

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Magistrsko delo

**ANALIZA SISTEMSKÉ PLOŠČE Z DIFUZORJEM V
SYSTEMU HVAC**

Maribor, september 2016

Mitja SELIČ



Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

Magistrsko delo

**ANALIZA SISTEMSKE PLOŠČE Z DIFUZORJEM V
SISTEMU HVAC**

Maribor, september 2016

Avtor: Mitja SELIČ

Mentor: izr. prof. dr. Jure MARN

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Juretu Marnu za mentorstvo pri izdelavi magistrskega dela, red. prof. dr. Matjažu Hriberšku za usmeritve ter doc. dr. Mateju Zadravcu za pomoč pri delu s programskim orodjem ANSYS.

Posebna zahvala gre moji družini, ki me je podpirala in mi stala ob strani ter staršem, ki so mi omogočili študij.

KAZALO

1	SISTEM AIRCONOMY	1
1.1	Osnove.....	1
1.2	Funkcije	6
1.2.1	Ogrevanje, prezračevanje, hlajenje	12
1.2.2	Kombinacija.....	13
1.2.3	Vidni elementi distribucije	14
1.3	Načrtovanje.....	17
1.3.1	Osnovni napotki za projektiranje	19
1.3.2	Primer načrtovanja enodružinske hiše.....	19
1.3.3	Požarna zaščita in ostale omejitve	20
1.3.4	Preračun prezračevanja.....	21
1.4	Področja uporabe.....	24
1.4.1	Talne konstrukcije.....	24
1.4.2	Sestava tal pri novogradnji	26
1.4.3	Sestava tal pri obnovi	27
2	SISTEMSKA PLOŠČA.....	29
2.1	Tehnični podatki sistemske plošče.....	29
2.2	Geometrija sistemske plošče.....	31
3	LINIJSKI DIFUZOR	33
4	LINIJSKI DIFUZOR ZA ODVOD ZRAKA.....	38
5	ANALIZA LINIJSKEGA DIFUZORJA, SISTEMSKE PLOŠČE IN PROSTORA S POMOČJO PROGRAMSKEGA ORODJA ANSYS	43
5.1	Programsko orodje ANSYS.....	43
5.1.1	Delov programu ANSYS.....	43
5.2	Analizi linijskih difuzorjev	50
5.2.1	Cilji analize	50
5.2.2	Geometrija	50
5.2.3	Mreženje	53

5.2.4	Robni pogoji "Setup"	58
5.2.5	Izračun "Solution"	60
5.2.6	Rezultati "Results"	61
5.3	Analiza sistemske plošče	93
5.3.1	Cilji analize	93
5.3.2	Geometrija	93
5.3.3	Mreženje	94
5.3.4	Robni pogoji "Setup"	95
5.3.5	Izračun "Solution"	96
5.3.6	Rezultati "Results"	97
5.4	Analiza prostora	101
5.4.1	Cilji analize	101
5.4.2	Geometrija	101
5.4.3	Mreženje	102
5.4.4	Robni pogoji "Setup"	102
5.4.5	Izračun "Solution"	103
5.4.6	Rezultati "Results"	105
5.4.7	Udobja bivanja	114
5.5	Ocenjevanje napake diskretizacije s pomočjo Richardsonove ekstrapolacije	115
5.5.1	Osnove Richardsonove ekstrapolacije	115
5.5.2	Prostorska diskretizacija	117
5.5.3	Red konvergence mreže	119
5.5.4	Roachejev indeks konvergence mreže (GCI)	122
5.5.5	Primer preračuna v primeru modela linijskega difuzorja LT451	125
6	DISKUSIJA	127
7	SKLEP	130
8	SEZNAM UPORABLJENIH VIROV	131
9	PRILOGE	132

KAZALO SLIK

Slika 1: učinek koncentracije CO ₂ na ljudi[5]	2
Slika 2: delež toplotnih izgub glede na prezračevalne izgube[4].....	4
Slika 3: Primarna energija glede na različne prezračevalne sisteme[4]	5
Slika 4: Primarna poraba energije - radiatorji / talno gretje [4]	6
Slika 5: Shematičen prikaz delovanja sistema Airconomy[5]	7
Slika 6: Pozicija fasadnih rešetk[5]	8
Slika 7: Prezračevalna naprava z rekuperatorjam[5].....	8
Slika 8: Dovod zraka v prostor[5]	9
Slika 9: Sistemska plošča Airconomy[5].....	10
Slika 10: Talno gretje in razdelilec[5]	10
Slika 11: Sobni termostat[5]	11
Slika 12: Odvod zraka iz prostora[5]	11
Slika 13: Odpadni (izrabljen) zrak[5].....	12
Slika 14: Kombinacija talnega ogrevanja (hlajenja) z prezračevanjem[5].....	14
Slika 15: Talni linijski difuzor[6].....	15
Slika 16: Talne rešetke (z in brez okvirja)[6]	16
Slika 17: Odvodni prezračevalni ventili[6].....	16
Slika 18: Sobni termostat in regulacija prezračevalne naprave[6].....	17
Slika 19: Prikaz gibanja zraka med prostori[7].....	18
Slika 20: Pozicije glavnih prezračevalnih kanalov[7]	19
Slika 21: Varianta A - plošča nad ogrevanim prostorom[8].....	24
Slika 22: Varianta B - plošča nad neogrevanim prostorov[8]	25
Slika 23: Varianta C - plošča nad območjem zunanjih temperaturnih vplivov[8].....	25
Slika 24: Sestava tal, 50 mm, varianta A in B[8].....	26

Slika 25: Sestava tal, 50 mm, varianta C[8]	27
Slika 26: Sestava tal, 30 mm, varianta A in B[8].....	28
Slika 27: Sestava tal, 30 mm, varianta C[8]	28
Slika 28: sistemska plošča 3D.....	31
Slika 29: sistemska plošča - pogled in detajl	31
Slika 30: Sistemska plošča v prerezu in detajl prereza	32
Slika 31: Polje vpiha v sestavi	32
Slika 32: Talni linijski difuzor LD-15	33
Slika 33: Primer postavitve vpiha ob stekleno površino	34
Slika 34: Detajl vgradnje talnega linijskega difuzorja ob stekleni steni	34
Slika 35: Linijski difuzor z nosilno podkonstrukcijo - pogledi	35
Slika 36: Sestavnica polja za dovod zraka.....	36
Slika 37: Primer vgradnje linijskega difuzorja LD-15, ki je lasten razvoj, v praksi.....	37
Slika 38: Diagram za hitri izbor dolžine profila[10]	38
Slika 39: Diagram hitrosti na dometnih razdaljah[10]	38
Slika 40: Nivo šumnosti in padec tlaka[10].....	39
Slika 41: Primer vgradnje v raven mavčno kartonski strop.....	39
Slika 42: Primer vgradnje odvoda zraka v kaskado stropu	40
Slika 43: Primer vgradnje odvoda zraka v sekundarni mavčnokartonski strop.....	41
Slika 44: Primer vgradnje odvoda zraka v steno.....	41
Slika 45: Primer vgradnje linijskega difuzorja LD-15 v praksi	42
Slika 46: Delovno okolje WOKRBENCH	44
Slika 47: Primer analize v programu ANSYS	45
Slika 48: Kompleksna geometrija	46
Slika 49: Poenostavljena geometrija	46

Slika 50: Setup pri delu analize CFX	47
Slika 51: Prikaz grafa preračuna s programom ANSYS "Solution"	48
Slika 52: Prikaz rezultatov "Results"	49
Slika 53: Shematičen prikaz ukaza "Geometry" v okolju "Workbench"	50
Slika 54: Primer kompleksne geometrije difuzorja LD15 z detajli podkonstrukcije in sestavo tal.....	51
Slika 55: Primer kompleksne geometrije difuzorja LT451	51
Slika 56: Primer poenostavljene geometrije difuzorja LD15 z izsekom prostora	52
Slika 57: Primer poenostavljene geometrije difuzorja LT451 z izsekom prostora.....	53
Slika 58: Shematičen prikaz ukaza "Mesh" v okolju "Workbench"	53
Slika 59: Mreženje linijskega difuzorja LD15 s komoro in izsekom prostora.....	54
Slika 60: Mreženje linijskega difuzorja LD15 s komoro in izsekom prostora v prečnem prerezu	55
Slika 61: Detajl "inflation layer-ja" ob steni profila LD15.....	55
Slika 62: Mreženje linijskega difuzorja LT451 s komoro in izsekom prostora.....	56
Slika 63: Mreženje linijskega difuzorja LT451 s komoro in izsekom prostora v prečnem prerezu	57
Slika 64: Detajl "inflation layer-ja" ob steni profila LT451	57
Slika 65: Prikaz določitve vstopne in izstopnih površin v primeru LD15	58
Slika 66: Prikaz določitve vstopne in izstopnih površin v primeru LT451	59
Slika 67: Grafični in tekstovni prikaz izračunov v primeru difuzorja LD15.....	61
Slika 68: Pogled volumskega toka zraka skozi difuzor LD15 v prostor	62
Slika 69: Pogled volumskega toka zraka skozi difuzor LT451 v prostor.....	63
Slika 70: Hitrost zraka pri vpihu skozi linijski difuzor LD15 v konturah.....	64
Slika 71: Detajl vpiha hitrosti zraka skozi linijski difuzor LD15 v konturah.....	65
Slika 72: Hitrost zraka pri vpihu skozi linijski difuzor LT451 v konturah	66

Slika 73: Detajl vpiha hitrosti zraka skozi linijski difuzor LT451 v konturah	67
Slika 74: Detajl tlačnih vplivov pri dovodu zraka skozi linijski difuzor LD15 v konturah	68
Slika 75: Detajl tlačnih vplivov pri dovodu zraka skozi linijski difuzor LT451 v konturah	69
Slika 76: Detajl vpliva turbulentne kinetične energije pri dovodu zraka skozi linijski difuzor LD15 v konturah	70
Slika 77: Detajl vpliva turbulentne kinetične energije pri dovodu zraka skozi linijski difuzor LT451 v konturah	71
Slika 78: Prikaz analize tokovnic zraka pri dovodu skozi linijski difuzor LD15 v prostor	72
Slika 79: Detajlni prikaz analize tokovnic zraka pri prehodu skozi komoro in linijski difuzor LD15 v prostor	73
Slika 80: Prikaz analize tokovnic zraka pri dovodu skozi linijski difuzor LT451 v prostor	74
Slika 81: Detajlni prikaz analize tokovnic zraka pri prehodu skozi komoro in linijski difuzor LT451 v prostor	75
Slika 82: Vektorska analiza toka zraka pri dovodu skozi linijski difuzor LD15 v prostor .	76
Slika 83: Vektorska analiza toka zraka pri dovodu skozi linijski difuzor LT451 v prostor	77
Slika 84: Vzdolžne linije meritev difuzorja LD15	78
Slika 85: Graf vzdolžnega profila hitrosti, difuzorja LD15	78
Slika 86: Graf vzdolžnega tlačnega profila, difuzorja LD15	79
Slika 87: Graf vzdolžnega profila turbulentne kinetične energije, difuzorja LD15	80
Slika 88: Vzdolžne linije meritev difuzorja LT451	81
Slika 89: Graf vzdolžnega profila hitrosti, difuzorja LT451	82
Slika 90: Graf vzdolžnega tlačnega profila, difuzorja LT451	83
Slika 91: Graf vzdolžnega profila turbulentne kinetične energije, difuzorja LT451	84
Slika 92: Prečne linije meritev difuzorja LD15	85
Slika 93: Graf prečnega profila hitrosti, difuzorja LD15	86
Slika 94: Graf prečnega tlačnega profila, difuzorja LD15	87

Slika 95: Graf prečnega profila turbulentne kinetične energije, difuzorja LD15	88
Slika 96: Prečne linije meritev difuzorja LT451.....	89
Slika 97: Graf prečnega profila hitrosti, difuzorja LT451	90
Slika 98: Graf prečnega tlačnega profila, difuzorja LT451	91
Slika 99: Graf prečnega profila turbulentne kinetične energije, difuzorja LT451	92
Slika 100: Shematičen prikaz modulov v okolju "Workbench"	93
Slika 101: Geometrija systemske plošče	94
Slika 102: Prečni prerez geometrije systemske plošče.....	94
Slika 103: Mrežni model systemske plošče.....	95
Slika 104: Robni pogoji systemske plošče - prikaz določitve vstopne in izstopne površine	96
Slika 105: Grafični in tekstovni prikaz izračunov systemske plošče.....	97
Slika 106: Prikaz odvisnosti hitrosti skozi celotno dolžino systemske plošče	98
Slika 107: Tlorisni prikaz padca hitrosti zraka skozi systemsko ploščo	98
Slika 108: Prikaz tlačnega padca skozi systemsko ploščo	99
Slika 109: Prikaz tokovnic in vektorjev hitrosti zraka v systemski plošči.....	99
Slika 110: Temperaturna odvisnost zraka v systemski plošči	100
Slika 111: Geometrija prostora	101
Slika 112: Mreža prostora.....	102
Slika 113: Robni pogoji pri prostoru	103
Slika 114: Grafični in tekstovni prikaz izračunov prostora.....	104
Slika 115: Volumski in tokovni prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15	105
Slika 116: Volumski in tokovni prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451	105
Slika 117: Vektorski prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15	106

Slika 118: Vektorski prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451.....	106
Slika 119: Prostorski vektorski prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15	107
Slika 120: Prostorski vektorski prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451	107
Slika 121: Ravninski presek gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15	108
Slika 122: Ravninski presek gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451.....	108
Slika 123: : Ravninski presek temperaturnih vplivov v prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451	109
Slika 124: Ravninski presek temperaturnih vplivov v prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15	109
Slika 125: Prikaz vpliva gibanja zraka na posameznih nivojih od tal; 0.1, 0.6, 1.5 in 2.4 m (LD15)	110
Slika 126: Prikaz vpliva gibanja zraka na posameznih nivojih od tal; 0.1, 0.6, 1.5 in 2.4 m (LT451).....	111
Slika 127: Prikaz temperaturnih vplivov na posameznih nivojih od tal; 0.1, 0.6, 1.5 in 2.4 m (LD15).....	112
Slika 128: Prikaz temperaturnih vplivov na posameznih nivojih od tal; 0.1, 0.6, 1.5 in 2.4 m (LT451)	113
Slika 129: Varnostni faktor pri GCI[19].....	124
Slika 130: Preračun porabe energije skozi celo leto in določitev toplotne črpalke	134
Slika 131: Rekapitulacija ogrevanja in hladu	135
Slika 132: Prezračevanje - klet.....	136
Slika 133: Prezračevanje - pritličje	137
Slika 134: Prezračevanje - nadstropje	138

Slika 135: Talno ogrevanje / hlajenje - pritličje.....	139
Slika 136: Talno ogrevanje / hlajenje - nadstropje.....	140
Slika 137: Shema kurilnice.....	141

KAZALO TABEL

Tabela 1: Prizadete stavbe v Nemčiji zaradi vlage in plesni[5].....	2
Tabela 2: Izmenjave zraka na uro glede na položaj oken[5]	3
Tabela 3: Primer klasifikacije različnih površin[7].....	20
Tabela 4: Klasifikacija skupne odvodne količine zraka[7]	23
Tabela 5: Faktorji za dobavo zraka po klasifikaciji prostorov[7]	23
Tabela 6: Podatki sestave tal pri novogradnji[8]	26
Tabela 7: Podatki sestave tal pri obnovi[8]	27
Tabela 8: Podatki za 1 sistemsko ploščo[9].....	29
Tabela 9: Podatki za 2 sistemske plošči[9]	30
Tabela 10: Podatki za 3 sistemske plošče[9]	30

ANALIZA SISTEMSKÉ PLOŠČE Z DIFUZORJEM V SISTEMU HVAC

Ključne besede: analiza linijskega difuzorja, sistem Airconomy, sistemska plošča, prezračevanje, ANSYS, CFD

UDK klasifikacija: 532.556:628.8(043.2)

POVZETEK

V magistrski nalogi je predstavljen sistem prezračevanja Airconomy, ki v celovit sistem vključuje prezračevanje, talno ogrevanje ter hlajenje. Posebnost sistema je v tem, da gre za izpodrivno prezračevanje, v katerem je vsa distribucija dovedenega zraka izvedena v sestavi tal.

Poudarek naloge temelji na analizi in primerjavi dveh tipov linijskih difuzorjev, in sicer difuzorja LT451, ki ga pri vgradnji v sistem Airconomy kot standardno varianto uporablja podjetje Schütz ter na drugi strani linijski difuzor LD15, ki pa je moja lastna zamisel. Analiza je razdeljena na tri osnovne sklope, in sicer analiza tokovnega polja znotraj difuzorja z dodatnim manjšim delom klimatiziranega prostora, analiza tokovnega in toplotnega polja v sistemske plošči in analiza tokovnega in temperaturnega polja v klimatiziranem prostoru. V nalogi je analizirana primerjava vplivov različnih izvedb difuzorjev na tokovno in temperaturno polje v prostoru.

ANALYSIS SYSTEM PLATE WITH THE DIFFUSER IN THE HVAC SYSTEM

Key words: analysis liner diffuser, system Airconomy, system board, ventilation, ANSYS CFD

ABSTRACT

This master thesis is presented Airconomy ventilation system, which includes a comprehensive system of ventilation, under floor heating and cooling. Specialty of this system in the fact that there is a displacement ventilation. All the distribution of supply air is in under floor structure.

The focus of this thesis is based on analysis and comparison of the two types of linear diffusers, namely the diffuser LT451, which is installed in a system Airconomy as standard variant of the company Schütz and on the other side of the line diffuser LD15, which is my own idea. The analysis is divided into three main sections, namely the analysis of the flow field inside the diffuser with additional smaller part of the conditioned space, analysis of velocity and temperature fields in the system board and analysis of velocity and temperature field in the conditioned space. The thesis analyzed the comparison of the effects of different implementations diffuser on the flow and temperature fields in the area.

1 SISTEM AIRCONOMY

1.1 Osnove

V sodobnih stavbah je prezračevanje nujno.

Pri vsaki gradnji se uporablja najnovejša tehnologija. Veno bolj so pomembni dejavniki ohranjanje okolja in podnebja. Prav tako imajo isto težo vprašanja, kako zagotavljati dobre življenjske in delovne pogoje v stavbah. Pri tem pa je potrebno upoštevati gradbene predpise in direktive EU.

Doseganje ugodja bivanja dosežemo s primerno temperaturo prostorov, primerno vsebnostjo vlage in z zagovarjanjem čistosti zraka v prostoru. Prezračevanje prostorov je izmenjava notranjega zraka s svežim zunanjim zrakom. Prezračevanje je lahko naravno ali mehansko. Pri naravnem izkoriščamo fizikalne lastnosti zraka pri različnih temperaturah v prostorih ter zunaj njih zaradi odprtih oken in prezračevalnih odprtin. Klimatizacija je mehansko prezračevanje, pri katerem so temperatur in vlažnost vhodnega zraka regulirani. Pravilno načrtovano prezračevanje prostora pozitivno vpliva na kakovostne razmere zraka. (Špegel, Prezračevanje in klimatizacija poslovnih prostorov, 2010, str. 1)[1]

Zahtevana je gradnja po gradbenih predpisih o varčevanju z energijo (EnEV)

- zrakotesnost:

Zgradbe morajo biti grajene tako da imajo je toplotno ovojo okoli stavbe nepredušen.

-izolacija stavbe in toplotni mostovi:

Zgradbe morajo biti ustrezno toplotno izolirane pred zunanjimi vplivi, kot so zrak, zemlja in drugi hladni deli stavb. V ta namen je bila določena minimalna toplotna izguba objekta. Vpliv toplotnih mostov pa se mora zmanjšati na minimum, se optimizira.

