1 0.75])
grid on
axis on

set(gcf,'PaperUnits','centimeters');
set(gcf,'PaperSize',[12 18]);

colormap(jet(200))
c1=colorbar('location','EastOutside');
set(c1,'position',[0.93 0.375 0.02 0.6]);
set(c1,'FontName','Times');
set(c1,'FontSize',16);
view(300,35)
%set(gcf,'Position',[-650 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/7*3 scrsz(4)/6*3])
%view (270,90)
print(h,'HeatLoad_BCs_Mupa_v01','-dpng','-r300')
%view (270,90)
%print(h,'Airf_BCs_SE_v01','-dpng','-r300')
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
%view (90,0)
%end

```

```

clear;close all;clc;
load('FlowLoadCheck_v01')
h=figure('Name','Supply and exhaust flow rates','NumberTitle','off');
zlevmin=1;%(egyenlő a magassággal-1)
zlevmax=23;
zlevmax=min(length(FlowLoadX(1,1,:)),zlevmax);
xmax=Nx*ox+ox-1;
xmin=0-ox;
ymax=Ny*oy+oy;
ymin=1-oy+0;
for l=zlevmin:zlevmax
    for i=1:length(FlowLoadX(1,:,l))
        if
and(and(FlowLoadX(:,i,l)>xmin,FlowLoadX(:,i,l)<xmax),and(and(FlowLoadY(:,i,l)>ymin,FlowLoadY(:,i,l)<ymax),not(AirfESTVal(:,i,l)==0)))
            plot3(FlowLoadX(:,i,l),FlowLoadY(:,i,l),FlowLoadZ(:,i,l),...
                '-','LineWidth',1.8,'Color','black');
            hold on
            surf(FlowLoadMX(:,i,l),FlowLoadMY(:,i,l),FlowLoadMZ(:,i,l),AirfESTMVal(:,i,l))
            shading faceted
            colormap(jet(10))
        end
    end
end
% Visualise mesh 2
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',[10 scrsz(4)*0+50 scrsz(3)/5*3 scrsz(4)/6*4])
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
grid off
box off
axis([xmin-ox xmax+ox ymin ymax zlevmin-2*oz (zlevmax*oz+5*oz)])
set(gca,'XTick',xmin+ox:2*ox:xmax)
set(gca,'YTick',ymin+oy:5*oy:ymax)
set(gca,'ZTick',(zlevmin-1*oz):1*oz:(zlevmax*oz+2*oz))
xlabel('\fontsize{26}x [m]','FontName','Times');
ylabel('\fontsize{26}y [m]','FontName','Times');
zlabel('\fontsize{26}z [m]','FontName','Times');
set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',1)
set(gca,'FontName','Times');
set(gca,'FontSize',22);
daspect([1 1 1])
grid on
axis on
set(gcf,'PaperUnits','centimeters');
set(gcf,'PaperSize',[12 18]);
c1=colorbar('location','EastOutside');
set(c1,'position',[0.93 0.35 0.023 0.6]);
set(c1,'FontName','Times');
set(c1,'FontSize',22);

view (115+190,15)
%set(gcf,'Position',[-650 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/7*3 scrsz(4)/6*3])
%view (0,90)
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
%view (90,0)

```

D MELLÉKLET – SOLVER MODUL KÓDJA

Solver

```
clear;clc;close all;
Case=4;
switch Case
    case 4
        %load('F:\Laca_Cuccok\Gepesz\00AA_Diplomamunka\03AA_Szamitasok\Zonal_Modelling\Matlab\Inicialised_Mesh_v01');
        load('Inicialised_Mesh_v01');
        if
            exist('F:\Laca_Cuccok\Gepesz\00AA_Diplomamunka\03AA_Szamitasok\Zonal_Modelling\Matlab\Mupa_Zp.mat')==2
                load('F:\Laca_Cuccok\Gepesz\00AA_Diplomamunka\03AA_Szamitasok\Zonal_Modelling\Matlab\Mupa_Zp');
                ZT=Zp;
            end
        case 3
            load('F:\Laca_Cuccok\Gepesz\00AA_Diplomamunka\03AA_Szamitasok\Zonal_Modelling\Matlab\Case_3\Inicialised_Mesh_v01.mat');

            load('F:\Laca_Cuccok\Gepesz\00AA_Diplomamunka\03AA_Szamitasok\Zonal_Modelling\Matlab\Case_3\Case_3_Zp');
            end
            ItStep=1;
            ItStep1=1;
            EnergyStep=0;
            clear JetZeroOther

            %matlabpool('close')
```

Iteration

```
close all;clc;
%profile on;
%c = parcluster('local');
%job1 = createJob(c);
%ms.UseParallel = 'always';
NumofIt=1; %Iteraciok szama
PlotStep=1;
CalcPlotStart=1;

CalcData(1,1)=1;
lc=length(CalcData(:,1));
CalcData(lc+NumofIt,7)=0;
%Relaxációs faktorok
underrelpres=1;
underreltemp=0.1;
underrelrho=1;
%Nyomásegyenlet opciói-----
npres0=0.5; %kitevője
npres=npres0;
turnonlamcase=0; %lamináris eset kikapcsolva =0; bekapcsolva =1

NR_withBackTrackOn=0; %kikapcsolva =0; bekapcsolva =1 Newton-Raphson with Backtracking -
%A többi használatához ezt ki kell kapcsolni
MaxBackTrack=2; %BackTrackelés maximális száma
```

```

solverp1=1; %kikapcsolva =0 - megoldas adaptiv lambdával; bekapcsolva =1 megoldas "Ostrowski" módszerrel
lambda0p=1;
pressure_correction_on=0; %kikapcsolva =0; bekapcsolva =1 A nyomásokat korrigáló algoritmus bekapcsolása

JacobiUpdatePres=1; % ennyi iterációnként számolja újra a Jacobi-mátrixot
PrecondPresJacobi=0; % ilu preconditioner használata a Jacobi-mátrix kondicionálásához

PressureTreshold=1e-6;
CdPT=Cd0*sqrt(PressureTreshold)/PressureTreshold;
Cd=Cd0;

LMModFact=10;
lambdaLM0=0.001;

%Energia egyenlet opciói-----
TurnOnEnergyEq=0; %kikapcsolva =0; bekapcsolva =1
solverT1=1; %kikapcsolva =0; bekapcsolva =1
lambda0T=0;

%Anyagjellemzőkkel kapcsolatos opciók-----
turn_on_dens_changes=0; %a sűrűség változását bekapcsolja; kikapcsolva =0; bekapcsolva =1
%Szamitas allando sűrűséggel
constantdens=1; %kikapcsolva =0; bekapcsolva =1
%boussinesq modell bekapcsolasa
boussinesq=0; %kikapcsolva =0; bekapcsolva =1
Tb0=T0+22;
rho0=p0/R/(Tb0);

%Error handling
epd=10000000; %Ha deltap=0 ezzel oszt
opf=(101325+100)/(101325); %max p0/opf ill p0*opf között keressük a nyomásokat (NEM Működik)
oTf=10; %max T0/oTf ill T0*oTf között keressük a hőmérsékleteket

mmax=1000; %a maximálisan megengedhető térfogatáram-----

mintemp=Tb0-50;
maxtemp=Tb0+50;
mindens=p0/R/(maxtemp);
maxdens=p0/R/(mintemp);
PDIsnan=1; %a nyomásderrivált ha az eredeti nem szám
%Algoritmusok jellemzőis inverz számításhoz
TurnOnLscov=0; %kikapcsolva =0; bekapcsolva =1

delta1=0; %iteracios lepesek elinditasahoz konstans
CPUTALL=cputime;
%Megoldast segito opciók
%Nyomas eloirasa elszivo nyilasoknal
PlaceOfPres0BCOn=0;
autosave_step=100;
while delta1<NumofIt %-----Az iterációs ciklus kezdete-----
    CPUT=cputime;
    Time1=clock;
    tic
    m=1;

```

```

H=eye(6);
Al(1,1)=0;Al(2,1)=1;Al(3,1)=2;Al(4,1)=1;Al(5,1)=2;Al(6,1)=0;
wi(1,1)=6;wi(2,1)=4;wi(3,1)=5;wi(4,1)=2;wi(5,1)=3;wi(6,1)=1;

%Függvények értékének számítása adott xi értékek mellett-----
CPU_Time=(toc)/60;
disp(['Konti+Enmeg előtt ',num2str(CPU_Time)])

i=1;
if not(exist('PlaceOfKnownFlows')==1)
    for l=1:N
        if S(l,12)==1
            if sum(not(isnan(S(l,46:51))))>=sum(S(l,13:18)==1)
                PlaceOfKnownFlows(i,1)=S(l,1);
                PlaceOfKnownFlows(i,2)=sum(S(1:l,12));
                PlaceOfKnownFlows(i,3)=sum(S(1,20:25))+S(1,58)+S(1,59);
                PlaceOfKnownFlows(i,4)=S(l,19);
                S(l,69)=1; % Ha a nyomás-egyenletek szempontjából a cella inaktív, akkor 1-es, ha nem akkor
nulla.
                i=i+1;
            end
        end
    end
end
end

if not(exist('NofActCell')==1)
    for q=1:6 %Kontinuitás egyenlete (nyomás egyenletek)-----
        if q==1
            Fxp(:,1)=(S(S(:,12)==1,12+q)+abs(S(S(:,12)==1,12+q)))/...
                2.*S(S(:,12)==1,19+q);
        else
            Fxp(:,1)=Fxp(:,1)+(S(S(:,12)==1,12+q)+...
                abs(S(S(:,12)==1,12+q)))/2.*S(S(:,12)==1,19+q);
        end
    end
    Fxp(:,1)=Fxp(:,1)+S(S(:,12)==1,58)+S(S(:,12)==1,59);
    Fxp=sparse(Fxp);
    NofActCell=sum(S(:,12));
else
    for q=1:6 %Kontinuitás egyenlete (nyomás egyenletek)-----
        if q==1
            Fxp(1:NofActCell,1)=(S(S(:,12)==1,12+q)+...
                abs(S(S(:,12)==1,12+q)))/2.*S(S(:,12)==1,19+q);
        else
            Fxp(1:NofActCell,1)=Fxp(1:NofActCell,1)+(S(S(:,12)==1,12+q)+...
                abs(S(S(:,12)==1,12+q)))/2.*S(S(:,12)==1,19+q);
        end
    end
    Fxp(1:NofActCell,1)=Fxp(1:NofActCell,1)+S(S(:,12)==1,58)+...
        S(S(:,12)==1,59);
    Fxp=sparse(Fxp);
end

```

```

m=1;
if TurnOnEnergyEq==1;
    for l=1:N %Energia-megmaradás-----
        if S(l,12)==1;
            fT=0;
            bT=0;
            q=1;
            while q<7
                z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
                if and(z>0,z<(N+1));
                    fT=fT+((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
                        (S(l,19+q)*S(l,35)/2*(1-sign(S(l,19+q)))...%konvektiv tag
                        -(S(l,38)+S(z,38))/(S(l,7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(l,10-Al(q,1)))...%vezeteses tag
                        -(1-abs(S(l,12+q)))*...%fal jelenletet vizsgalo tag
                        S(l,39+q)*S(l,10-Al(q,1)))*...%konvektiv hoatadasi tag
                        S(l,26)...%Ti
                        +((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
                        (S(l,19+q)*S(z,35)/2*(1+sign(S(l,19+q)))...%konvektiv tag
                        +(S(l,38)+S(z,38))/(S(l,7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(l,10-Al(q,1)))...%vezeteses tag
                        S(z,26);%Tj
                    bT=bT-((1-abs(S(l,12+q)))*S(l,39+q)*S(l,10-Al(q,1)))*S(l,26+q);%Fali hoatadas miatti konstans
                else
                    fT=fT-(1-abs(S(l,12+q)))*...%fal jelenletet vizsgalo tag
                        S(l,39+q)*S(l,10-Al(q,1)))*...%konvektiv hoatadasi tag
                        S(l,26);%Ti
                    bT=bT-(1-abs(S(l,12+q)))*S(l,39+q)*S(l,10-Al(q,1)))*S(l,26+q);%Fali hoatadas miatti konstans
                end
                q=q+1;
            end
            fT=fT+S(l,59)*S(l,35)*S(l,26);%Helyi elszivas miatti tag
            bT=bT-S(l,60)-S(l,58)*S(l,65)*S(l,66);%Helyi hofelszabadulas es befuvas miatti tag
            FxT(m,1)=fT-bT;
            m=m+1;
        else
            fp=0;
            bp=0;
            fT=0;
            bT=0;
        end
    end
    clear bT fT
    FxT=sparse(FxT);
else
    clear FxT
end
clear L m bp fp l q z
CPU_Time=(toc)/60;
disp(['Derrivált mátrix feltöltése derriváltakkal adott xi helyen',num2str(CPU_Time)])
%Derrivált mátrix feltöltése derriváltakkal adott xi helyen
if PlaceOfPres0BCOn==1
    if exist('PlaceOfPres0BC')==0; % Cellák megkeresése ahol egyszerre van befúvás és térfogatáram
peremfeltétel vmilyen irányba
        m=0;n=1;
    end
end

```

```

for i=1:6
    M=S(and(S(:,12)==1,and(not(S(:,59)==0),(isnan(S(:,45+i))))),1);
    m=norm(M);
    if m>0
        PlaceOfPres0BC(1:length(M),1,n)=M;
        n=n+1;
        m=0;
    end
end

if exist('POS')==0;
    if n>2
        for i=1:length(PlaceOfPres0BC(1,:,:))
            PlaceOfPres0BC(:,1,i)=sortrows(PlaceOfPres0BC(:,1,i));
            if i==1;
                POS=PlaceOfPres0BC(not(PlaceOfPres0BC(:,1,i))==0,1,1);
            else
                n=1;
                POSN(n,1)=0;
                for j=1:length(PlaceOfPres0BC(:,1,i))
                    q=find(PlaceOfPres0BC(j,1,i)==POS(:,1));
                    if isempty(q)
                        POSN(n,1)=PlaceOfPres0BC(j,1,i);
                        n=n+1;
                    end
                end
                if length(POSN)>1
                    POS(length(POS)+1:length(POS)+length(POSN),1)=POSN;
                    clear POSN
                end
                POS=sortrows(POS);
            end
        end
        clear PlaceOfPres0BC
        PlaceOfPres0BC=POS(POS(:,1)>0,1);
    end
    PlaceOfPres0BC=PlaceOfPres0BC(1,1); % Az összes lehetséges cella közül az elsőben lesz rögzítve a
    p0 nyomás
end

if or(ItStep/JacobiUpdatePres==round(ItStep/JacobiUpdatePres),not(ItStep>1))
    if not(exist('Zp')==1)
        p=1;h=1;l=1;m=1;i=1;IZp=0;
        clear dFxp
        Zp=zeros(length(Fxp(:,1))*6,3);
        DFxp=sparse(zeros(length(Fxp(:,1)))));

        for l=1:N %Differenciált nyomása. kül. irányokban
            dfp=0;
            if S(l,12)==1;
                if m==1;

```

```

    z0=1;
end
q=1;
dfp=0;

while q<7 %Főátlóban lévő elemek számítása
    z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
    if and(z>0,z<(N+1))
        Cd=Cd0;
        if isnan(S(1,45+q)) %Nincs peremfeltétel
            if not(S(1,4)==S(z,4))
                dp=S(1,19)-S(z,19)+sign(S(1,4)-S(z,4))*9.81/2*(S(1,67)*S(1,7)+S(z,67)*S(z,7));
                rhoact=(S(1,67)+S(z,67))/2;
            else
                dp=S(1,19)-S(z,19);
                rhoact=(S(1,33)+S(z,33))/2;
            end
        else
            if not(S(1,4)==S(z,4))
                rhoact=(S(1,67)+S(z,67))/2;
            else
                rhoact=(S(1,33)+S(z,33))/2;
            end

            dp=-sign(S(1,45+q))*((abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2*S(1,45+q)/Cd/S(1,10-Al(q,1))...
                /sqrt(2*rhoact))^(1/npres);
        end

        dfp=dfp+(abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2*Cd*S(1,10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*...
            (-1/abs(dp)^(1/2)+sign(dp)*dp/(2*abs(dp)^(3/2)));
    else
        dfp=dfp;
    end
    z=0;
    q=q+1;
end
if isnan(dfp)
    DFxp(m,m)=PDIIsnan;
else
    DFxp(m,m)=dfp;
    lambdap(m,1)=sign(dfp)*abs(dfp)*lambda0p;
end

Zp(p,1)=l;
Zp(p,2)=l;
Zp(p,3)=m;
lZp=lZp+1;
p=p+1;
q=0;
z=0;
q2=1;
n=1;
while q2<8

```

```

w=0;
while w<1 %átjárható határoló felületek megkeresése
    w=(S(l,12+q2));
    q2=q2+1;
    if q2==8;
        w=2;
    end
end
if w==1; %Határoló cella számának meghatározása
    n=n+1;
    q=q2-1;
    z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
    Zp(p,1)=l;
    Zp(p,2)=z;
    lZp=lZp+1;
    p=p+1;
end
if w==1
    if and(z>0,z<(N+1))
        Cd=Cd0;
        if isnan(S(l,45+q)) %Nincs peremfeltétel
            if not(S(l,4)==S(z,4))
                dp=S(l,19)-S(z,19)+sign(S(l,4)-S(z,4))*9.81/2*(S(l,67)*S(l,7)+S(z,67)*S(z,7));
                rhoact=(S(l,67)+S(z,67))/2;
            else
                dp=S(l,19)-S(z,19);
                rhoact=(S(l,33)+S(z,33))/2;
            end
        else
            if not(S(l,4)==S(z,4))
                rhoact=(S(l,67)+S(z,67))/2;
            else
                rhoact=(S(l,33)+S(z,33))/2;
            end
        end
        dp=sign(S(l,45+q))*((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*S(l,45+q)/Cd/S(l,10-Al(q,1))...
            /sqrt(2*rhoact))^(1/npres);
    end

    if z>l
        if l==1;%az első cellában vagyunk
            z1=l+1;
            if z1<z
                n=2;
            end
            while z1<(z)
                if S(z1,12)==1
                    n=n+1;
                end
                z1=z1+1;
            end
        end

        DFxp(m,m-1+n)=(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*Cd*S(l,10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*...
            (1/abs(dp)^(1/2)-sign(dp)*dp/(2*abs(dp)^(3/2)));
    end
end

```

```

if not(isnan(S(l,45+q))) %Van peremfeltétel
    DFxp(m,m-1+n)=DFxp(m,m-1+n)-1;
end
if isnan(DFxp(m,m-1+n))
    DFxp(m,m-1+n)=PDIIsnan;
end

Zp(p-1,3)=m-1+n;
else %nem az első cellában vagyunk
    s1=1;s=1;v1=1;v2=1;
    while s<(lZp+1) %Szerepelt e már az adott cella?
        if Zp(s,2)==z
            s1=s;
            s=lZp+1;
        else
            s=s+1;
        end
    end
    if s1==lZp; %Aktív cellák száma az l. és a z. cella között
        z1=l+1;
        if z1<z
            n=2;
        end
        while z1<(z)
            if S(z1,12)==1
                n=n+1;
            end
            z1=z1+1;
        end
        DFxp(m,m-1+n)=(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*Cd*S(l,10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*...
            (1/abs(dp)^(1/2)-sign(dp)*dp/(2*abs(dp)^(3/2)));
        if isnan(DFxp(m,m-1+n))
            DFxp(m,m-1+n)=PDIIsnan;
        end

        Zp(p-1,3)=m-1+n;
    else
        if Zp(s1,2)==z

            DFxp(m,Zp(s1,3))=(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*Cd*S(l,10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*...
                (1/abs(dp)^(1/2)-sign(dp)*dp/(2*abs(dp)^(3/2)));
            if isnan(DFxp(m,Zp(s1,3)))
                DFxp(m,Zp(s1,3))=PDIIsnan;
            end

            Zp(p-1,3)=Zp(s1,3);
            n=n-1;
        else

            DFxp(m,m-1+n)=(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*Cd*S(l,10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*...
                (1/abs(dp)^(1/2)-sign(dp)*dp/(2*abs(dp)^(3/2)));
            if isnan(DFxp(m,m-1+n))

```

```

        DFxp(m,m-1+n)=PDIIsnan;
    end

    Zp(p-1,3)=m-1+n;
end
end
end
else
    s=1;
    while s<lZp+1 %Szerepelt e már az adott cella?
        if Zp(s,2)==z
            s1=s;
            s=lZp+1;
        else
            s=s+1;
        end
    end
end

DFxp(m,Zp(s1,3))=(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*Cd*S(l,10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*...
    (1/abs(dp)^(1/2)-sign(dp)*dp/(2*abs(dp)^(3/2)));
if isnan(DFxp(m,Zp(s1,3)))
    DFxp(m,Zp(s1,3))=PDIIsnan;
end

Zp(p-1,3)=Zp(s1,3);
n=n-1;
end
end
end
end
m=m+1;
end
end

else %Gyorsabb ciklus ha Zp létezik
    Zp=Zp(not(Zp(:,1)==0),:);
    p=1;h=1;l=1;m=1;i=1;lZp=0;
    clear dFxp
    DFxp=sparse(zeros(length(Fxp(:,1))));
    for i=1:length(Zp(:,1))
        if Zp(i,1)==Zp(i,2)
            dfp=0;q=1;
            while q<7 %Főátlóban lévő elemek számítása
                z=Zp(i,1)-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
                if and(z>0,z<(N+1))

                    if isnan(S(Zp(i,1),45+q)) %Nincs peremfeltétel
                        if not(S(Zp(i,1),4)==S(z,4))
                            dp=S(Zp(i,1),19)-S(z,19)+sign(S(Zp(i,1),4)-S(z,4))*9.81/2*...
                                (S(Zp(i,1),67)*S(Zp(i,1),7)+S(z,67)*S(z,7));
                            rhoact=(S(Zp(i,1),67)+S(z,67))/2;
                        else
                            dp=S(Zp(i,1),19)-S(z,19);

```

```

        rhoact=(S(Zp(i,1),33)+S(z,33))/2;
    end
else
    if not(S(Zp(i,1),4)==S(z,4))
        rhoact=(S(Zp(i,1),67)+S(z,67))/2;
    else
        rhoact=(S(Zp(i,1),33)+S(z,33))/2;
    end

    MFTresshold=CdPT*S(Zp(i,1),10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*abs(PressureTreshold);
    if abs(S(Zp(i,1),45+q))<MFTresshold
        Cd=CdPT;
        dp=-sign(S(Zp(i,1),45+q))*(abs(S(Zp(i,1),12+q))+S(Zp(i,1),12+q))/2*...
            abs(S(Zp(i,1),45+q))/(Cd*S(Zp(i,1),10-Al(q,1))/sqrt(2*rhoact));
    else
        Cd=Cd0;
        dp=-sign(S(Zp(i,1),45+q))*(abs(S(Zp(i,1),12+q))+S(Zp(i,1),12+q))/2*...
            ((abs(S(Zp(i,1),45+q))/Cd/S(Zp(i,1),10-Al(q,1))/sqrt(2*rhoact)))^(1/npres);
    end
end

if not(S(Zp(i,1),45+q)==0)
    if abs(dp)>PressureTreshold
        Cd=Cd0;
        dfp=dfp+(abs(S(Zp(i,1),12+q))+S(Zp(i,1),12+q))/2*Cd*...
            S(Zp(i,1),10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*...
            (-1/abs(dp)^(1/2)+sign(dp)*dp/(2*abs(dp)^(3/2)));
    else
        Cd=CdPT;
        dfp=dfp-(abs(S(Zp(i,1),12+q))+S(Zp(i,1),12+q))/2*Cd*...
            S(Zp(i,1),10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact);
    end
else
    dfp=dfp;
end
else
    dfp=dfp;
end
z=0;
q=q+1;
end

if isnan(dfp)
    DFxp(Zp(i,3),Zp(i,3))=PDIIsnan;
else
    DFxp(Zp(i,3),Zp(i,3))=dfp;
    lambdap(Zp(i,3),1)=sign(dfp)*abs(dfp)*lambda0p;
end
rown=Zp(i,3);
else

if Zp(i,2)-Zp(i,1)==-Nx*Ny
    q=1;

```

```

end
if Zp(i,2)-Zp(i,1)==-Nx
    q=2;
end
if Zp(i,2)-Zp(i,1)==1
    q=3;
end
if Zp(i,2)-Zp(i,1)==Nx
    q=4;
end
if Zp(i,2)-Zp(i,1)==-1
    q=5;
end
if Zp(i,2)-Zp(i,1)==Nx*Ny
    q=6;
end
z=Zp(i,1)-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;

if isnan(S(Zp(i,1),45+q)) %Nincs peremfeltétel
    if not(S(Zp(i,1),4)==S(z,4))
        dp=S(Zp(i,1),19)-S(z,19)+sign(S(Zp(i,1),4)-S(z,4))*9.81/2*...
            (S(Zp(i,1),67)*S(Zp(i,1),7)+S(z,67)*S(z,7));
        rhoact=(S(Zp(i,1),67)+S(z,67))/2;
    else
        dp=S(Zp(i,1),19)-S(z,19);
        rhoact=(S(Zp(i,1),33)+S(z,33))/2;
    end
else
    if not(S(Zp(i,1),4)==S(z,4))
        rhoact=(S(Zp(i,1),67)+S(z,67))/2;
    else
        rhoact=(S(Zp(i,1),33)+S(z,33))/2;
    end

MFTreshold=CdPT*S(Zp(i,1),10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*abs(PressureTreshold);
if abs(S(Zp(i,1),45+q))<MFTreshold
    Cd=CdPT;
    dp=-sign(S(Zp(i,1),45+q))*(abs(S(Zp(i,1),12+q))+S(Zp(i,1),12+q))/2*...
        abs(S(Zp(i,1),45+q))/(Cd*S(Zp(i,1),10-Al(q,1))/sqrt(2*rhoact));
else
    Cd=Cd0;
    dp=-sign(S(Zp(i,1),45+q))*(abs(S(Zp(i,1),12+q))+S(Zp(i,1),12+q))/2*...
        ((abs(S(Zp(i,1),45+q))/Cd/S(Zp(i,1),10-Al(q,1))/sqrt(2*rhoact)))^(1/npres);
end

end

if not(S(Zp(i,1),45+q)==0)
    if abs(dp)>PressureTreshold
        Cd=Cd0;
        DFxp(rown,Zp(i,3))=(abs(S(Zp(i,1),12+q))+S(Zp(i,1),12+q))/2*...
            Cd*S(Zp(i,1),10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact)*...
            (1/abs(dp)^(1/2)-sign(dp)*dp/(2*abs(dp)^(3/2)));
    end
end

```