Posledica 1: nastanek plesni

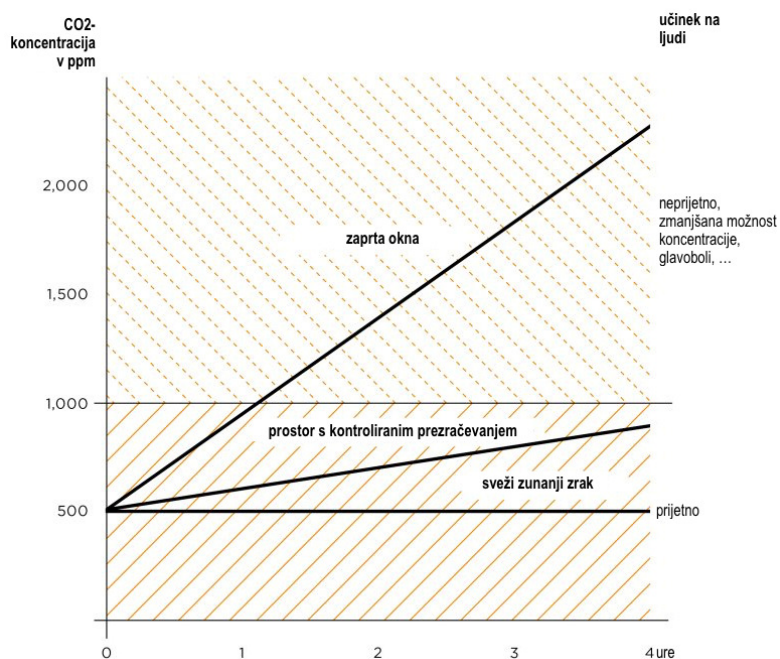
Nezadostna menjava zraka poveča vlažnost v stavbah

Tabela 1: Prizadete stavbe v Nemčiji zaradi vlage in plesni[5]

vrsta poškodbe	v Nemčiji prizadete stavbe	
	odstotek	število
poškodbe zaradi vlage	21,90%	povprečno 7,8 milijonov
napad plesni (vidno in v prezračevanju)	5,80%	povprečno 2,1 milijonov

Posledica 2: CO₂ koncentracija

Stanje ko lahko pomanjkanja kisika v prostoru povzroči zmanjšano koncentracijo, glavobole in slabost



Slika 1: učinek koncentracije CO₂ na ljudi[5]

Alternativa 1: prezračevanje z odpiranjem oken

Nezadostna menjava zraka poveča vlažnost v stavbah

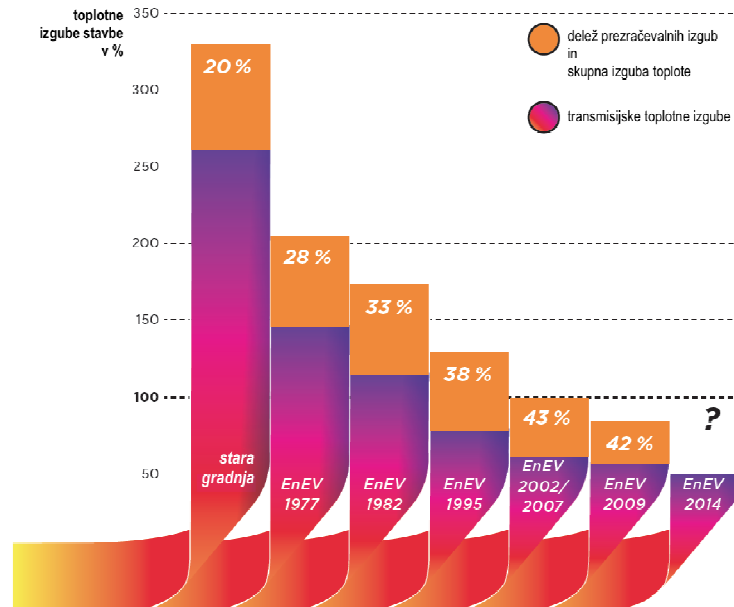
V zasedenih prostorih je potrebna menjava zraka vsaj 0,5 / h (v skladu z DIN 4108-2 2011, člen 4.2.3), to pomeni, da je potrebno polovico celotnega volumna zraka v zaprtem prostoru zamenjati vsako uro. S tem bi zagotovili prijetno kakovost zraka v prostoru. Glede na odpiranje oken, zagotovimo naslednje menjava zraka:

Tabela 2: Izmenjave zraka na uro glede na položaj oken[5]

položaj okna	menjava zraka na uro
okna in vrata zaprta	0,1 - 0,3
nagnjeno okno z žaluzijo	0,3 - 1,5
nagnjeno okno brez žaluzije	0,8 - 4,0
priprto okno	0,5 - 10
odprto okno	0,9 - 15
nasproti odprta okna z odprtimi vmesnimi vrati (navzkrižno prezračevanje)	40 in več

Vendar ima odpiranje oken kar nekaj slabosti:

- v sobo vstopajo izpušni plini in hrup nekontrolirano, brez filtrov,
- predstavlja tveganje za vlom v objekt,
- odprto okno lahko neugodno vpliva na občutek udobja v prostoru,
- milijoni delcev cvetnega prahu vstopi v prostor, kar lahko povzroči probleme tistim, ki imajo težave z alergijami, in sicer vsako spomlad in jesen,
- toplotne izgube.



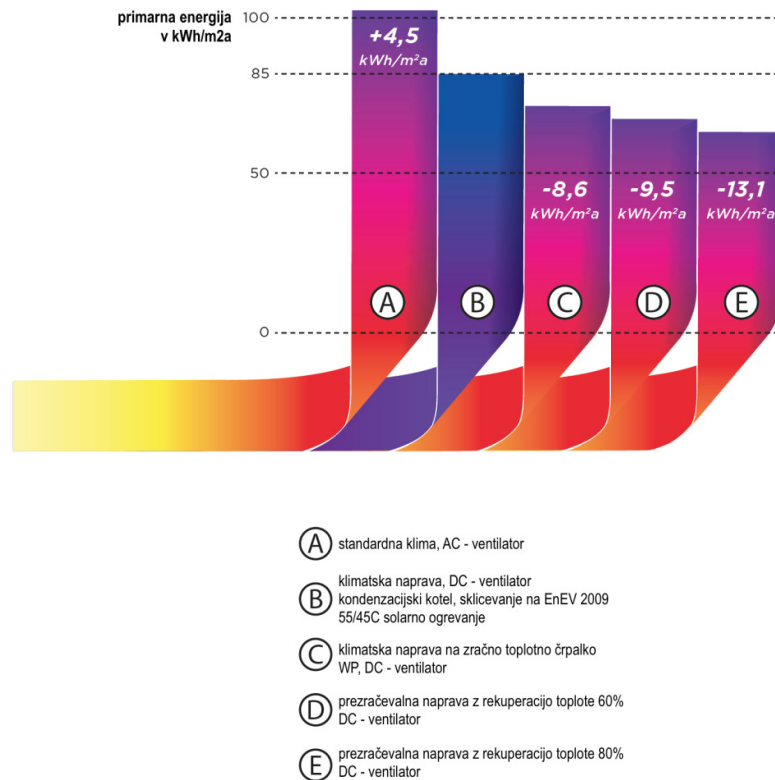
Slika 2: delež toplotnih izgub glede na prezračevalne izgube [4]

Iz grafa je razvidno, kako se je skozi leta zmanjševal delež toplotnih izgub iz naslova transmisije, povečeval pa se je delež izgub prezračevanje. V sodobnih stavbah je prezračevanje ključnega pomena. Prav zaradi tega je prezračevanje prostorov z odpiranjem oken energetsko neučinkovito in potratno.

Alternativa 2: kontrolirano prezračevanje

Idealna rešitev za prezračevanje sodobnih stavb je prezračevanje z rekuperacijo. Z uporabo nadzorovanega sistema prezračevanja, z rekuperacijo toplote, se ustvari velik potencial za prihranke. Kontrolirano prezračevanje dosegata podobno izkoristke kot solarni sistemi, toplotne črpalke, kondenzacijska tehnologija... Pri načrtovanju novih stavb je implementacija prezračevanja bistveni pomen za nizke investicijske stroške, visoko varčevanje primarne energije in varčno delovanje.

V naslednjem grafu je prikazana vpliv različnih prezračevalnih sistemov na potrebo po primarni energiji stanovanjske hiše, v velikosti 150 m².



Slika 3: Primarna energija glede na različne prezračevalne sisteme[4]

Idealna rešitev za sodobne stavbe je kontrolirano prezračevanje z rekuperacijo toplote.

Prezračevanje prostorov je običajno razdeljeno na dva različna tipa, mešalno prezračevanje in izpodrivno prezračevanje. Pri mešalnem prezračevanju se zrak v prostoru dovaja tako, da se ves zrak popolnoma premeša, zato je temperatura zraka in koncentracija škodljivih snovi enaka po vsem prostoru. Pri izpodrivnem prezračevanju pa sile vzgona v prostoru povzročijo plastenje zraka. Kakovost zraka v bivalni coni je tako v splošnem boljša kakor pri mešalnem prezračevanju. (Štravs, Primerjalna analiza izpodrivnega prezračevanja, 2009, str. 2) [2]

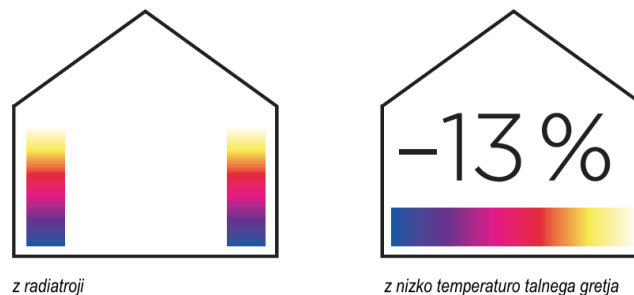
Moderno talno gretje - plus za vsako hišo.

Še posebej na področju ogrevanja, z uporabo sodobnih nizkotemperaturnih sistemov in obnovljivih ogrevalnih sistemov, kot so kondenzacijski kotli ali toplotne črpalke, občutno znižamo stroške ogrevanja. Uporaba talnega ogrevanja ponuja veliko prednosti. Blago toplotno sevanje in prijetne temperature površin zagotavljajo edinstven občutek ugodja.

Z nižjimi temperaturami ogrevanja se prihrani do 13% stroškov za energijo.

Primarna raba energije

Izračun v skladu z DIN 4108-6 in DN 4701-10/12 primarna raba energije.



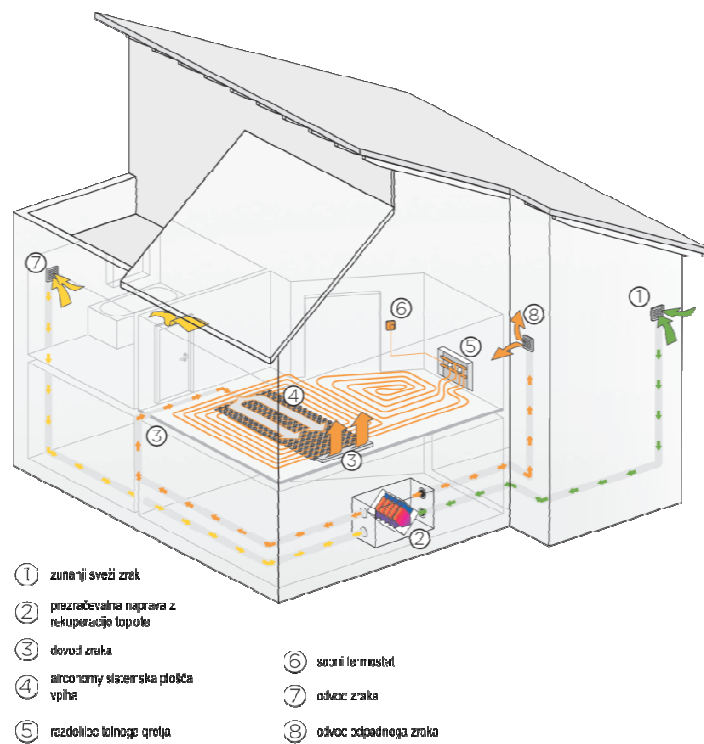
Slika 4: Primarna poraba energije - radiatorji / talno gretje [4]

1.2 Funkcije

Več funkcionalen sistem, za inovativen pristop pri celoviti obdelavi projekta strojnih instalacij.

Airconomy združuje v celoto talno ogrevanje in hlajenje, kontrolirano prezračevanje z rekuperacijo toplote. Zahvaljujoč sestavi tal pokrijemo s talnim gretjem vso potrebo po toploti, z prezračevanjem pa dovajamo potrebne količine ogretega zraka.

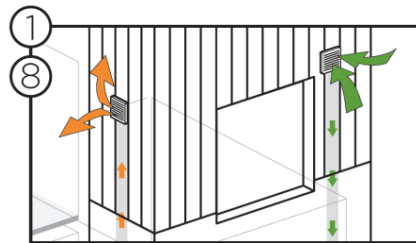
Zaradi velikih grelnih površin potrebujemo za ogrevanje zelo nizke temperature vode na predtoku. Sistem kot tak nizkotemperaturnen in primeren za ogrevanje s toplotnimi črpalkami, plinskimi kondenzacijskimi kotli in drugimi obnovljivimi viri.



Slika 5: Shematičen prikaz delovanja sistema Airconomy[5]

1. Zunanji sveži zrak.

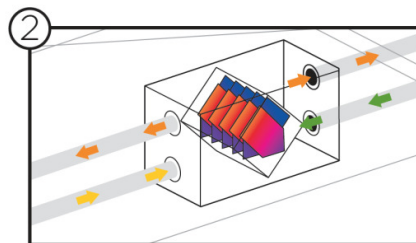
Zunanji sveži zrak se vsesava na zunanji fasadi. Odvodni zavrženi zrak pa se odvaja na prosto v okolico. Ti dve odprtini morata biti na različnih straneh zgradbe, oziroma razmaknjene vsaj 3 m, da ne prihaja do mešanja svežega in odpadnega zraka. Za distribucijo svežega in odpadnega zraka od zunanje fasade do prezračevalne naprave se uporabljajo različne izvedbe prezračevalnih kanalov.



Slika 6: Pozicija fasadnih rešetk[5]

2. Prezračevalna naprava z rekuperacijo

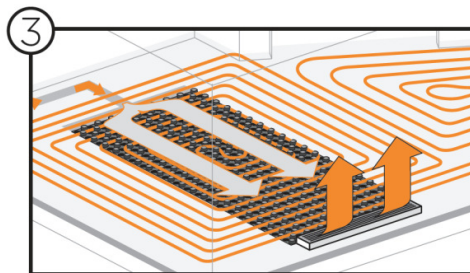
V prezračevalni napravi se večino energije odvodnega zraka prenese preko rekuperatorja na sveži zunanji zrak. Morebitni nastali kondenz se izloča preko kondenzne posode in sifona. Odvodni odpadni zrak se odvede preko fasadne ali strešne rešetke na prosto.



Slika 7: Prezračevalna naprava z rekuperatorjem[5]

3. Dovod zraka v prostor

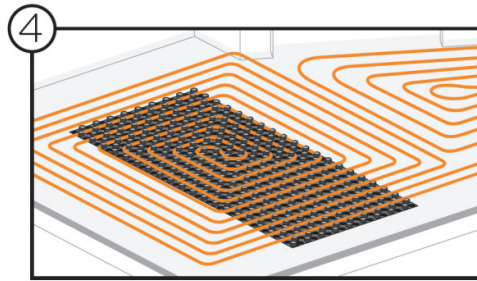
Zajem zunanjega zraka preko kanalov poteka do prezračevalne naprave. Tukaj preko rekuperatorja, kjer se predgreje z odvodnim zrakom, skozi kanalsko mrežo do sistemskih plošč v sestavi tal. V sistemskih ploščah hitrost zraka pada, tako da na samem vpihu v prostor nima šuma in moteče hitrosti.



Slika 8: Dovod zraka v prostor[5]

4. Sistemska plošča Airconomy

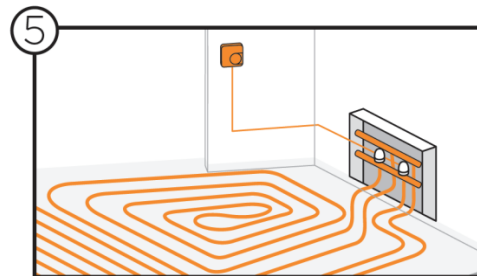
V središču sistema Airconomy je sistemska plošča -modul, ki ima funkcijo toplotnega izmenjevalca. Sistemska plošča - modul Airconomy ima profilirano zgornjo površino zaradi pritrditve cevi talnega gretja. Na spodnji površini pa so prisekani stožci, ki ustvarijo 2 cm visok prezračevalni kanal, skozi katerega dovajamo zrak. Zrak je lahko ogrevan, ali ohlajen, odvisno od zahtev po delovanju. Zaradi geometrije sistemske plošče ima ta poleg funkcije izmenjave toplote, tudi funkcijo zelo učinkovitega dušilca zvoka.



Slika 9: Sistemska plošča Airconomy[5]

5. Talno gretje z razdelilci

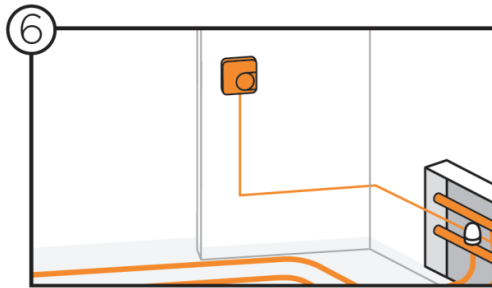
Sobna temperatura se dosega z ogrevanjem preko talnega gretja. Blago toplotno sevanje, ki se širi po celotni tlorisni površini zagotavlja udobno temperaturo. Sveži zrak, ki se vpihuje pod talnim gretjem se dodatno greje.



Slika 10: Talno gretje in razdelilec[5]

6. Sobna regulacija

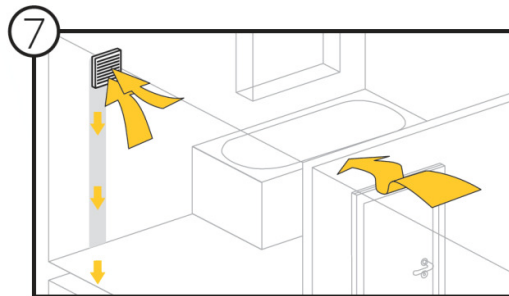
Vsaka soba v stavbi se individualno prilagaja glede na potrebe po udobju. Sobni termostati tipajo temperaturo v sobi in odpirajo termo pogone na razdelilcih talnega gretja. Termostati opravljajo funkcijo tudi v režimu talnega hlajenja.



Slika 11: Sobni termostat[5]

7. Odvod zraka iz prostora

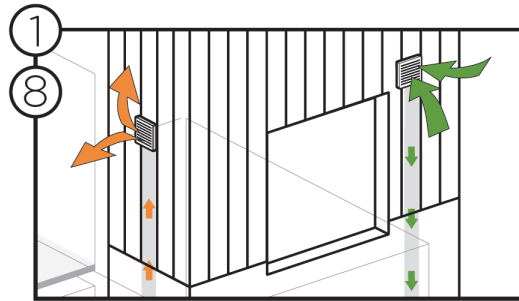
Odvod izrabljenega zraka je pozicioniran v prostorih, kje je najvišja vsebnost vlage in najvišja temperatura. Običajno so to prostori kot: kuhinja, kopalnica, sanitarije, garderoba, utiliti. Odvaja se preko stropnih ali stenskih prezračevalnih ventilov, oz. linijskih difuzorjev. Kanalski razvod je speljan v sestavi tal, stene, stropu do tehničnega prostora, kjer je prezračevalna naprava.



Slika 12: Odvod zraka iz prostora[5]

8. Odpadni zrak

Odpadni zrak se odvede preko kanalske mreže od prezračevalne naprave skozi steno objekta v okolico. Na fasadi se vgradi rešetka za odvod zraka. Potrebno je paziti da so odvodna in dovodna rešetki dovolj razmaknjeni druga od druge (minimalno 3 m) ali pa na različnih straneh stavbe, da ne prihaja do mešanja.



Slika 13: Odpadni (izrabljen) zrak[5]

1.2.1 *Ogrevanje, prezračevanje, hlajenje*

Opisane funkcije so z energetskega vidika zelo ekonomične. Na eni strani je zahteva po ogrevanju zelo majhna in zahtevana nizka temperatura predtoka, na drugi strani pa je pokritost prostora s talnim gretjem po celotni površini tal. Istočasno je zagotovljena zahtevana količina zraka za izmenjavo.