```

        else
            Cd=CdPT;
            DFxp(rown,Zp(i,3))=(abs(S(Zp(i,1),12+q))+S(Zp(i,1),12+q))/2*...
            Cd*S(Zp(i,1),10-Al(q,1))*sqrt(2*rhoact);
        end
    else
        DFxp(rown,Zp(i,3))=0;
    end
    if isnan(DFxp(rown,Zp(i,3)))
        DFxp(rown,Zp(i,3))=PDIIsnan;
    end
end
end
end

if (exist('PlaceOfKnownFlows')==1)
    for i=1:length(PlaceOfKnownFlows(:,1))
        PlaceOfKnownFlow=Zp(find(PlaceOfKnownFlows(i,1)==Zp(:,1),1),3);
        %DFxp_temp=DFxp(PlaceOfKnownFlow,PlaceOfKnownFlow);
        %DFxp(:,PlaceOfKnownFlow)=0;
        %DFxp(PlaceOfKnownFlow,:)=0;

DFxp(PlaceOfKnownFlow,PlaceOfKnownFlow)=DFxp(PlaceOfKnownFlow,PlaceOfKnownFlow)+1;
        Fxp(PlaceOfKnownFlow,1)=0;
        lambdap(PlaceOfKnownFlow,1)=sign(DFxp(PlaceOfKnownFlow,PlaceOfKnownFlow))*...
        abs(DFxp(PlaceOfKnownFlow,PlaceOfKnownFlow))*lambda0p;
    %    PlaceOfKnownFlow=Zp(find(PlaceOfKnownFlows(i,1)==Zp(:,1)),3);
    %    for l=2:length(PlaceOfKnownFlow)
    %        DFxp(PlaceOfKnownFlow(l),PlaceOfKnownFlow(l))=sum(DFxp(PlaceOfKnownFlow(l,:),:));
    %        %DFxp(PlaceOfKnownFlow(l),PlaceOfKnownFlow(l))=-0.000001;
    %    end
        %S(PlaceOfKnownFlows(i,1),19)=PlaceOfKnownFlows(i,4);
    end
end

clear DFxp_temp
%Korlátok megadása-----

PBC_S=S(or(or(not(isnan(S(:,46))./(abs(S(:,13))+S(:,13))/2./S(:,12))),not(isnan(S(:,47))./(abs(S(:,14))+S(:,14))/2))),...
or(or(not(isnan(S(:,48))./(abs(S(:,15))+S(:,15))/2),not(isnan(S(:,49))./(abs(S(:,16))+S(:,16))/2))),...
or(not(isnan(S(:,50))./(abs(S(:,17))+S(:,17))/2),not(isnan(S(:,51))./(abs(S(:,18))+S(:,18))/2)))));
if PlaceOfPres0BCOn==1
    for i=1:length(PlaceOfPres0BC(:,1))
        PBC_celln_row=Zp(find(and(PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,1),PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,2))),1);
        PBC_row=Zp(find(and(PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,1),PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,2))),1,3);

        %dFxp(PBC_row,:)=0;
        DFxp(PBC_row,PBC_row)=DFxp(PBC_row,PBC_row)+1;

lambdap(PBC_row,1)=sign(DFxp(PBC_row,PBC_row))*abs(DFxp(PBC_row,PBC_row))*lambda0p;
        if exist('p0start')==0;
            PlaceOfPres0BC(i,2)=S(PBC_celln_row,19);
            if i==length(PlaceOfPres0BC(:,1))

```

```

        p0start=S(PBC_celln_rown,19);
    end
end
%S(PBC_celln_rown,19)=PlaceOfPres0BC(i,2);
Fxp(PBC_rown)=Fxp(PBC_rown)+(S(PBC_celln_rown,19)-PlaceOfPres0BC(i,2));
end
end

end

if ItStep >3;
    DFxp4=DFxp3;
    DFxp3=DFxp2;
    DFxp2=DFxp1;
    DFxp1=DFxp;
    %DFxp=(DFxp1+DFxp2+DFxp3+DFxp4)/4;
else
    switch ItStep
        case 1
            DFxp1=DFxp;
        case 2
            DFxp2=DFxp1;
            DFxp1=DFxp;
        case 3
            DFxp3=DFxp2;
            DFxp2=DFxp1;
            DFxp1=DFxp;
    end
end

if PrecondPresJacobi==1
    [L,U]=ilu(DFxp);
    DFxp=L*U;
end

CPU_Time=(toc)/60;
disp(['Derrivált mátrix feltöltése derriváltakkal adott xi helyen utan',num2str(CPU_Time)])
%-----

if TurnOnEnergyEq==1;
    if not(exist('ZT')==1)
        l=1;
        m=1;
        p=1;
        lZT=0;
        clear dFxT
        ZT=zeros(length(FxT(:,1))*6,3);
        dFxT=sparse(zeros(length(FxT(:,1)))));

        for l=1:N %Differenciált energiae. kül. irányokban
            if S(l,12)==1;

```

```

q=1;
dfT=0;
while q<7 %Főátlóban lévő elemek számítása
    z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
    if not(isnan(S(1,45+q))); %Van peremfeltétel
        S(1,19+q)=S(1,45+q);
    end
    if and(z>0,z<(N+1))
        dfT=dfT+((abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
            (S(1,19+q)*S(1,35)/2*(1-sign(S(1,19+q)))...%konvektiv tag
            -(S(1,38)+S(z,38))/(S(1,7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(1,10-Al(q,1)))...%vezeteses tag
            -(1-abs(S(1,12+q)))...%fal jelenletet vizsgalo tag
            S(1,39+q)*S(1,10-Al(q,1)));%konvektiv hoatadasi tag
    else
        dfT=dfT-(1-abs(S(1,12+q)))...%fal jelenletet vizsgalo tag
        S(1,39+q)*S(1,10-Al(q,1));...%konvektiv hoatadasi tag
    end
    q=q+1;

end
dfT=dfT+S(1,59)*S(1,35);%Helyi elszívás miatti tag
dFxT(m,m)=dfT;
lambdaT(m,1)=sign(dfT)*abs(dfT)*lambda0T;
ZT(p,1)=1;
ZT(p,2)=1;
ZT(p,3)=m;
lZT=lZT+1;
p=p+1;
q=0;
z=0;
q2=1;
n=1;
while q2<8 %Nem főátlóban lévő elemek számítása
    w=0;
    while w<1 %átjárható határoló felületek megkeresése
        w=(S(1,12+q2));
        q2=q2+1;
        if q2==8;
            w=2;
        end
    end
    if w==1; %Határoló cella számának meghatározása
        n=n+1;
        q=q2-1;
        z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
        ZT(p,1)=1;
        ZT(p,2)=z;
        lZT=lZT+1;
        p=p+1;
    end
    if w==1
        if and(z>0,z<(N+1))
            if not(isnan(S(1,45+q))); %Van peremfeltétel

```

```

    S(l,19+q)=S(l,45+q);
end
if z>l
    if l==1 %az első cellában vagyunk
        z1=l+1;
        if z1<z
            n=2;
        end
        while z1<(z)
            if S(z1,12)==1
                n=n+1;
            end
            z1=z1+1;
        end
        dFxT(m,m-1+n)=((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
            (S(l,19+q)*S(z,35)/2*(1+sign(S(l,19+q)))...%konvektiv tag
            +(S(l,38)+S(z,38))/(S(l,7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(l,10-Al(q,1))));%vezeteses tag
        ZT(p-1,3)=m-1+n;

    else %nem az első cellában vagyunk
        s1=1;s=1;v1=1;v2=1;
        while s<(lZT+1) %Szerepelt e már az adott cella?
            if ZT(s,2)==z
                s1=s;
                s=lZT+1;
            else
                s=s+1;
            end
        end
        if s1==lZT; %Aktív cellák száma az l. és a z. cella között
            z1=l+1;
            if z1<z
                n=2;
            end
            while z1<(z)
                if S(z1,12)==1
                    n=n+1;
                end
                z1=z1+1;
            end
            dFxT(m,m-1+n)=((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
                (S(l,19+q)*S(z,35)/2*(1+sign(S(l,19+q)))...%konvektiv tag
                +(S(l,38)+S(z,38))/(S(l,7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(l,10-Al(q,1))));%vezeteses tag
            ZT(p-1,3)=m-1+n;

        else
            if ZT(s1,2)==z
                dFxT(m,ZT(s1,3))=((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
                    (S(l,19+q)*S(z,35)/2*(1+sign(S(l,19+q)))...%konvektiv tag
                    +(S(l,38)+S(z,38))/(S(l,7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(l,10-Al(q,1))));%vezeteses tag
                ZT(p-1,3)=ZT(s1,3);
                n=n-1;
            end
        end
    end

```

```

else
    dFxF(m,m-1+n)=((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
    (S(l,19+q)*S(z,35)/2*(1+sign(S(l,19+q)))...%konvektiv tag
    +(S(l,38)+S(z,38))/(S(l,7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(l,10-Al(q,1)));%vezeteses tag
    ZT(p-1,3)=m-1+n;
end
end
end
else
    s=1;
    while s<|ZT+1 %Szerepelt e már az adott cella?
        if ZT(s,2)==z
            s1=s;
            s=|ZT+1;
        else
            s=s+1;
        end
    end
    dFxF(m,ZT(s1,3))=((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
    (S(l,19+q)*S(z,35)/2*(1+sign(S(l,19+q)))...%konvektiv tag
    +(S(l,38)+S(z,38))/(S(l,7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(l,10-Al(q,1)));%vezeteses tag
    ZT(p-1,3)=ZT(s1,3);
    n=n-1;

end
end
end
end
m=m+1;
end
else
    ZT=ZT(not(ZT(:,1)==0),:);
    l=1;
    m=1;
    p=1;
    |ZT=0;
    clear dFxF
    dFxF=sparse(zeros(length(FxF(:,1))));
    for l=1:length(ZT(:,1))
        if ZT(l,1)==ZT(l,2)
            dfT=0;
            q=1;
            while q<7 %Főátlóban lévő elemek számítása
                z=ZT(l,1)-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
                if not(isnan(S(ZT(l,1),45+q))); % Van peremfeltétel
                    S(ZT(l,1),19+q)=S(ZT(l,1),45+q);
                end
                if and(z>0,z<(N+1))
                    dfT=dfT+((abs(S(ZT(l,1),12+q))+S(ZT(l,1),12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
                    (S(ZT(l,1),19+q)*S(ZT(l,1),35)/2*(1-sign(S(ZT(l,1),19+q)))...%konvektiv tag
                    -(S(ZT(l,1),38)+S(z,38))/(S(ZT(l,1),7-Al(q,1))+S(z,7-Al(q,1)))*S(ZT(l,1),10-
                    Al(q,1)))...%vezeteses tag

```

```

        -(1-abs(S(ZT(l,1),12+q)))*...%fal jelenletet vizsgalo tag
        S(ZT(l,1),39+q)*S(ZT(l,1),10-Al(q,1));%konvektiv hoatadasi tag
    else
        dfT=dfT-(1-abs(S(ZT(l,1),12+q)))*...%fal jelenletet vizsgalo tag
        S(ZT(l,1),39+q)*S(ZT(l,1),10-Al(q,1));...%konvektiv hoatadasi tag
    end
    z=0;
    q=q+1;
    end
    dfT=dfT+S(ZT(l,1),59)*S(ZT(l,1),35);%Helyi elszivás miatti tag
    dFxT(ZT(l,3),ZT(l,3))=dfT;
    lambdaT(m,1)=sign(dfT)*abs(dfT)*lambda0T;
    rown=ZT(l,3);
else
    if ZT(l,2)-ZT(l,1)==-Nx*Ny
        q=1;
    end
    if ZT(l,2)-ZT(l,1)==-Nx
        q=2;
    end
    if ZT(l,2)-ZT(l,1)==1
        q=3;
    end
    if ZT(l,2)-ZT(l,1)==Nx
        q=4;
    end
    if ZT(l,2)-ZT(l,1)==-1
        q=5;
    end
    if ZT(l,2)-ZT(l,1)==Nx*Ny
        q=6;
    end

    if not(isnan(S(ZT(l,1),45+q))); %Van peremfeltétel
        S(ZT(l,1),19+q)=S(ZT(l,1),45+q);
    end

    dFxT(rown,ZT(l,3))=((abs(S(ZT(l,1),12+q))+S(ZT(l,1),12+q))/2*...%fal jelenletet vizsgalo tag
        (S(ZT(l,1),19+q)*S(ZT(l,2),35)/2*(1+sign(S(ZT(l,1),19+q)))...%konvektiv tag
        +(S(ZT(l,1),38)+S(ZT(l,2),38))/(S(ZT(l,1),7-Al(q,1))+S(ZT(l,2),7-Al(q,1)))*S(ZT(l,1),10-
Al(q,1))));%vezeteses tag

    end
end
end
else
    clear dFxT
end %Turnonenergy
%
clear L dfp dfT h l m n q q2 s sl v v1 v2 w z p z1
CPU_Time=(toc)/60;
disp(['Differenciált energiae. kül. irányokban után',num2str(CPU_Time)])
m=1;

```

```

for l=1:N %Változókat tartalmazó vektor elkészítése
    if S(l,12)==1;
        Xp(m,1,1)=S(l,19);
        Zxp(m,1)=1;
        Zxp(m,2)=m;
        if TurnOnEnergyEq==1;
            XT(m,1,1)=S(l,26);
            ZxT(m,1)=1;
            ZxT(m,2)=m;
        end
        m=m+1;
    end
end

CPU_Time=(toc)/60;
disp(['Solver előtt',num2str(CPU_Time)])
% S O L V E R-----
if NR_withBackTrackOn==1 % Newton-Raphson with Backtracking -----
    btn=1;StepOK=0;
    clear FlowResNorm lambdaBT
    lambdaBT=underrelpres*1;
    FlowResNorm(1)=transpose(Fxp)*Fxp/2;
    M=length(Zxp);
    dXp=DFxp\Fxp;
    while StepOK==0
        Xp1=Xp-lambdaBT(btn)*dXp;
        XpBT(:,btn+1)=Xp1;

        for m=1:M %Nyomasok visszatoltese
            if isnan(Xp1(Zxp(m,2),1))
                S(Zxp(m,1),19)=min(max(p0/opf,Xp1(Zxp(m,2),1)),p0*opf);
            else
                S(Zxp(m,1),19)=real(Xp1(Zxp(m,2),1));
            end
        end
    end

    if PlaceOfPres0BCOn==1
        for i=1:length(PlaceOfPres0BC(:,1))
            PBC_celln_row=Zp(find(and(PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,1),PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,2))),1);
            S(PBC_celln_row,19)=PlaceOfPres0BC(i,2);
        end
    end

    if (exist('PlaceOfKnownFlows')==1)
        for i=1:length(PlaceOfKnownFlows(:,1))
            %S(PlaceOfKnownFlows(i,1),19)=PlaceOfKnownFlows(i,4);
        end
    end

    for l=1:N %No JetZeroOther exist
        if S(l,12)==1;
            z=0;
            q=1;
            while q<7

```

```

z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
if and(z>0,z<(N+1))
    npres=npres0;
    Cd=Cd0;
    if not(S(1,4)==S(z,4))
        dp=S(1,19)-S(z,19)+sign(S(1,4)-S(z,4))*9.81/2*(S(1,67)*S(1,7)+S(z,67)*S(z,7));
        rhoact=(S(1,67)+S(z,67))/2;
    else
        dp=S(1,19)-S(z,19);
        rhoact=(S(1,33)+S(z,33))/2;
    end

    if isnan(S(1,45+q)) %van-e peremfeltétel?
        if abs(dp)>PressureTreshold
            Cd=Cd0;
            S(1,19+q)=-(abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2*sign(dp)*Cd*S(1,10-Al(q,1))*...
                sqrt(2*rhoact)*abs(dp)^npres; %térfogatáram epsilonj irányban
        else
            Cd=CdPT;
            S(1,19+q)=-(abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2*sign(dp)*Cd*S(1,10-Al(q,1))*...
                sqrt(2*rhoact)*abs(dp); %térfogatáram epsilonj irányban
        end
    else
        S(1,19+q)=S(1,45+q); %térfogatáram epsilonj irányban
    end
end
else
    S(1,51+q)=0; %epsilonj
    if isnan(S(1,45+q)) %van-e peremfeltétel?
        S(1,19+q)=0; %térfogatáram epsilonj irányban
    else
        S(1,19+q)=S(1,45+q);
    end
end
end
q=q+1;
end
end
end
end

```

for q=1:6 %Mass-Flow residuals-----

```

-----
if q==1
    FlowRes(:,1)=(S(:,12)==1,12+q)+abs(S(:,12)==1,12+q))/2.*S(:,12)==1,19+q);
else
    FlowRes(:,1)=FlowRes(:,1)+(S(:,12)==1,12+q)+abs(S(:,12)==1,12+q))/2.*S(:,12)==1,19+q);
end
end
FlowRes(:,1)=FlowRes(:,1)+S(:,12)==1,58)+S(:,12)==1,59);
FlowRes=sparse(FlowRes);

FlowResNorm(1+btn)=transpose(FlowRes)*FlowRes/2;

if btn>MaxBackTrack
    StepOK=1;

```

```

else
    if FlowResNorm(1+btn)<(FlowResNorm(1)-(10^-8)*lambdaBT(btn)*FlowResNorm(1))
        StepOK=1;
    else
        StepOK=0;
        btn=btn+1;
        if btn==2
            lambdaBT(btn)=-FlowResNorm(1)*2/(2*(FlowResNorm(1+btn-1)-
FlowResNorm(1)+FlowResNorm(1)*2));
        else
            ab=1/(lambdaBT(btn-1)-lambdaBT(btn-2))*...
            [1/lambdaBT(btn-1) -1/lambdaBT(btn-2)^2;...
            -lambdaBT(btn-2)/lambdaBT(btn-1)^2 lambdaBT(btn-1)/lambdaBT(btn-2)^2]*...
            [FlowResNorm(1+btn-2)-FlowResNorm(1)+lambdaBT(btn-1)*FlowResNorm(1)*2;...
            FlowResNorm(1+btn-1)-FlowResNorm(1)+lambdaBT(btn-2)*FlowResNorm(1)*2];
            lambdaBT(btn)=(-ab(2)+sqrt(ab(2)^2-3*ab(1)*FlowResNorm(1)*2))/(3*ab(1));
        end
        lambdaBT(btn)=max(min(lambdaBT(btn-1)*1/2,lambdaBT(btn)),lambdaBT(btn-1)*1/5);
    end

end

end
Xp1=XpBT(:,1,find(min(FlowResNorm(:,2:length(FlowResNorm)))==FlowResNorm));
lambdaLMS(ItStep,1)=ItStep-1;
lambdaLMS(ItStep,4)=lambdaLM0;
lambdaLMS(ItStep+1,4)=0;
else
    if solverp1==1;
        DFxpm=diag(lambdap(:,:).*abs(Fxp))+DFxp;
        if TurnOnLscov==1%(max(size(DFxpm))*eps)<condest(DFxpm)
            dXp=lscov(DFxpm,Fxp);
        else
            dXp=DFxpm\Fxp;
        end
        dXp(isnan(dXp(:,1)),:)=0;
        dXp(not(isfinite(dXp(:,1))),:)=0;
        Xp1=Xp-underrelpres*dXp;
        lambdaLMS(ItStep,1)=ItStep-1;
        lambdaLMS(ItStep,4)=lambdaLM0;
        lambdaLMS(ItStep+1,4)=0;

    else%--Levenberg-Marquardt-----
        -----
        if not(exist('lambdaLMS')==1)
            lambdaLMS(ItStep,1)=ItStep-1;
            lambdaLMS(ItStep,4)=lambdaLM0;
        else
            if lambdaLMS(ItStep,4)==0
                lambdaLMS(ItStep,1)=ItStep-1;
                lambdaLMS(ItStep,4)=lambdaLM0;
            end
        end
    end
end

```

```

for lmx=1:3;
    lambdaLMS(ItStep+1,1)=ItStep;
    switch lmx
        case 1
            lambdaLM=lambdaLMS(ItStep,4)*LMModFact;
            lambdaLMS(ItStep+1,lmx+1)=lambdaLM;
        case 2
            lambdaLM=lambdaLMS(ItStep,4)/LMModFact;
            lambdaLMS(ItStep+1,lmx+1)=lambdaLM;
        case 3
            lambdaLM=0;
            lambdaLMS(ItStep+1,lmx+1)=lambdaLM;
    end

DFxpm=DFxp+lambdaLM*diag(diag(DFxp).*(abs(Fxp)./max(abs(Fxp))));%.*abs(Fxp./mean(abs(Fxp))));
if TurnOnLscov==1%1/(max(size(DFxpm))*eps)<condest(DFxpm)
    dXp=lscov(DFxpm,Fxp);
else
    dXp=DFxpm \ (Fxp);
end
Xp1=Xp-underrelpres*dXp;

M=length(Zxp);

for m=1:M %Adatak visszatoltese

    if isnan(Xp1(Zxp(m,2),1))
        S(Zxp(m,1),19)=min(max(p0/opf,Xp1(Zxp(m,2),1)),p0*opf);
    else
        S(Zxp(m,1),19)=real(Xp1(Zxp(m,2),1));%min(max(p0/opf,Xp1(Zxp(m,2),1)),p0*opf);
    end

    if PlaceOfPres0BCOn==1
        for i=1:length(PlaceOfPres0BC(:,1))

PBC_celln_row=Zp(find(and(PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,1),PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,2))),1);
        S(PBC_celln_row,19)=PlaceOfPres0BC(i,2);
        end
    end
    if (exist('PlaceOfKnownFlows')==1)
        for i=1:length(PlaceOfKnownFlows(:,1))
            %S(PlaceOfKnownFlows(i,1),19)=PlaceOfKnownFlows(i,4);
        end
    end
    if turn_on_dens_changes==1

        if and(constantdens==0,boussinesq==0)
            if S(m,26)<mintemp
                S(m,33)=S(m,33)-underrelrho*sign(S(m,33)-S(m,19)/R/mintemp)*S(m,19)/R/mintemp;
            else
                if S(m,26)>maxtemp
                    S(m,33)=S(m,33)-underrelrho*sign(S(m,33)-S(m,19)/R/maxtemp)*S(m,19)/R/maxtemp;
                else

```

```

        S(m,33)=S(m,33)-underrelrho*sign(S(m,33)-S(m,19)/R/S(m,26))*S(m,19)/R/S(m,26);
    end
end
S(m,67)=S(m,33);
end

if boussinesq==1;
    S(m,67)=S(m,67)-underrelrho*(S(m,67)-real(rho0*(1-1/Tb0*(S(m,26)-Tb0))));
    S(m,33)=rho0;
    S(m,67)=S(m,67)-underrelrho*(S(m,67)-min(max(S(m,67),rho0*(1-1/Tb0*(maxtemp-
Tb0))),rho0*(1-1/Tb0*(mintemp-Tb0))));
else
    S(m,67)=S(m,33);
end

end
end

for l=1:N %No JetZeroOther exist
    if S(l,12)==1;
        z=0;
        q=1;
        while q<7
            z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
            if and(z>0,z<(N+1))
                npres=npres0;
                Cd=Cd0;
                if not(S(l,4)==S(z,4))
                    dp=S(1,19)-S(z,19)+sign(S(1,4)-S(z,4))*9.81/2*(S(1,67)*S(1,7)+S(z,67)*S(z,7));
                    rhoact=(S(1,67)+S(z,67))/2;
                else
                    dp=S(1,19)-S(z,19);
                    rhoact=(S(1,33)+S(z,33))/2;
                end
                if isnan(-sign(dp)*(abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2)
                    S(1,51+q)=S(1,51+q);
                else
                    S(1,51+q)=-sign(dp)*(abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2;
                end
                if isnan(S(1,45+q)) %van-e peremfeltétel?
                    if abs(dp)>PressureThreshold
                        Cd=Cd0;
                        S(1,19+q)=-((abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2*sign(dp)*Cd*S(1,10-Al(q,1))*...
sqrt(2*rhoact)*abs(dp)^npres; %térfogatáram epsilonj irányban
                    else
                        Cd=CdPT;
                        S(1,19+q)=-((abs(S(1,12+q))+S(1,12+q))/2*sign(dp)*Cd*S(1,10-Al(q,1))*...
sqrt(2*rhoact)*abs(dp); %térfogatáram epsilonj irányban
                    end
                end
                if isnan(S(1,19+q))
                    S(1,19+q)=0;
                end
            end
            q=q+1;
        end
    end
end

```

```

        end
        if abs(S(l,19+q))>mmax
            S(l,19+q)=S(l,51+q)*mmax;
        end
    else
        S(l,19+q)=S(l,45+q); %térfogatáram epsilonj irányban
    end
end
else
    S(l,51+q)=0; %epsilonj
    if isnan(S(l,45+q)) %van-e peremfeltétel?
        S(l,19+q)=0; %térfogatáram epsilonj irányban
    else
        S(l,19+q)=S(l,45+q);
    end
end
end
q=q+1;
end
end
end
end

```

for q=1:6 %Mass-Flow residuals-----

```

-----
if q==1
    FlowRes(:,1)=(S(S(:,12)==1,12+q)+abs(S(S(:,12)==1,12+q)))/2.*S(S(:,12)==1,19+q);
else
    FlowRes(:,1)=FlowRes(:,1)+(S(S(:,12)==1,12+q)+abs(S(S(:,12)==1,12+q)))/2.*S(S(:,12)==1,19+q);
end
end
FlowRes(:,1)=FlowRes(:,1)+S(S(:,12)==1,58)+S(S(:,12)==1,59);
FlowRes=sparse(FlowRes);

switch lmx
case 1
    Fxp1=FlowRes;
    Xp11=Xp1;
    lambdaLMS(ItStep+1,5)=norm(Fxp1);
case 2
    Fxp2=FlowRes;
    Xp12=Xp1;
    lambdaLMS(ItStep+1,6)=norm(Fxp2);
case 3
    Fxp3=FlowRes;
    Xp13=Xp1;
    lambdaLMS(ItStep+1,7)=norm(Fxp3);
    if norm(Fxp1)<min(norm(Fxp2),norm(Fxp3))
        lambdaLMS(ItStep+1,4)=lambdaLMS(ItStep+1,2);
        Xp1=Xp-underrelpres*(Xp-Xp11);
    else
        if norm(Fxp2)<norm(Fxp3)
            lambdaLMS(ItStep+1,4)=lambdaLMS(ItStep+1,3);
            Xp1=Xp-underrelpres*(Xp-Xp12);
        else

```

```

        lambdaLMS(ItStep+1,4)=lambdaLMS(ItStep,4);
        Xp1=Xp-underrelpres*(Xp-Xp13);
    end
end
end

```

```

end
end
end% END--pressure-solver-----

```

```

CPU_Time=(toc)/60;
disp(['END--pressure-solver',num2str(CPU_Time)])

```

```

if TurnOnEnergyEq==1;
    EnergyStep=EnergyStep+1;
    if EnergyStep >3;
        DFxT4=DFxT3;
        DFxT3=DFxT2;
        DFxT2=DFxT1;
        DFxT1=dFxT;
        dFxT=(DFxT1+DFxT2+DFxT3+DFxT4)/4;
    else
        switch EnergyStep
            case 1
                DFxT1=dFxT;
            case 2
                DFxT2=DFxT1;
                DFxT1=dFxT;
            case 3
                DFxT3=DFxT2;
                DFxT2=DFxT1;
                DFxT1=dFxT;
        end
    end
end

if solverT1==1;
    DFxTm=diag(lambdaT(:,). *abs(FxT)./max(abs(FxT)))+DFxT1;
    if TurnOnLscov==1%(max(size(DFxpm))*eps)<condest(DFxpm)
        dXT=lscov(DFxTm,FxT);
    else
        dXT=DFxTm\FxT;
    end
    dXT(isnan(dXT(:, 1)), :)= 0;
    dXT(not(isfinite(dXT(:, 1))), :)= 0;
    XT1=XT-underreltemp*dXT;
else%-----

```

```

end
else
    EnergyStep=0;
end
NormTemp=0.1*1005;

```

```

%
%Calculation Data
if TurnOnEnergyEq==1;
    ResTemp=norm(XT1-XT);
    CalcData(ItStep,4)=ResTemp;
    ResTemp2=norm(FxT);
    RelResTemp2=max(FxT);%norm(FxT);
    CalcData(ItStep,5)=RelResTemp2;%RelResTemp2/NofActCell;
end

CalcData(ItStep,1)=ItStep;
ResPres=norm(Xp1-Xp);
CalcData(ItStep,2)=ResPres;
if N<6954
    CalcData(ItStep,6)=real(S(8,19))-p0;%
else
    CalcData(ItStep,6)=real(S(6954,19))-p0;
end
CPU_Time=(toc)/60;
% A d a t o k   v i s s z a t o l t e s e-----
M=length(Zxp);
CPU_Time=(toc)/60;
disp(['A d a t o k   v i s s z a t o l t e s e',num2str(CPU_Time)])

for m=1:M %Adatok visszatoltese
    if TurnOnEnergyEq==1;

        S(ZxT(m,1),26)=real(min(max(mintemp,XT1(ZxT(m,2),1)),maxtemp));

    end
    if isnan(Xp1(Zxp(m,2),1))
        S(Zxp(m,1),19)=min(max(p0/opf,Xp1(Zxp(m,2),1)),p0*opf);
    else
        S(Zxp(m,1),19)=real(Xp1(Zxp(m,2),1));%min(max(p0/opf,Xp1(Zxp(m,2),1)),p0*opf);
    end
    if turn_on_dens_changes==1

        if and(constantdens==0,boussinesq==0)
            if S(m,26)<mintemp
                S(m,33)=S(m,33)-underrelrho*sign(S(m,33)-S(m,19)/R/mintemp)*S(m,19)/R/mintemp;
            else
                if S(m,26)>maxtemp
                    S(m,33)=S(m,33)-underrelrho*sign(S(m,33)-S(m,19)/R/maxtemp)*S(m,19)/R/maxtemp;
                else
                    S(m,33)=S(m,33)-underrelrho*sign(S(m,33)-S(m,19)/R/S(m,26))*S(m,19)/R/S(m,26);
                end
            end
        end
        if boussinesq==1;
            S(m,67)=S(m,67)-underrelrho*(S(m,67)-real(rho0*(1-1/Tb0*(S(m,26)-Tb0))));
            S(m,33)=rho0;
        end
    end
end

```

```

S(m,67)=S(m,67)-underrelrho*(S(m,67)-min(max(S(m,67),rho0*(1-1/Tb0*(maxtemp-Tb0))),rho0*(1-1/Tb0*(mintemp-Tb0))));

```

```

else
    S(m,67)=S(m,33);
end

if constantdens==1;
    S(m,67)=rho0;
    S(m,33)=rho0;
else
    if and(constantdens==0,boussinesq==0)
        S(m,67)=S(m,33);
    end
end

end

end

CPU_Time=(toc)/60;
disp(num2str(CPU_Time))

if PlaceOfPres0BCOn==1
    for i=1:length(PlaceOfPres0BC(:,1))
        PBC_celln_row=Zp(find(and(PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,1),PlaceOfPres0BC(i,1)==Zp(:,2))),1);
        S(PBC_celln_row,19)=PlaceOfPres0BC(i,2);
    end
end

if (exist('PlaceOfKnownFlows')==1)
    for i=1:length(PlaceOfKnownFlows(:,1))
        %S(PlaceOfKnownFlows(i,1),19)=PlaceOfKnownFlows(i,4);
    end
end

for l=1:N %Térfogatáramok számítása
    if S(l,12)==1;
        z=0;
        q=1;
        while q<7
            z=l-H(1,q)*Nx*Ny-H(2,q)*Nx+H(3,q)*1+H(4,q)*Nx-H(5,q)*1+H(6,q)*Nx*Ny;
            if and(z>0,z<(N+1))
                npres=npres0;
                Cd=Cd0;

                if not(S(l,4)==S(z,4))
                    dp=S(l,19)-S(z,19)+sign(S(l,4)-S(z,4))*9.81/2*(S(l,67)*S(l,7)+S(z,67)*S(z,7));
                    rhoact=(S(l,67)+S(z,67))/2;
                else
                    dp=S(l,19)-S(z,19);
                    rhoact=(S(l,33)+S(z,33))/2;
                end

                if isnan(-sign(dp)*(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2)

```

```

        S(l,51+q)=S(l,51+q);
    else
        S(l,51+q)=-sign(dp)*(abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2;
    end

    if isnan(S(l,45+q)) %van-e peremfeltétel?
        if abs(dp)>PressureTreshold
            Cd=Cd0;
            S(l,19+q)=-((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*sign(dp)*Cd*S(l,10-Al(q,1)))*...
                sqrt(2*rhoact)*abs(dp)^npres; %térfogatáram epsilonj irányban
        else
            Cd=CdPT;
            S(l,19+q)=-((abs(S(l,12+q))+S(l,12+q))/2*sign(dp)*Cd*S(l,10-Al(q,1)))*...
                sqrt(2*rhoact)*abs(dp); %térfogatáram epsilonj irányban
        end

        if isnan(S(l,19+q))
            S(l,19+q)=0;
        end
        if abs(S(l,19+q))>mmax
            S(l,19+q)=S(l,51+q)*mmax;
        end
    else
        S(l,19+q)=S(l,45+q); %térfogatáram epsilonj irányban
    end
else
    S(l,51+q)=0; %epsilonj
    if isnan(S(l,45+q)) %van-e peremfeltétel?
        S(l,19+q)=0; %térfogatáram epsilonj irányban
    else
        S(l,19+q)=S(l,45+q);
    end
end
q=q+1;
end
end
end
CPU_Time=(toc)/60;
disp(num2str(CPU_Time))
SuppliedAir=sum(S(:,58));
for q=1:6 %Mass-Flow residuals-----
if q==1
    FlowRes(:,1)=(S(S(:,12)==1,12+q)+abs(S(S(:,12)==1,12+q)))/2.*S(S(:,12)==1,19+q);
else
    FlowRes(:,1)=FlowRes(:,1)+(S(S(:,12)==1,12+q)+abs(S(S(:,12)==1,12+q)))/2.*S(S(:,12)==1,19+q);
end
end
FlowRes(:,1)=FlowRes(:,1)+S(S(:,12)==1,58)+S(S(:,12)==1,59);
FlowRes=sparse(FlowRes);

MassFlowRatesInCells(:,1)=S(S(:,12)==1,20)-S(S(:,12)==1,25);
MassFlowRatesInCells(:,2)=S(S(:,12)==1,21)-S(S(:,12)==1,23);
MassFlowRatesInCells(:,3)=S(S(:,12)==1,22)-S(S(:,12)==1,24);

```

```

MassFlowRatesInCells(:,4)=S(S(:,12)==1,58)-S(S(:,12)==1,59);
MassFlowRatesInCNorm(:,1)=sqrt(MassFlowRatesInCells(:,1).*MassFlowRatesInCells(:,1)+MassFlowRatesInCells(:,2).*MassFlowRatesInCells(:,2)+...

MassFlowRatesInCells(:,3).*MassFlowRatesInCells(:,3)+MassFlowRatesInCells(:,4).*MassFlowRatesInCells(:,4));

DRelFlowRes(:,1)=FlowRes(:,1)./SuppliedAir;
RelFlowRes(:,1)=FlowRes(:,1)./MassFlowRatesInCNorm(:,1);

NormFlowRes=max(abs(FlowRes))/(10/3600*1.2);
CalcData(ItStep,3)=norm(FlowRes);
CalcData(ItStep,7)=norm(DRelFlowRes);
VertPres(:,1)=S(and(S(:,2)==6,and(S(:,3)==39,not(S(:,19)==0))),4);
VertPres(:,2)=S(and(S(:,2)==6,and(S(:,3)==39,not(S(:,19)==0))),19)-p0;

if ItStep>1
    VertPresMeanCoeff=VertPresMeanCoeff+1;
    VertPres(:,3)=(VertPres(:,3)*VertPresMeanCoeff+VertPres(:,2))./(VertPresMeanCoeff+1);
else
    VertPresMeanCoeff=1;
    VertPres(:,3)=VertPres(:,2);
end

VertTemp(:,1)=S(and(S(:,2)==6,and(S(:,3)==39,not(S(:,26)==0))),4);
VertTemp(:,2)=S(and(S(:,2)==6,and(S(:,3)==39,not(S(:,26)==0))),26)-T0;

if ItStep>1
    VertTempMeanCoeff=VertTempMeanCoeff+1;
    VertTemp(:,3)=(VertTemp(:,3)*VertTempMeanCoeff+VertTemp(:,2))./(VertTempMeanCoeff+1);
else
    VertTempMeanCoeff=1;
    VertTemp(:,3)=VertTemp(:,2);
end

CPU_Time=(toc)/60;
disp(num2str(CPU_Time))

for l=1:N %Anyagjellemzők számítása
    if S(l,12)==1;
        q=1;
        z=0;
        if S(l,26)<mintemp
            temp=mintemp;
        else if S(l,26)>maxtemp
            temp=maxtemp;
        else
            temp=S(l,26);
        end
    end
    S(l,34)=real(184.6e-7*(300/temp)^0.85); %nu
    S(l,35)=7/2*R; %cp
    S(l,36)=real(0.707*(300/temp)^-0.1); %Pr

```

```

        S(1,37)=real(1/temp); %beta    if
        S(1,38)=0.026701;%real(26.3e-3*(300/temp)^0.9); %lambda
        S(1,39)=real(22.5e-6*(300/temp)^1.89); %a
    end
end
CPU_Time=(toc)/60;
disp(['Plot Residuals',num2str(CPU_Time)])

if ItStep/PlotStep==round(ItStep/PlotStep)
    Fig1=figure(1); %Plot Residuals-----
    semilogy(CalcData(CalcPlotStart:ItStep,1),CalcData(CalcPlotStart:ItStep,3),'LineWidth',2,'Color','black');
    hold on
    semilogy(CalcData(CalcPlotStart:ItStep,1),CalcData(CalcPlotStart:ItStep,2),'LineWidth',2,'Color','blue');
    hold on
    %semilogy(CalcData(CalcPlotStart:ItStep,1),CalcData(CalcPlotStart:ItStep,7),'LineWidth',2,'Color','green');
    grid on
    grid minor
    set(gca,'GridLineStyle','-', 'LineWidth',2);
    set(gca,'FontSize',12);
    %semilogy(CalcData(:,1),CalcData(:,4),'LineWidth',2,'Color','blue');
    hold on
    if TurnOnEnergyEq==1;
        semilogy(CalcData(CalcPlotStart:ItStep,1),CalcData(CalcPlotStart:ItStep,5),'LineWidth',2,'Color','red');
        hold on
        %semilogy(CalcData(1:ItStep,1),CalcData(1:ItStep,4),'LineWidth',2,'Color','cyan');
    end
    end
    scrsz = get(0,'ScreenSize');
    %set(Fig1,'position',[15 100+scrsz(4)/2 scrsz(3)/2+50 scrsz(4)/2]);
    set(Fig1,'position',[scrsz(3)/2-15 20 scrsz(3)/2 scrsz(4)/3*2]);
    set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters');
    set(gcf, 'PaperSize', [12 18]);
    % figure(2)
    % plot(CalcData(:,1),CalcData(:,4));
    %hold all
    %semilogy(CalcData(:,1),CalcData(:,3));
    %hold all
    Fig2=figure(2); %Variable History - Pressure-----
    -----
    clf(Fig2)
    plot(CalcData(CalcPlotStart:ItStep,1),CalcData(CalcPlotStart:ItStep,6),'LineWidth',2,'Color','black');
    %plot(VertPres(:,3),VertPres(:,1),'LineWidth',2,'Color','black');
    %hold on
    %plot(VertPres(:,3),VertPres(:,1),'LineWidth',2,'Color','blue');
    grid on
    set(gca,'GridLineStyle','-', 'LineWidth',2);

    scrsz = get(0,'ScreenSize');
    set(Fig2,'position',[20 20 scrsz(3)/7*3 scrsz(4)/3*1]);
    set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters');
    set(gcf, 'PaperSize', [12 18]);
    if TurnOnEnergyEq==1; %Variable History - Temperature-----
        Fig3=figure(3);
        clf(Fig3)
    end
end

```

```

plot(VertTemp(:,2),VertTemp(:,1),'LineWidth',2,'Color','red');
hold on
plot(VertTemp(:,3),VertTemp(:,1),'LineWidth',2,'Color','black');
grid on
set(gca,'GridLineStyle','-', 'LineWidth',2);

scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(Fig3,'position',[20 scrsz(4)/2-20 scrsz(3)/7*3 scrsz(4)/3*1]);
set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters');
set(gcf, 'PaperSize', [12 18]);
end
end
CPU_Time=toc;
CalcData(ItStep,4)=CPU_Time;
delta1=ItStep-ItStep1;
ItStep=ItStep+1;
Time2=clock;
TimeElapsed=etime(Time2, Time1);
disp(['Hátralévő iterációk száma: ',num2str(NumoffIt-delta1),'; Számítási idő: ',num2str(TimeElapsed),' s']);
if ItStep/autosave_step==round(ItStep/autosave_step)
    save(['Solution_File_Mupa_Isotherm_',datestr(now, 'yymmdd_hhMMSS'),'_ItStep_',num2str(ItStep)]);
end
end
ItStep1=ItStep;
disp(['Összes számítási idő: ',num2str((toc)/60),' min']);
disp(['A térfogatáramok átlagos hibája: ',num2str(norm(FlowRes)/NofActCell),' [kg/s]']);
disp(['A térfogatáramok átlagos relatív hibája: ',num2str(norm(RelFlowRes)/NofActCell*100),' %']);
%profile off

```

Saving calculation data

```

print(figure(1),['Residuals_Mupa_Isotherm_',datestr(now, 'yymmdd_hhMMSS'),'_ItStep_',num2str(ItStep)],'-
dpng','-r300');
save(['Solution_File_Mupa_Isotherm_',datestr(now, 'yymmdd_hhMMSS'),'_ItStep_',num2str(ItStep)]);
%matlabpool('close');

```

E MELLÉKLET – AZ EGYSZERŰSÍTETT SUGÁRZÁSOS-HŐCSERE SZÁMÍTÓ MODUL KÓDJA

Közepes leghomersekletek és felületek nagyságának számítása

```
%Simplified radiation heat exchange - input data calc (abbrev.: RA_)

RA_Sactive=S(S(:,12)==1,:);
RA_SactiveWalls=RA_Sactive(or(or(or(RA_Sactive(:,13)==0,RA_Sactive(:,14)==0),...
    or(RA_Sactive(:,15)==0,RA_Sactive(:,16)==0)),...
    or(RA_Sactive(:,17)==0,RA_Sactive(:,18)==0)),:);

RA_Sstage=RA_SactiveWalls(and(and(RA_SactiveWalls(:,2)<12,and(RA_SactiveWalls(:,3)<50,RA_SactiveWalls(:,3)>36)),...
    and(RA_SactiveWalls(:,4)<3,RA_SactiveWalls(:,4)>1)),:);
RA_Sother=RA_SactiveWalls(not(and(and(RA_SactiveWalls(:,2)<12,and(RA_SactiveWalls(:,3)<50,RA_SactiveWalls(:,3)>36)),...
    and(RA_SactiveWalls(:,4)<3,RA_SactiveWalls(:,4)>1))));

RA_HorWalls=RA_Sother(:,7).*(RA_Sother(:,13)+RA_Sother(:,18));
RA_VertWalls=RA_Sother(:,5).*(RA_Sother(:,14)+RA_Sother(:,16))...
    +RA_Sother(:,6).*(RA_Sother(:,15)+RA_Sother(:,17));
RA_StageWalls=RA_Sstage(:,7).*(RA_Sstage(:,13)+RA_Sstage(:,18));

RA_AreaHorWalls=sum(RA_HorWalls);
RA_AreaVertWalls=sum(RA_VertWalls);
RA_AreaStageWalls=sum(RA_StageWalls);

RA_HorWall_MAT=sum(RA_HorWalls.*RA_Sother(:,26))/RA_AreaHorWalls; %MAT=Mean Air Temperature
RA_VertWall_MAT=sum(RA_VertWalls.*RA_Sother(:,26))/RA_AreaVertWalls;
RA_StageWall_MAT=sum(RA_StageWalls.*RA_Sstage(:,26))/RA_AreaStageWalls;
```

Excelben meghatározott homersekletek és hoatadási tényezők visszatöltése

```
RA_ConvCoeff_Stage=1.3741E+01;
RA_ConvCoeff_Other=3.0875E-01;

RA_SurfTemp_Stage=39.394+273.15;
RA_SurfTemp_Other=23.115+273.15;
S(and(and(S(:,2)<12,and(S(:,3)<50,S(:,3)>36)),...
    and(S(:,4)<3,S(:,4)>1)),40:45)=RA_ConvCoeff_Stage;
S(not(and(and(S(:,2)<12,and(S(:,3)<50,S(:,3)>36)),...
    and(S(:,4)<3,S(:,4)>1))),40:45)=RA_ConvCoeff_Other;
S(and(and(S(:,2)<12,and(S(:,3)<50,S(:,3)>36)),...
    and(S(:,4)<3,S(:,4)>1)),27:32)=RA_SurfTemp_Stage;
S(not(and(and(S(:,2)<12,and(S(:,3)<50,S(:,3)>36)),...
    and(S(:,4)<3,S(:,4)>1))),27:32)=RA_SurfTemp_Other;

for q=1:6
    S(:,39+q)=S(:,39+q).*(1-abs(S(:,12+q))).*S(:,12);
end
for q=1:6
    S(:,26+q)=S(:,26+q).*(1-abs(S(:,12+q))).*S(:,12);
end

clear RA_Sactive RA_SactiveWalls RA_Sstage RA_Sother RA_HorWalls RA_VertWalls RA_StageWalls...
    RA_AreaHorWalls RA_AreaVertWalls RA_AreaStageWalls RA_HorWall_MAT RA_VertWall_MAT
RA_StageWall_MAT...
    RA_ConvCoeff_Stage RA_ConvCoeff_Other RA_SurfTemp_Stage RA_SurfTemp_Other
```


F MELLÉKLET – A POST-PROCESSING MODUL KÓDJA

Oldalak középpontjainak számítás

```

clear; close all;
load('Solution_v01_Mupa_Final')

clear c job1
clc;
SurfTemp=25;
Alfa_C=4;
Alfa_S=4.7;
ST_Coeff=Alfa_S/(Alfa_S+Alfa_C);
AT_Coeff=Alfa_C/(Alfa_S+Alfa_C);
for l=1:N % Eredo sebesseg a cellakban
    if S(l,12)==1;
        S(l,68)=sqrt(((S(l,20)-S(l,25))/S(l,7)/S(l,67))^2+((S(l,21)-S(l,23))/S(l,6)/S(l,33))^2+...
            ((S(l,22)-S(l,24))/S(l,5)/S(l,33))^2+(S(l,58)/(S(l,33)+S(l,67))^2/(S(l,5)+S(l,6)+S(l,7))^3)^2+...
            (S(l,59)/(S(l,33)+S(l,67))^2/(S(l,5)+S(l,6)+S(l,7))^3)^2);
    end
end

%
clear S_vert_Xnorm
lenght_s=1;
lenght_e=Ny;
for i=1:Nx
    for l=1:Nz
        S_vert_Xnorm(lenght_s:lenght_e,1:length(S(1,:)))=S(and(S(:,2)==i,S(:,4)==l),:);
        lenght_s=length(S_vert_Xnorm(:,1))+1;
        lenght_e=lenght_s+Ny-1;
    end
end

clear S_vert_Ynorm
lenght_s=1;
lenght_e=Nx;
for i=1:Ny
    for l=1:Nz
        S_vert_Ynorm(lenght_s:lenght_e,1:length(S(1,:)))=S(and(S(:,3)==i,S(:,4)==l),:);
        lenght_s=length(S_vert_Ynorm(:,1))+1;
        lenght_e=lenght_s+Nx-1;
    end
end

% Sebesseg- es homerseklet-mezo kirajzolasahoz szukseges tombok
m=1;
n=1;
s=1;
for l=1:N %Horizontal planes
    if l>1;
        if ((l-1)/(Nx*Ny))==round((l-1)/(Nx*Ny));
            n=n+1;
            m=1;
            s=1;
        end
    end
    if S(l,12)==1;
        %Befúvás/elszívás vizualizálásához
        m=1;

```

```

VelTempCoordX_hor(m,s,n)=S(l,2);
VelTempCoordY_hor(m,s,n)=S(l,3);
VelTempCoordZ_hor(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
% if or(S(l,15)==0,S(l,16)==0)
% if or(abs(S(l,58))>0,abs(S(l,59))>0)
% VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);
% AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
% OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
% else
% VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=0;
% AirTemp_hor(m,s,n)=(S(l,29)+S(l,30))/abs((abs(S(l,16))-1+abs(S(l,15))-1))-273.15;
% OpTemp_hor(m,s,n)=(S(l,29)+S(l,30))/abs((abs(S(l,16))-1+abs(S(l,15))-1))-273.15;
% end
%
% else
VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);%(S(l,68)+S(l+1,68)+S(l+Nx*Ny,68)+S(l+Nx*Ny+1,68))/4;
AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
% end
m=m+1;

VelTempCoordX_hor(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
VelTempCoordY_hor(m,s,n)=S(l,3);
VelTempCoordZ_hor(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
% if or(S(l,16)==0,S(l,17)==0)
% if or(abs(S(l,58))>0,abs(S(l,59))>0)
% VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);
% AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
% OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
% else
% VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=0;
% AirTemp_hor(m,s,n)=(S(l,30)+S(l,31))/abs((abs(S(l,16))-1+abs(S(l,17))-1))-273.15;
% OpTemp_hor(m,s,n)=(S(l,30)+S(l,31))/abs((abs(S(l,16))-1+abs(S(l,17))-1))-273.15;
% end
%
% else
VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);%(S(l,68)+S(l-1,68)+S(l+Nx*Ny,68)+S(l+Nx*Ny-1,68))/4;
AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
% end
m=m+1;

VelTempCoordX_hor(m,s,n)=S(l,2)-S(l,5);
VelTempCoordY_hor(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
VelTempCoordZ_hor(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
% if or(S(l,17)==0,S(l,14)==0)
% if or(abs(S(l,58))>0,abs(S(l,59))>0)
% VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);
% AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
% OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
% else
% VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=0;
% AirTemp_hor(m,s,n)=(S(l,31)+S(l,28))/abs((abs(S(l,14))-1+abs(S(l,17))-1))-273.15;
% OpTemp_hor(m,s,n)=(S(l,31)+S(l,28))/abs((abs(S(l,14))-1+abs(S(l,17))-1))-273.15;
% end
%
% else
VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);%(S(l,68)+S(l-1,68)+S(l-Nx*Ny,68)+S(l-Nx*Ny-1,68))/4;
AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;

```

F MELLÉKLET – A POST-PROCESSING MODUL KÓDJA

```

    OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
%   end
    m=m+1;

    VelTempCoordX_hor(m,s,n)=S(l,2);
    VelTempCoordY_hor(m,s,n)=S(l,3)-S(l,6);
    VelTempCoordZ_hor(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
%   if or(S(l,14)==0,S(l,15)==0)
%       if or(abs(S(l,58))>0,abs(S(l,59))>0)
%           VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);
%           AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
%           OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
%       else
%           VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=0;
%           AirTemp_hor(m,s,n)=(S(l,28)+S(l,29))/abs((abs(S(l,14))-1+abs(S(l,15))-1))-273.15;
%           OpTemp_hor(m,s,n)=(S(l,28)+S(l,29))/abs((abs(S(l,14))-1+abs(S(l,15))-1))-273.15;
%       end
%   else
    VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);%(S(l,68)+S(l+1,68)+S(l-Nx*Ny,68)+S(l-Nx*Ny+1,68))/4;
    AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
    OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
%   end
    m=m+1;

    VelTempCoordX_hor(m,s,n)=S(l,2);
    VelTempCoordY_hor(m,s,n)=S(l,3);
    VelTempCoordZ_hor(m,s,n)=S(l,4)-S(l,7)/2;
%   if or(S(l,15)==0,S(l,16)==0)
%       if or(abs(S(l,58))>0,abs(S(l,59))>0)
%           VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);
%           AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
%           OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
%       else
%           VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=0;
%           AirTemp_hor(m,s,n)=(S(l,29)+S(l,30))/abs((abs(S(l,16))-1+abs(S(l,15))-1))-273.15;
%           OpTemp_hor(m,s,n)=(S(l,29)+S(l,30))/abs((abs(S(l,16))-1+abs(S(l,15))-1))-273.15;
%       end
%   else
    VelocityMagnitude_hor(m,s,n)=S(l,68);%(S(l,68)+S(l+1,68)+S(l+Nx*Ny,68)+S(l+Nx*Ny+1,68))/4;
    AirTemp_hor(m,s,n)=S(l,26)-273.15;
    OpTemp_hor(m,s,n)=AirTemp_hor(m,s,n)*AT_Coeff+SurfTemp*ST_Coeff;
%   end

    s=s+1;
    m=1;
    VelTempCoordMX_hor(m,m,s-1,n)=VelTempCoordX_hor(m,s-1,n);
    VelTempCoordMY_hor(m,m,s-1,n)=VelTempCoordY_hor(m,s-1,n);
    VelTempCoordMZ_hor(m,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_hor(m,s-1,n);
    VelocityMagnitudeM_hor(m,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_hor(m,s-1,n);
    AirTempM_hor(m,m,s-1,n)=AirTemp_hor(m,s-1,n);
    OpTempM_hor(m,m,s-1,n)=OpTemp_hor(m,s-1,n);
    m=m+1;