Ogrevanje

Zahtevana potreba po toploti je dovedena preko sevalne energije talnega gretja. Posledica je nižja temperatura v prostoru v primerjavi z radiatorskim ogrevanjem. Nižja temperatura daje bivanju v takšnem prostoru večje ugodje. Dovedeni zrak je v posrednem kontaktu s cevmi talnega gretja, saj sistemska plošča deluje kot velik toplotni prenosnik in s tem ogreti zrak dodatno prispeva svoj delež po zagotavljanju potrebe po toploti v prostoru. Najbolj godne pozicije vpihovalnih mest v prostoru so ob steklenih površinah, in sicer pred okni.[5]

Prezračevanje

Distribucija zraka za dovod pri prezračevanju hiše je popolnoma nevidna, skrita, saj je večina tega razvoda v sestavi tal (pod estrihom in finalnim podom). Z pravilno razporeditvijo pozicij dovoda in odvoda zraka v prostor in iz njega je zagotovljena zelo dobra prezračevanost objekta. Dovodi zraka so postavljeni v nivo tal, odvodi pa pod stropom prostora. Ta oblika prezračevanja se ujema z naravnimi načeli gibanja zraka v prostoru. Zrak in naravno gibanje zraka se gibljeta v isti smeri.[5]

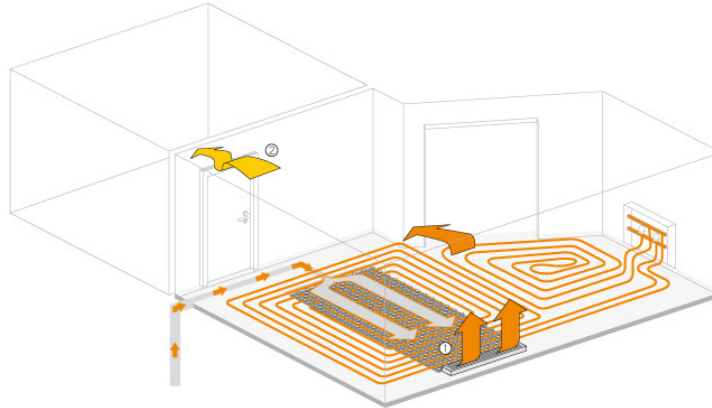
Hlajenje

V primeru hlajenja se objekt hladi s pomočjo talnega hlajenja, v estrih se dovaja hlad in deluje sevalno na prostor. Tudi v tem primeru je doseganje skupne bilance za hlajenje objekta doseženo tako s talnim hlajenjem, kot z vpihovanjem ohlajenega zraka. Ohlajeni zrak je razvlažen, kar še dodatno pripomore k ugodju bivanja. Ohlajeni zrak vstopa v prostor skozi distribucijo kanalov in difuzorjev (rešetk) v sestavi tal. Zaradi povečanega pretoka zraka v prostoru, je takšno hlajenje objekta bolj učinkovito kot hlajenje le s talnim hlajenjem.[5]

1.2.2 Kombinacija

Kombinacija obeh sistemov zagotavlja popolno udobje bivanja v prostoru.

Združevanje različnih samostojnih rešitev glede ogrevanja, hlajenja in prezračevanja je drago v smislu časa in investicije. Optimalna kombinacija ogrevanja (hlajenja) in prezračevanja v enoten sistem ponuja številne prednosti. Zagotavljanje idealne temperature bivalnega okolja zahteva skrbno in obsežno načrtovanje načrtovanje strojnih instalacij in ima sočasno pomembne učinke pri zagotavljanju ugodje bivanja.



Slika 14: Kombinacija talnega ogrevanja (hlajenja) z prezračevanjem[5]

Sistemska plošča - modul Airconomy

Vgradnja sistemskih plošč je z estetskega vidika prostora povsem nevidna in s tem tudi nemoteča, saj so vgrajena v sestavi tal (pod estrihom). Sistemske plošče imajo funkcijo toplotnega prenosnika, kar zagotavlja dodatno ogrevanje (pohlajevanje) zraka, ki ga vpihujemo v prostor s ciljem zagotavljanja želene temperature v prostoru. Zaradi velikega preseka sistemskih plošč se hitrost zraka v tem delu distribucije zmanjša, kar zagotavlja tiho prezračevanje brez motečega efekta gibanja zraka (prepiha). Zaradi posebne geometrije se sistemske plošče (moduli) uporabljajo kot toplotni prenosniki in učinkoviti dušilci zvoka.

Elementi distribucije

Pozicioniranje prezračevalnih linijskih difuzorjev (rešetk) v tla ob steklene površine, se zagotavlja naravna konvekcija zraka v prostoru. To omogoča optimalno porazdelitev svežega zraka ter zmanjšuje učinek sevalnega efekta steklenih površin. Svež filtriran zrak poteka skozi celoten prostor, saj je vlek pozicioniran v nasprotni strani prostora (objekta).

1.2.3 Vidni elementi distribucije

Spodaj so prikazani vidni elementi distribucije zraka v prostoru.

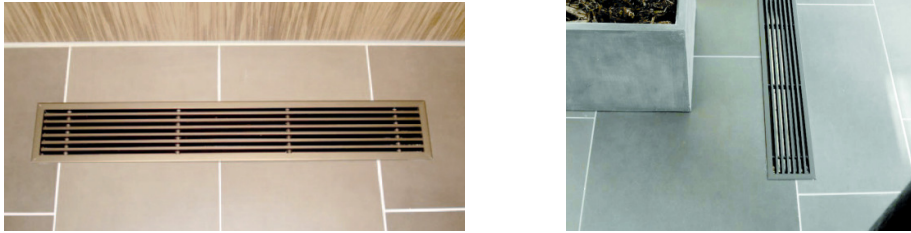
Dovod zraka v prostor.

Za dovod zraka v prostor se uporabljajo talni linijski difuzorji in talne rešetke.



Slika 15: Talni linijski difuzor[6]





Slika 16: Talne rešetke (z in brez okvirja)[6]

Odvod zraka v prostor.

Za odvod zraka iz prostora se uporabljajo prezračevalni ventili.



Slika 17: Odvodni prezračevalni ventili[6]

Elementi regulacije

Za odvod zraka iz prostora se uporabljajo prezračevalni ventili.



Slika 18: Sobni termostat in regulacija prezračevalne naprave[6]

1.3 Načrtovanje

Če želimo ustvariti učinkovito prezračevanje po zadnjih smernicah, je potrebno prostore razvrstiti v naslednja področja, in sicer:

- prostor kjer se zrak vpihuje,
- prostor, kjer zrak prehaja,
- prostor kjer se zrak odvaja.

Sveži zrak se vpihuje iz tel, in sicer so difuzorji pozicionirani ob steklenih površinah, in sicer v prostorih kot so:

- bivalni prostor,
- jedilnica,
- spalnica,
- otroška soba,
- kabinet...

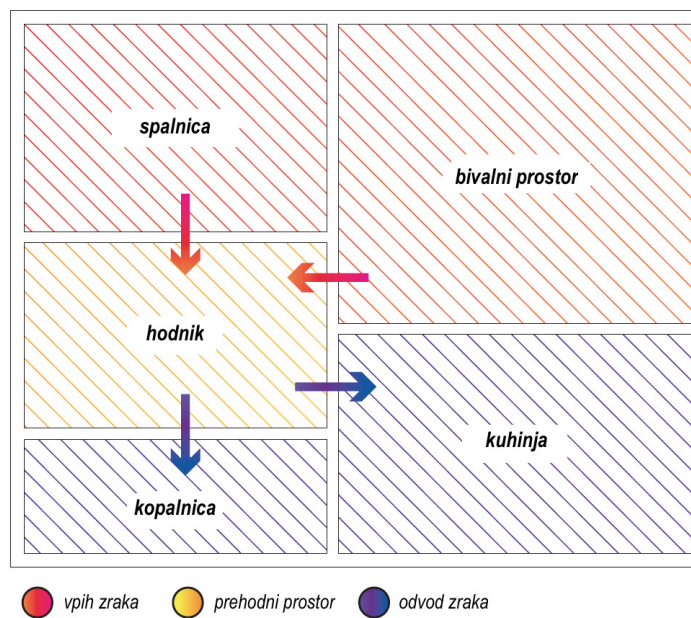
Odvod zraka pa poteka skozi prehodne prostore, kot so:

- hodniki,
- predsobe,
- stopnišča,
- galerije...

Vlek zraka je postavljen v obremenjenih prostorih, tako s toploto, kot z vlago, in sicer:

- kopalnica,
- kuhinja,
- sanitarije,
- utlilni,
- garderoba...

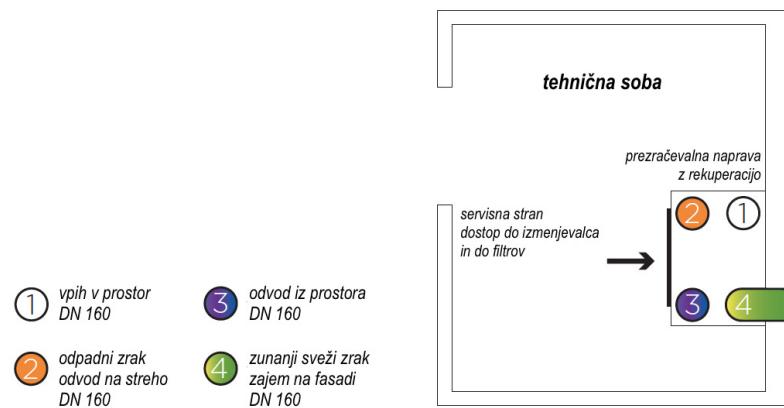
Za prehod zraka iz prostora v prostor je potrebno zagotoviti dovolj velike odprtine (po DIN 1946, poglavje 6). Za prehod zraka iz prostora v prostor se lahko uporabljajo rešetke, ventili ali pa reže v skupnem preseku 150 cm^2 . Za posamezna vrata je dovolj reža pod vreti, in sicer v velikosti 25 cm^2 .



Slika 19: Prikaz gibanja zraka med prostori[7]

1.3.1 Osnovni napotki za projektiranje

Zunanja rešetka za dovod svežega zraka naj bo nameščena na hrbtni strani objekta, ne proti cesti (vstran od hrupa in onesnaženosti) in na višini 3 m od tal. Odvod zraka iz objekta pa naj bo na za-veterni strani, še pa je speljan na streho pa zaključen z zaključno kapo. Obe odprtine morajo biti na takšnih pozicijah da ne pride do kratkega stika, mešanja zraka med sabo. Če sta obe rešetki na isti steni jih je potrebno ločiti s pregrado in usmernikom, ali pa so razmaknjene za min 3 m.



Slika 20: Pozicije glavnih prezračevalnih kanalov[7]

1.3.2 Primer načrtovanja enodružinske hiše

Izračun in zasnova za enodružinsko hišo v skladu z DIN 1946 - 6, se začne z določitvijo prostorov, njihove površine in prostornine. Prostore se razdeli glede na klasifikacijo prehajanja zraka. Standardne notranje temperature se določijo v skladu z DIN EN 12831.

Tabela 3: Primer klasifikacije različnih površin[7]

površina	130,50 m ²
višina prostora	2,50 m
volumen	326,26 m ³
površina prostorov, kjer se zrak dovaja	81,00 m ²
volumen prostorov, ker se zrak dovaja	202,50 m ³
površina prostorov, ki jih zrak prehaja	17,00 m ²
volumen prostorov, ki jih zrak prehaja	42,50 m ³
površina prostorov, kjer se zrak odvaja	32,50 m ²
volumen prostorov, kjer se zrak odvaja	81,25 m ³

1.3.3 Požarna zaščita in ostale omejitve

Pri enodružinskih hišah ni nobenih posebnih zahtev glede požarne varnosti. Prezračevalni kanli morajo biti izdelani iz negorljivega materiala. V stavbah, kjer je več nadstropij in več požarnih sektorjev je potrebno projektirati prezračevanje v skladu s požarno študijo. Na prehodih med požarnimi sektorji je potrebno vgraditi ustrezne požarne lopute.

V naslednjih točkah so našteje smernice pri izbiri prezračevalne naprave:

- potrebno je zagotoviti ustrezne servisne odmike, zaradi servisiranja in posluževanja pri vzdrževanju, menjavi filtrov.
- mesto postavitve mora biti v prostoru, kjer ni nevarnosti za zmrzal, saj je nevarnost pri zmrzovanju kondenza. Prav tako pa se s tem zmanjšajo toplotne izgube na prezračevalni napravi.

- za preprečitev širjenja vibracij med delovanjem, je potrebno vgraditi protivibracijske blazine in akustično ločiti prezračevalne kanale od prezračevalne naprave s platnenimi vmesnimi kosi.
- prezračevalna naprava mora biti nameščena v vodoravni poravnavi, da preprečimo iztekanje kondenza preko kondenznega korita med delovanjem naprave.
- naprava ne sme biti nameščena v okolju z močnimi vonjavami.

1.3.4 Preračun prezračevanja

Prezračevanje se preračuna glede na potrebe v objektu, in sicer poznamo nominalno količino zraka, količino zraka, ki je potrebna za preprečevanje kondenzacije v prostoru, zmanjšano oz. reducirano količino ter intenzivno prezračevanje. Skupni pretok zraka je torej razdeljen glede na uporabo. Minimalne vrednosti skupnih pretokov z posamezne funkcionalne enote so opisane v naslednjih enačbah.[7]

1. Nominalno prezračevanje

$$q_{v,ges,NE,NL} = -0,001 \cdot A_{NE}^2 + 1,15 \cdot A_{NE} + 20 \quad [m^3/h]$$

dnevni prostor_{NE} [m²]

pretoka zraka_{v,ges} [m³/h]

2a. Prezračevanje za preprečitev kondenzacije

$$q_{v,ges,NE,FLh} = 0,3 \cdot q_{v,ges,NE,NL} \quad [m^3/h]$$

termična zaščita, visoka (grajeno min. po WSchV 95, vključuje EnEV_{NE})

2b. Prezračevanje za preprečitev kondenzacije

$$q_{v,ges,NE,FLg} = 0,4 \cdot q_{v,ges,NE,NL} \quad [m^3/h]$$

termična zaščita, nizka, stavbe grajene pred WSchV 95_{NE}

3. Reducirano prezračevanje

$$q_{v,ges,NE,RL} = 0,7 \cdot q_{v,ges,NE,NL} \quad [m^3/h]$$

4. Intenzivno prezračevanje

$$q_{v,ges,NE,IL} = 1,3 \cdot q_{v,ges,NE,NL} \quad [m^3/h]$$

pomoč dovoljena

5. Efektivni pretok zraka skozi sistem

(vrednost po DIN 1946-6:2009-05)

$$q_{v,Inf,wirk} = f_{wirk,Komp} \cdot V_{NE} \cdot n_{50} \cdot \left(\frac{f_{wirk,Komp} \cdot \Delta P}{50} \right)^n \quad [m^3/h]$$

$f_{wirk,Komp} = 0,45$ (korekturni faktor iz tabele 8 – DIN1946)

$V_{NEwirk,Komp}$ = volumen zraka funkcionalnih enot $[m^3/h]$

$n_{50} = 1,0$ (privzeta vrednost iz tabele 9 – DIN1946)

$\Delta P = 2 Pa$ (vrednost iz tabele 10 – DIN1946; šibak veter, močan veter = 4Pa)

$f_{wirk,Lage} = 1$ (privzeta vrednost ...)

$n = 0,67$ (eksponent tlaka)

6. Porazdelitev pretoka zraka

$$q_{v,LtM,R,zu} = \frac{f_{R,zu}}{\sum_{R,zu} f_{R,zu}} \cdot q_{v,LtM,vg,NL} \quad [m^3/h]$$

$q_{v,LtM,R,zu}$ = vpih zraka v prostor glede na prezračevalne zahteve $[m^3/h]$

$f_{R,zu}$ = glege na faktor vpiha zraka po objektu. Tabela: 4

$q_{v,LtM,vg,NL}$ = vpih zraka po meritvah pri nominalni vrednosti $[m^3/h]$
količine zraka na prezračevalni napravi
(glede na enačbo iz standarda 20 v DIN1946)

Kalkulacija nominalne količine zraka bazira na prisotnosti število ljudi v objektu. In sicer je potrebno po osebi dovajati 30 m³/h. Če se število ljudi povečuje, se povečuje tudi

nominalna vrednost prezračevanja. Prav tako pa je potrebno povečati količino dovedenega zraka v prostor če pade kvaliteta zraka. Vsota vseh posameznih količin dovedenega zraka se torej prilagaja razmeram v objektu, prav tako pa je potrebno proporcionalno povečati tudi odvodne količine.

Tabela 4: Klasifikacija skupne odvodne količine zraka[7]

skupna odvodna količina zraka ¹ $q_{v,ges,R,ab}$ [m ³ /h]	prostor		
	shramba (delavnica) WC ²	kuhinja ² , kopalnica ²	savna in fitnes
površina <i>NL</i>	25 ³	45	100 ⁴
prezračevanje za zaščito proti kondenzaciji <i>FL</i>	$q_{v,ges,FL} = \frac{q_{v,ges,NL}}{q_{v,ges,NE,NL}} \cdot q_{v,ges,NE,FL}$		5
zmanjšano prezračevanje <i>RL</i>	$q_{v,ges,RL} = \frac{q_{v,ges,NL}}{q_{v,ges,NE,NL}} \cdot q_{v,ges,NE,RL}$		5
intenzivno prezračevanje <i>IL</i>	$q_{v,ges,IL} = \frac{q_{v,ges,NL}}{q_{v,ges,NE,NL}} \cdot q_{v,ges,NE,IL}$		5

¹ vključena infiltracija

² intenzivno prezračevanje v prostorih brez oken za kuhinje brez oken je zahteva po količini 200 m³/h.

³ na zahtevo je lahko prezračevanje hodnika 25 m³/h.

⁴ glede na pričakovano povečanost vlage v postoru.

⁵ podpora z ventilatorjem.

Delitev celotne količine dovodnega zraka ob upoštevanju distribucijskih faktorjev.

Tabela 5: Faktorji za dobavo zraka po klasifikaciji prostorov[7]

	prostor		
	dnevno bivalni prostor	Spalnica otroška soba	savna in fitnes
Faktor $f_{R,zu}$ za predvideno količino dovedenega zraka	3 (±0,5)	2 (±1,0)	1,5 (±0,5)

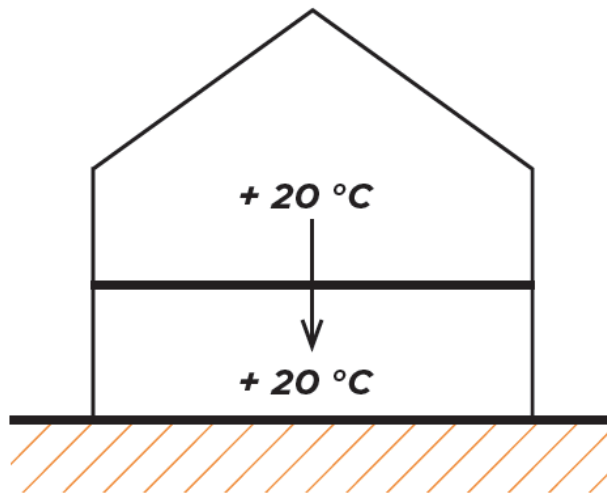
1.4 Področja uporabe

Razlikujemo med novogradnjo in obnovo. Vsako področje uporabe pa je razdeljeno na tri različne talne konstrukcije:

- plošča nad ogrevanimi prostori,
- plošča nad neogrevanimi, občasno ogrevanimi prostori ali neposredno na zemlji,
- plošča nad območjem z zunanjo temperaturo zraka.