    VelTempCoordMX_hor(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordX_hor(m,s-1,n);
    VelTempCoordMY_hor(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordY_hor(m,s-1,n);
    VelTempCoordMZ_hor(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_hor(m,s-1,n);
    VelocityMagnitudeM_hor(m-1,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_hor(m,s-1,n);
    AirTempM_hor(m-1,m,s-1,n)=AirTemp_hor(m,s-1,n);

```

```

OpTempM_hor(m-1,m,s-1,n)=OpTemp_hor(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_hor(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordX_hor(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_hor(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordY_hor(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_hor(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordZ_hor(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_hor(m-1,m-2,s-1,n)=VelocityMagnitude_hor(m,s-1,n);
AirTempM_hor(m-1,m-2,s-1,n)=AirTemp_hor(m,s-1,n);
OpTempM_hor(m-1,m-2,s-1,n)=OpTemp_hor(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_hor(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordX_hor(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_hor(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordY_hor(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_hor(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordZ_hor(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_hor(m-2,m-2,s-1,n)=VelocityMagnitude_hor(m,s-1,n);
AirTempM_hor(m-2,m-2,s-1,n)=AirTemp_hor(m,s-1,n);
OpTempM_hor(m-2,m-2,s-1,n)=OpTemp_hor(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_hor(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordX_hor(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_hor(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordY_hor(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_hor(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordZ_hor(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_hor(m-2,m-3,s-1,n)=VelocityMagnitude_hor(m,s-1,n);
AirTempM_hor(m-2,m-3,s-1,n)=AirTemp_hor(m,s-1,n);
OpTempM_hor(m-2,m-3,s-1,n)=OpTemp_hor(m,s-1,n);
m=1;

VelTempCoordMX_hor(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordX_hor(m+1,s-1,n);
VelTempCoordMY_hor(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordY_hor(m+1,s-1,n);
VelTempCoordMZ_hor(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_hor(m+1,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_hor(m+2,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_hor(m+1,s-1,n);
AirTempM_hor(m+2,m,s-1,n)=AirTemp_hor(m+1,s-1,n);
OpTempM_hor(m+2,m,s-1,n)=OpTemp_hor(m+1,s-1,n);
end
end

m=1;
n=1;
s=1;
for l=1:N %Vertical planes with Y normal
    if l>1;
        if not(S_vert_Ynorm(l,3)==S_vert_Ynorm(l-1,3));
            n=n+1;
            m=1;
            s=1;
        end
    end
end

if S_vert_Ynorm(l,12)==1;
    %Befúvás/elszívás vizualizálásához
    m=1;
    VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,2);
    VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,3)-S_vert_Ynorm(l,6)/2;
    VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,4);
%    if or(S_vert_Ynorm(l,15)==0,S_vert_Ynorm(l,16)==0)
%    if or(abs(S_vert_Ynorm(l,58))>0,abs(S_vert_Ynorm(l,59))>0)
%        VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);
%        AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
%        OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;

```

F MELLÉKLET – A POST-PROCESSING MODUL KÓDJA

```
%
    else
%       VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=0;
%       AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=(S_vert_Ynorm(l,29)+S_vert_Ynorm(l,30))/...
%       abs((abs(S_vert_Ynorm(l,15))-1+abs(S_vert_Ynorm(l,16))-1))-273.15;
%       OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n);
%    end
%
%
%    else

VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);%(S_vert_Ynorm(l,68)+S(l+1,68)+S(l+Nx*Ny,68)+S(l+Nx*Ny+
1,68))/4;
    AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
    OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%    end
m=m+1;

VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,2)-S_vert_Ynorm(l,5);
VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,3)-S_vert_Ynorm(l,6)/2;
VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,4);
%    if or(S_vert_Ynorm(l,16)==0,S_vert_Ynorm(l,17)==0)
%    if or(abs(S_vert_Ynorm(l,58))>0,abs(S_vert_Ynorm(l,59))>0)
%        VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);
%        AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
%        OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%    else
%        VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=0;
%        AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=(S_vert_Ynorm(l,30)+S_vert_Ynorm(l,31))/...
%        abs((abs(S_vert_Ynorm(l,16))-1+abs(S_vert_Ynorm(l,17))-1))-273.15;
%        OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n);
%    end
%
%
%    else
    VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);%(S_vert_Ynorm(l,68)+S(l-
1,68)+S(l+Nx*Ny,68)+S(l+Nx*Ny-1,68))/4;
    AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
    OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%    end
m=m+1;

VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,2)-S_vert_Ynorm(l,5);
VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,3)-S_vert_Ynorm(l,6)/2;
VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,4)-S_vert_Ynorm(l,7);
%    if or(S_vert_Ynorm(l,13)==0,S_vert_Ynorm(l,17)==0)
%    if or(abs(S_vert_Ynorm(l,58))>0,abs(S_vert_Ynorm(l,59))>0)
%        VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);
%        AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
%        OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%    else
%        VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=0;
%        AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=(S_vert_Ynorm(l,27)+S_vert_Ynorm(l,31))/...
%        abs((abs(S_vert_Ynorm(l,17))-1+abs(S_vert_Ynorm(l,13))-1))-273.15;
%        OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n);
%    end
%
%
%    else
    VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);%(S_vert_Ynorm(l,68)+S(l-1,68)+S(l-Nx*Ny,68)+S(l-
Nx*Ny-1,68))/4;
    AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
    OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
```

```

% end
m=m+1;

VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,2);
VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,3)-S_vert_Ynorm(l,6)/2;
VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,4)-S_vert_Ynorm(l,7);
% if or(S_vert_Ynorm(l,13)==0,S_vert_Ynorm(l,15)==0)
% if or(abs(S_vert_Ynorm(l,58))>0,abs(S_vert_Ynorm(l,59))>0)
% VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);
% AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
% OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% else
% VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=0;
% AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=(S_vert_Ynorm(l,27)+S_vert_Ynorm(l,29))/...
% abs((abs(S_vert_Ynorm(l,13))-1+abs(S_vert_Ynorm(l,15))-1))-273.15;
% OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n);
% end
%
% else
VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);%(S_vert_Ynorm(l,68)+S(l+1,68)+S(l-Nx*Ny,68)+S(l-
Nx*Ny+1,68))/4;
AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% end
m=m+1;

VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,2);
VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,3)-S_vert_Ynorm(l,6)/2;
VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,4);
% if or(S_vert_Ynorm(l,15)==0,S_vert_Ynorm(l,16)==0)
% if or(abs(S_vert_Ynorm(l,58))>0,abs(S_vert_Ynorm(l,59))>0)
% VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);
% AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
% OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% else
% VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=0;
% AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=(S_vert_Ynorm(l,29)+S_vert_Ynorm(l,30))/...
% abs((abs(S_vert_Ynorm(l,15))-1+abs(S_vert_Ynorm(l,16))-1))-273.15;
% OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n);
% end
%
% else

VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,68);%(S_vert_Ynorm(l,68)+S(l+1,68)+S(l+1+Nx*Ny,68)+S(l+1+Nx*Ny+
1,68))/4;
AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=S_vert_Ynorm(l,26)-273.15;
OpTemp_vert_Ynorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% end

s=s+1;
m=1;
VelTempCoordMX_vert_Ynorm(m,m,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Ynorm(m,m,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Ynorm(m,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Ynorm(m,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Ynorm(m,m,s-1,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Ynorm(m,m,s-1,n)=OpTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
m=m+1;

```

```

VelTempCoordMX_vert_Ynorm(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Ynorm(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Ynorm(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Ynorm(m-1,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Ynorm(m-1,m,s-1,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Ynorm(m-1,m,s-1,n)=OpTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_vert_Ynorm(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Ynorm(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Ynorm(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Ynorm(m-1,m-2,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Ynorm(m-1,m-2,s-1,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Ynorm(m-1,m-2,s-1,n)=OpTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_vert_Ynorm(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Ynorm(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Ynorm(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Ynorm(m-2,m-2,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Ynorm(m-2,m-2,s-1,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Ynorm(m-2,m-2,s-1,n)=OpTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_vert_Ynorm(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Ynorm(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Ynorm(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Ynorm(m-2,m-3,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Ynorm(m-2,m-3,s-1,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Ynorm(m-2,m-3,s-1,n)=OpTemp_vert_Ynorm(m,s-1,n);
m=1;

VelTempCoordMX_vert_Ynorm(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Ynorm(m+1,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Ynorm(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Ynorm(m+1,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Ynorm(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Ynorm(m+1,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Ynorm(m+2,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Ynorm(m+1,s-1,n);
AirTempM_vert_Ynorm(m+2,m,s-1,n)=AirTemp_vert_Ynorm(m+1,s-1,n);
OpTempM_vert_Ynorm(m+2,m,s-1,n)=OpTemp_vert_Ynorm(m+1,s-1,n);
end
end

m=1;
n=1;
s=1;
for l=1:N %Vertical planes with X normal
    if l>1;
        if not(S_vert_Xnorm(l,2)==S_vert_Xnorm(l-1,2));
            n=n+1;
            m=1;
            s=1;
        end
    end
    if n>12
        pause
    end
    if S_vert_Xnorm(l,12)==1;
        %Befűvés/elszívás vizualizálásához
        m=1;
        VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,2)-S_vert_Xnorm(l,5)/2;

```

```

VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,3);
VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,4);
% if or(S_vert_Xnorm(l,16)==0,S_vert_Xnorm(l,18)==0)
% if or(abs(S_vert_Xnorm(l,58))>0,abs(S_vert_Xnorm(l,59))>0)
% VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);
% AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
% OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% else
% VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=0;
% AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,30)+S_vert_Xnorm(l,32))/...
% abs((abs(S_vert_Xnorm(l,16))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,18))-1))-273.15;
% OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,30)+S_vert_Xnorm(l,32))/...
% abs((abs(S_vert_Xnorm(l,16))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,18))-1))-273.15;
% end
%
% else

VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);%(S_vert_Xnorm(l,68)+S(l+1,68)+S(l+Nx*Ny,68)+S(l+Nx*Ny+
1,68))/4;
AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% end
m=m+1;

VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,2)-S_vert_Xnorm(l,5)/2;
VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,3);
VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,4)-S_vert_Xnorm(l,7);
% if or(S_vert_Xnorm(l,16)==0,S_vert_Xnorm(l,13)==0)
% if or(abs(S_vert_Xnorm(l,58))>0,abs(S_vert_Xnorm(l,59))>0)
% VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);
% AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
% OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% else
% VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=0;
% AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,30)+S_vert_Xnorm(l,27))/...
% abs((abs(S_vert_Xnorm(l,16))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,13))-1))-273.15;
% OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,30)+S_vert_Xnorm(l,27))/...
% abs((abs(S_vert_Xnorm(l,16))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,13))-1))-273.15;
% end
%
% else
VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);%(S_vert_Xnorm(l,68)+S(l-
1,68)+S(l+Nx*Ny,68)+S(l+Nx*Ny-1,68))/4;
AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% end
m=m+1;

VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,2)-S_vert_Xnorm(l,5)/2;
VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,3)-S_vert_Xnorm(l,6);
VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,4)-S_vert_Xnorm(l,7);
% if or(S_vert_Xnorm(l,13)==0,S_vert_Xnorm(l,14)==0)
% if or(abs(S_vert_Xnorm(l,58))>0,abs(S_vert_Xnorm(l,59))>0)
% VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);
% AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
% OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
% else
% VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=0;
% AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,27)+S_vert_Xnorm(l,28))/...

```

F MELLÉKLET – A POST-PROCESSING MODUL KÓDJA

```
%      abs((abs(S_vert_Xnorm(l,14))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,13))-1))-273.15;
%      OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,27)+S_vert_Xnorm(l,28))/...
%      abs((abs(S_vert_Xnorm(l,14))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,13))-1))-273.15;
%      end
%
%      else
%      VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);%(S_vert_Xnorm(l,68)+S(l-1,68)+S(l-Nx*Ny,68)+S(l-
Nx*Ny-1,68))/4;
%      AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
%      OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%      end
%      m=m+1;

VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,2)-S_vert_Xnorm(l,5)/2;
VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,3)-S_vert_Xnorm(l,6);
VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,4);
%      if or(S_vert_Xnorm(l,14)==0,S_vert_Xnorm(l,18)==0)
%      if or(abs(S_vert_Xnorm(l,58))>0,abs(S_vert_Xnorm(l,59))>0)
%      VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);
%      AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
%      OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%      else
%      VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=0;
%      AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,28)+S_vert_Xnorm(l,32))/...
%      abs((abs(S_vert_Xnorm(l,14))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,18))-1))-273.15;
%      OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,28)+S_vert_Xnorm(l,32))/...
%      abs((abs(S_vert_Xnorm(l,14))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,18))-1))-273.15;
%      end
%
%      else
%      VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);%(S_vert_Xnorm(l,68)+S(l+1,68)+S(l-Nx*Ny,68)+S(l-
Nx*Ny+1,68))/4;
%      AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
%      OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%      end
%      m=m+1;

VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,2)-S_vert_Xnorm(l,5)/2;
VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,3);
VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,4);
%      if or(S_vert_Xnorm(l,16)==0,S_vert_Xnorm(l,18)==0)
%      if or(abs(S_vert_Xnorm(l,58))>0,abs(S_vert_Xnorm(l,59))>0)
%      VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);
%      AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
%      OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%      else
%      VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=0;
%      AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,30)+S_vert_Xnorm(l,32))/...
%      abs((abs(S_vert_Xnorm(l,16))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,18))-1))-273.15;
%      OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=(S_vert_Xnorm(l,30)+S_vert_Xnorm(l,32))/...
%      abs((abs(S_vert_Xnorm(l,16))-1+abs(S_vert_Xnorm(l,18))-1))-273.15;
%      end
%      else

VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,68);%(S_vert_Xnorm(l,68)+S(l+1,68)+S(l+1,68)+S(l+1,68)+S(l+1,68))/4;
%      AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=S_vert_Xnorm(l,26)-273.15;
%      OpTemp_vert_Xnorm(m,s,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s,n)*0.5+SurfTemp*ST_Coeff;
%      end
```

```

s=s+1;
m=1;
VelTempCoordMX_vert_Xnorm(m,m,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Xnorm(m,m,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Xnorm(m,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Xnorm(m,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Xnorm(m,m,s-1,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Xnorm(m,m,s-1,n)=OpTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_vert_Xnorm(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Xnorm(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Xnorm(m-1,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Xnorm(m-1,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Xnorm(m-1,m,s-1,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Xnorm(m-1,m,s-1,n)=OpTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_vert_Xnorm(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Xnorm(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Xnorm(m-1,m-2,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Xnorm(m-1,m-2,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Xnorm(m-1,m-2,s-1,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Xnorm(m-1,m-2,s-1,n)=OpTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_vert_Xnorm(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Xnorm(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Xnorm(m-2,m-2,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Xnorm(m-2,m-2,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Xnorm(m-2,m-2,s-1,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Xnorm(m-2,m-2,s-1,n)=OpTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
m=m+1;

VelTempCoordMX_vert_Xnorm(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Xnorm(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Xnorm(m-2,m-3,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Xnorm(m-2,m-3,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m,s-1,n);
AirTempM_vert_Xnorm(m-2,m-3,s-1,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
OpTempM_vert_Xnorm(m-2,m-3,s-1,n)=OpTemp_vert_Xnorm(m,s-1,n);
m=1;

VelTempCoordMX_vert_Xnorm(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordX_vert_Xnorm(m+1,s-1,n);
VelTempCoordMY_vert_Xnorm(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordY_vert_Xnorm(m+1,s-1,n);
VelTempCoordMZ_vert_Xnorm(m+2,m,s-1,n)=VelTempCoordZ_vert_Xnorm(m+1,s-1,n);
VelocityMagnitudeM_vert_Xnorm(m+2,m,s-1,n)=VelocityMagnitude_vert_Xnorm(m+1,s-1,n);
AirTempM_vert_Xnorm(m+2,m,s-1,n)=AirTemp_vert_Xnorm(m+1,s-1,n);
OpTempM_vert_Xnorm(m+2,m,s-1,n)=OpTemp_vert_Xnorm(m+1,s-1,n);
end
end

```

Contours - Horizontal

```

close all;clc;
load('MeshCheck_v01')
PlotCase=input('Plot Case: 1-Velocity magnitude, 2-Air temperature, 3-Operative temperature: ');
zlev=input(['Height of the horizontal plane (min=',num2str(min(S(:,4))),','; max=',num2str(max(S(:,4))),':')]);
mesh_on=input(['Turn on the mesh (on=',num2str(1),','; off=',num2str(0),':')]);

```

```

zlevmin=zlev;%(egyenlő a magassággal-1)
zlevmax=zlev;
zlevmax=min(length(VelTempCoordX_hor(1,1,:)),zlevmax);
zlevmaxmesh=min(zlevmax+1,max(S(:,4))-1);
zlevminmesh=max(zlevmin-2,min(S(:,4)));
xmax=Nx*ox+ox;
xmin=0-ox;
ymax=Ny*oy+oy-0;
ymin=1-oy-1;
maxcb=0;
mincb=30;

clear ColorArray ScalingArray
switch PlotCase
    case 1 %Contours of Velocity Magnitude
        h=figure('Name','Contours of Velocity Magnitude on a Horizontal Plane','NumberTitle','off');
        ColorArray=VelocityMagnitudeM_hor;
        ScalingArray=VelocityMagnitude_hor;
        scaling=0.05;
    case 2 %Contours of Air Temperature
        h=figure('Name','Contours of Air Temperature on a Horizontal Plane','NumberTitle','off');
        ColorArray=AirTempM_hor;
        ScalingArray=AirTemp_hor;
        scaling=1;
    case 3 %Contours of Operative Temperature
        h=figure('Name','Contours of Operative Temperature on a Horizontal Plane','NumberTitle','off');
        ColorArray=OpTempM_hor;
        ScalingArray=OpTemp_hor;
        scaling=1;
end

for l=zlevmin:zlevmax
    parfor i=1:length(VelTempCoordX_hor(1,:,l))
        if
and(and(VelTempCoordX_hor(:,i,l)>xmin, VelTempCoordX_hor(:,i,l)<xmax),and(VelTempCoordY_hor(:,i,l)>ymin, VelTempCoordY_hor(:,i,l)<ymax))
            %plot3(VelTempCoordX_hor(:,i,l),VelTempCoordY_hor(:,i,l),VelTempCoordZ_hor(:,i,l),...
            % ' ', 'LineWidth',1.8,'Color','black');
            %hold on

surf(VelTempCoordMX_hor(:,i,l),VelTempCoordMY_hor(:,i,l),VelTempCoordMZ_hor(:,i,l),ColorArray(:,i,l),'EdgeColor',[255/255 255/255 255/255])
        shading interp%faceted
        hold on
        mincb1=min(ScalingArray(:,i,l));
        if not(mincb1==0)
            mincb=min(mincb,mincb1);
        end
        maxcb=max(maxcb,max(ScalingArray(:,i,l)));
    end
end
end
if mincb>maxcb
    mincb=maxcb*0.5;
end
mincb=floor(mincb/scaling)*scaling;
maxcb=ceil(maxcb/scaling)*scaling;
if mesh_on==1

```

```

for l=zlevminmesh:zlevmaxmesh
    parfor i=1:length(WallsX(1,:))
        if and(and(WallsX(:,i,l)>xmin,WallsX(:,i,l)<xmax),and(WallsY(:,i,l)>ymin,WallsY(:,i,l)<ymax))
            if WallsSR(1,i,l)==-1
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'FaceAlpha',0.5,'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-', 'LineWidth',1.8,'Color','red');
                hold on
            else
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-', 'LineWidth',1.8,'Color','black');
                hold on
            end
        end
    end
end
end
end
colormap(jet(200))
caxis([mincb maxcb])
% Visualise mesh 2
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',[10 scrsz(4)*0+50 scrsz(3)/5*3 scrsz(4)/6*4])
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])

grid off
box off

axis([floor((xmin+ox)/2)*2 ceil((xmax)/2)*2 floor((ymin+oy)/5)*5 ceil((ymax)/5)*...
    5 floor((zlevminmesh)/2)*2 ceil((zlevmaxmesh)/2)*2])
set(gca,'XTick',floor((xmin+ox)/2)*2:2*ox:ceil((xmax)/2)*2)
set(gca,'YTick',floor((ymin+oy)/5)*5:5*oy:ceil((ymax)/5)*5)
set(gca,'ZTick',floor((zlevminmesh)/2)*2:2*oz:ceil((zlevmaxmesh)/2)*2)

xlabel('\fontsize{26}x [m]','FontName', 'Times');
ylabel('\fontsize{26}y [m]','FontName', 'Times');
zlabel('\fontsize{26}z [m]','FontName', 'Times');

set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',1)
set(gca,'FontName', 'Times');
set(gca,'FontSize',18);
daspect([1 1 1])
grid on
axis on

set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters');
set(gcf, 'PaperSize', [12 18]);
c1=colorbar('location','EastOutside');
set(c1,'position',[0.92 0.35 0.023 0.6]);
set(c1,'FontName', 'Times');
set(c1,'FontSize',14);

view (115+200,30)

switch PlotCase
    case 1 %Contours of Velocity Magnitude

```

```
%mincb=0;
%maxcb=0.2;
caxis([mincb maxcb])
print(h,['Velocity_Magnitude_Horizontal_Contours_Height_',num2str(zlev)],'-dpng','-r300')
case 2 %Contours of Air Temperature
    print(h,['Air_Temperature_Horizontal_Contours_Height_',num2str(zlev)],'-dpng','-r300')
case 3 %Contours of Operative Temperature
    print(h,['Operative_Temperature_Horizontal_Contours_Height_',num2str(zlev)],'-dpng','-r300')
end

%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
```

Contours - Vertical planes with Y normal

```
close all;clc;
load('MeshCheck_v01')
PlotCase=input('Plot Case: 1-Velocity magnitude, 2-Air temperature, 3-Operative temperature: ');
ylev=input(['Y coordinate of the vertical section plane ("Y" normal, min=',num2str(min(S(:,3))),';
max=',num2str(max(S(:,3))),'): ');

ylevmin=ylev;%(egyenlő a magassággal-1)
ylevmax=ylev;
ylevmax=min(length(VelTempCoordY_vert_Ynorm(1,1,:)),ylevmax);
ylevmaxmesh=ylevmax+4;
ylevminmesh=ylevmin-2;
ylevminmesh=max(ylevminmesh,1);
zmax=Nz*oz+oz;
zmin=0-oz;
xmax=Nx*oy+oy-0;
xmin=1-oy-1;
maxcb=0;
mincb=30;

clear ColorArray ScalingArray
switch PlotCase
    case 1 %Contours of Velocity Magnitude
        h=figure('Name','Contours of Velocity Magnitude on a Vertical Plane with Y normal','NumberTitle','off');
        ColorArray=VelocityMagnitudeM_vert_Ynorm;
        ScalingArray=VelocityMagnitude_vert_Ynorm;
        scaling=0.05;
    case 2 %Contours of Air Temperature
        h=figure('Name','Contours of Air Temperature on a Vertical Plane with Y normal','NumberTitle','off');
        ColorArray=AirTempM_vert_Ynorm;
        ScalingArray=AirTemp_vert_Ynorm;
        scaling=1;
    case 3 %Contours of Operative Temperature
        h=figure('Name','Contours of Operative Temperature on a Vertical Plane with Y normal','NumberTitle','off');
        ColorArray=OpTempM_vert_Ynorm;
        ScalingArray=OpTemp_vert_Ynorm;
        scaling=1;
end

for l=ylevmin:ylevmax
    parfor i=1:length(VelTempCoordZ_vert_Ynorm(1,:))
        if
            and(and(VelTempCoordZ_vert_Ynorm(:,i,l)>zmin,VelTempCoordZ_vert_Ynorm(:,i,l)<zmax),and(VelTempCoordX_vert_Ynorm(:,i,l)>xmin,VelTempCoordX_vert_Ynorm(:,i,l)<xmax))

%plot3(VelTempCoordX_vert_Ynorm(:,i,l),VelTempCoordY_vert_Ynorm(:,i,l),VelTempCoordZ_vert_Ynorm(:,i,l),...
```

```

% '-',LineWidth,1.8,'Color','black');
%hold on

surf(VelTempCoordMX_vert_Ynorm(:,i,l),VelTempCoordMY_vert_Ynorm(:,i,l),VelTempCoordMZ_vert_Ynorm(:,i,l),
ColorArray(:,i,l),'EdgeColor',[255/255 255/255 255/255])
    shading interp%faceted
    hold on
    mincb1=min(ScalingArray(:,i,l));
    if not(mincb1==0)
        mincb=min(mincb,mincb1);
    end
    maxcb=max(maxcb,max(ScalingArray(:,i,l)));
end
end
end
if mincb>maxcb
    mincb=maxcb*0.5;
end
mincb=floor(mincb/scaling)*scaling;
maxcb=ceil(maxcb/scaling)*scaling;

for l=1:23
    parfor i=1:length(WallsZ(1,:,l))
        if and(and(and(WallsZ(:,i,l)>zmin,WallsZ(:,i,l)<zmax),...
            and(WallsX(:,i,l)>xmin,WallsX(:,i,l)<xmax)),...
            and(WallsY(:,i,l)>ylevminmesh,WallsY(:,i,l)<ylevmaxmesh))
            if WallsSR(1,i,l)==-1
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'FaceAlpha',0.5,'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-',LineWidth,1.8,'Color','red');
                hold on
            else
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-',LineWidth,1.8,'Color','black');
                hold on
            end
        end
    end
end
end
colormap(jet(200))
caxis([mincb maxcb])
% Visualise mesh 2
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',[10 scrsz(4)*0+50 scrsz(3)/5*3 scrsz(4)/6*4])
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])

grid off
box off

axis([floor((xmin+ox)/2)*2 ceil((xmax)/2)*2 floor((ylevminmesh+oy)/5)*5 ceil((ylevmaxmesh)/5)*...
    5 floor((zmin)/2)*2 ceil((zmax)/2)*2])
set(gca,'XTick',floor((xmin+ox)/2)*2:2*ox:ceil((xmax)/2)*2)
set(gca,'YTick',floor((ylevminmesh+oy)/5)*5:5*oy:ceil((ylevmaxmesh)/5)*5)
set(gca,'ZTick',floor((zmin)/2)*2:2*oz:ceil((zmax)/2)*2)

xlabel('\fontsize{26}x [m]', 'FontName', 'Times');
ylabel('\fontsize{26}y [m]', 'FontName', 'Times');
zlabel('\fontsize{26}z [m]', 'FontName', 'Times');

```