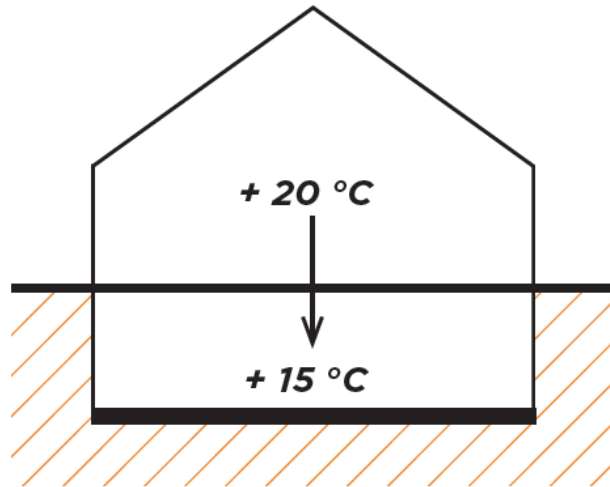
1.4.1 Talne konstrukcije

A. Plošča nad ogrevanimi tlemi



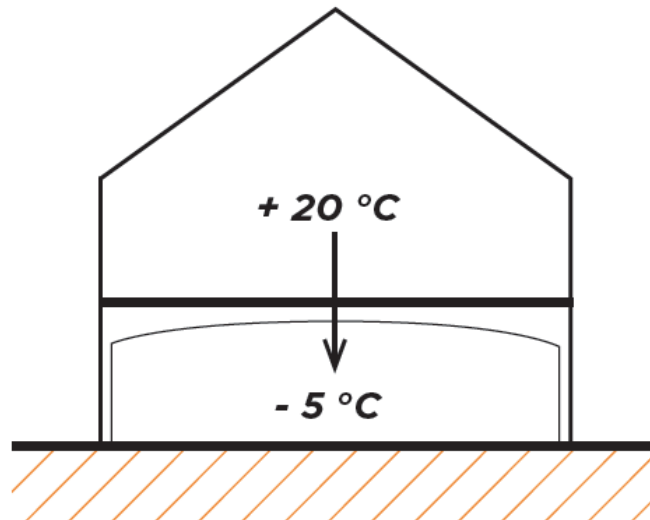
Slika 21: Varianta A - plošča nad ogrevanim prostorom[8]

B. Plošča nad neogrevanimi, občasno ogrevanimi prostori ali neposredno na zemlji



Slika 22: Varianta B - plošča nad neogrevanim prostorov[8]

C. Plošča nad območjem z zunanjo temperaturo zraka



Slika 23: Varianta C - plošča nad območjem zunanjih temperaturnih vplivov[8]

1.4.2 Sestava tal pri novogradnji

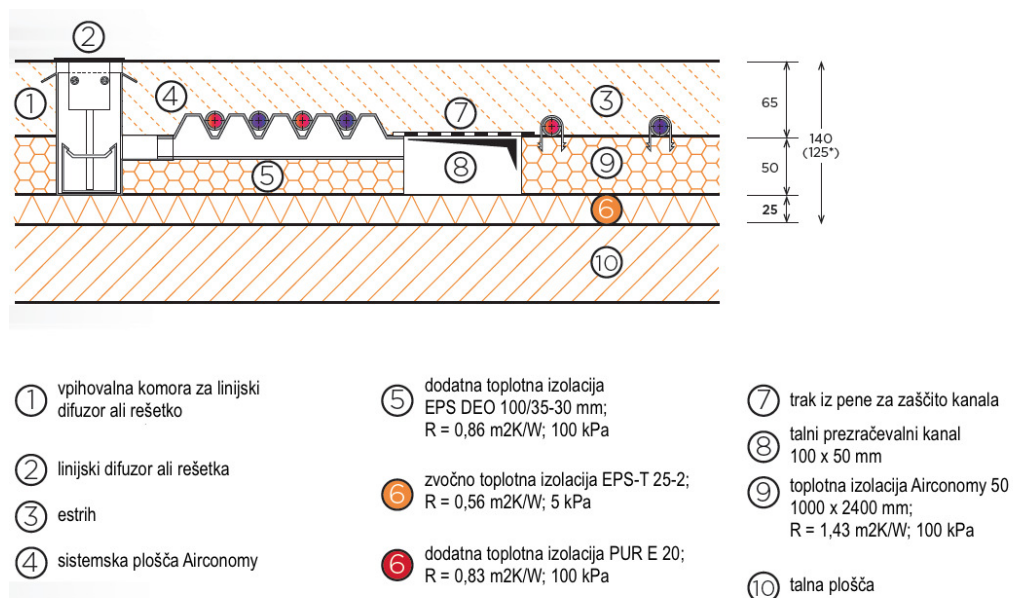
Tabela 6: Podatki sestave tal pri novogradnji [8]

tehnični podatki pri novogradnji	
zahteva R_{λ}^* pri varianti A	$\geq 0,75 \text{ m}^2\text{K/W}$
zahteva R_{λ}^* pri varianti B	$\geq 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}^{**}$
učinkovito za varianto A in B $R_{\lambda\text{D}\ddot{a}}^*$	$1,99 \text{ m}^2\text{K/W}$
zahteva R_{λ}^* pri varianti C	$\geq 2,00 \text{ m}^2\text{K/W}^{**}$
učinkovito pri varianti C $R_{\lambda\text{D}\ddot{a}}^*$	$2,26 \text{ m}^2\text{K/W}$

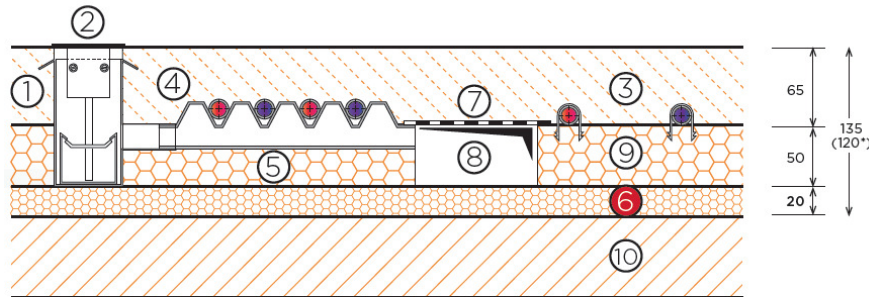
* v skladu s talnim gretjem

** pri globini podtalnice $\leq 5 \text{ m}$ je potrebno vrednost povečati

Sestava tal z 50 mm višine prezračevalnega kanala pri **varianti A in B**



Slika 24: Sestava tal, 50 mm, varianta A in B [8]

Sestava tal z 50 mm višine prezračevalnega kanala pri **varianti C**

* z uporabo dodatka za estrih, W200S se trdnost estriha poveča, tako da je lahko prekrivanje cevi z estrihom 30 mm. višina sistema znaša 100 mm, brez finalne obloge.

- | | | |
|---|---|--|
| ① vpihovalna komora za linijski difuzor ali rešetko | ⑤ dodatna toplotna izolacija EPS DEO 100/35-30 mm; R = 0,86 m ² K/W; 100 kPa | ⑦ trak iz pene za zaščito kanala |
| ② linijski difuzor ali rešetka | ⑥ zvočno toplotna izolacija EPS-T 25-2; R = 0,56 m ² K/W; 5 kPa | ⑧ talni prezračevalni kanal 100 x 50 mm |
| ③ estrih | ⑥ dodatna toplotna izolacija PUR E 20; R = 0,83 m ² K/W; 100 kPa | ⑨ toplotna izolacija Airconomy 50 1000 x 2400 mm; R = 1,43 m ² K/W; 100 kPa |
| ④ sistemska plošča Airconomy | | ⑩ talna plošča |

Slika 25: Sestava tal, 50 mm, varianta C[8]

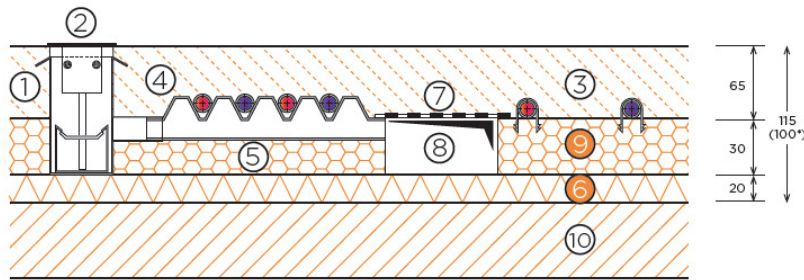
1.4.3 Sestava tal pri obnovi

Tabela 7: Podatki sestave tal pri obnovi[8]

tehnični podatki pri obnovi	
zahteva R_{λ}^* pri varianti A	$\geq 0,75 \text{ m}^2\text{K/W}$
zahteva R_{λ}^* pri varianti B	$\geq 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}^{**}$
učinkovito za varianta A in B $R_{\lambda\text{D}\ddot{a}}^*$	$1,30 \text{ m}^2\text{K/W}$
zahteva R_{λ}^* pri varianti C	$\geq 2,00 \text{ m}^2\text{K/W}^{**}$
učinkovito pri varianti C $R_{\lambda\text{D}\ddot{a}}^*$	$2,08 \text{ m}^2\text{K/W}$

* v skladu s talnim gretjem

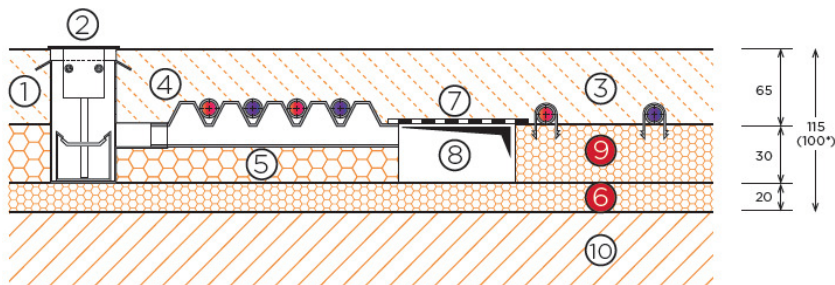
** pri globini podtalnice $\leq 5 \text{ m}$ je potrebno vrednost povečati

Sestava tal z 30 mm višine prezračevalnega kanala pri **varianti A in B**

- ① vpihovalna komora za linijski difuzor ali rešetko
- ② linijski difuzor ali rešetka
- ③ estrih
- ④ sistemska plošča Airconomy

- ⑤ dodatna toplotna izolacija EPS DEO 100/035-30 mm; $R = 0,29 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑥ zvočno toplotna izolacija EPS-T 20-2; $R = 0,44 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑦ dodatna toplotna izolacija PUR E 20; $R = 0,83 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑧ talni prezračevalni kanal 100 x 30 mm
- ⑨ toplotna izolacija Airconomy 30 1000 x 2400 mm; $R = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑩ toplotna izolacija Airconomy 30 1000 x 2400 mm; $R = 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑩ talna plošča

Slika 26: Sestava tal, 30 mm, varianta A in B [8]

Sestava tal z 30 mm višine prezračevalnega kanala pri **varianti C**

* z uporabo dodatka za estrih, W200S, se trdnost estriha poveča, tako da je lahko prekrivanje cevi z estrihom 30 mm. višina sestave tal znaša 100 mm, brez finalne obloge.

- ① vpihovalna komora za linijski difuzor ali rešetko
- ② linijski difuzor ali rešetka
- ③ estrih
- ④ sistemska plošča Airconomy

- ⑤ dodatna toplotna izolacija EPS DEO 100/035-30 mm; $R = 0,29 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑥ zvočno toplotna izolacija EPS-T 20-2; $R = 0,44 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑦ dodatna toplotna izolacija PUR E 20; $R = 0,83 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑧ talni prezračevalni kanal 100 x 30 mm
- ⑨ toplotna izolacija Airconomy 30 1000 x 2400 mm; $R = 0,86 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑩ toplotna izolacija Airconomy 30 1000 x 2400 mm; $R = 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}$; 100 kPa
- ⑩ talna plošča

Slika 27: Sestava tal, 30 mm, varianta C [8]

2 SISTEMSKA PLOŠČA

2.1 Tehnični podatki sistemske plošče

V tabelah so navedeni tehnični podatki zmogljivosti sistemskih plošč. Podatki iz tabel so smernica za projektiranje sistema Airconomy. Podatki se lahko kljub temu spreminjajo od projekta do projekta.

1 sistemska plošča - vstopna temperatura zraka 18 °C

Tabela 8: Podatki za 1 sistemska ploščo[9]

volumen pretoka (m ³ /h)	dušenje zvoka (dB)	tlačni padec (Pa)		T _v /T _R = 35/28 °C			T _v /T _R = 45/38 °C		
				VA 11	VA 16,5	VA 22	VA 11	VA 16,5	VA 22
25	28	1,5	toplota moč (W)	42,6	37,0	31,0	74,2	64,4	53,9
			temperatura (°C)	22,9	22,3	21,6	26,6	25,4	24,2
50	28	6,0	toplota moč (W)	77,6	66,8	55,3	135,0	116,4	96,3
			temperatura (°C)	22,5	21,9	21,2	25,8	24,7	23,6
25	28	13,1	toplota moč (W)	104,3	89,0	72,8	181,6	155,0	126,7
			temperatura (°C)	22,0	21,4	20,8	25,0	24,0	22,9
50	28	22,3	toplota moč (W)	122,3	103,1	82,9	212,8	179,5	144,2
			temperatura (°C)	21,5	21,5	20,4	24,1	23,2	22,2

2 sistemski plošči - vstopna temperatura zraka 18 °C

Tabela 9: Podatki za 2 sistemski plošči[9]

volumen pretoka (m³/h)	dušenje zvoka (dB)	tlačni padec (Pa)		T _v /T _r = 35/28 °C			T _v /T _r = 45/38 °C		
				VA 11	VA 16,5	VA 22	VA 11	VA 16,5	VA 22
25	36,5	3,0	toplota moč (W)	69,7	62,3	53,7	121,1	108,4	93,5
			temperatura (°C)	26,0	25,2	24,2	32,0	30,5	28,8
50	36,5	11,9	toplota moč (W)	129,4	114,6	97,6	225,3	199,5	169,9
			temperatura (°C)	25,5	24,6	23,6	31,0	29,5	27,8
25	36,5	26,2	toplota moč (W)	177,7	155,5	130,5	309,3	270,7	227,1
			temperatura (°C)	24,8	24,0	23,0	29,9	28,4	26,7
50	36,5	44,7	toplota moč (W)	212,6	183,5	151,0	370,0	319,4	262,9
			temperatura (°C)	24,1	23,3	22,4	28,7	27,2	25,6

3 sistemske plošče - vstopna temperatura zraka 18 °C

Tabela 10: Podatki za 3 sistemske plošče[9]

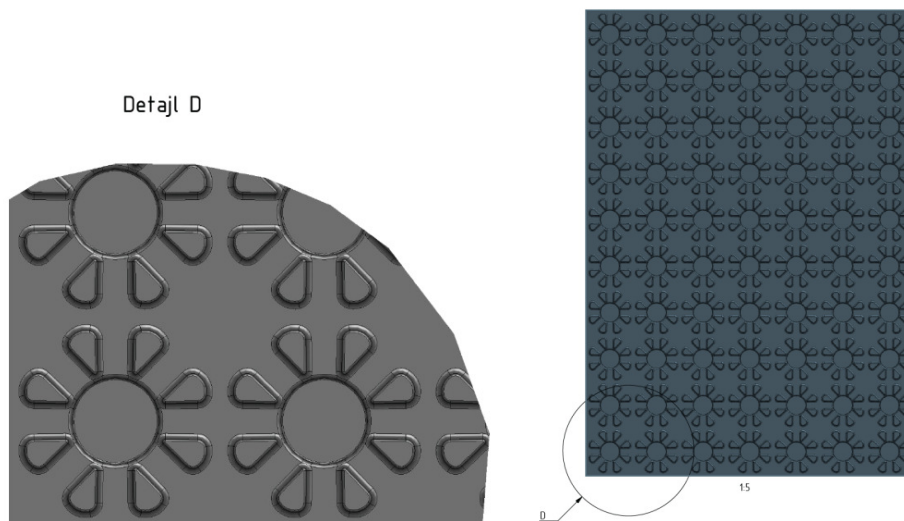
volumen pretoka (m³/h)	dušenje zvoka (dB)	tlačni padec (Pa)		T _v /T _r = 35/28 °C			T _v /T _r = 45/38 °C		
				VA 11	VA 16,5	VA 22	VA 11	VA 16,5	VA 22
25	42,2	4,5	toplota moč (W)	86,9	79,6	70,5	151,3	138,6	122,7
			temperatura (°C)	28,0	27,2	26,1	35,5	34,0	32,2
50	42,2	17,9	toplota moč (W)	164,1	148,7	129,9	285,7	258,9	226,1
			temperatura (°C)	27,5	26,6	25,5	34,5	32,9	31,0
25	42,2	39,4	toplota moč (W)	229,2	205,1	176,2	399,0	357,0	306,7
			temperatura (°C)	26,8	25,9	24,8	33,3	31,7	29,8
50	42,2	67,0	toplota moč (W)	279,3	246,2	207,2	486,2	428,5	360,6
			temperatura (°C)	26,1	25,1	24,0	32,0	30,4	28,4

2.2 Geometrija sistemske plošče

Geometrijska plošča ima dimenzije 1030 x 870 mm ter višine 20 mm. Prav ta prostor predstavlja kanal skozi katerega prehaja zrak. Na zgornji strani ima plošča čepe za pritrjevanje cevi talnega gretja. Po standardu se v eno vdihovalno polje vgrajuje tri sistemske plošče, saj le v tej dolžini Celoten sistem resnično dobi na učinku, tako na prestopu toplote iz talnega gretja na dovedeni zrak, kot tudi funkcija dušilca zvoka.

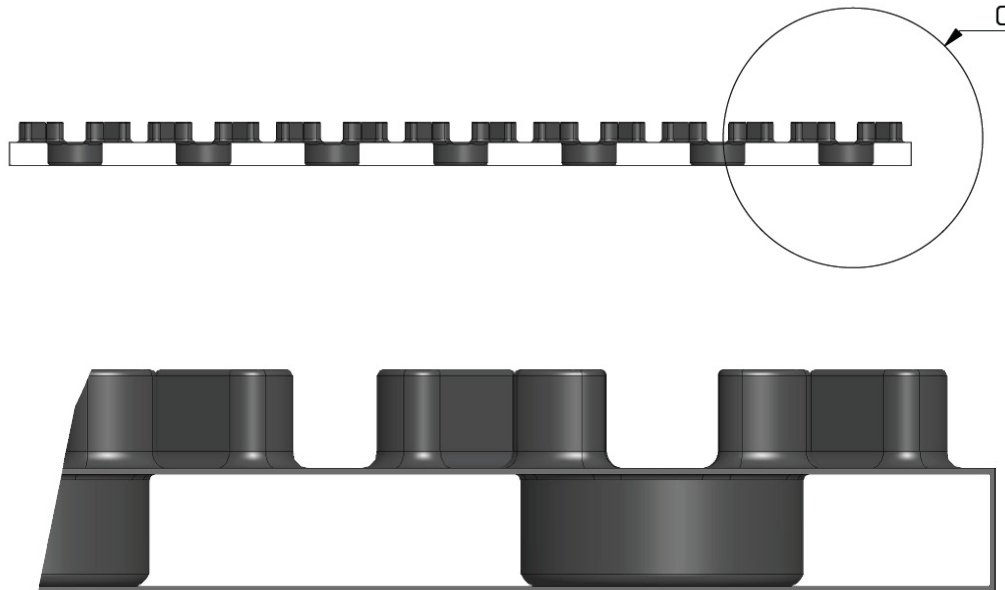


Slika 28: sistemska plošča 3D



Slika 29: sistemska plošča - pogled in detajl

V prerezu pa je sistemska plošča videti tako je vidno iz naslednjih dveh slik. Distančniki so namenjeni temu, da omogočijo prostor za vpih zraka.