```

set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',1)
set(gca,'FontName','Times');
set(gca,'FontSize',18);
daspect([1 1 1])
grid on
axis on

set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters');
set(gcf, 'PaperSize', [12 18]);
c1=colorbar('location','EastOutside');
set(c1,'position',[0.92 0.35 0.023 0.6]);
set(c1,'FontName','Times');
set(c1,'FontSize',14);

view (330,20)

switch PlotCase
    case 1 %Contours of Velocity Magnitude
        print(h,['Velocity_Magnitude_Vertical_Contours_Y_normal_Ycoord_',num2str(ylev)],'-dpng','-r300')
    case 2 %Contours of Air Temperature
        print(h,['Air_Temperature_Vertical_Contours_Y_normal_Ycoord_',num2str(ylev)],'-dpng','-r300')
    case 3 %Contours of Operative Temperature
        print(h,['Operative_Temperature_Vertical_Contours_Y_normal_Ycoord_',num2str(ylev)],'-dpng','-r300')
end
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
%view (90,0)

```

Contours of Velocity Magnitude - Vertical planes with X normal

```

close all;clc;
load('MeshCheck_v01')
PlotCase=input('Plot Case: 1-Velocity magnitude, 2-Air temperature, 3-Operative temperature: ');
xlev=input(['X coordinate of the vertical section plane ("X" normal, min=',num2str(min(S(:,2))),';
max=',num2str(max(S(:,2))),');: ']);
mesh_on=input(['Turn on the mesh (on=',num2str(1),'; off=',num2str(0),');: ']);

xlevmin=xlev;%(egyenlő a magassággal-1)
xlevmax=xlev;
xlevmax=min(length(VelTempCoordX_vert_Xnorm(1,1,:)),xlevmax);
xlevmaxmesh=12;%xlevmax+2;
xlevminmesh=xlevmin-5;
xlevminmesh=max(xlevminmesh,0);
zmax=Nz*oz+oz;
zmin=-0.5;
ymax=Ny*oy+oy-0;
ymin=1-oy-1;
maxcb=0;
mincb=30;

clear ColorArray ScalingArray
switch PlotCase
    case 1 %Contours of Velocity Magnitude
        h=figure('Name','Contours of Velocity Magnitude on a Vertical Plane with X normal','NumberTitle','off');
        ColorArray=VelocityMagnitudeM_vert_Xnorm;
        ScalingArray=VelocityMagnitude_vert_Xnorm;
        scaling=0.05;

```

```

case 2 %Contours of Air Temperature
    h=figure('Name','Contours of Air Temperature on a Vertical Plane with X normal','NumberTitle','off');
    ColorArray=AirTempM_vert_Xnorm;
    ScalingArray=AirTemp_vert_Xnorm;
    scaling=1;
case 3 %Contours of Operative Temperature
    h=figure('Name','Contours of Operative Temperature on a Vertical Plane with X normal','NumberTitle','off');
    ColorArray=OpTempM_vert_Xnorm;
    ScalingArray=OpTemp_vert_Xnorm;
    scaling=1;
end

for l=xlevmin:xlevmax
    for i=1:length(VelTempCoordZ_vert_Xnorm(1,:l))
        if
and(and(VelTempCoordZ_vert_Xnorm(:,i,l)>zmin,VelTempCoordZ_vert_Xnorm(:,i,l)<zmax),and(VelTempCoordY_vert_Xnorm(:,i,l)>ymin,VelTempCoordY_vert_Xnorm(:,i,l)<ymax))

%plot3(VelTempCoordX_vert_Xnorm(:,i,l),VelTempCoordY_vert_Xnorm(:,i,l),VelTempCoordZ_vert_Xnorm(:,i,l),...
%    '-', 'LineWidth',1.8,'Color','black');
%hold on

surf(VelTempCoordMX_vert_Xnorm(:,i,l),VelTempCoordMY_vert_Xnorm(:,i,l),VelTempCoordMZ_vert_Xnorm(:,i,l),
ColorArray(:,i,l),'EdgeColor',[255/255 255/255 255/255])
    shading interp%faceted
    hold on
    mincb1=min(ScalingArray(:,i,l));
    if not(mincb1==0)
        mincb=min(mincb,mincb1);
    end
    maxcb=max(maxcb,max(ScalingArray(:,i,l)));
    end
end
end
if mincb>maxcb
    mincb=maxcb*0.5;
end

mincb=floor(mincb/scaling)*scaling;
maxcb=ceil(maxcb/scaling)*scaling;
if mesh_on==1
for l=1:22
    parfor i=1:length(WallsZ(1,:l))
        if and(and(and(WallsZ(:,i,l)>zmin,WallsZ(:,i,l)<zmax),...
            and(WallsY(:,i,l)>ymin,WallsY(:,i,l)<ymax)),...
            and(WallsX(:,i,l)>xlevminmesh,WallsX(:,i,l)<xlevmaxmesh))
            if WallsSR(1,i,l)==-1
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'FaceAlpha',0.5,'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-', 'LineWidth',1.8,'Color','red');
                hold on
            else
                mesh(WallsMX(:,i,l),WallsMY(:,i,l),WallsMZ(:,i,l),'EdgeColor',[1 1 1],'LineWidth',1)
                plot3(WallsX(:,i,l),WallsY(:,i,l),WallsZ(:,i,l),...
                    '-', 'LineWidth',1.8,'Color','black');
                hold on
            end
        end
    end
end
end

```

```

end
end
%
colormap(jet(200))
caxis([mincb maxcb])
% Visualise mesh 2
scrsz = get(0,'ScreenSize');
set(gcf,'Position',[10 scrsz(4)*0+50 scrsz(3)/5*3 scrsz(4)/6*4])
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])

grid off
box off

axis([floor((xlevminmesh+ox)/2)*2 ceil((xlevmaxmesh)/2)*2 floor((ymin+oy)/5)*5 ceil((ymax)/5)*...
      5 ceil((zmin)/2)*2 ceil((zmax)/2)*2])
set(gca,'XTick',floor((xlevminmesh+ox)/2)*2:2*ox:ceil((xlevmaxmesh)/2)*2)
set(gca,'YTick',floor((ymin+oy)/5)*5:5*oy:ceil((ymax)/5)*5)
set(gca,'ZTick',ceil((zmin)/2)*2:2*oz:ceil((zmax)/2)*2)

xlabel('\fontsize{26}x [m]','FontName', 'Times');
ylabel('\fontsize{26}y [m]','FontName', 'Times');
xlabel('\fontsize{26}z [m]','FontName', 'Times');

set(gca,'Gridlinestyle','-')
set(gca,'LineWidth',1)
set(gca,'FontName', 'Times');
set(gca,'FontSize',18);
daspect([1 1 1])
grid on
axis on

set(gcf, 'PaperUnits', 'centimeters');
set(gcf, 'PaperSize', [12 18]);
c1=colorbar('location','EastOutside');
set(c1,'position',[0.92 0.35 0.023 0.6]);
set(c1,'FontName', 'Times');
set(c1,'FontSize',14);

%view (115+105,16)
view (115+170,25)
%view(-90,0)
%set(gcf,'Position',[-650 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/7*3 scrsz(4)/6*3])
%view (270,90)
switch PlotCase
case 1 %Contours of Velocity Magnitude
    maxcb=0.2;
    caxis([mincb maxcb]);
    print(h,['Velocity_Magnitude_Vertical_Contours_X_normal_Xcoord_',num2str(xlev)],'-dpng','-r300')
case 2 %Contours of Air Temperature
    %mincb=20;
    maxcb=30;
    caxis([mincb maxcb]);
    print(h,['Air_Temperature_Vertical_Contours_X_normal_Xcoord_',num2str(xlev)],'-dpng','-r300')
case 3 %Contours of Operative Temperature
    print(h,['Operative_Temperature_Vertical_Contours_X_normal_Xcoord_',num2str(xlev)],'-dpng','-r300')
end
%set(gcf,'Position',[-350 scrsz(4)*0+40 scrsz(3)/5*1.2 scrsz(4)/6*7])
%view (90,0)

```

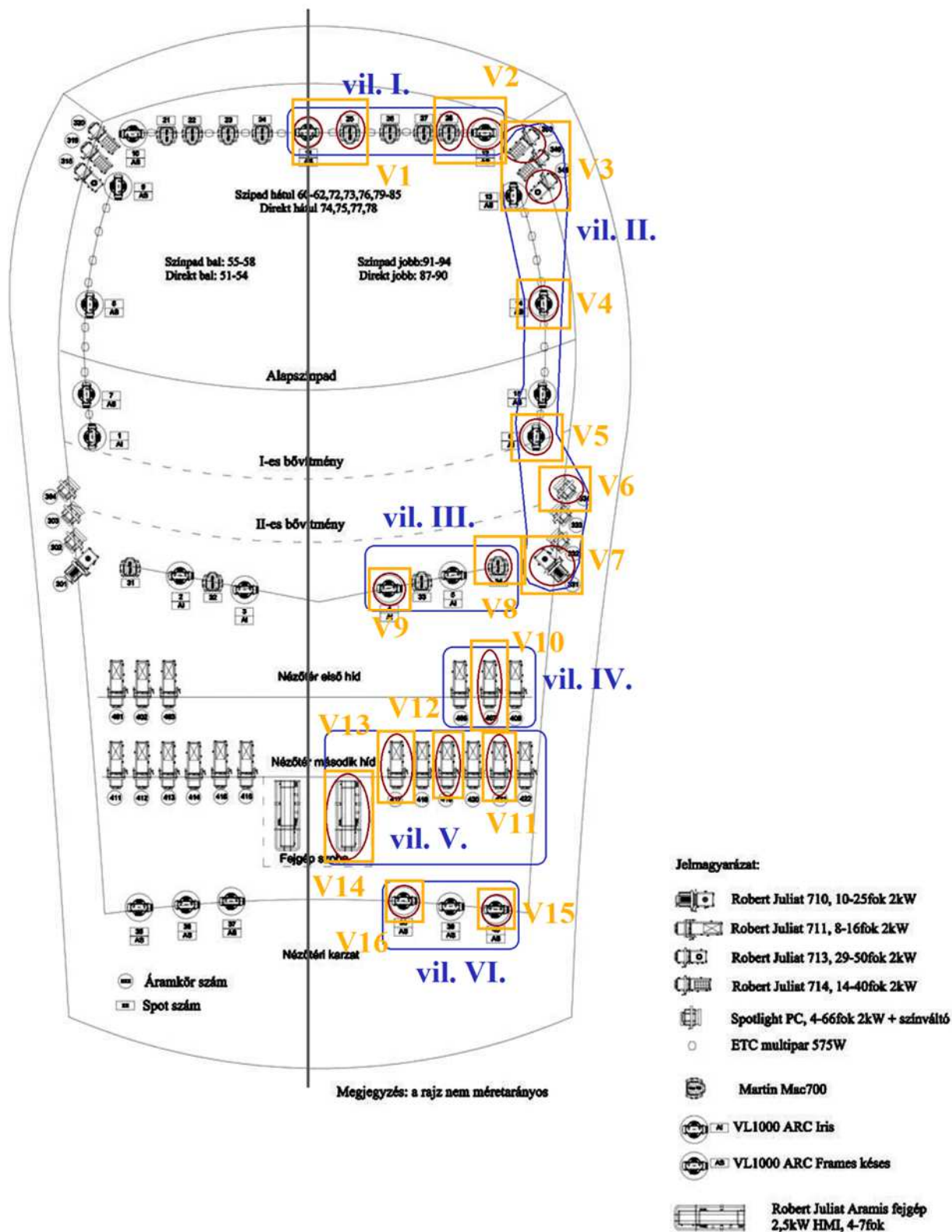

G MELLÉKLET – A VILÁGÍTÁS HŐTERHELÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSÁHOZ HASZNÁLT ANYAGOK

G MELLÉKLET – A VILÁGÍTÁS HŐTERHELÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSÁHOZ HASZNÁLT ANYAGOK

Világító berendezések elhelyezkedése

Forrás: http://mupa.hu/wp-content/themes/mupa/pdf/2_BBNH.pdf

BARTÓK BÉLA NEMZETI HANGVERSENYTEREM VILÁGÍTÁSI TÉRKÉP



Sárga jelölés – Excel táblázatban külön szereplő zóna;

Kék jelölés – Azonos geometriai elhelyezkedésű világító testek.

Világító berendezések darabszáma és teljesítménye táblázatosan

Forrás: http://mupa.hu/wp-content/themes/mupa/pdf/2_BBNH.pdf

Előadás/próba hatásvilágítás:

FÉNYSZABÁLYZÓ PULTOK