Slika 30: Sistemska plošča v prerezu in detajl prereza

Skupni sestav polja vpiha je sestavljen iz treh plošč, komoro pred ploščo in komoro za ploščo, v katero je postavljen linijski difuzor

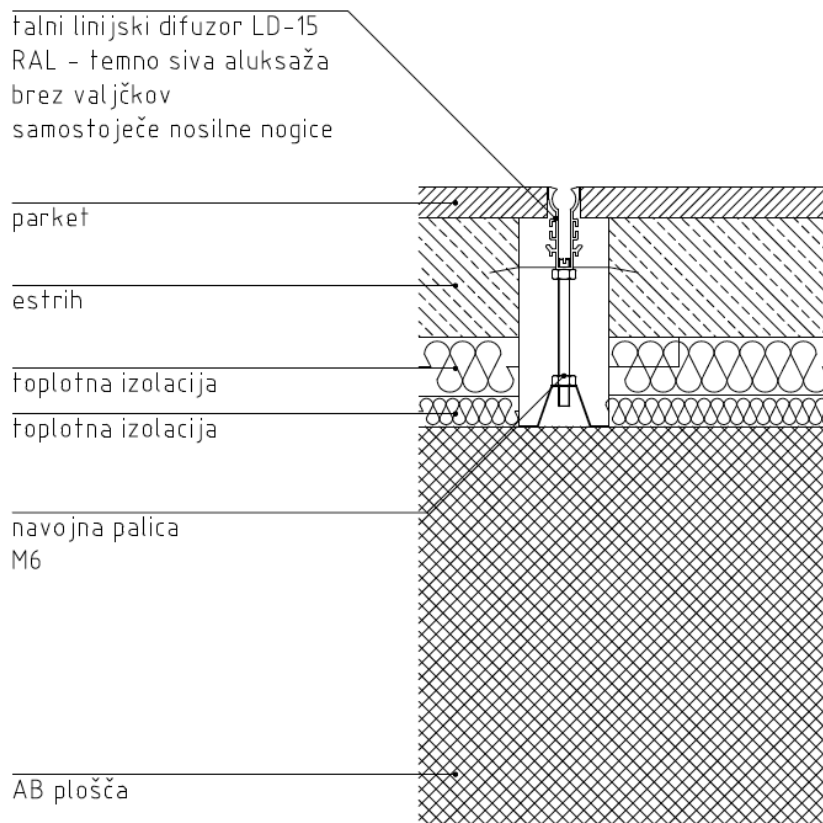


Slika 31: Polje vpiha v sestavi

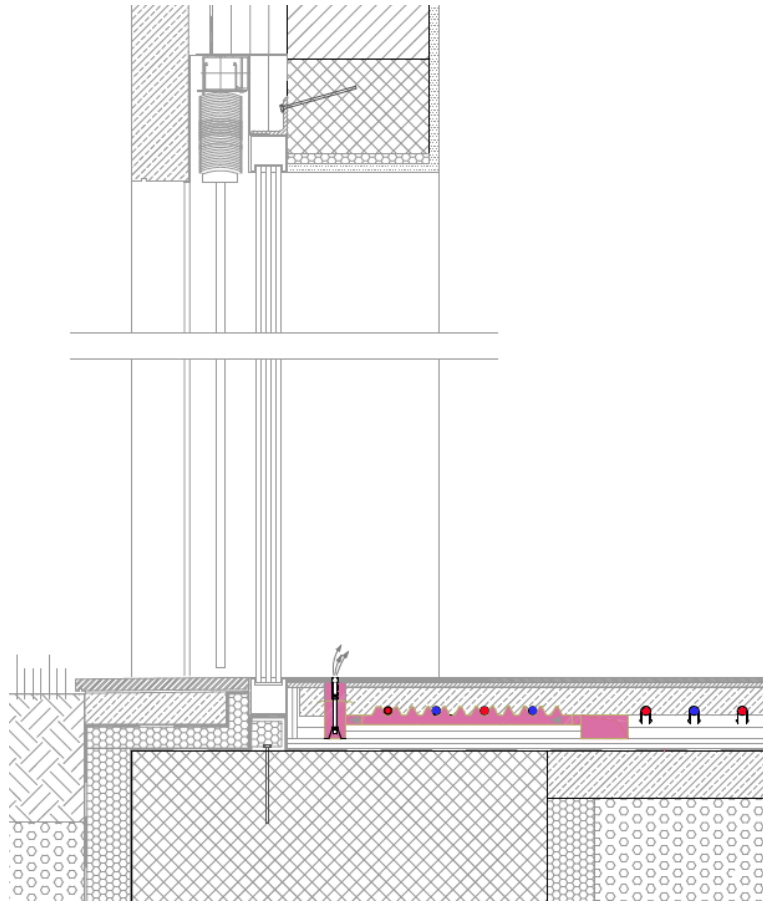
3 LINIJSKI DIFUZOR

Linijski difuzor je finalni vidni element in je oblikovan in skonstruiran tako, da je postavljen na dveh nosilcih. Prosto stoji v komori vpiha. Navojne palice nam omogočajo, da ga lahko fino nastavimo, in sicer da je poravnan z nivojem finalnega tlaka.

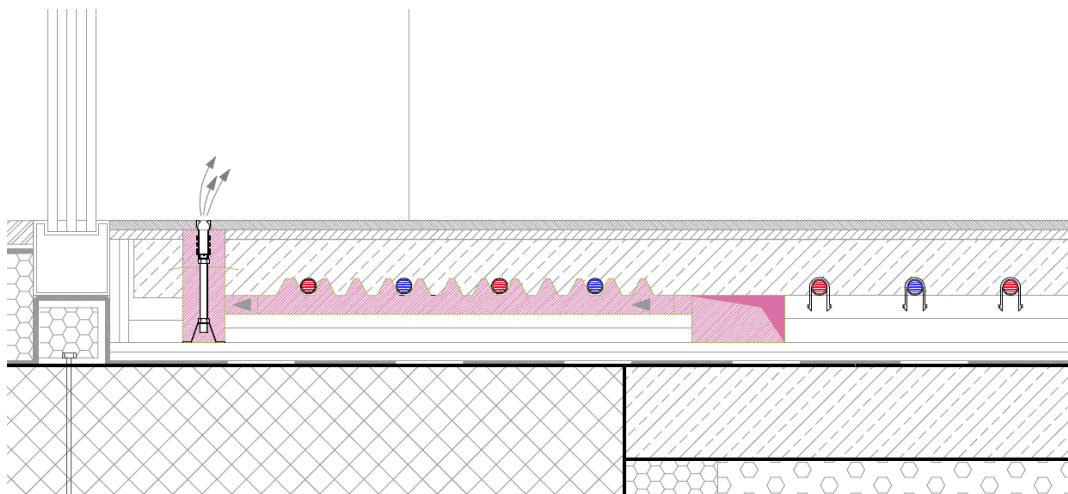
Standardne dimenzije po dolžini so 1 m in 2 m, možno ga je pa tudi prilagajati glede na zahteve arhitekta, ki oblikuje notranji interjer objekta.



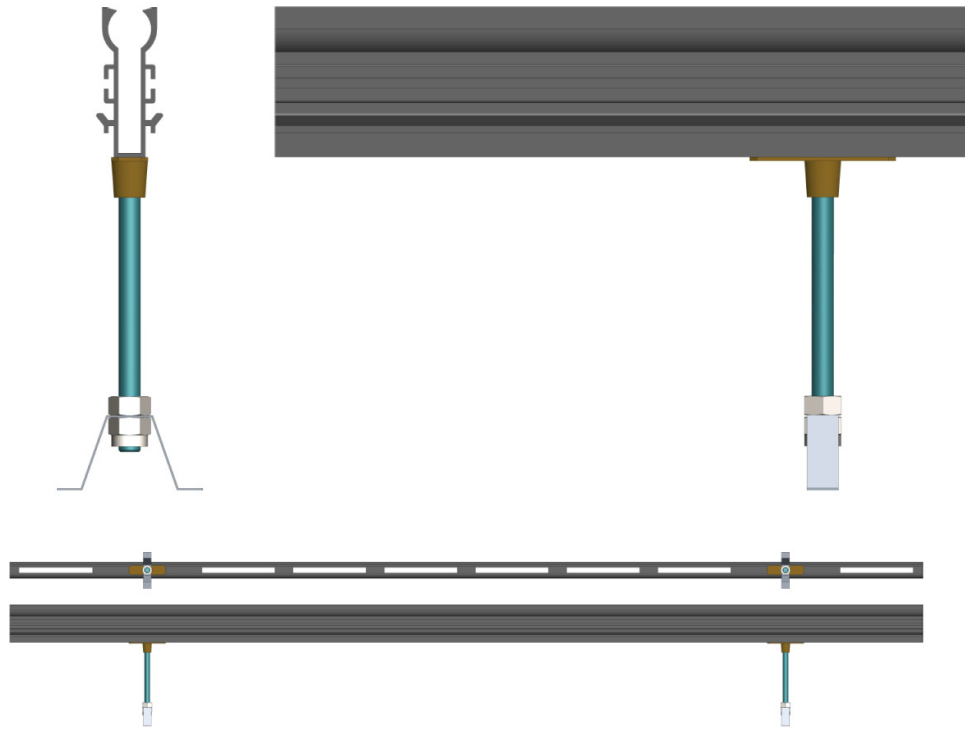
Slika 32: Talni linijski difuzor LD-15



Slika 33: Primer postavitve vpiha ob stekleno površino



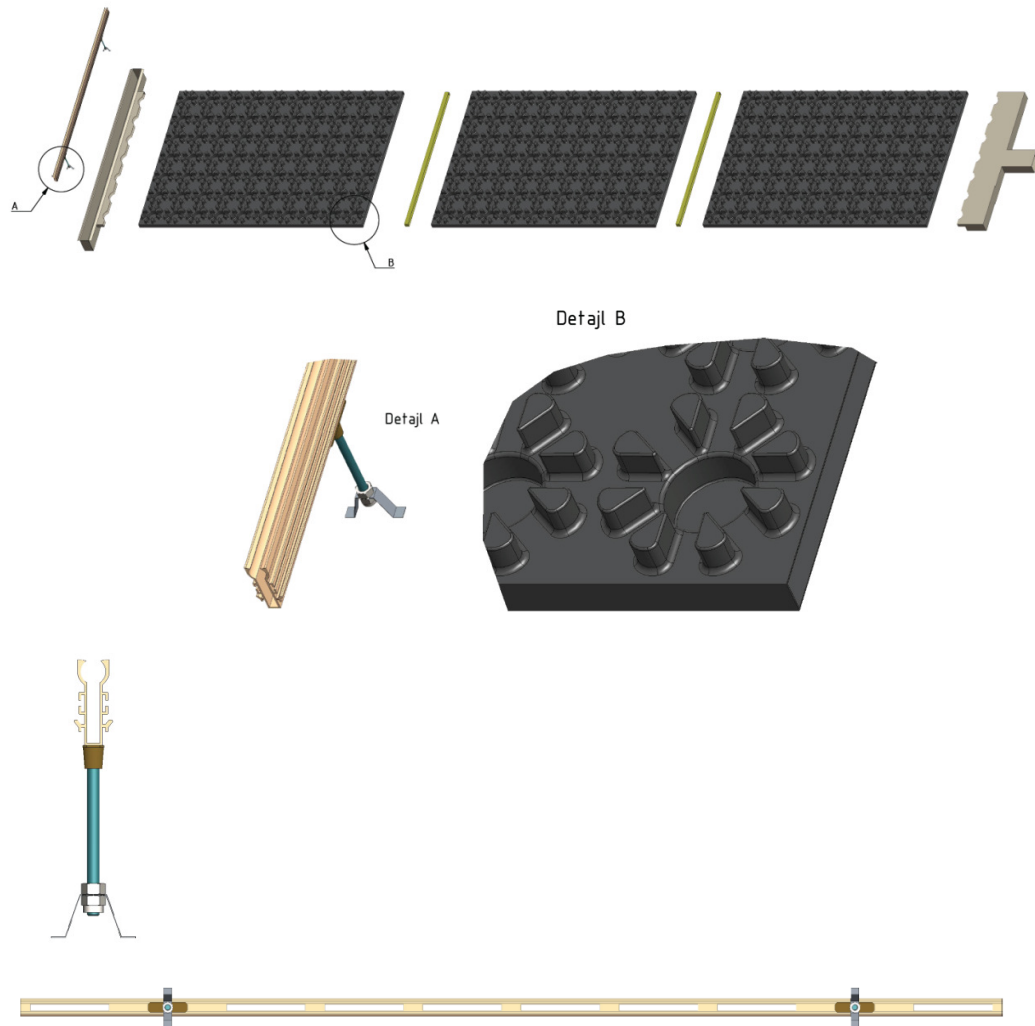
Slika 34: Detajl vgradnje talnega linijskega difuzorja ob stekleni steni



Slika 35: Linijski difuzor z nosilno podkonstrukcijo - pogledi

Sestavnica vseh elementov, ki so potrebni za sestavo posameznega mesta za vpih. Zrak se dovede preko kanalske mreže v sestavi tal, in sicer ima vsako mesto vpiha svoj dovod. V tehničnem prostoru ima vsak dovod in odvod svoj priključek na kanalski razdelilec, prav tako pa ima vsak priključek svojo revizijsko odprtino in dušilno loputo za reguliranje količin zraka. Priključki po vertikalah iz tehničnega prostora so $\Phi 100$ mm. V sestavi tal pa dobijo kanali pravokotno obliko, in sicer 100×50 mm. Vsa kanalska mreža je iz pocinkanih cevi, prav tako vsi koleni, komore in prehodni kosi.

Na začetku vpihovalnega mesta je komora na katero se z ene strani priključi prezračevalni kanal, z druge strani pa sistemska plošča. Tri sistemske plošče so med samo povezane z nasadnimi vmesnimi kosi iz pocinkane pločevine. Na koncu sistemskih plošče se polje zaključi s komoro v katero se postavi linijski difuzor. Linijski difuzor je samostojen in ga je mogoče po višini nastaviti, da ga poravnamo s finalnim podom, s tem pa kompenziramo napake pri vgradnji komore vpiha.



Slika 36: Sestavnica polja za dovod zraka



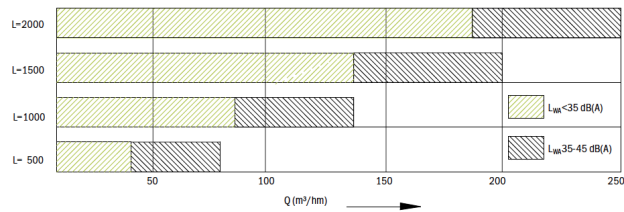
Slika 37: Primer vgradnje linijskega difuzorja LD-15, ki je lasten razvoj, v praksi

4 LINIJSKI DIFUZOR ZA ODVOD ZRAKA

Za odvod zraka se prav tako uporabi linijski difuzor, ki je vgrajen v komoro preseka 100 x 50 mm. Dolžine so poljubne, in sicer se prilagajajo glede na potrebe količine odvodnega zraka in pa seveda glede na arhitekturne omejitve pri sami vgradnji.

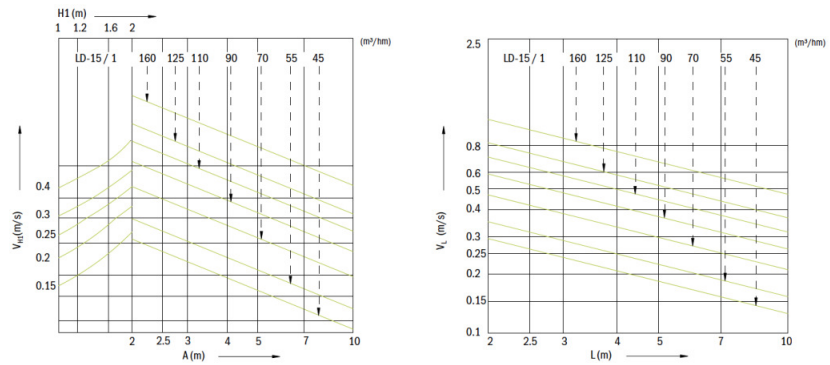
Za projektiranje in izbor dolžine linijskega difuzorja so nam v pomoč spodnje tabele:

Prosti presek na 1 m dolžine:
 $A_{\text{net}} = 0,004559 \text{ m}^2$
 Pretok na 1 m dolžine: $Q = 20\text{-}70 \text{ m}^3/\text{h}$.

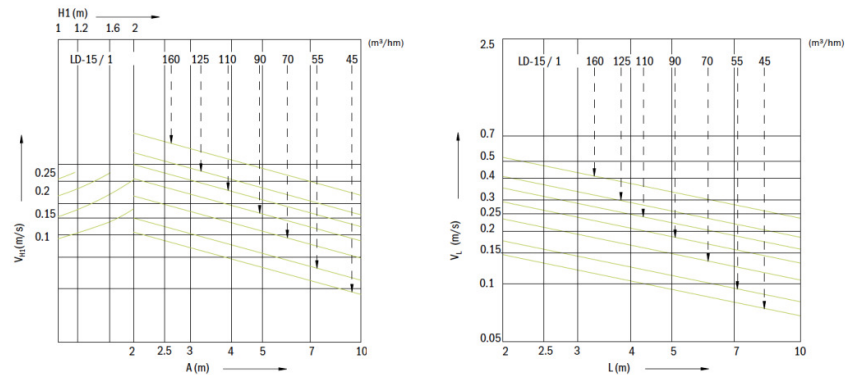


Slika 38: Diagram za hitri izbor dolžine profila[10]

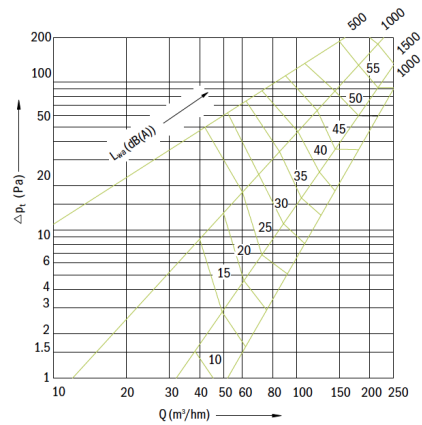
Eno ali dvosmerni horizontalni vpih



Izmenični horizontalni vpih

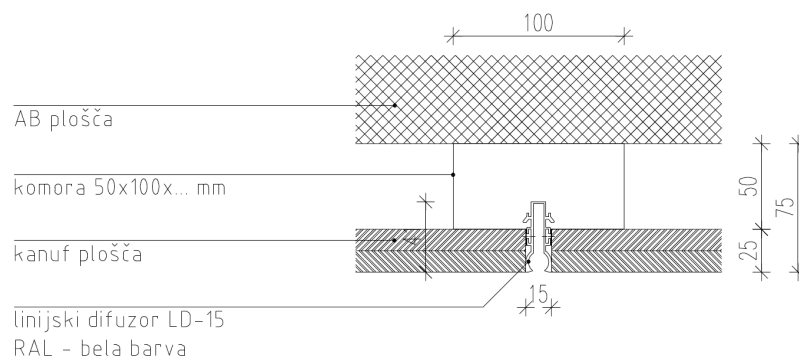


Slika 39: Diagram hitrosti na dometnih razdaljah[10]

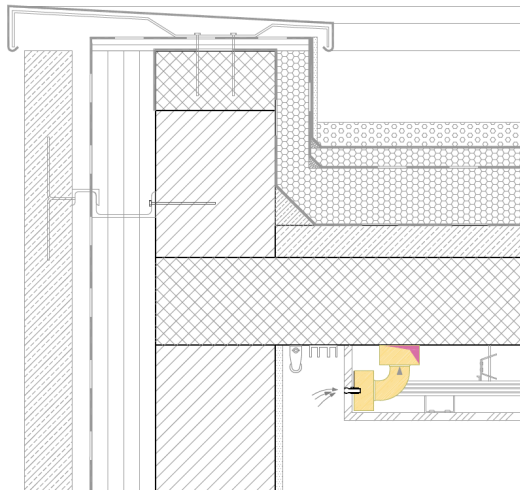
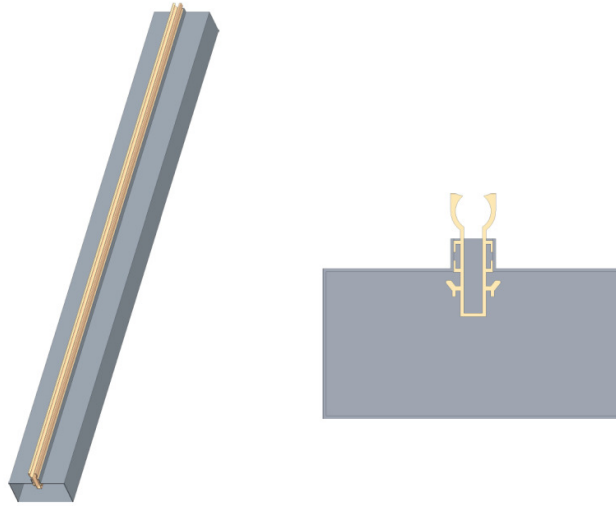


Slika 40: Nivo šumnosti in padec tlaka[10]

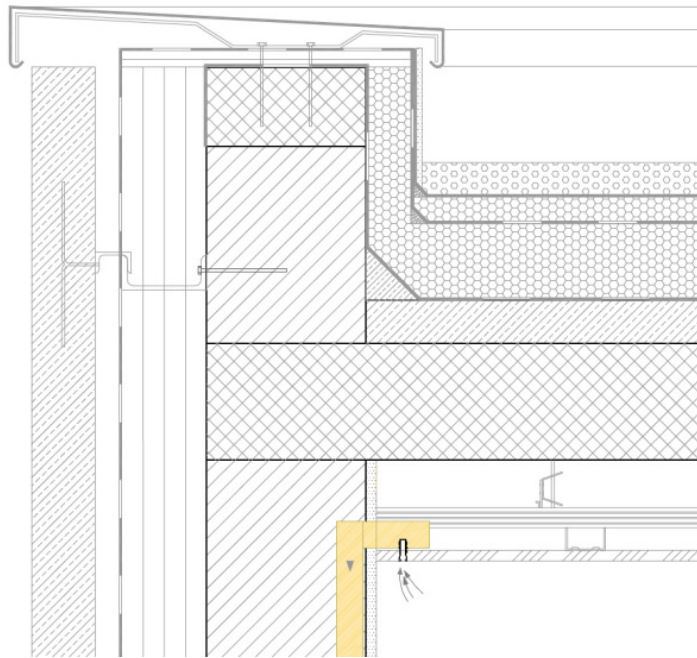
Glede same vgradnje odvoda pa lahko izbiramo pozicije kot so: v stropu, v kaskadi sekundarnega stropu, v steni, v opremi,... Na komoro se priključi odvodni kanal, in sicer dimenzije 100 x 50 mm, oz. kanal okroglega preseka Φ 100 mm.



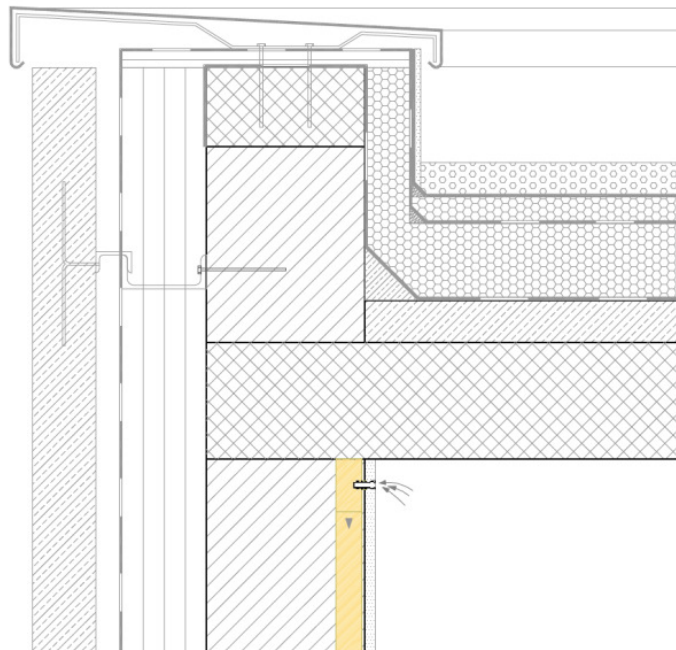
Slika 41: Primer vgradnje v raven mavčno kartonski strop



Slika 42: Primer vgradnje odvoda zraka v kaskado stropu



Slika 43: Primer vgradnje odvoda zraka v sekundarni mavčnokartonski strop



Slika 44: Primer vgradnje odvoda zraka v steno



Slika 45: Primer vgradnje linijskega difuzorja LD-15 v praksi

5 ANALIZA LINIJSKEGA DIFUZORJA, SISTEMSKÉ PLOŠČE IN PROSTORA S POMOČJO PROGRAMSKEGA ORODJA ANSYS

5.1 Programsko orodje ANSYS

ANSYS je programsko orodje s katerim je mogoče izvajati različne simulacije na področju fizike, statike, vpliva vibracij, dinamike tekočin, prenosa toplote, elektromagnetnih vplivov, ...

V virtualnem okolju omogoča izvedbo simulacij in testov na posameznih objektih ter numeričnemu reševanju problemov po principu metode končnih elementov. Pri simulaciji različnih sprememb in odzivov se znotraj programa izvajajo preračuni ki vsebujejo kompleksne enačbe, ki bi bile za ročne preračune prezahtevne.

ANSYS omogoča predvidevanje procesov v virtualnem okolju, kar bi lahko imenovali tudi virtualna izdelava prototipov. Računalniški paket omogoča ugotavljanje šibkih točk modelov in njihovo izboljšavo oziroma odpravljanje. Prav tako s pomočjo simulacij v okolju predvidimo življenjski tok produktov in predpostavimo težave v razvoju.[11]

5.1.1 Delov programu ANSYS

V okviru magistrskega dela sem uporabil programsko orodje ANSYS za poskus simulacije gibanja zraka in prestopa toplote. Za izvedbo pravilne analize je potrebno narediti realen geometrijski model.

predpriprava analize:

- določitev ciljev analize,
- razčlenitev problema na smiselne celote.

predprocesiranje:

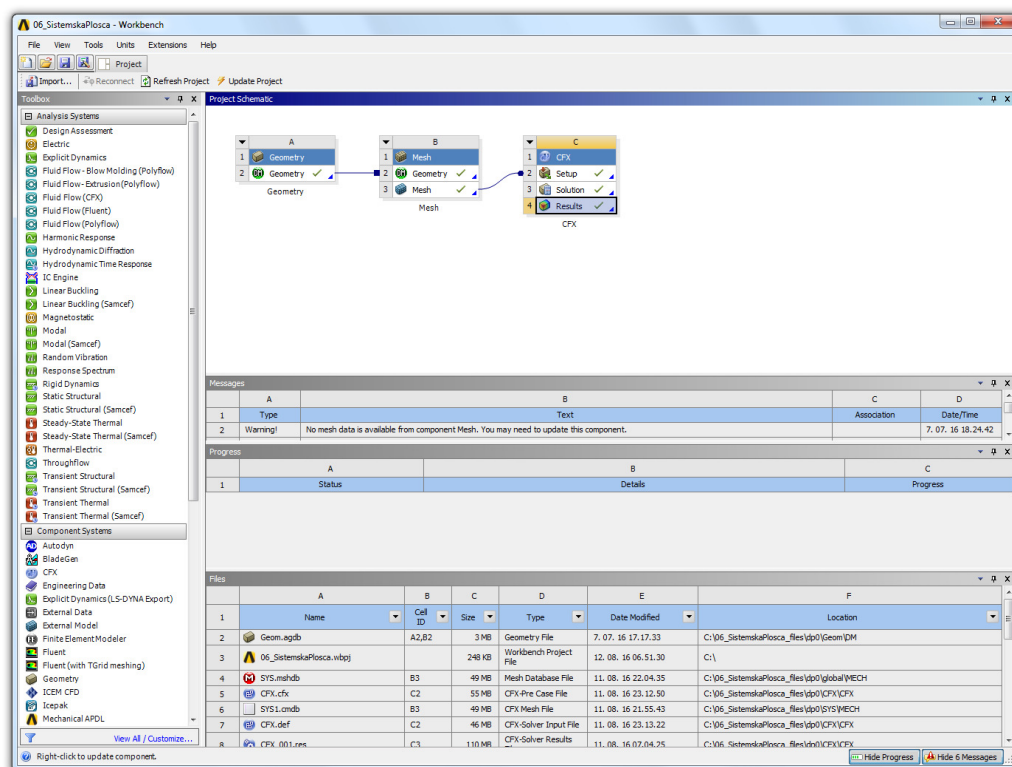
- modeliranje
- mreženje,

- določitev robnih pogojev, fizikalnih karakteristik, lastnosti okolice,
- nastavitve pred samim preračunom,
- izračun.

postprocesiranje:

- pregled, analiza in predstavitev rezultatov.

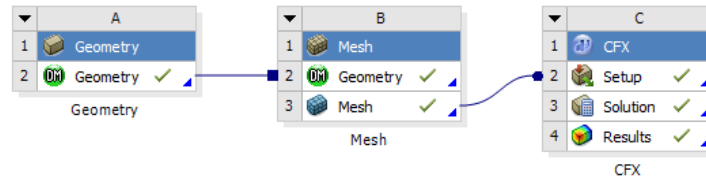
Delovno okolje v katerem poteka delo se imenuje "Workbench". Predstavlja vmesnik za izvajanje različnih med sabo povezanih simulacij. Na levi strani so nanizane izbire različnih analiz, is sicer os statičnih, dinamičnih, električnih, analiz toka, itd.



Slika 46: Delovno okolje WOKRBENCH

Najprej je potrebno določiti geometrijo objekta, ki ga bomo obravnavali in analizirali. Pod "Geometry" je možno uvoziti model iz drugih programov, kot so CATIA, SolidWorks,

CREO, in drugi. Možno pa je objekt narisati tudi z orodjem ki je na voljo pod modelirnik "Geometry".



Slika 47: Primer analize v programu ANSYS

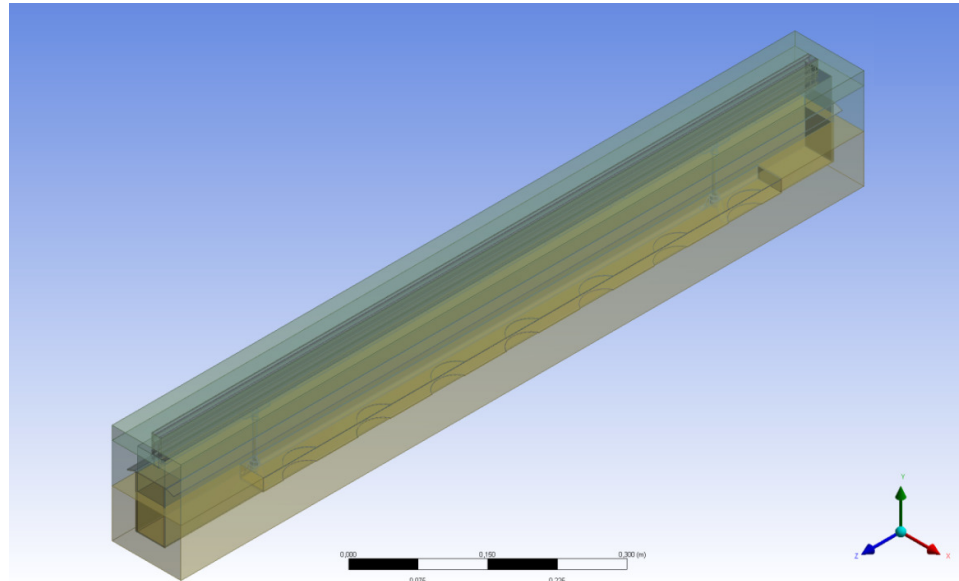
Modelirnik ima orodne vrstice med katerimi je možno izbirati ustrezne ukaze, da se model nariše. Obliko volumna pa dobi z ukazi kot so izvlek, rotiranje, vlečenje po krivini in drugo. Pri tem pa je možno vključiti v modeliranje že vnaprej pripravljene oblike, kot so kocka, kupola, valj, piramida,...

Razlika med modelirnikom v programu ANSYS in ostalimi programi za modeliranje je v tem, da je v tem modelirniku potrebno vse sestave objekta risati naenkrat. Ločiti pa jih je med sabo možno z izbiro ukazov kot so "freeze" in "unfreeze". S temi ukazi je možno posamezne sklope tudi združevati glede ne isto vrsto materiala.

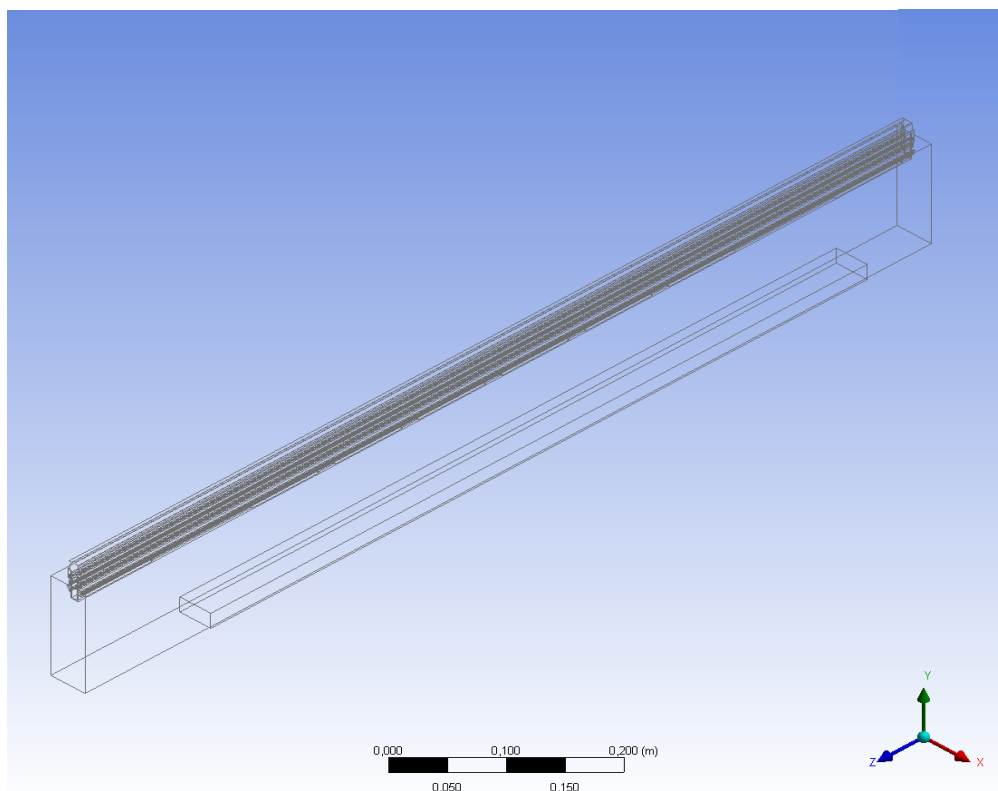
Med samim modeliranjem se tako določijo materiali posameznih sklopov. Možno jih je tudi kasneje pri obdelavi še spreminjati..

Pri modeliranju je potrebno paziti, da ne naredimo preveč podroben, oz. natančen model. Težava se pojavi kasneje, ko preidemo na mreženje modela, ki zaradi natančnosti obdelave potrebuje ogromno dodatnega časa in pa seveda zelo zmogljiv računalnik. Zaradi tega je potrebno kritično presoditi kakšna geometrija je ustrezna da bo simulirala problem, ki ga želimo obdelati ter da ni prezahtevna zaradi same programske obdelave.

Pri obdelavi linijskega difuzorja je zaradi lažje obdelave problema izpuščena nosilna konstrukcija (nastavljive nogice), saj bistveno nimajo vpliva na samo analizo. Prav tako je izpuščena sestava tal, in sicer finalni pod, estrih in toplotne izolacije, saj nimajo vpliva na analizo pretoka zraka skozi komoro in difuzor.



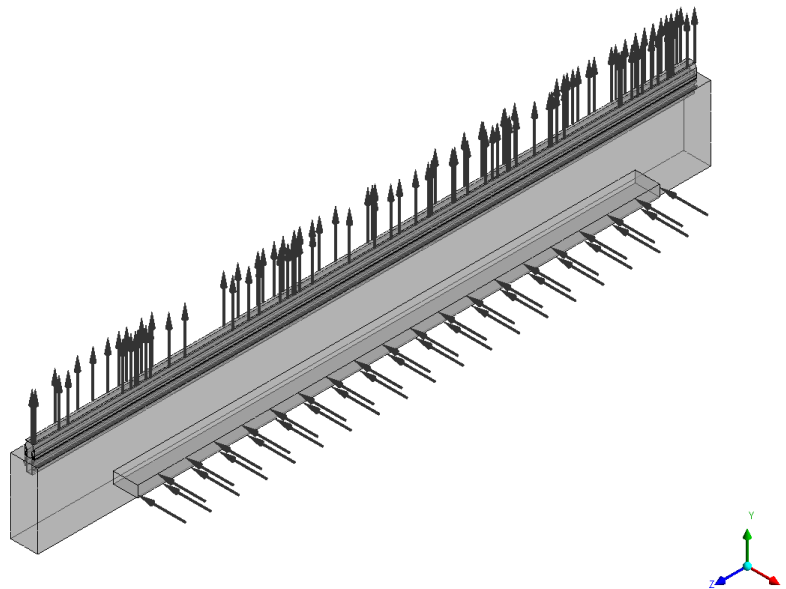
Slika 48: Kompleksna geometrija



Slika 49: Poenostavljena geometrija

Ko je korak modeliranja končan je na vrsti mreženje modela, v ta namen se požene program "Mash". Tukaj je potrebno nastaviti vse karakteristike, ki se nanašajo na velikost in obliko mreženja. Določi se natančnost mreže, velikost volumskih in ploskovnih elementov, način mreženja in številne druge lastnosti. Od gostote mreže je odvisna uspešnost fizikalnega problema, saj gostejša je mreža, bolj natančne podatke dobimo. V vsakem primeru posebej je potrebno poiskati optimalne rešitve, ki glede na zahtevnost geometrije in pričakovano analizo modela pogojuje gostoto mreže. Računalniška mreža je dovolj gosta takrat, ko pri analizi in preračunu, pri dveh različnih mreženjem dobimo nespremenjene rezultate.

Po mreženju je naslednji korak CFX postopek, ki nam omogoča CFD analizo. Pod zavirkom Setup je možno nastaviti vse robne pogoje in karakteristiko modela.

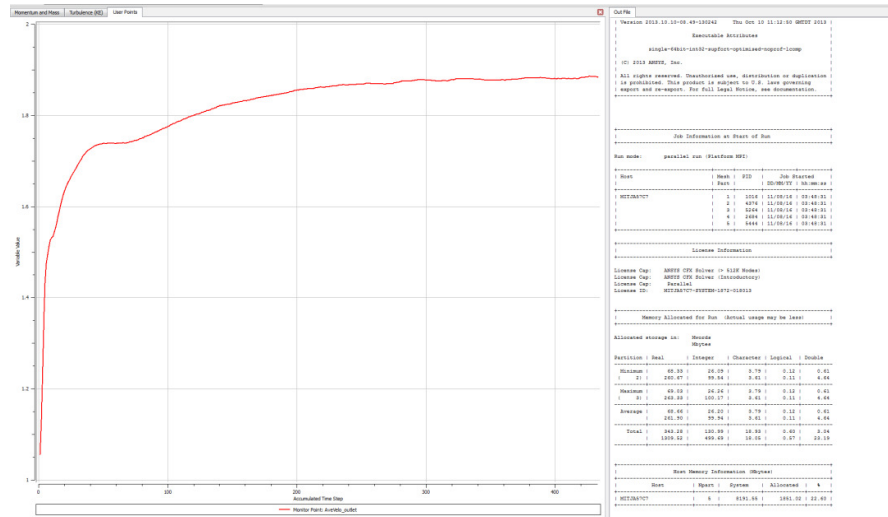


Slika 50: Setup pri delu analize CFX

Predhodno poimenovanim površinam se v "Setup-u" definira robne pogoje. Označijo se vhodne in izhodne površine, hitrost zraka na vhodu in izhodu. Prav tako se določijo površine modela, materiale, toplotne prevodnosti. Gre za zelo kompleksen postopek pri določevanju robnih pogojev in lastnosti modela, saj je potrebno res dobro poznati

problematiko postopka analize. Določiti je potrebno robne pogoje, ki kar seda najbolj realno opisujejo razmere v realnem okolju obravnavanega primera.

Po opravljenih nastavitvah je možno zagnati preračun "Solution". Predhodno se nastavi maksimalno število interakcij, ko program obdela vse vrste interakcij in če se konvergenca ustali, je to znak da je preračun uspešno izveden. Na spodnji sliki je prikaz uspešno izvedenega preračuna modela.



Slika 51: Prikaz grafa preračuna s programom ANSYS "Solution"

Dobljene rezultate nato analiziramo z naslednjim zavihkom v naboru, in sicer "Results". Rezultate lahko prikazemo v več različnih oblikah, in sicer:

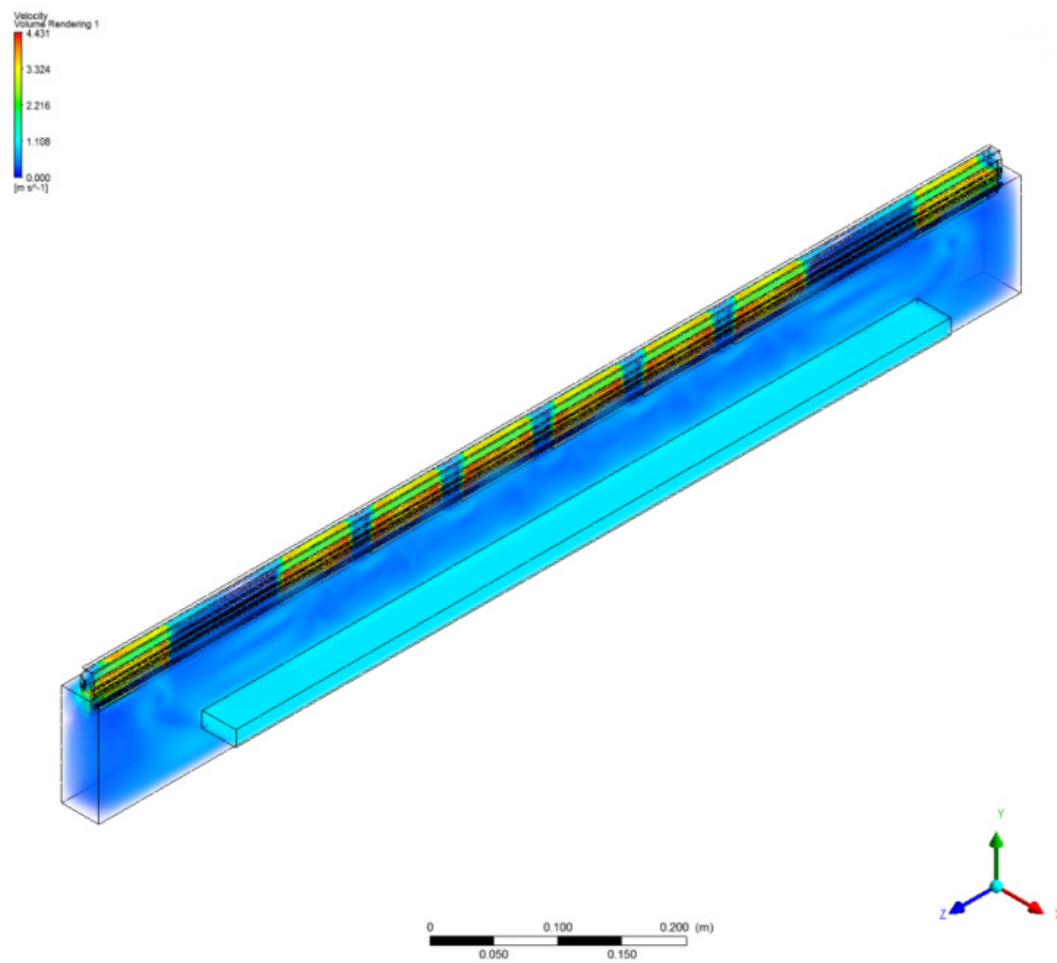
s pomočjo prostorskega 3D prikazovalnika:

- vektorji,
- površine,
- strujnice,
- volumski renderji.

tabelarično,

z grafikoni,

s pomočjo poročil v tekstovni obliki.