Compulite Vector M	4096 csatorna	2 db	alapszolgáltatás
IES Supervisor 36	48 nézőtéri+tartalék ák.	1 db	alapszolgáltatás
E 1115/6M analóg szabályzó pult	6 csat. kottavilágítás	1 db	alapszolgáltatás

PROFIL FÉNYVETŐK

Robert Juliat 711 SX2	2 kW	18 db	alapszolgáltatás
Robert Juliat 713 SX2	2 kW	2 db	alapszolgáltatás
Robert Juliat 714 SX2	2 kW	4 db	alapszolgáltatás
Robert Juliat 710 SX2	2 kW	2 db	alapszolgáltatás

PAN-KONVEX LENCSES FÉNYVETŐK

Spotlight COM 25 PC (színváltóval)	2 kW	6 db	alapszolgáltatás
------------------------------------	------	------	------------------

INTELLIGENS FÉNYVETŐK

VARI-LITE VR 1000 AS	575 W	15 db	alapszolgáltatás
VARI-LITE VL 1000 AI	575 W	6 db	alapszolgáltatás
Martin MAC 700	700 W	12 db	alapszolgáltatás

CANOPY FÉNYVETŐI

ETC Par MCM Hpl	575 W	154 db	alapszolgáltatás
-----------------	-------	--------	------------------

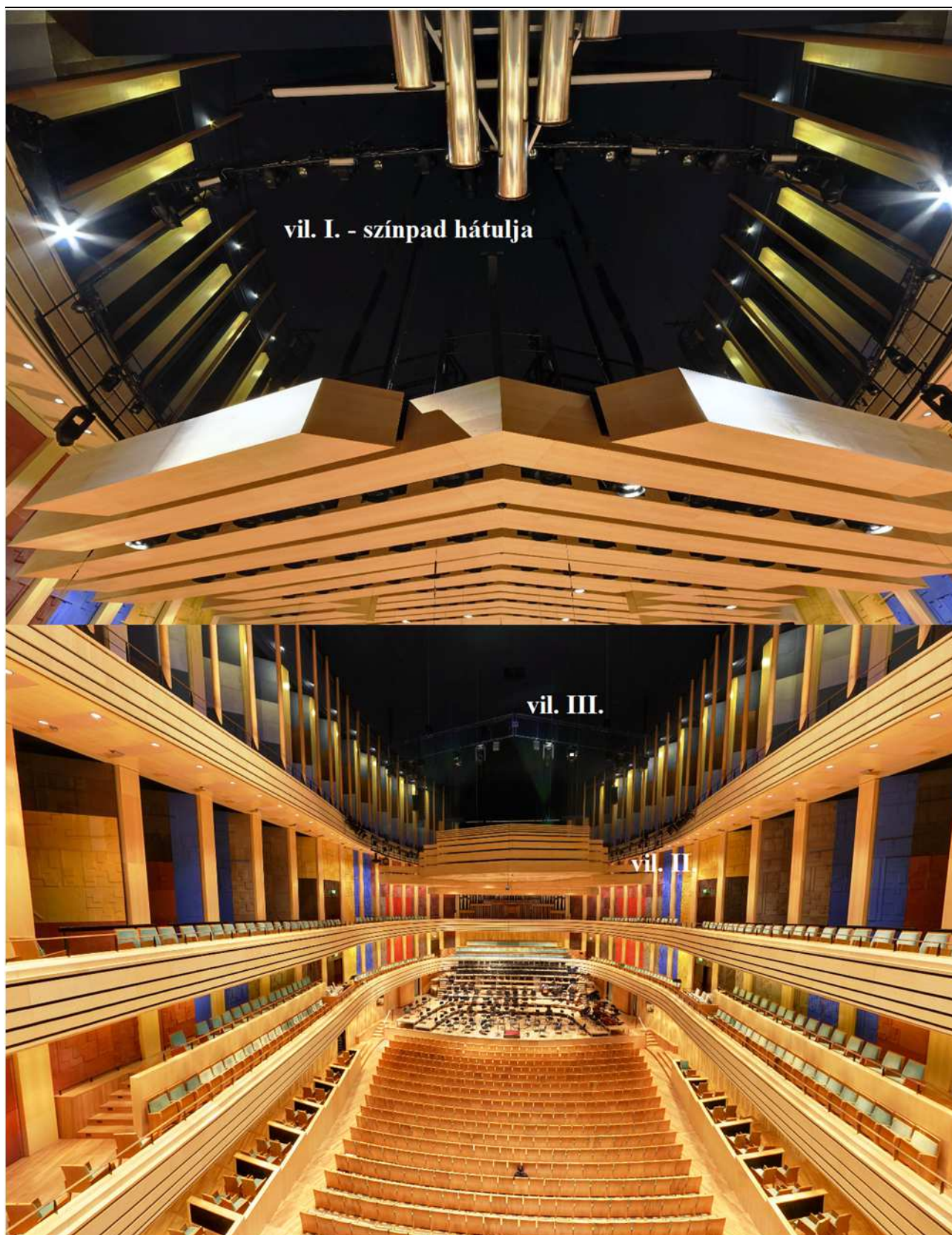
LEDES FÉNYVETŐK

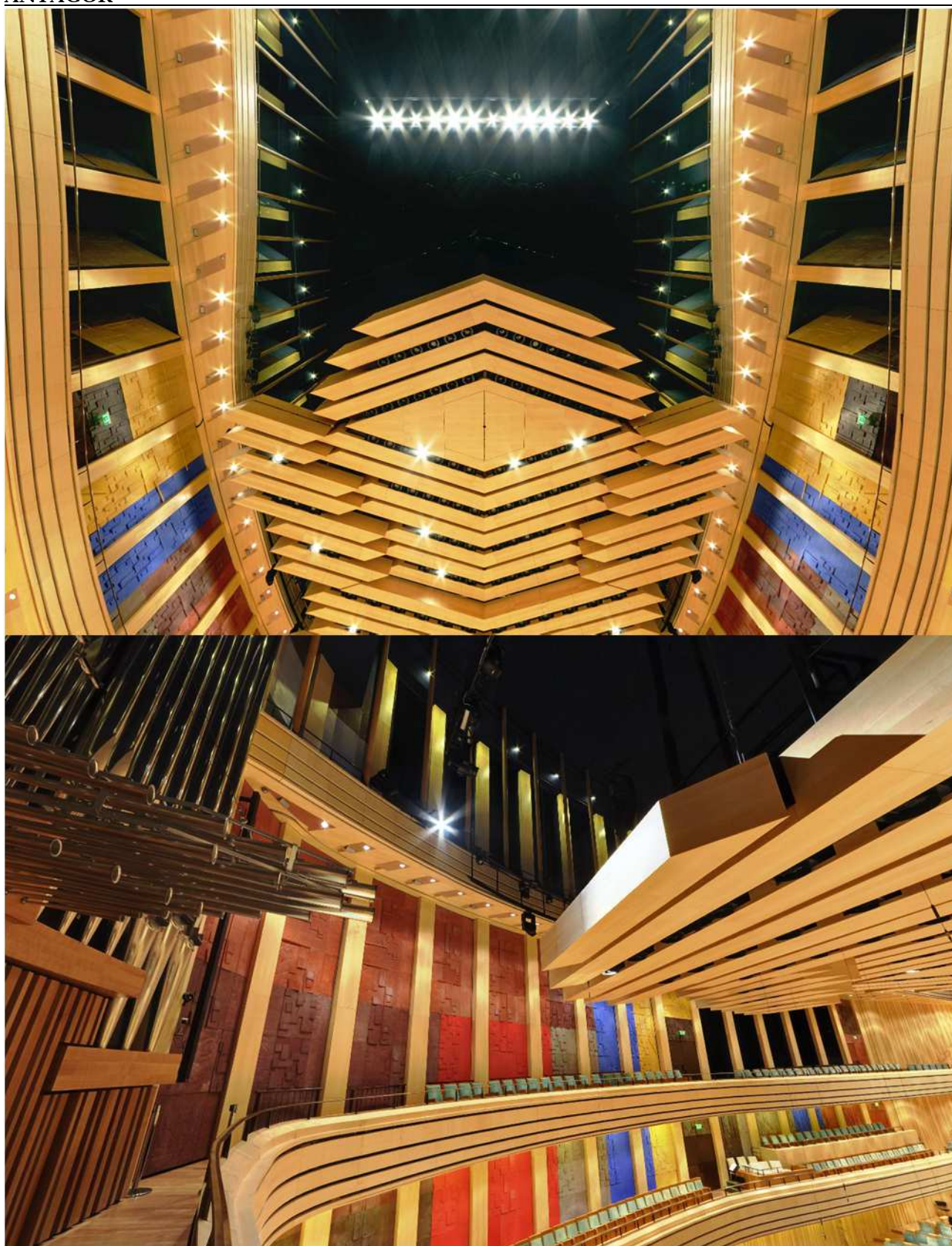
Martin Stagedar 54	116 W	8 db	alapszolgáltatás
--------------------	-------	------	------------------

Képek a világításról

Forrás: <http://360x180fok.blogspot.hu/2010/02/budapest-bartok-bela-nemzeti.html>



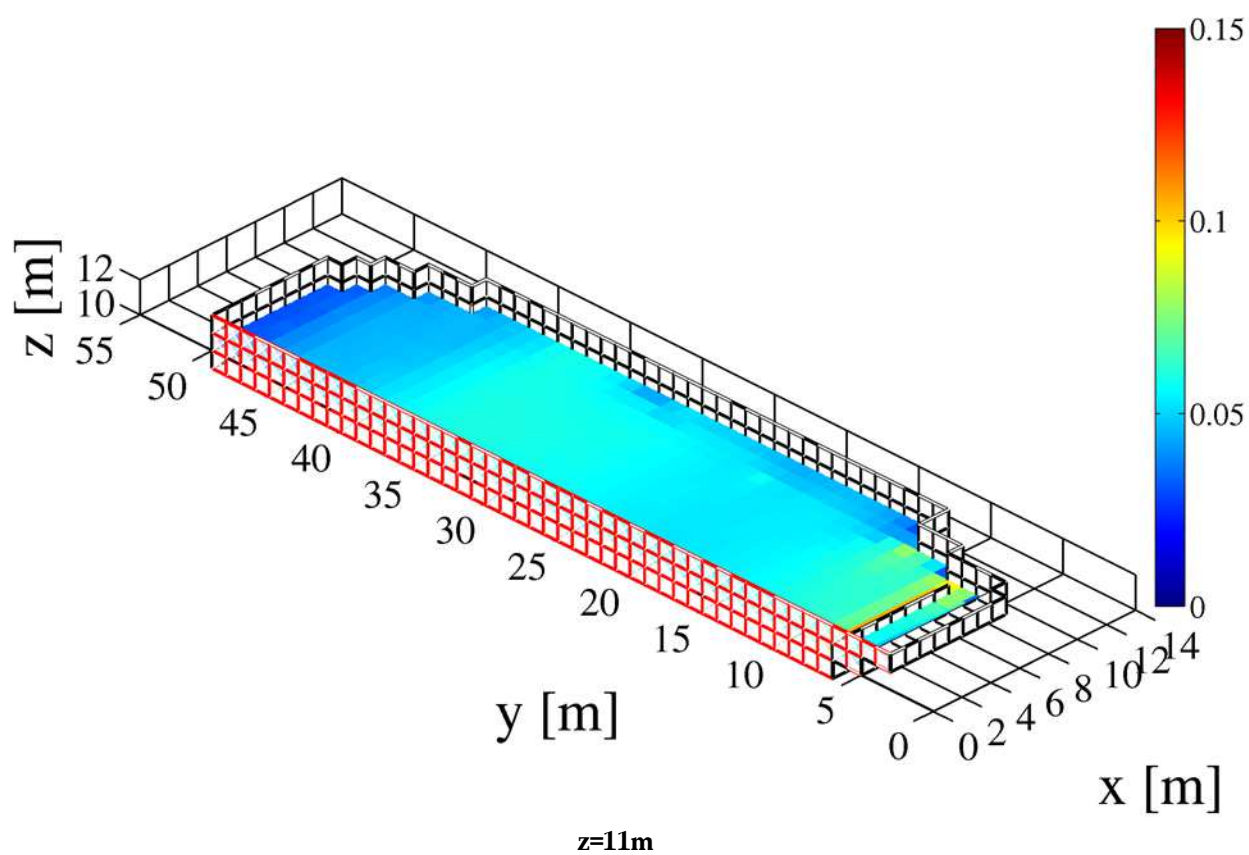
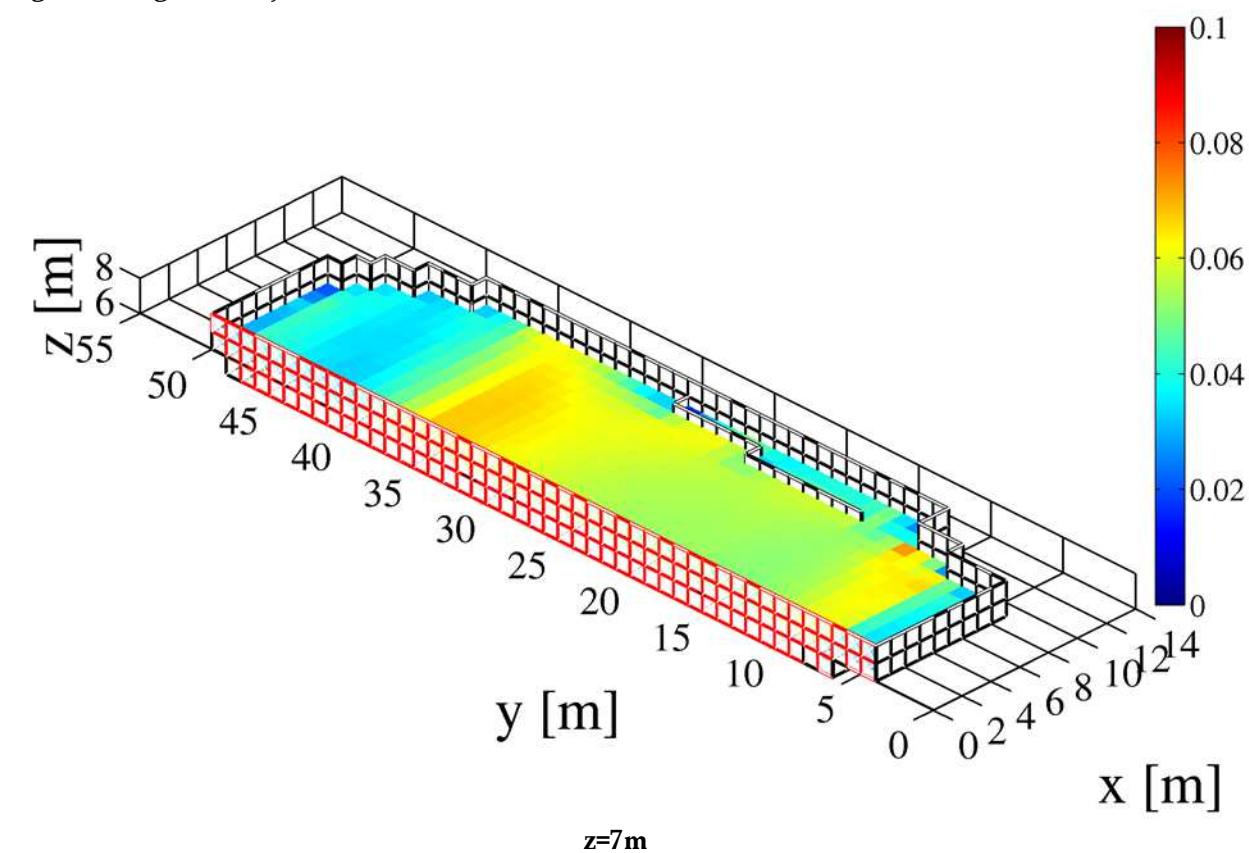


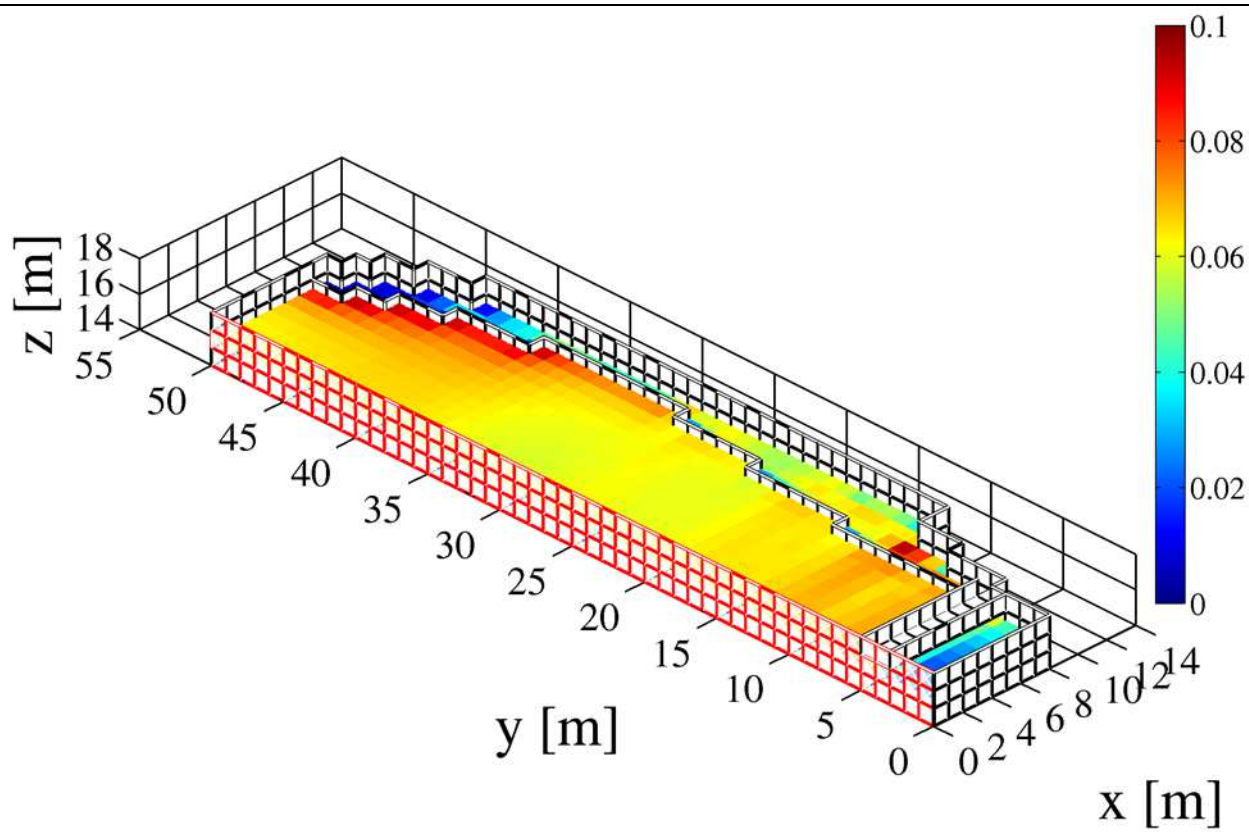


H MELLÉKLET – A SZÁMÍTÁS TOVÁBBI EREDMÉNYEI

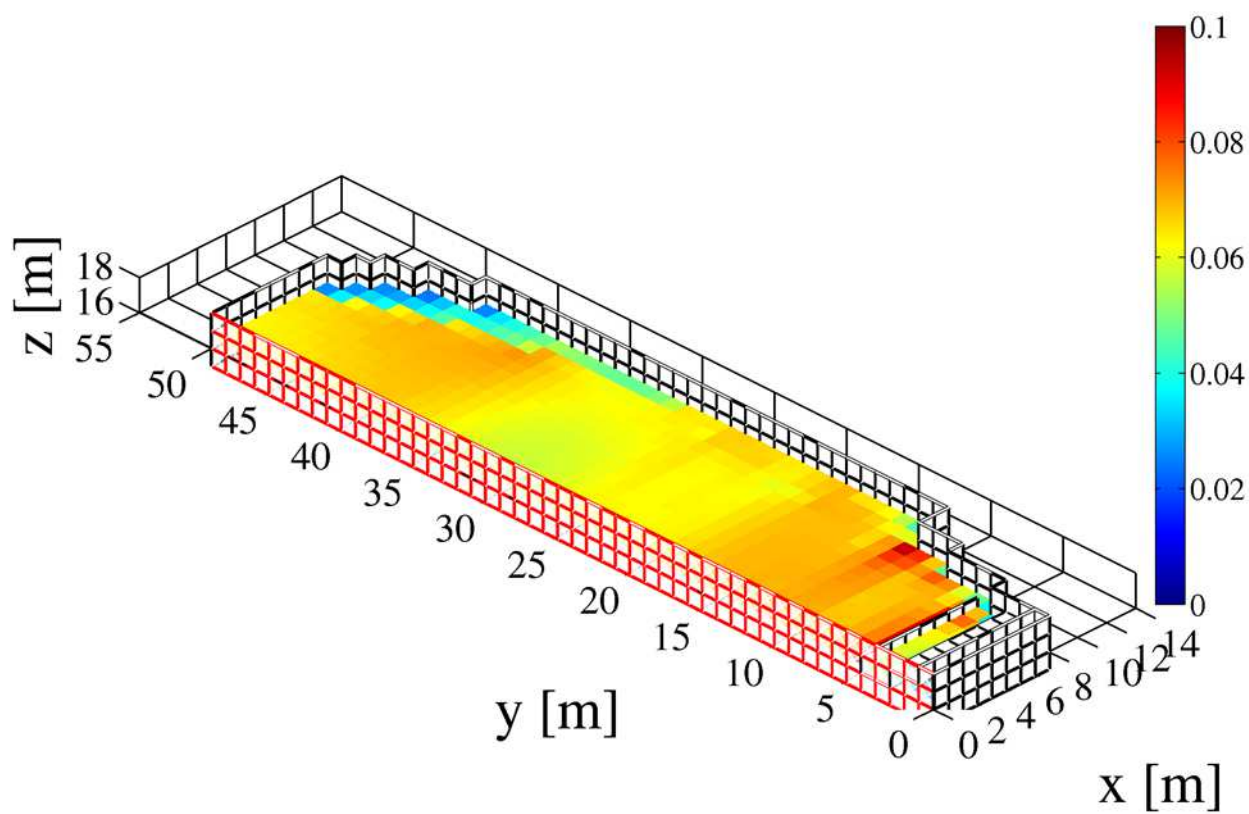
LÉGSEBESSÉGEK

A légsebesség kontúrjai horizontális metszősíkon

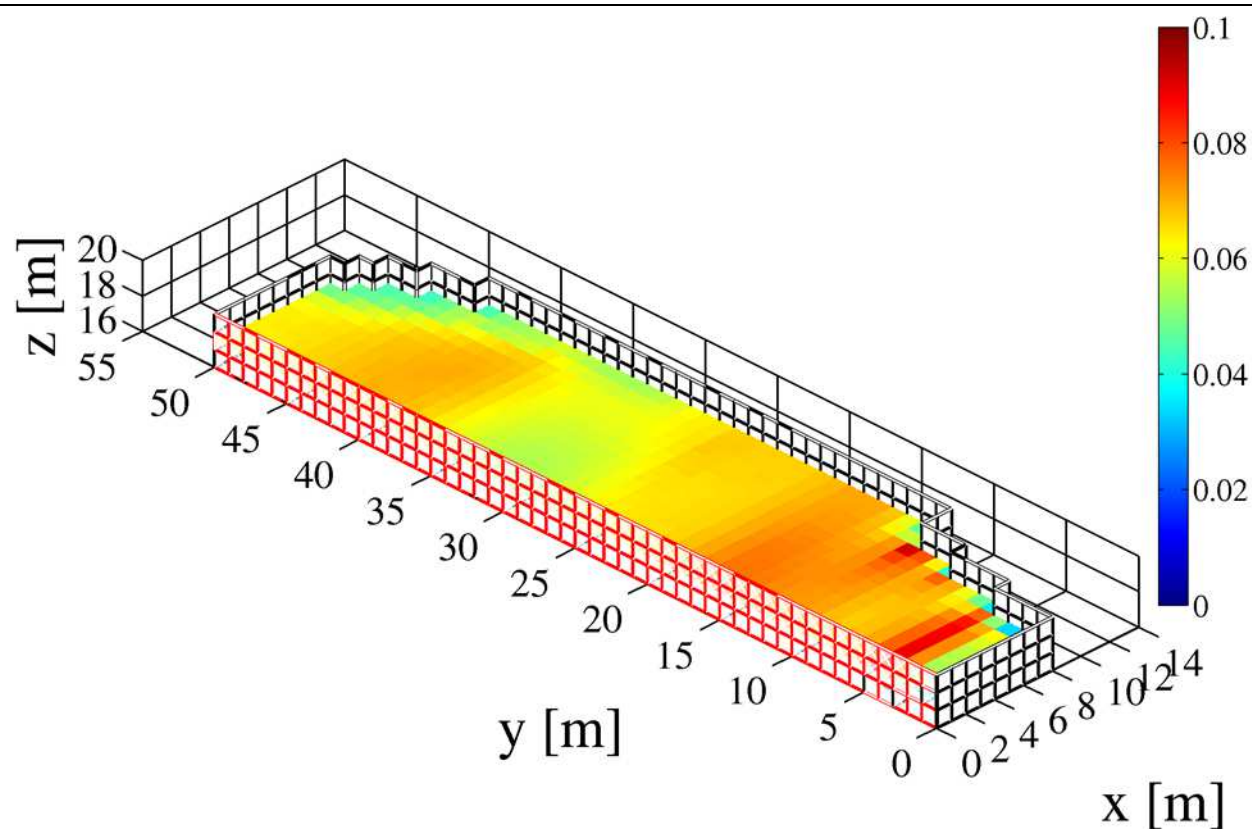




$z=16\text{m}$

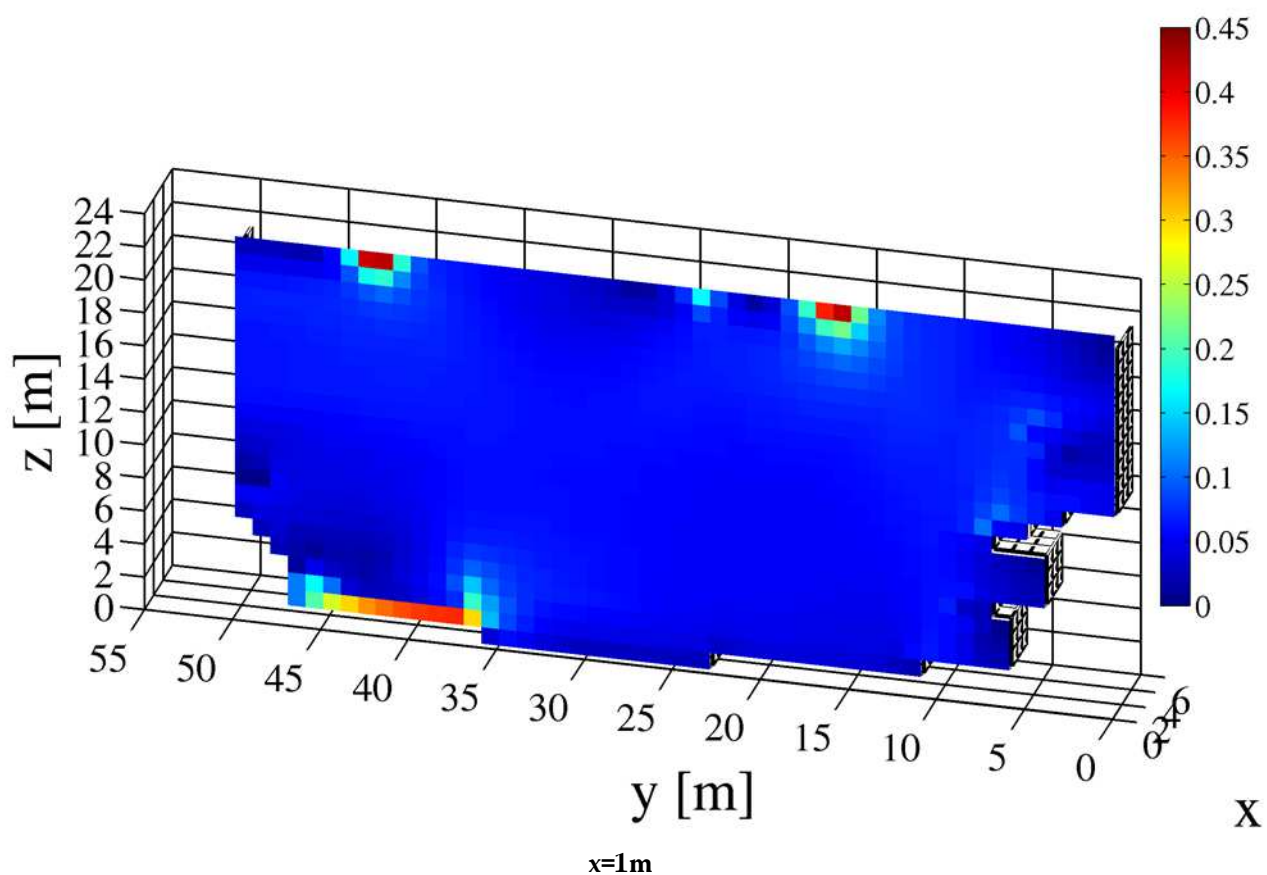


$z=17\text{m}$

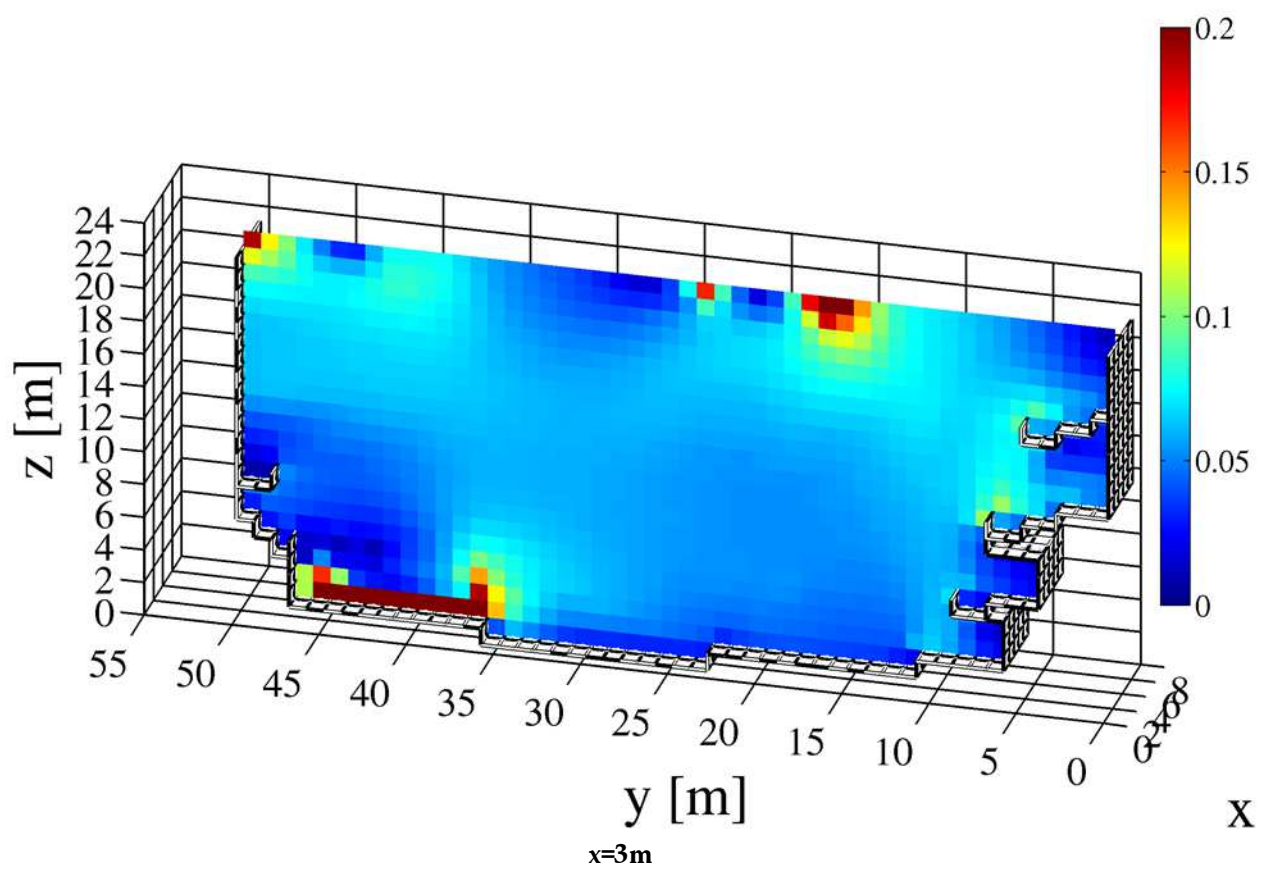
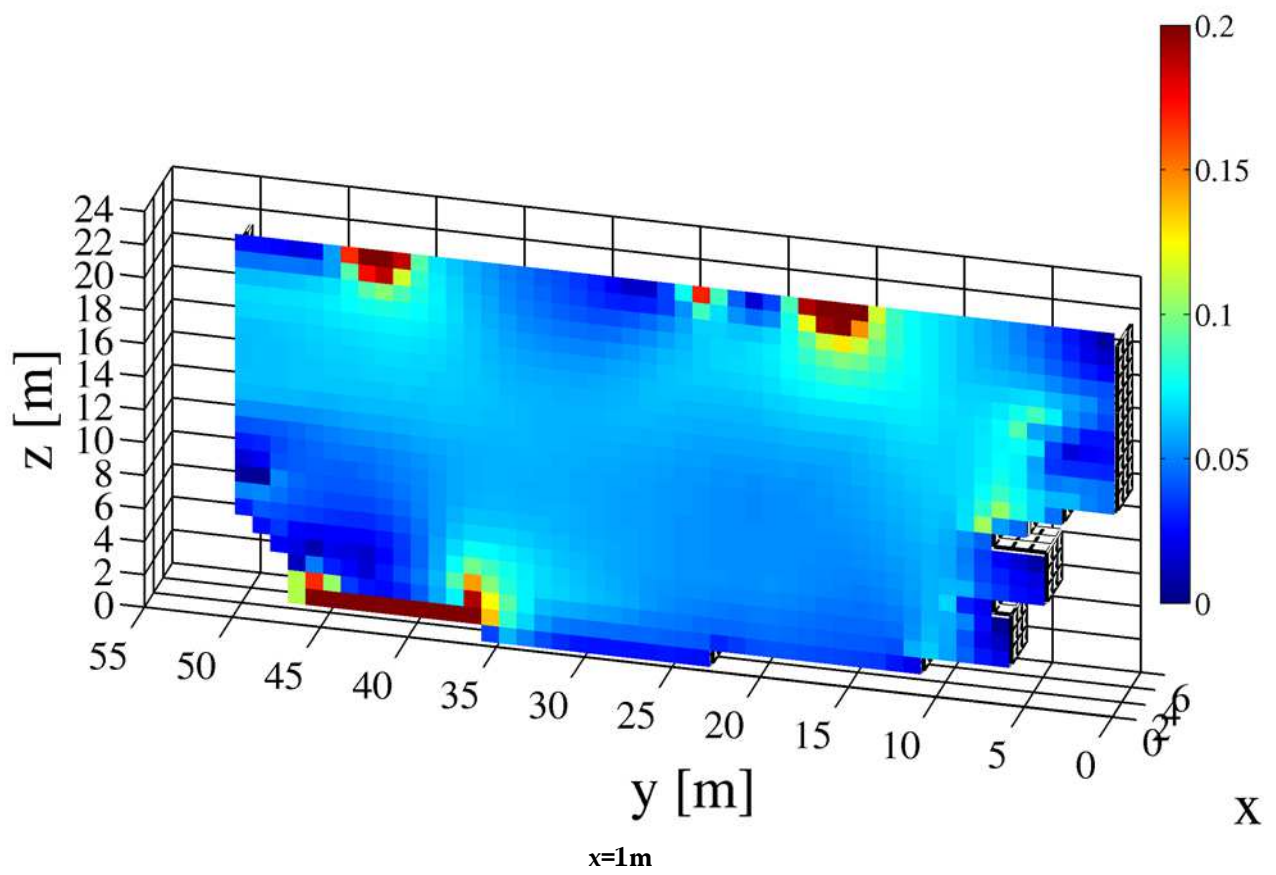


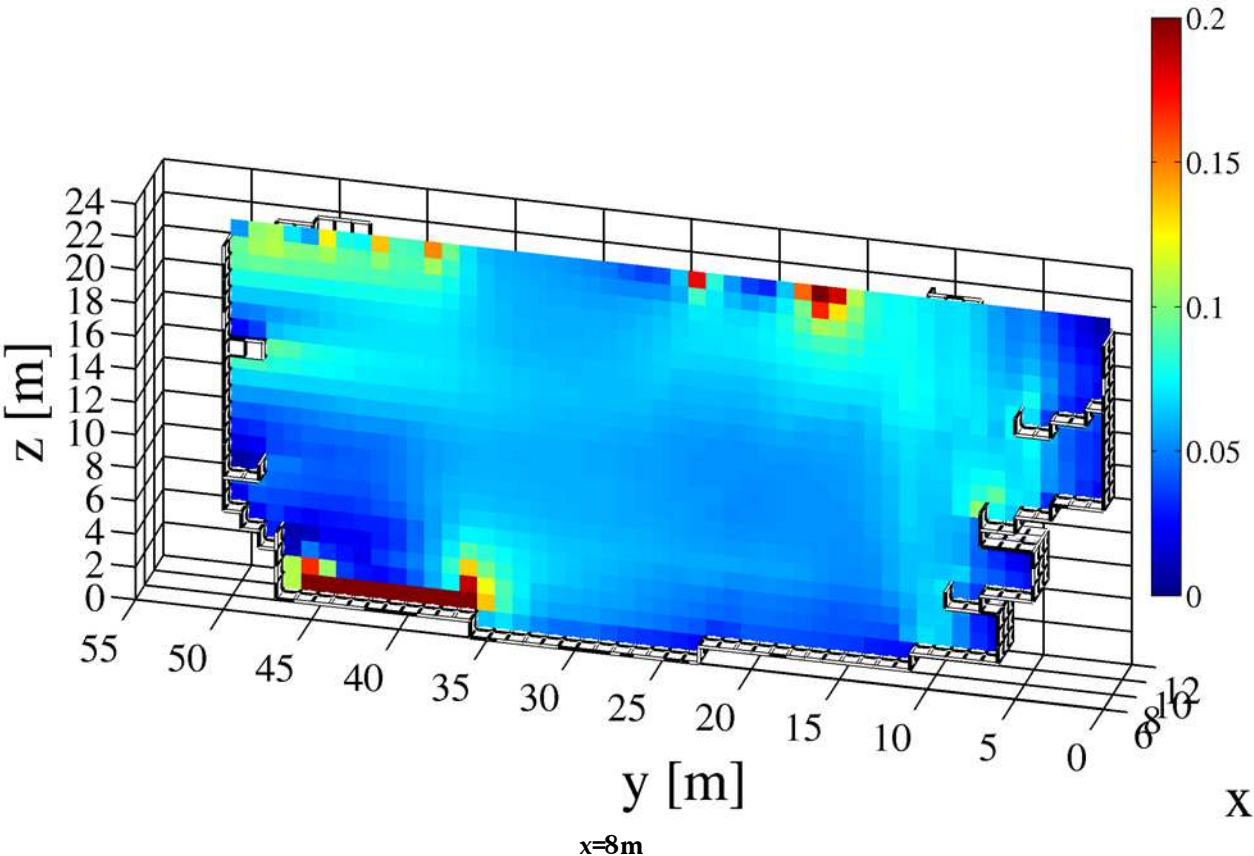
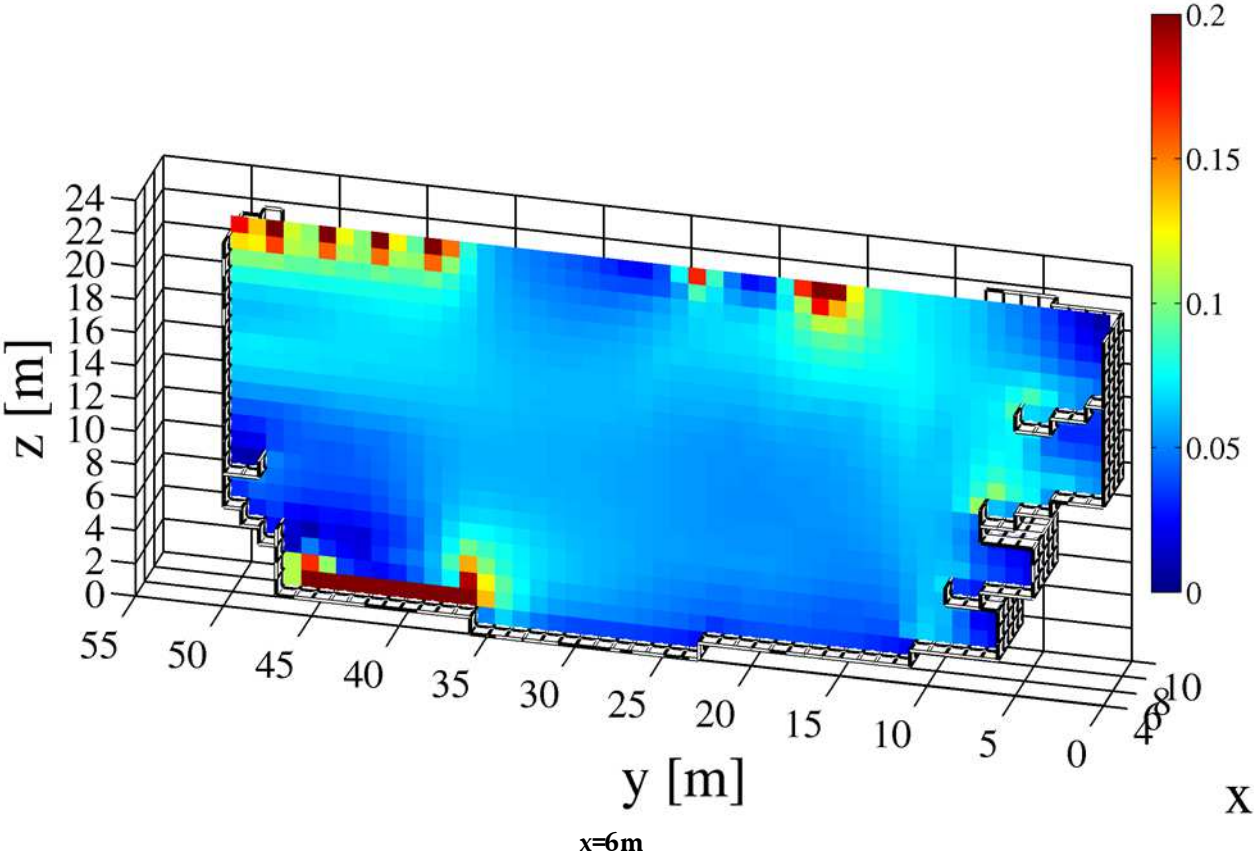
$z=18\text{m}$

A légsebesség kontúrjai vertikális, X normálisú metszősíkon

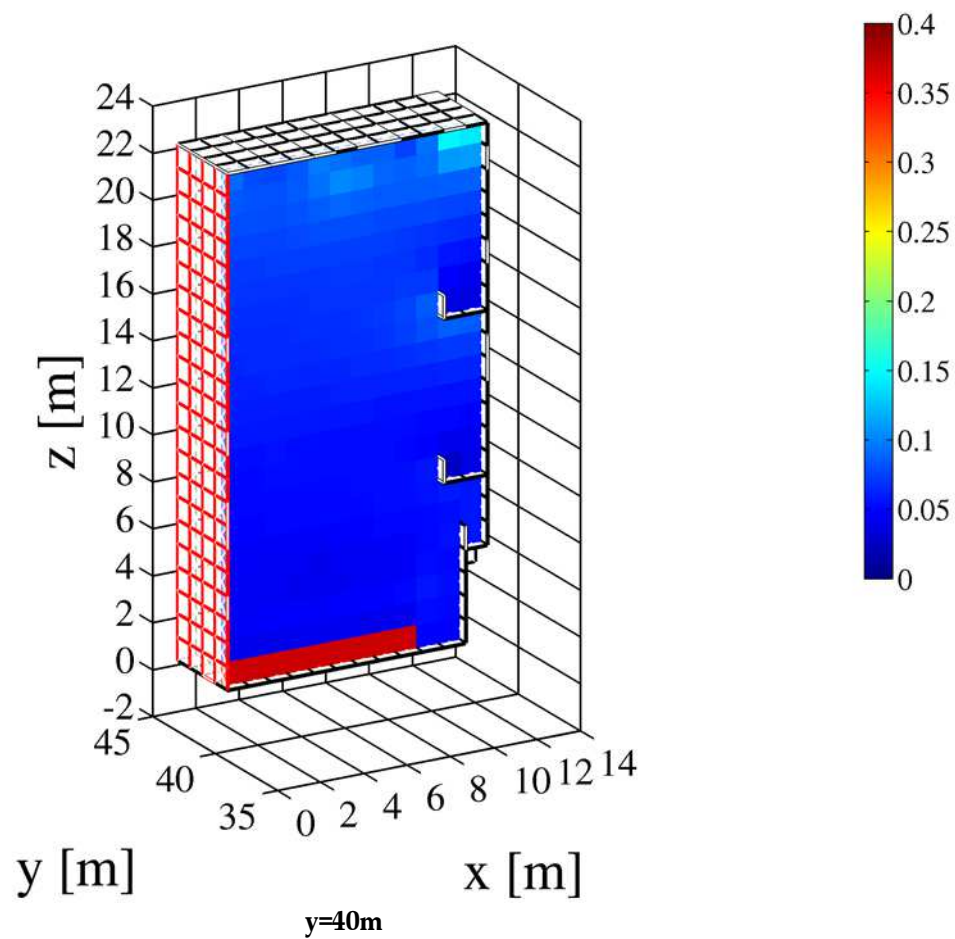
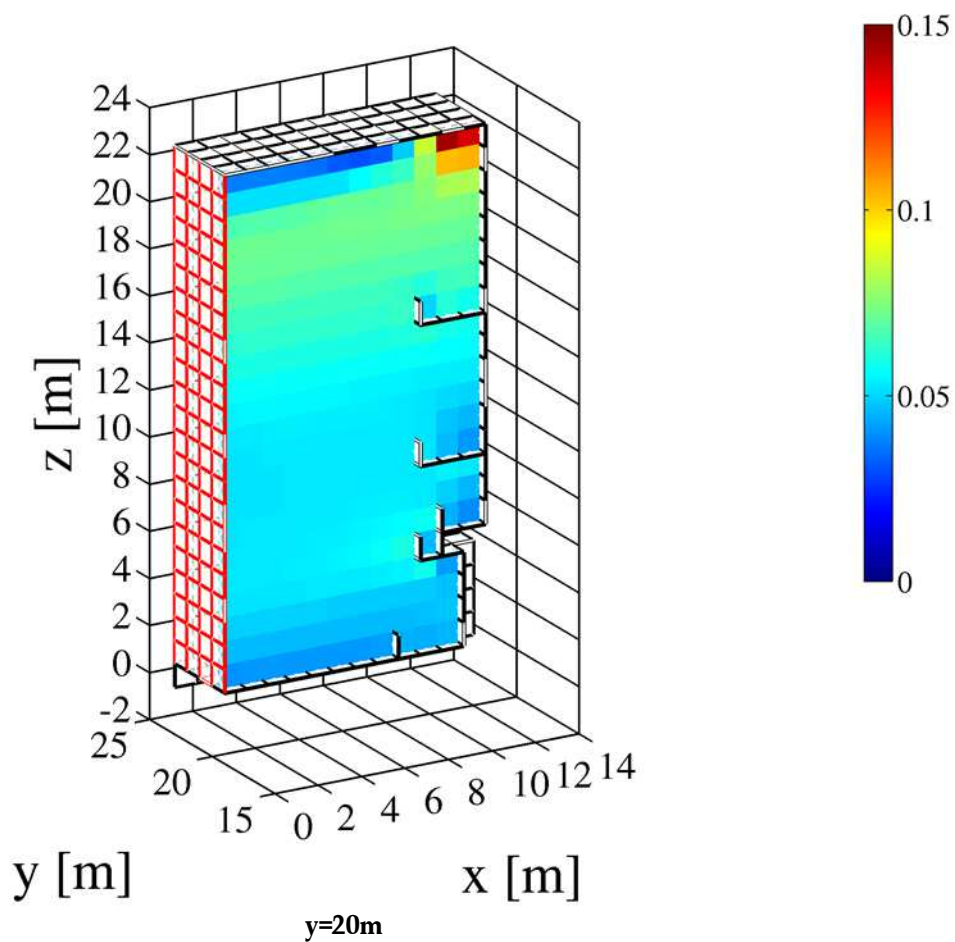


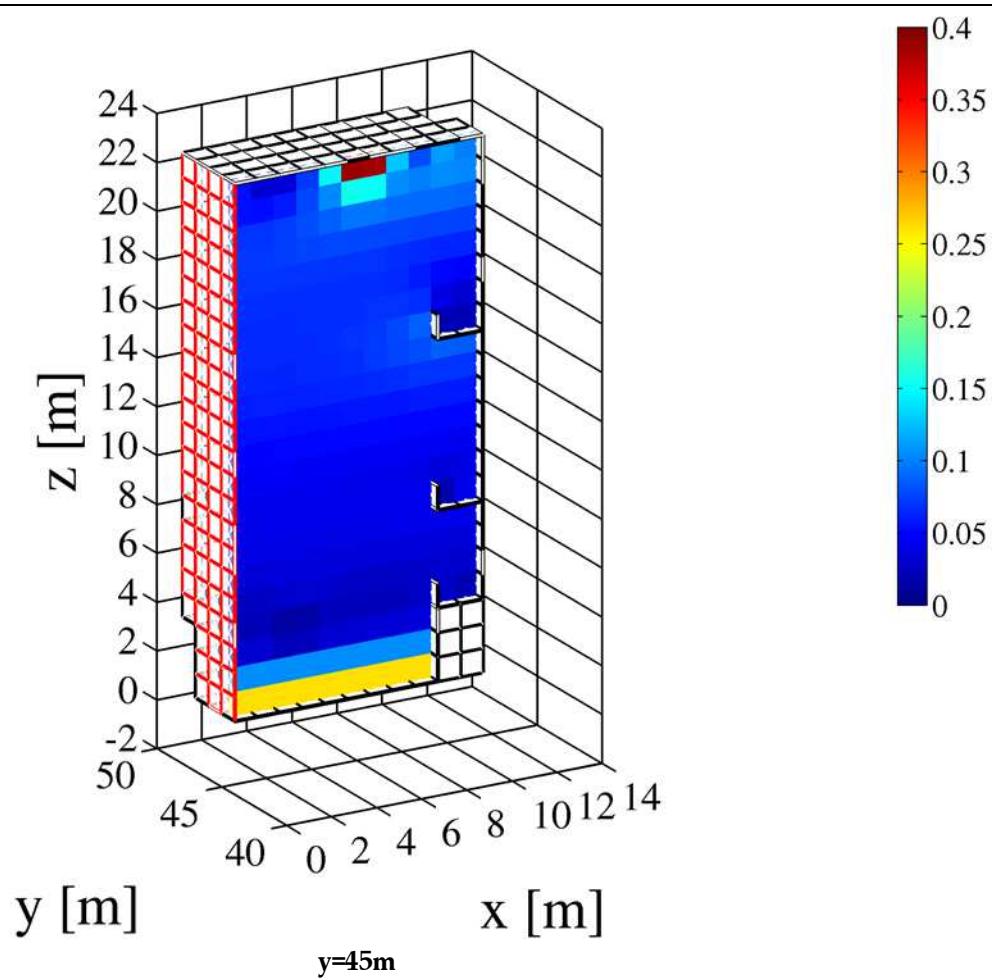
$x=1\text{m}$

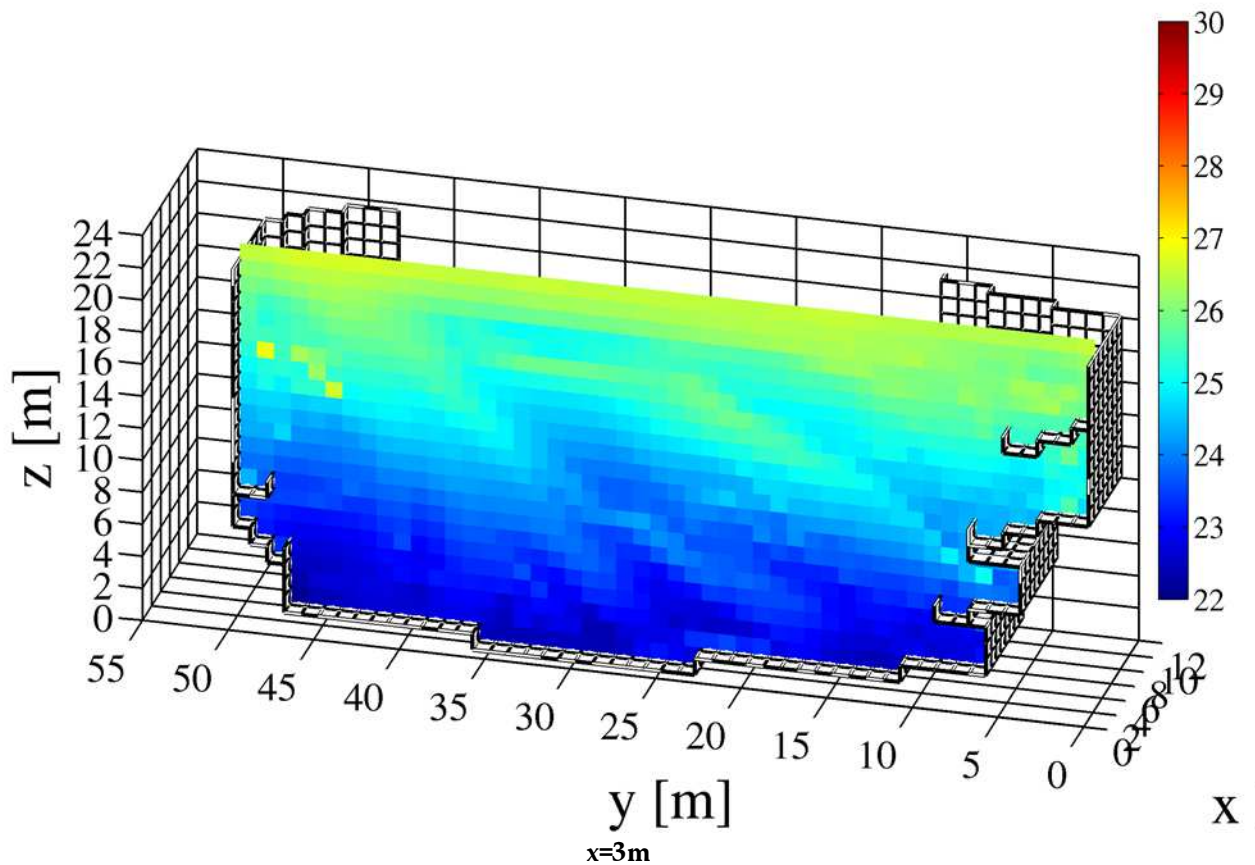
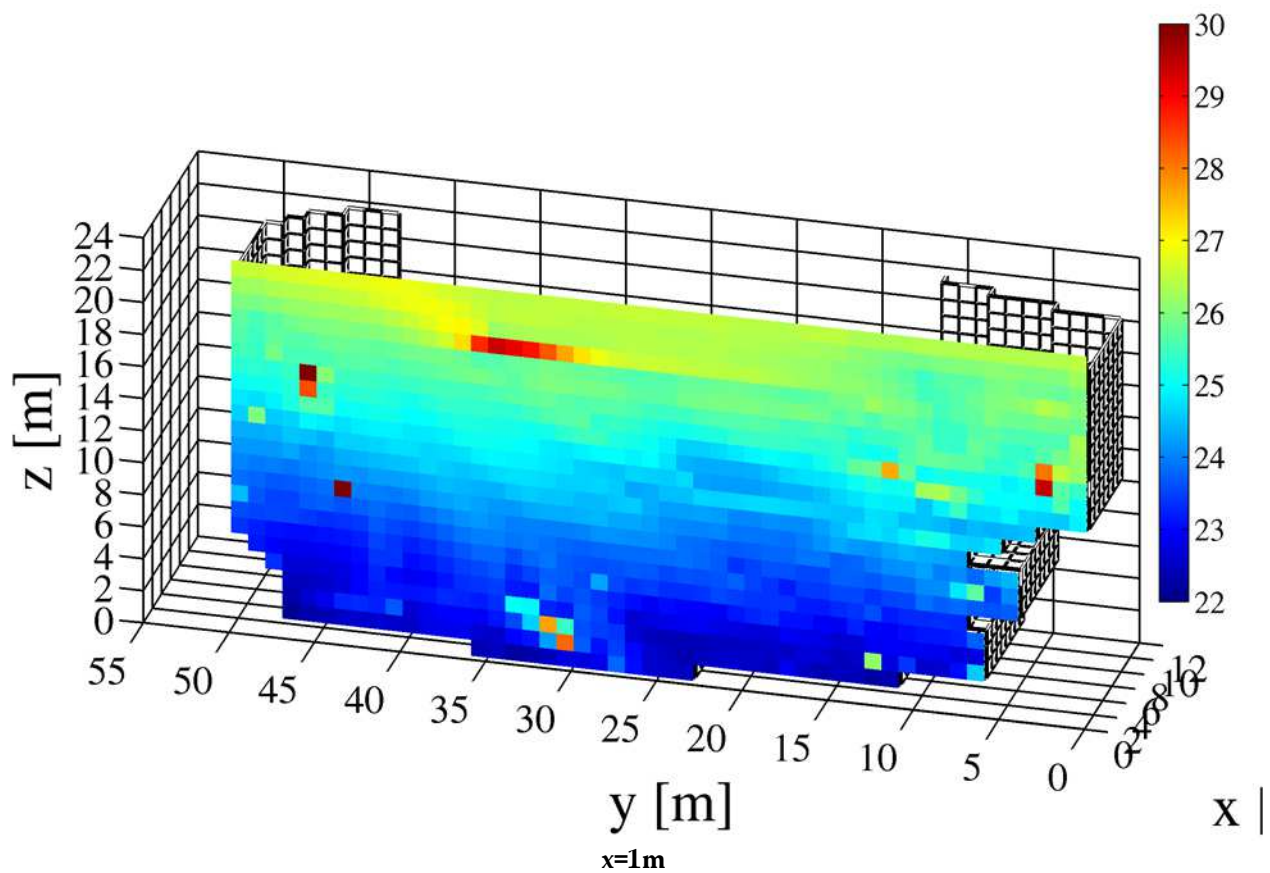


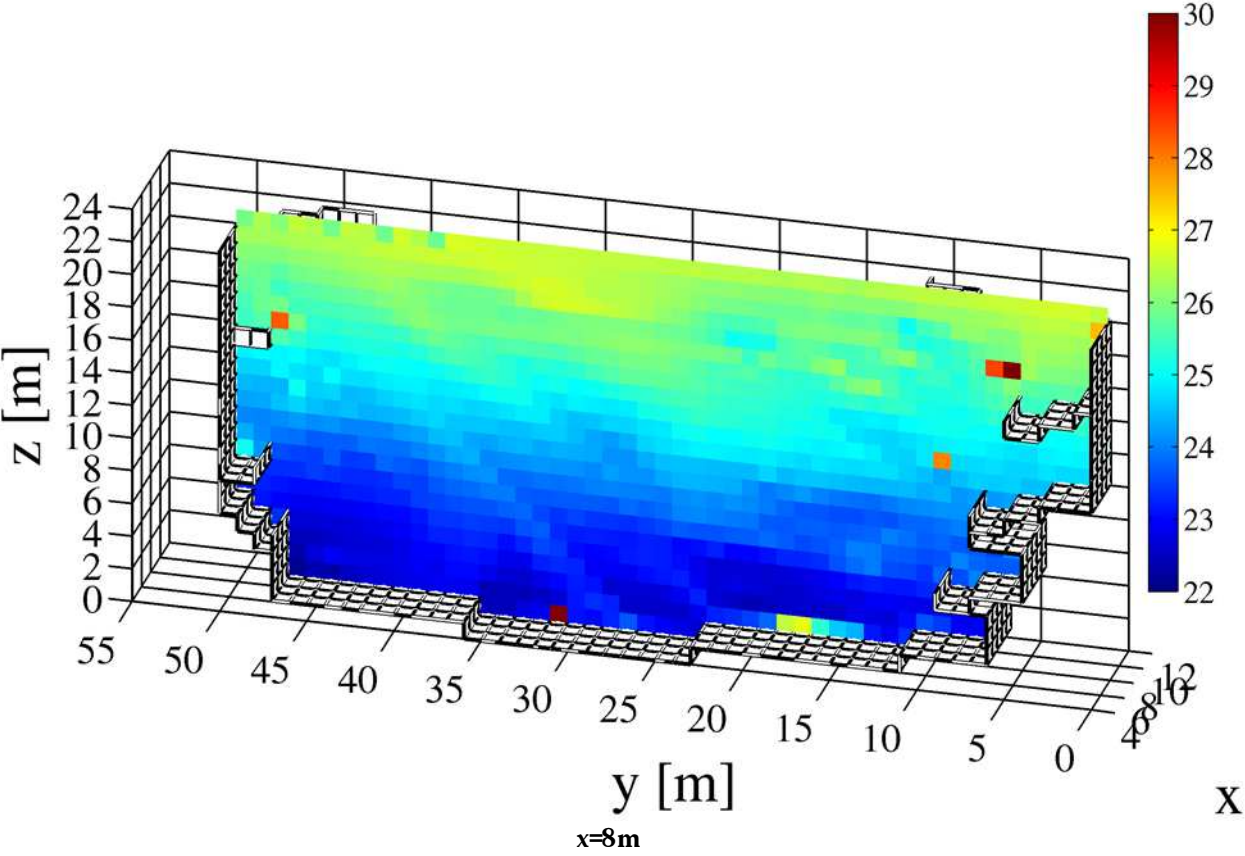
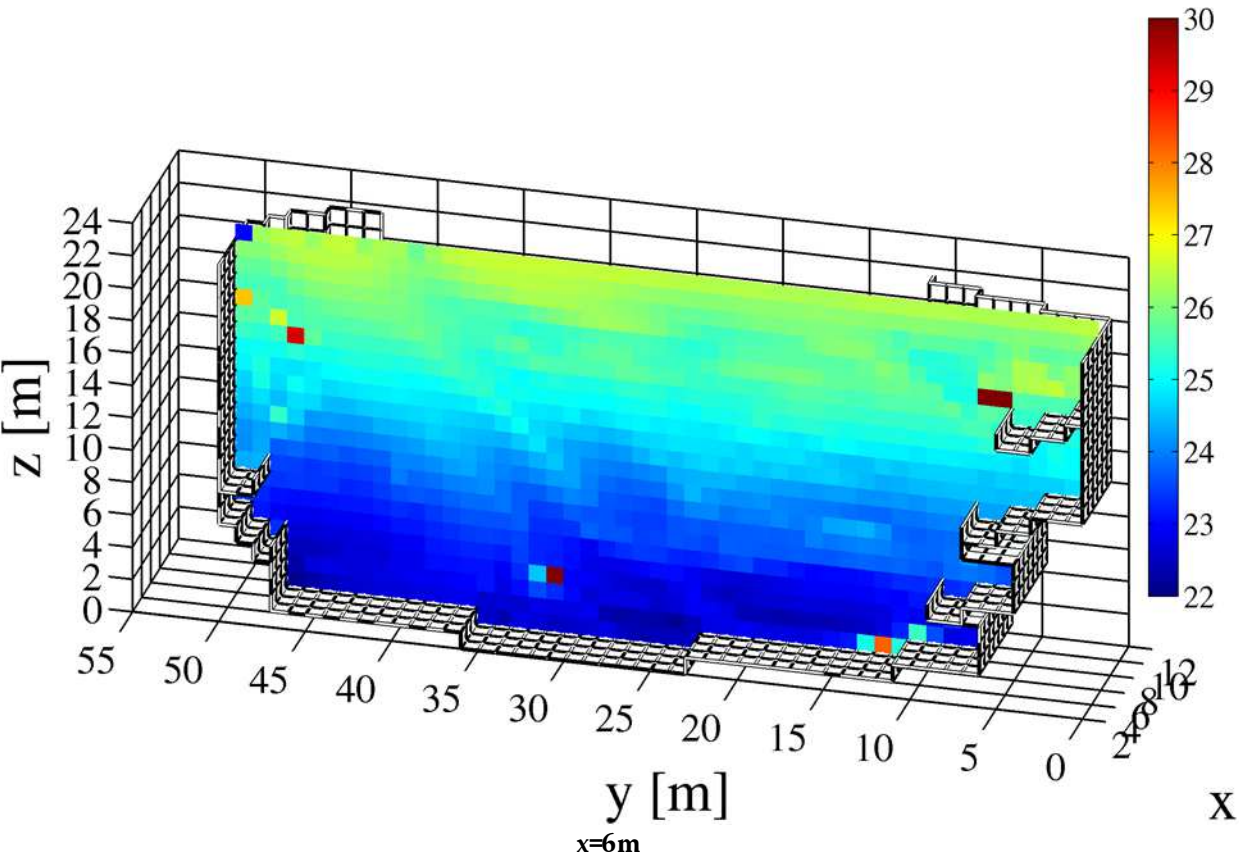


A légsebesség kontúrjai vertikális, Y normálisú metszősíkon





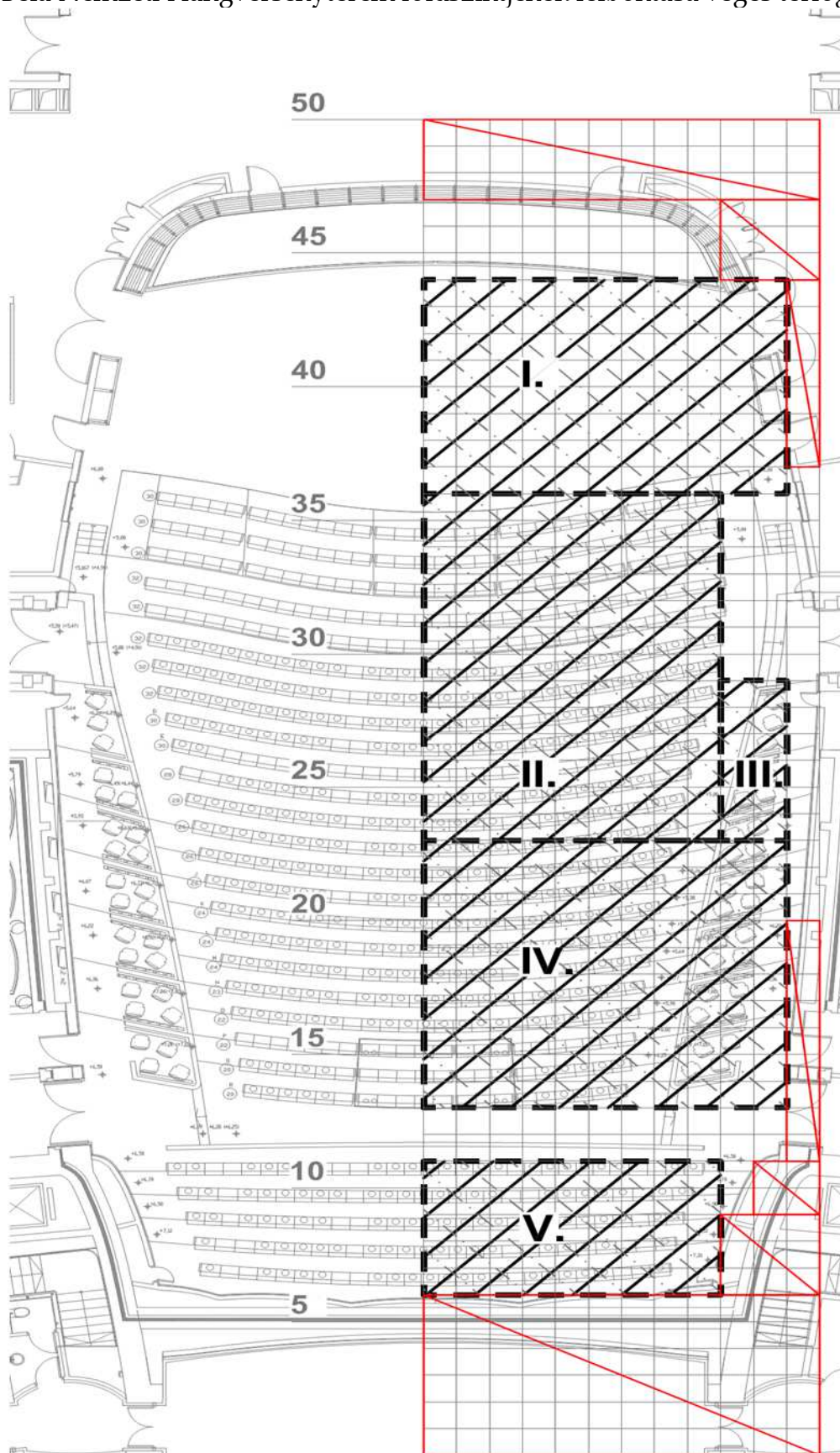




RAJZMELLÉKLETEK

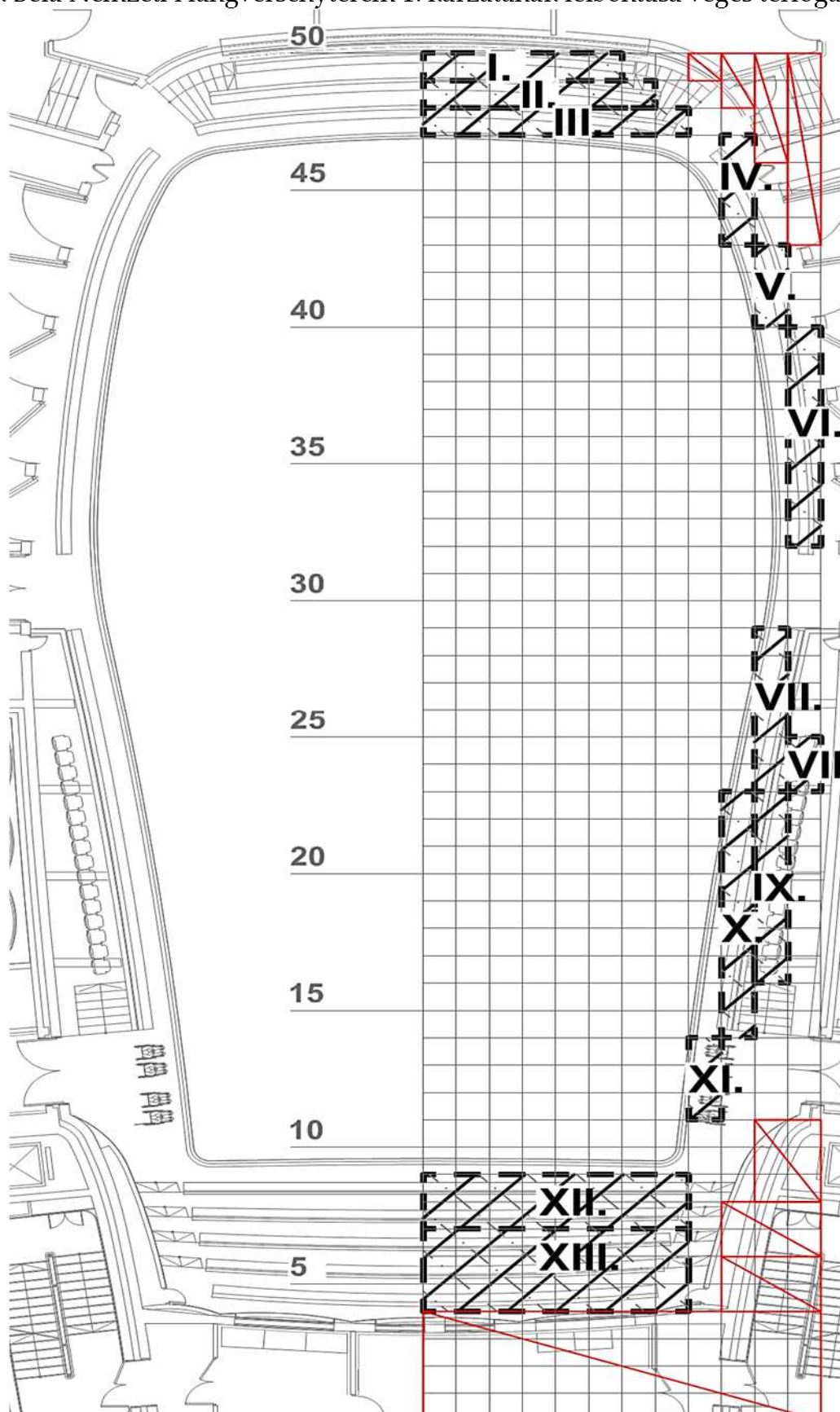
A RAJZMELLÉKLET – BBNH - FÖLDSZINT

A Bartók Béla Nemzeti Hangversenyterem földszintjének felbontása véges térfogatokra.



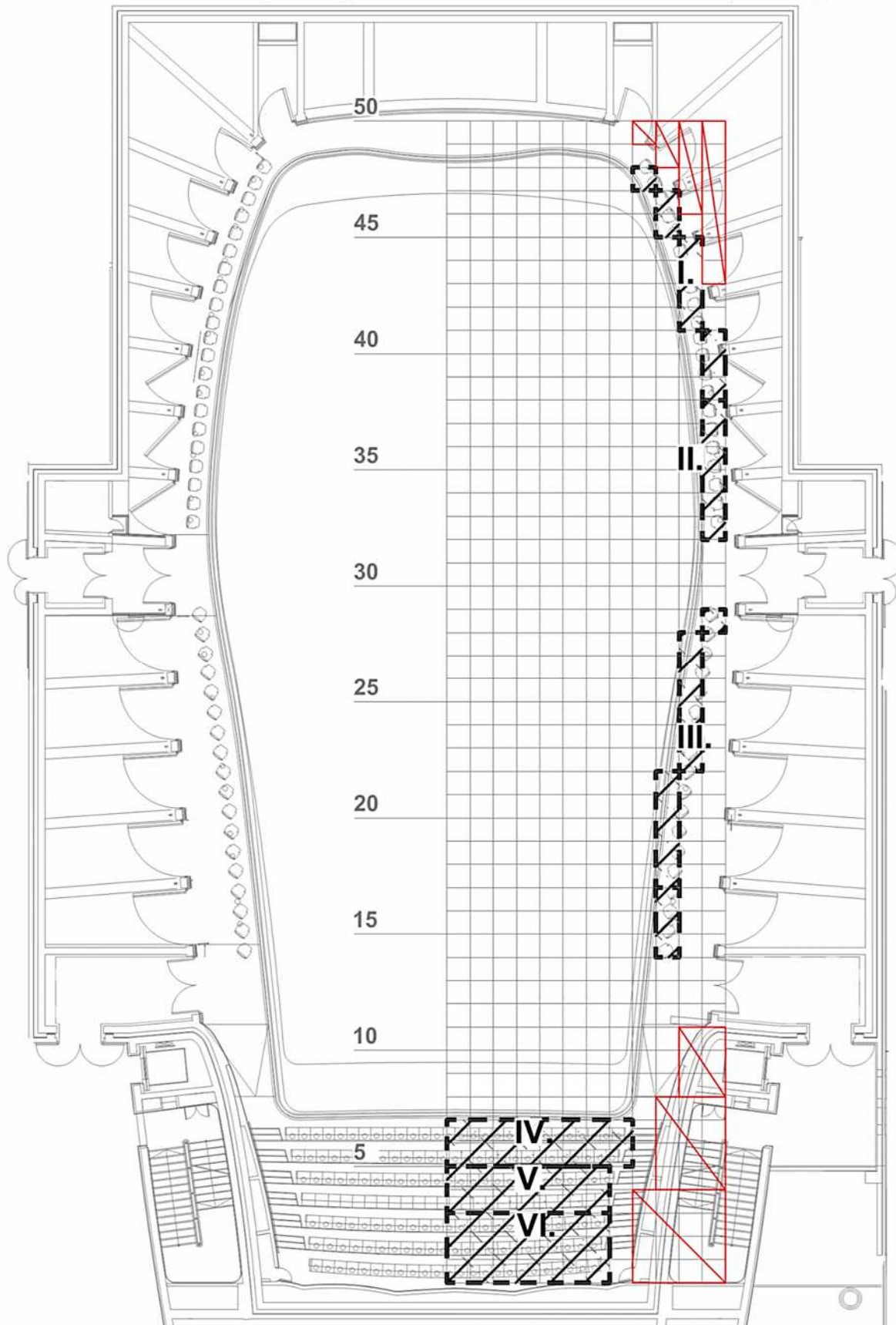
B RAJZMELLÉKLET – BBNH – 1. KARZAT

A Bartók Béla Nemzeti Hangversenyterem 1. karzatának felbontása véges térfogatokra.



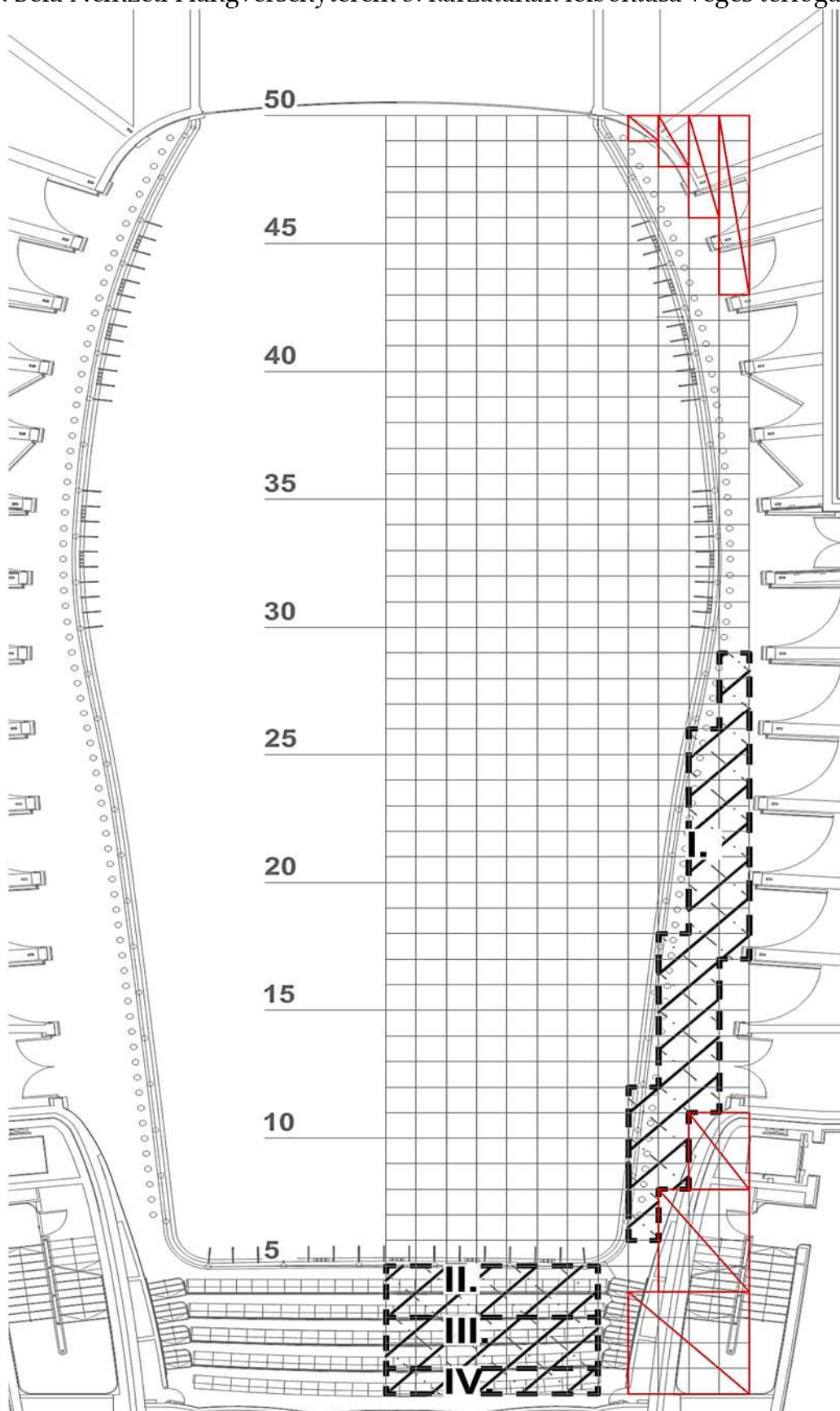
C RAJZMELLÉKLET – BBNH – 2. KARZAT

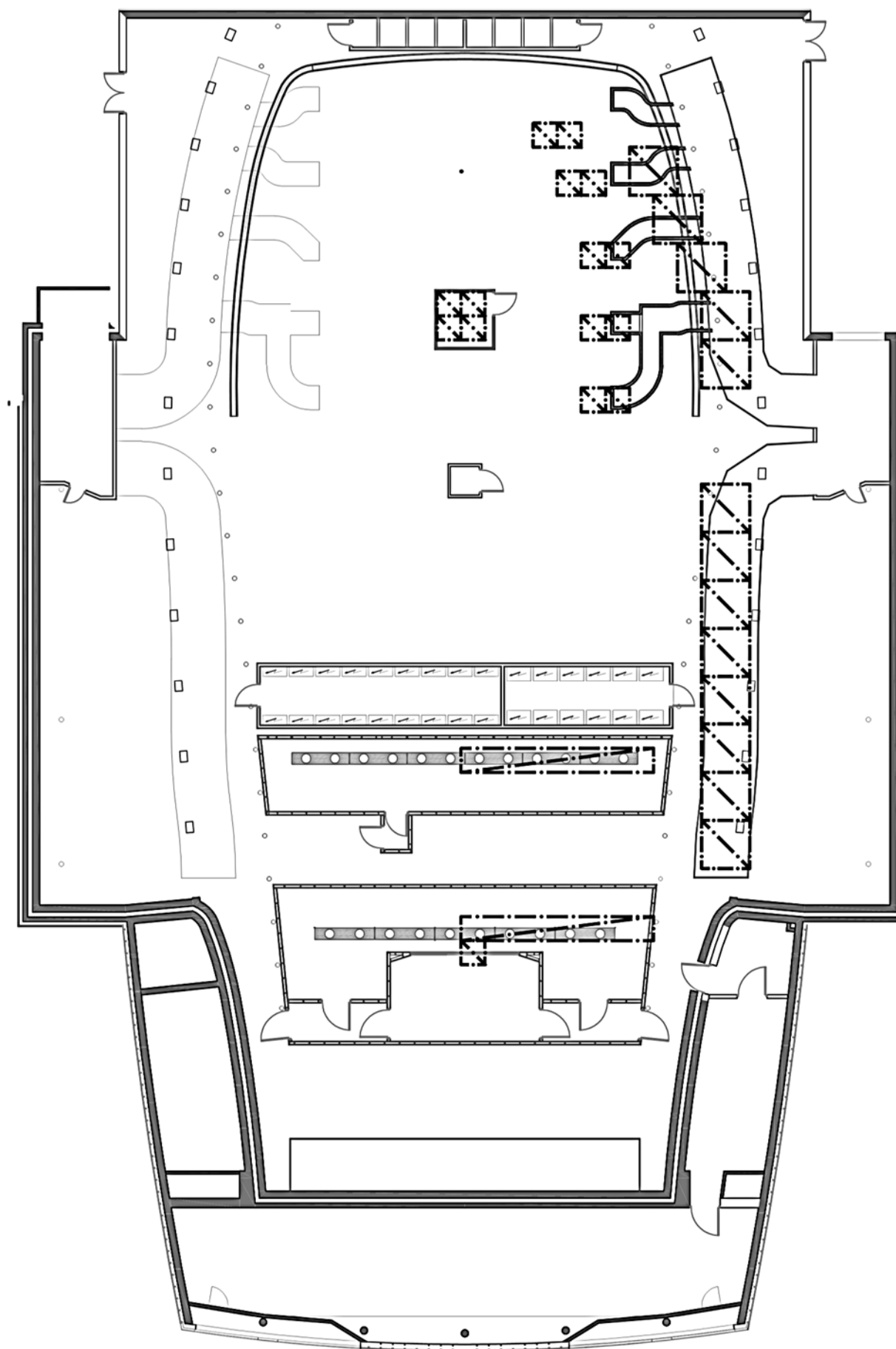
A Bartók Béla Nemzeti Hangversenyterem 2. karzatának felbontása véges térfogatokra.



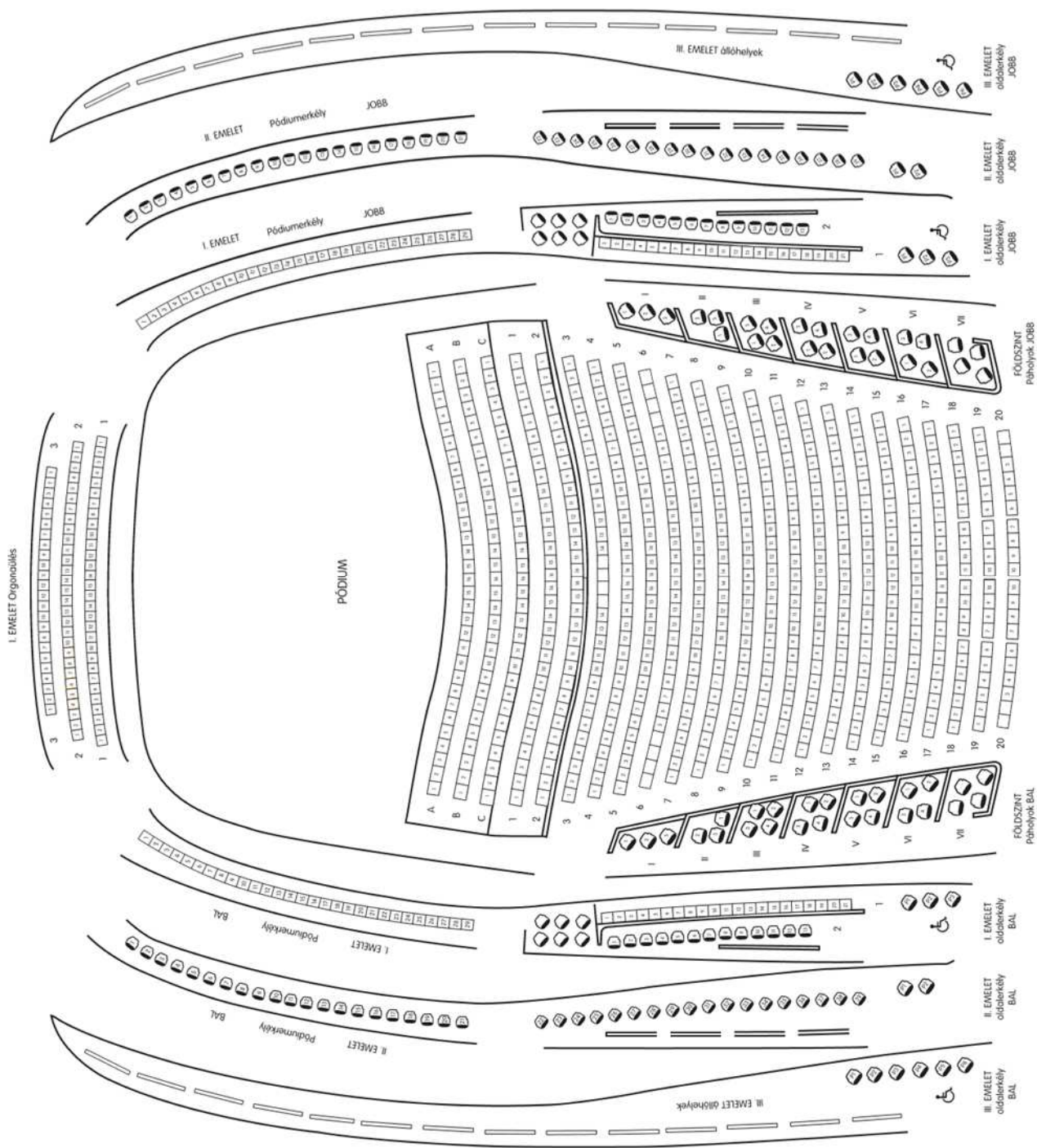
D RAJZMELLÉKLET – BBNH – 3. KARZAT

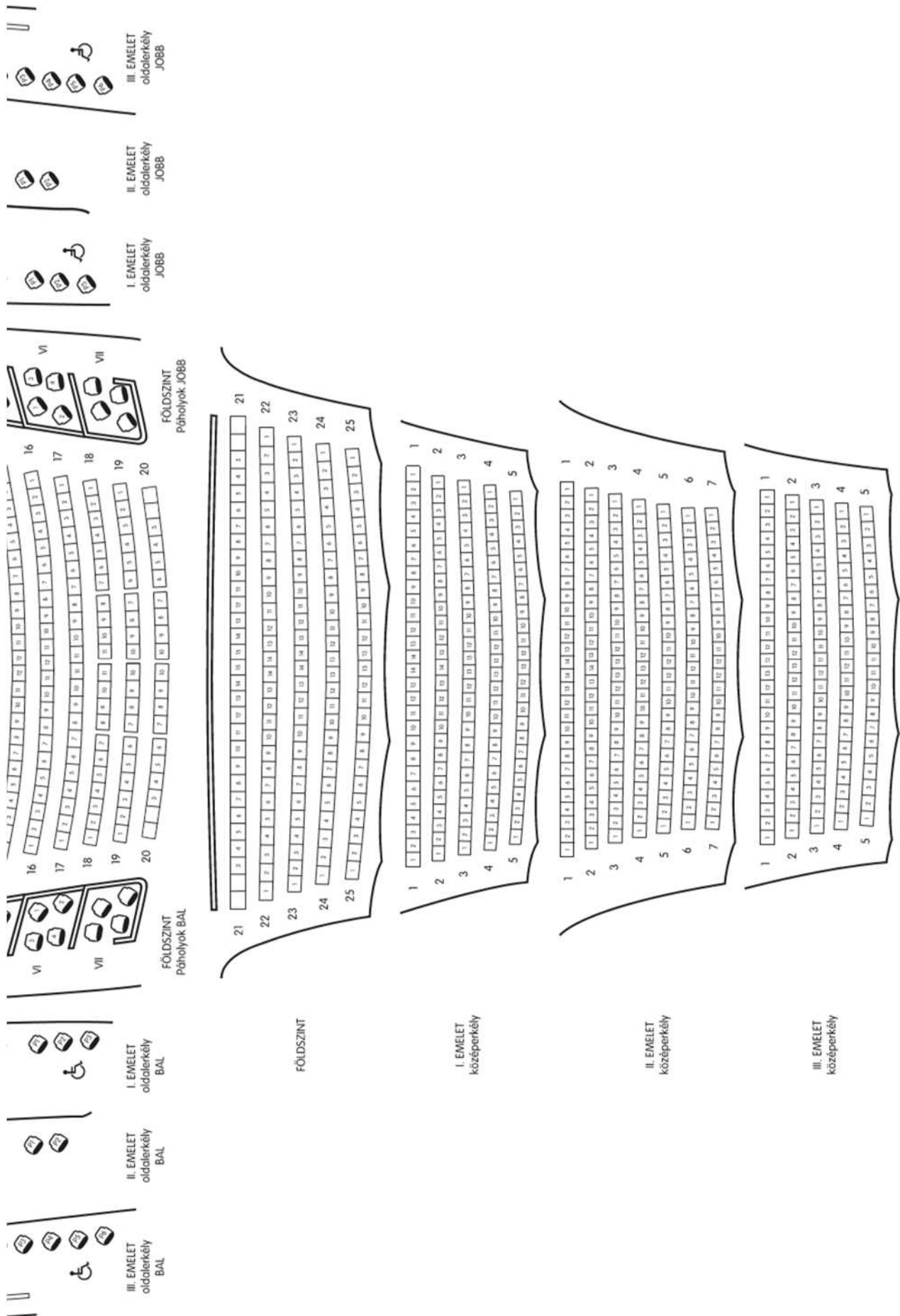
A Bartók Béla Nemzeti Hangversenyterem 3. karzatának felbontása véges térfogatokra.





F RAJZMELLÉKLET – BBNH – JEGYTÉRKÉP





G RAJZMELLÉKLET – BBNH – KAPCSOLÁSI RAJZ

Folytatás a következő oldalon