Slika 52: Prikaz rezultatov "Results"

5.2 Analizi linijskih difuzorjev

5.2.1 Cilji analize

S programskim orodjem ANSYS sta se analizirala dva različna tipa linijskih difuzorjev, in sicer

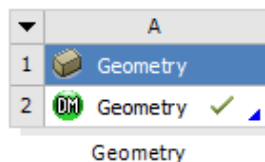
- linijski difuzor z oznako LT451, ki ga v sistemu prezračevanja Airconomy uporablja in vgrajuje podjetje Schütz,
- linijski difuzor z oznako LD15, ki sem ga skonstruiral sam in se po geometriji in načinu vgradnje razlikuje od prejšnjega.

Cilji analize je ugotoviti in prikazati posebnosti obeh tipov difuzorjev ter razlike pri vpihovanju zraka v prostor.

- analiza toka zraka skozi vpihovalno komoro, linijski difuzor in na vstopu v prostor
- analiza tlačnih razmer pri vpihovanju v prostor,
- analiza turbulentne kinetične energije v linijskem difuzorju in na vstopu v prostor.
- analiza hitrostnih, tlačnih in turbulentno kinetičnih razmer na izstopni površini difuzorja

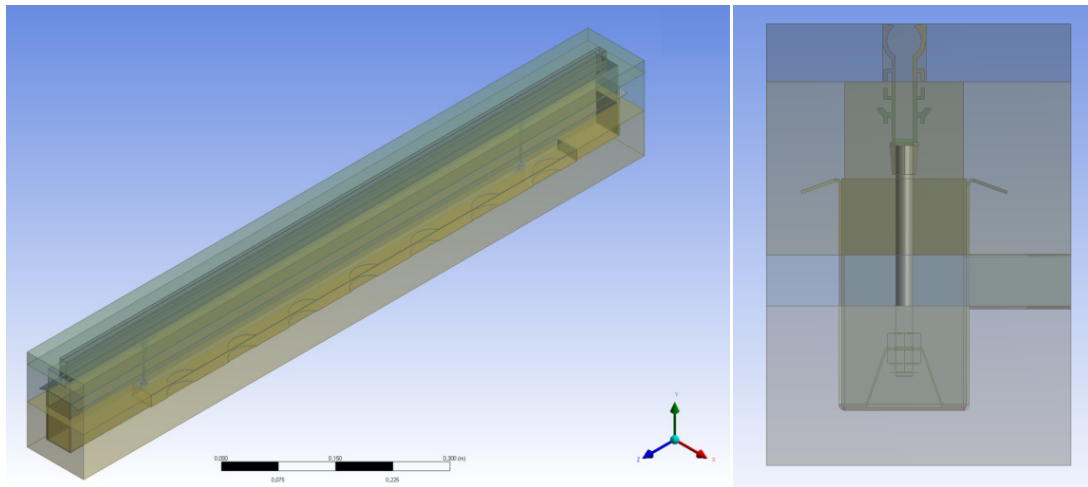
5.2.2 Geometrija

Geometriji linijskih difuzorjev sta se skozi obdelavo v modelu "Geometry" poenostavili, in sicer zaradi lažjega mreženja in nadaljnje obdelave pri analizi modela. Vendar poenostavitev geometrije ni vplivala na same rezultate, oz. na cilje analize.



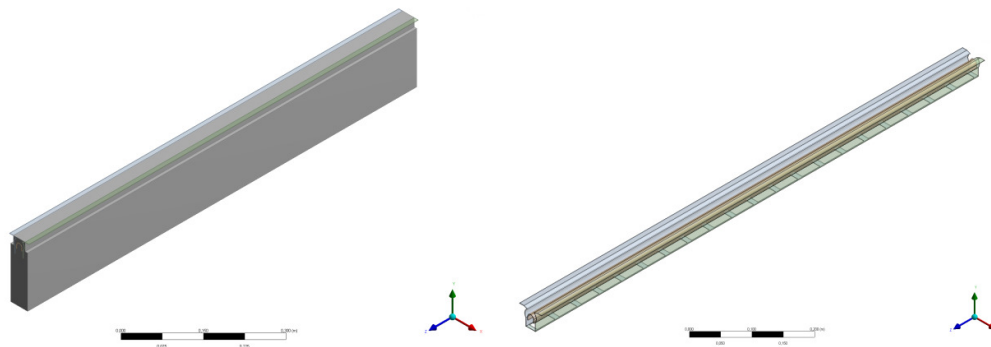
Slika 53: Shematičen prikaz ukaza "Geometry" v okolju "Workbench"

Prvotna geometrija je bila delno izdelana v programu CREO in uvožena v program ANSYS, modul "Geometry".



Slika 54: Primer kompleksne geometrije difuzorja LD15 z detajli podkonstrukcije in sestavo tal

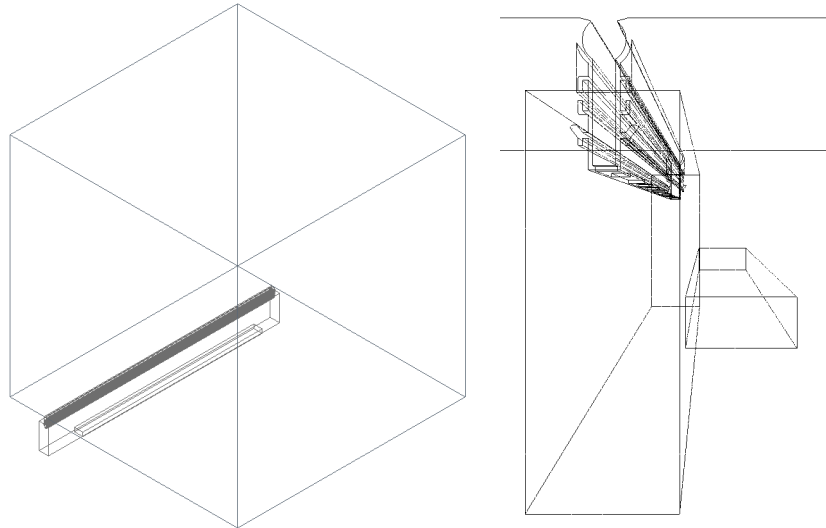
Zaradi preveč detajlne izdelave se modificirala, in sicer se je odstranila nosilna podkonstrukcija za linijski difuzor (nosilne nogice, navojna palica z maticami). Prav tako se je opustila celotna sestava tal, ki obliva vpihavalno komoro v katri stoji linijski difuzor. Ker v tem primeru nimamo vpliva temperature estriha na spremembo temperaturo zraka, ki potuje skozi komoro in difuzor v prostor, lahko zanemarimo tudi ta vpliv. Iz modela geometrije se je odstranila celotna sestava tal, in sicer parket, estrih in izolacije.



Slika 55: Primer kompleksne geometrije difuzorja LT451

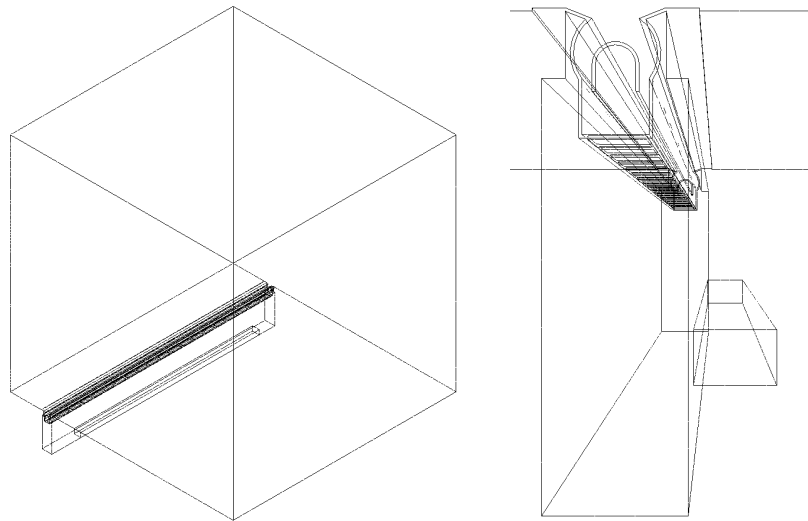
Geometrija difuzorja LT451 ki ga uporablja v sistemu Airconomy podjetje Schütz. Izrisan linijski difuzor z usmerjevalnimi valjčki v sredini. Levo na zgornji sliki, je razvidna

vgradnja difuzorja v komoro, in sicer je difuzor položen na finalni pod, saj ima rozetni finalni zaključek. Desno na sliki je prikazan le profil z valjčki. Ta geometrija je izrisana v modulu "Geometry" in je bila za potrebe mreženja prav tako poenostavljena v smislu negativa.



Slika 56: Primer poenostavljene geometrije difuzorja LD15 z izsekom prostora

Na zgornji sliki je prikazana poenostavljena geometrija, ki je bila predmet nadaljnje analize pretoka zraka skozi linijski difuzor in vpihovalno komoro v katero je difuzor vgrajen. Celotno telo komore in difuzorja je eno, združeno z ukazom "Boolean". Telo ima lastnost zraka in ima definirane površine za vstop in izstop zraka. Nad linijski difuzor je postavljena kocka velikosti stranice 1m, kar predstavlja izsek prostora v katerega se vpihuje zrak, in sicer z namenom analize razmer med vpihovanjem tik nad samim difuzorjem.

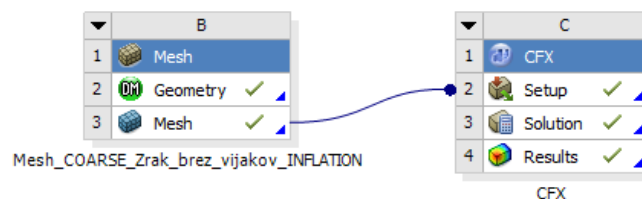


Slika 57: Primer poenostavljene geometrije difuzorja LT451 z izsekom prostora

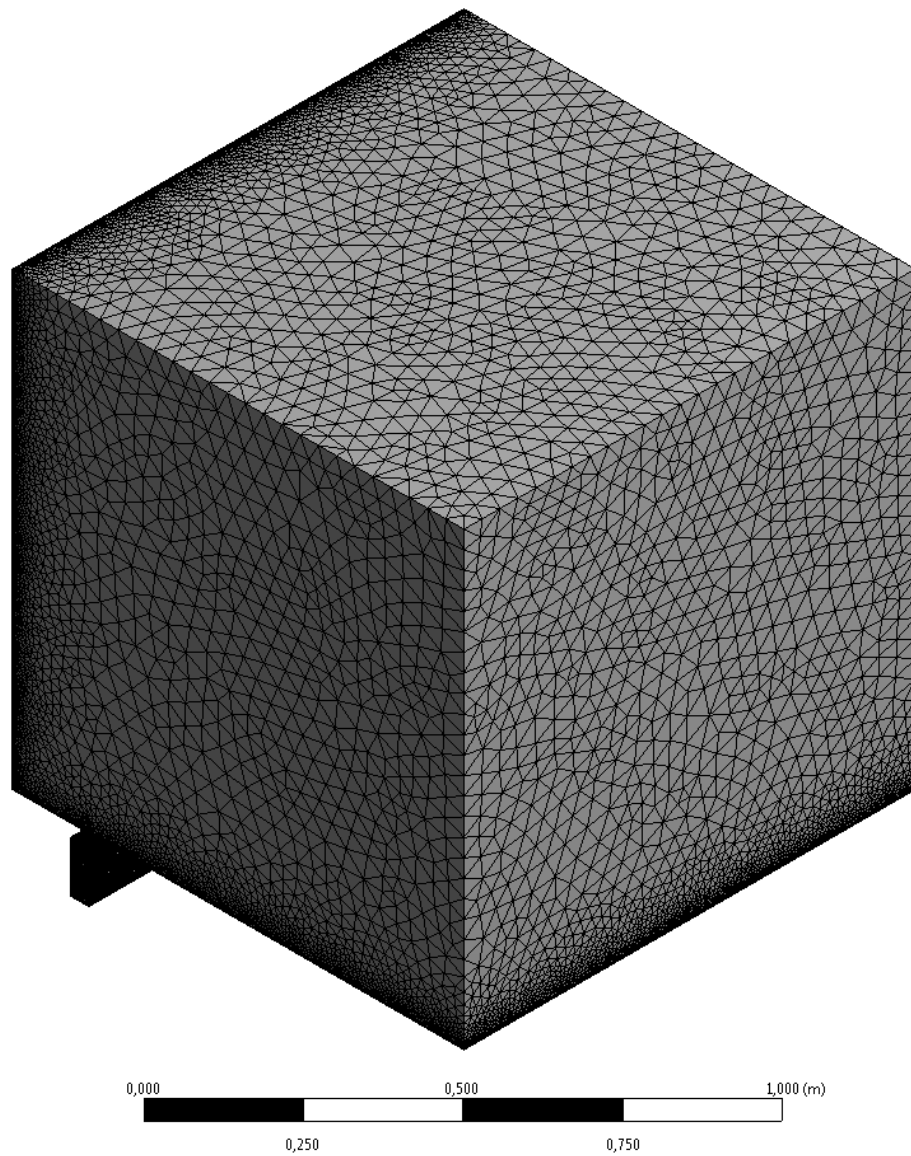
Geometrija je poenostavljena do te mere, da je praktično negativ. To pa pomeni, da je telo, ki je obdelano v analizi v dejanskem primeru zrak. Ve kar pa v dejanskem stanju predstavlja pa je v tem primeru zrak okoli negativa.

5.2.3 Mreženje

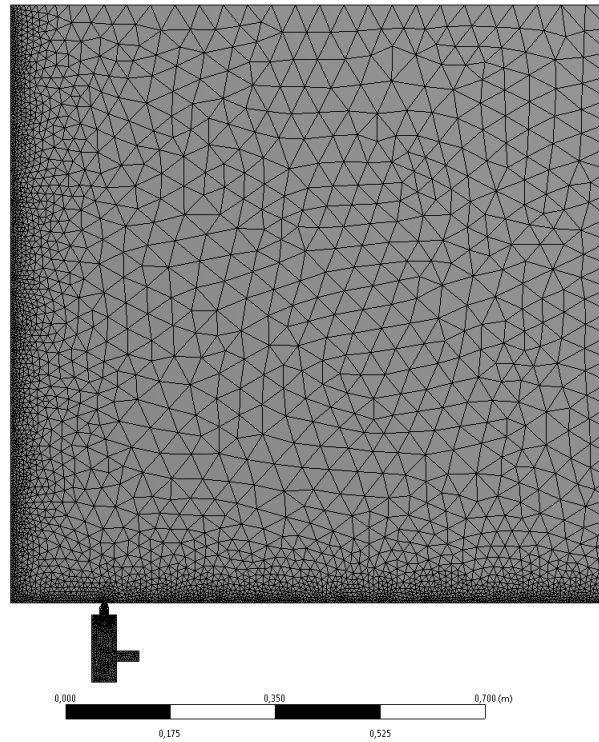
Po končani geometriji se le ta poveže, oz. odpre z modulom "Mesh" s katerim se definira mreženje modela. Model je obdelan z "inflation layerjem", s tem dobimo dovolj veliko mrežo, da so rezultati analize natančni. Mreža "Coarse" je s tem dobila na velikosti 8 mio elementov in je precej obsežna. Na spodnjih slikah so predstavljeni rezultati mreženja od 3D modela, prereza in detajla na katerem je prikazan izgled mreženja "inflation layerjem".



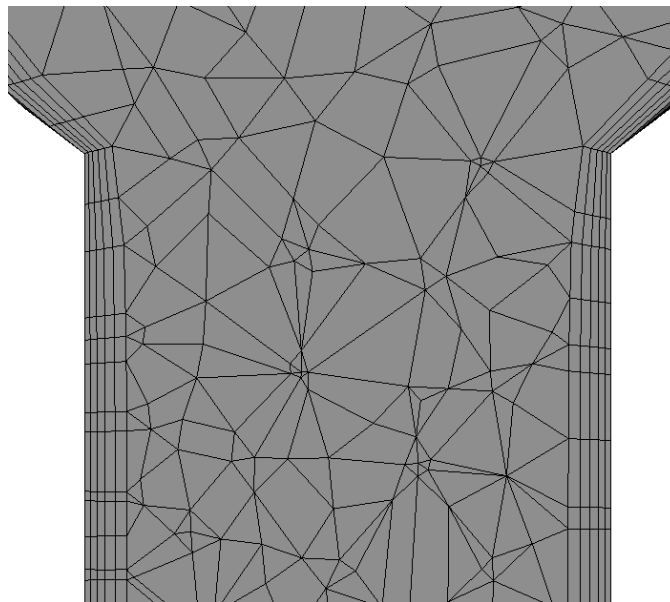
Slika 58: Shematičen prikaz ukaza "Mesh" v okolju "Workbench"



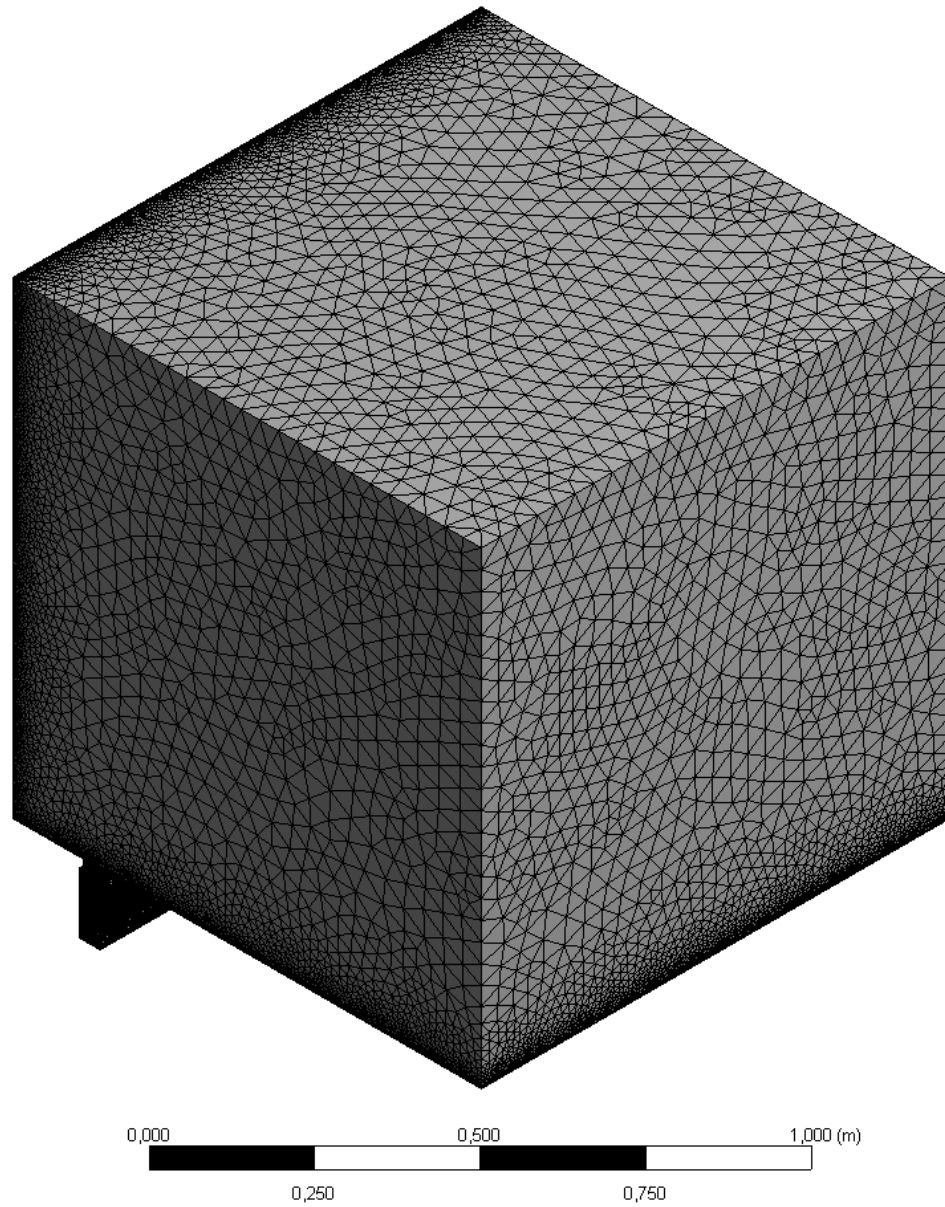
Slika 59: Mreženje linijskega difuzorja LD15 s komoro in izsekom prostora



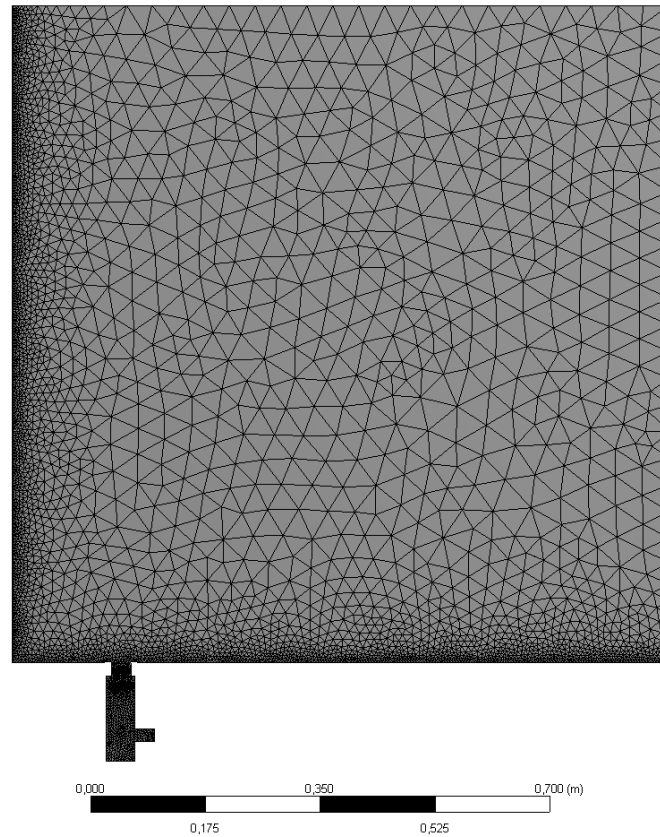
Slika 60: Mreženje linijskega difuzorja LD15 s komoro in izsekom prostora v prečnem prerezu



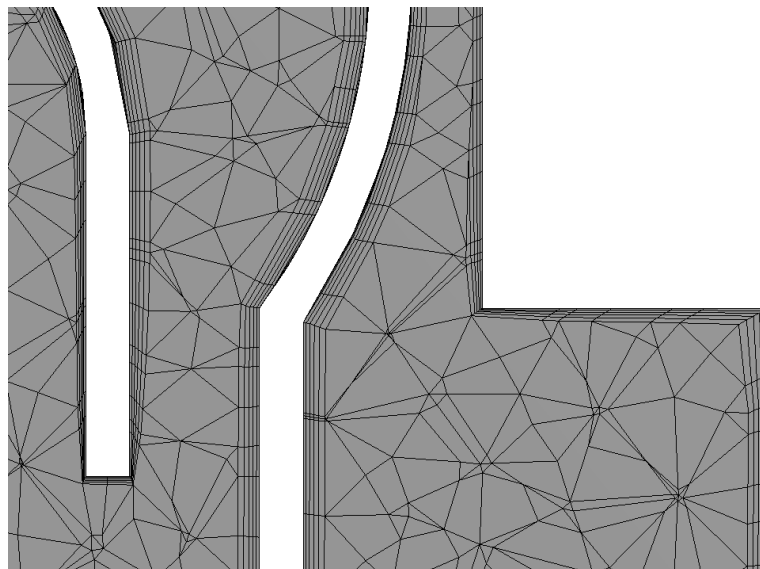
Slika 61: Detajl "inflation layer-ja" ob steni profila LD15



Slika 62: Mreženje linijskega difuzorja LT451 s komoro in izsekom prostora



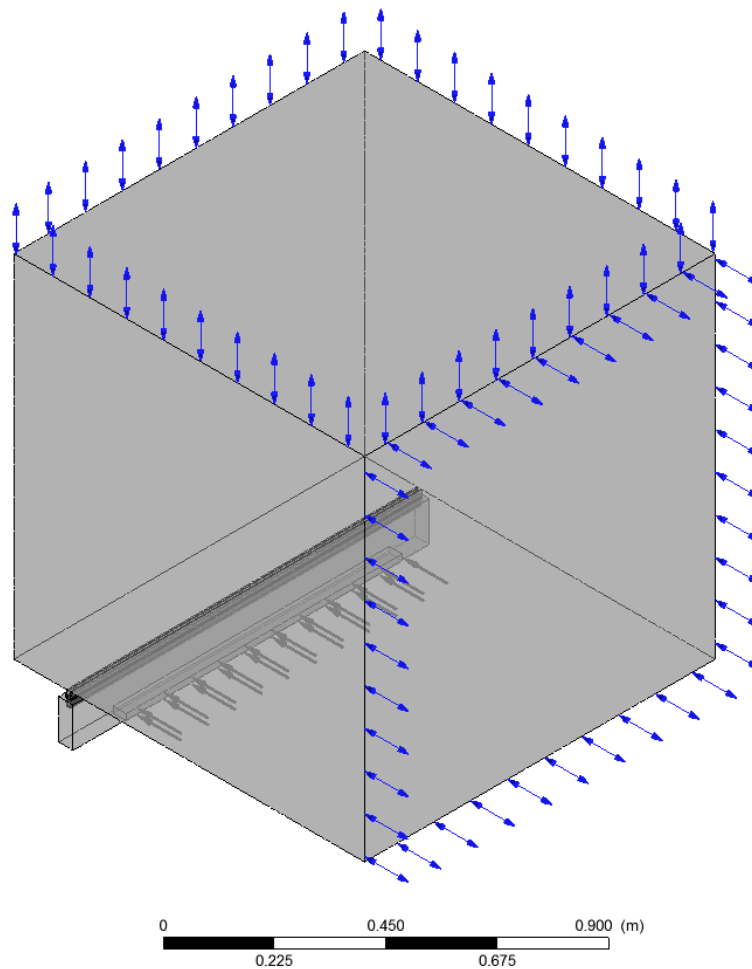
Slika 63: Mreženje linijskega difuzorja LT451 s komoro in izsekom prostora v prečnem prerezu



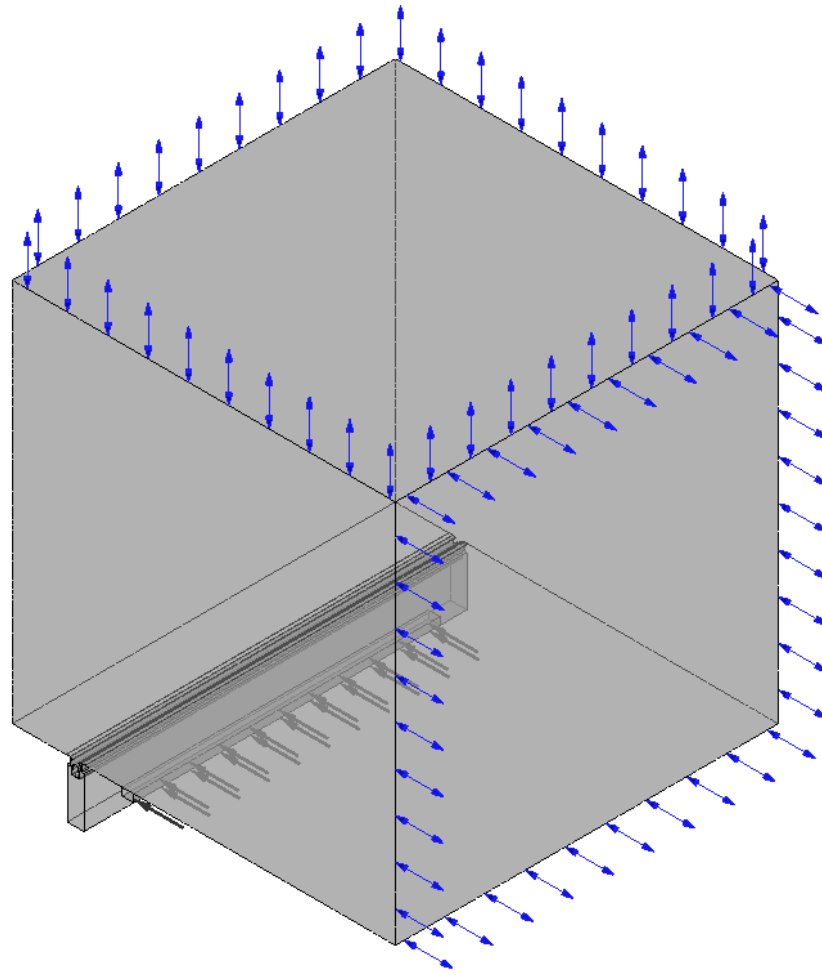
Slika 64: Detajl "inflation layer-ja" ob steni profila LT451

5.2.4 Robni pogoji "Setup"

Določitev robnih pogojev za model se določi v okviru ukaza "Setup". Definirana je vstopna hitrost zraka v komoro, in sicer 1m/s. Zrak na izstopu iz izseka prostora, ki je dodan nad profil, pa se prosto giblje skozi dve stranici v ostali prostor. Spodnja površina kocke predstavlja tla, leva, ki je odmaknjena od profila 15 cm pa steno, oziroma v večini primerov stekleno površino, saj se vpih zraka v prostoru pozicionira ob steklene stene. Odprti sta samo zgornja in desna ploskev kocke, skozi ti dve ploskvi je simulirano prosto prehajanje zraka v ostali del prostora in nazaj. Izbrana je definicija prehoda v obe smeri, in sicer "opening". Tlačni padec na teh dveh ploskvah je definiran na vrednost 0 Pa. Uporabljen je model turbulentnega toka k-epsilon. Termične vzgonske sile in vplivi niso upoštevani, saj v tem delu detajlnem preračunu nimajo vpliva na rezultate.



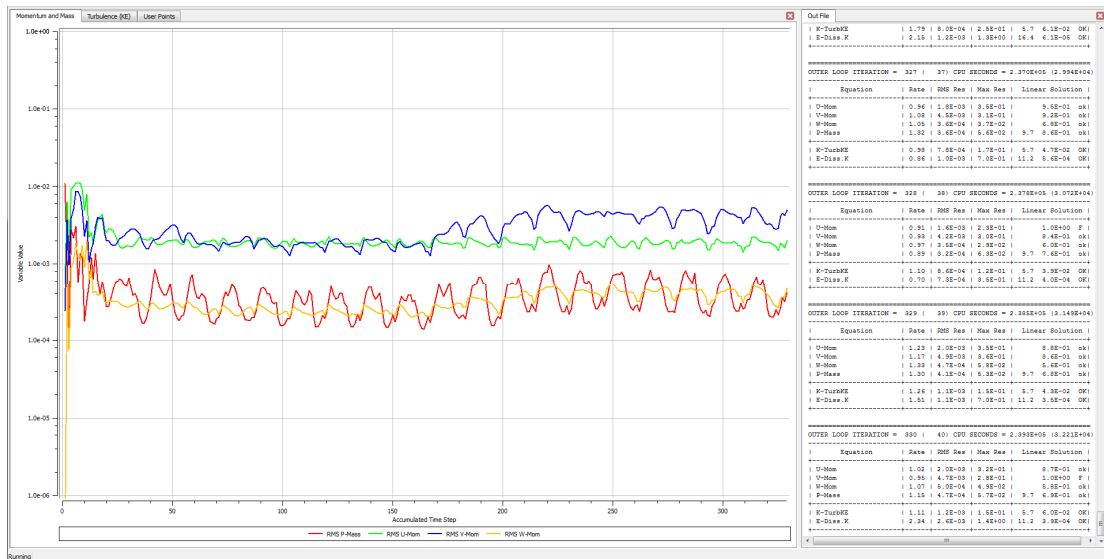
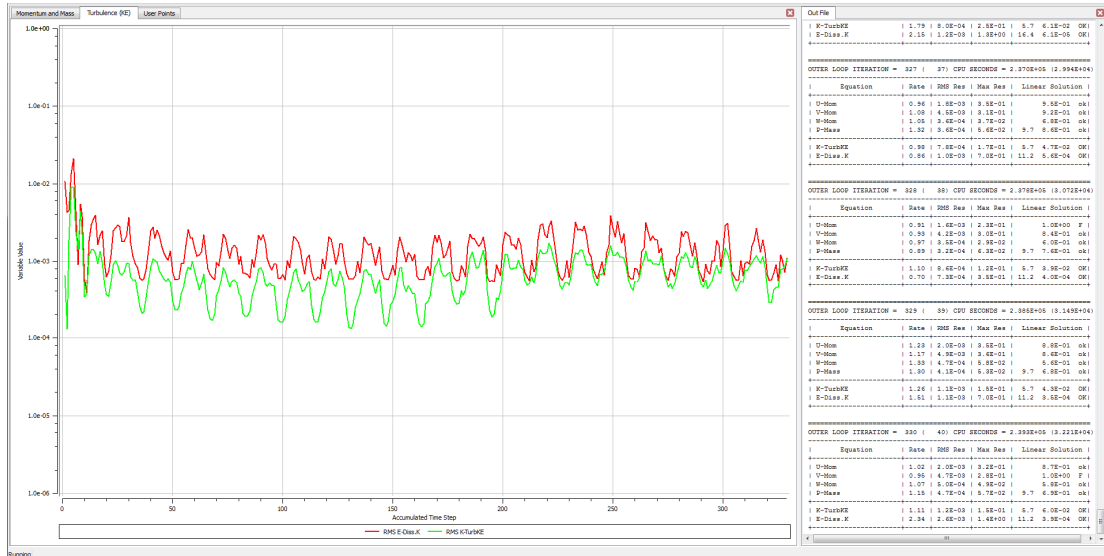
Slika 65: Prikaz določitve vstopne in izstopnih površin v primeru LD15

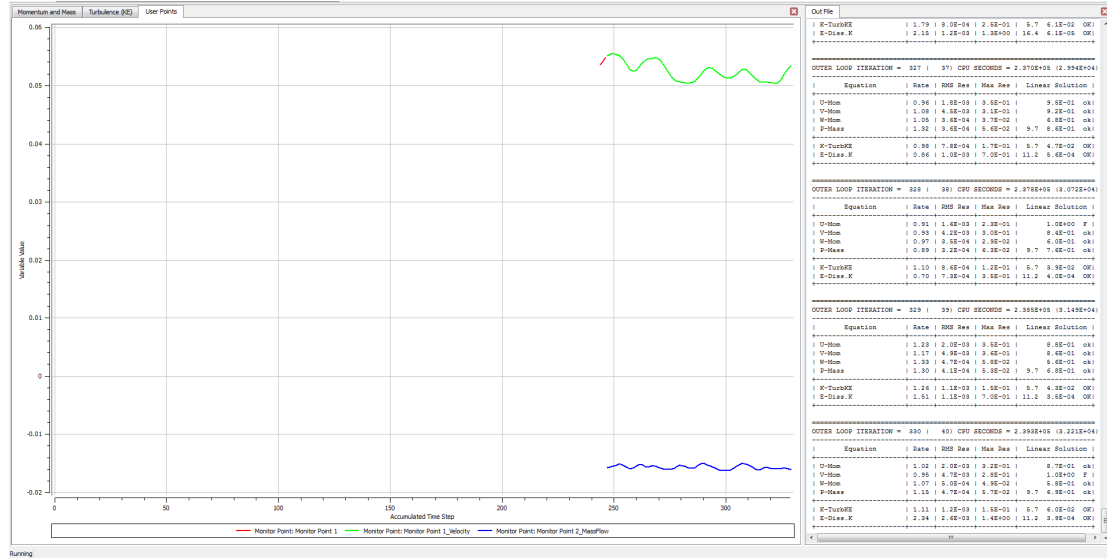


Slika 66: Prikaz določitve vstopne in izstopnih površin v primeru LT451

5.2.5 Izračun "Solution"

Po določitvi vseh robnih pogojev in lastnosti materialov, zaženemo izračun modela.



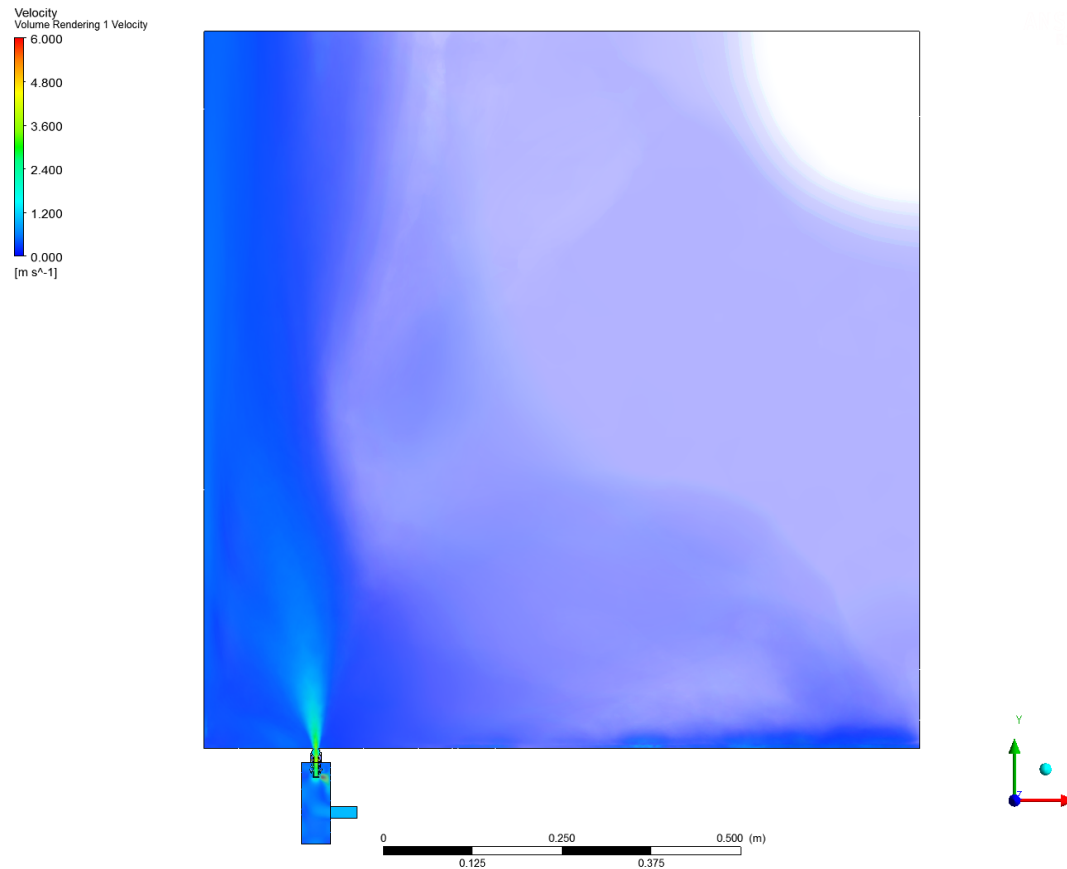


Slika 67: Grafični in tekstovni prikaz izračunov v primeru difuzorja LD15

Ko program obdela zahtevano število interakcij se izračun zaključi. Na grafih so v krivuljah izrisani poteki izračuna, v desnem ob grafih pa se v tabelarnem pogledu izpisujejo podatki v tekstovni in tabelarni obliki.

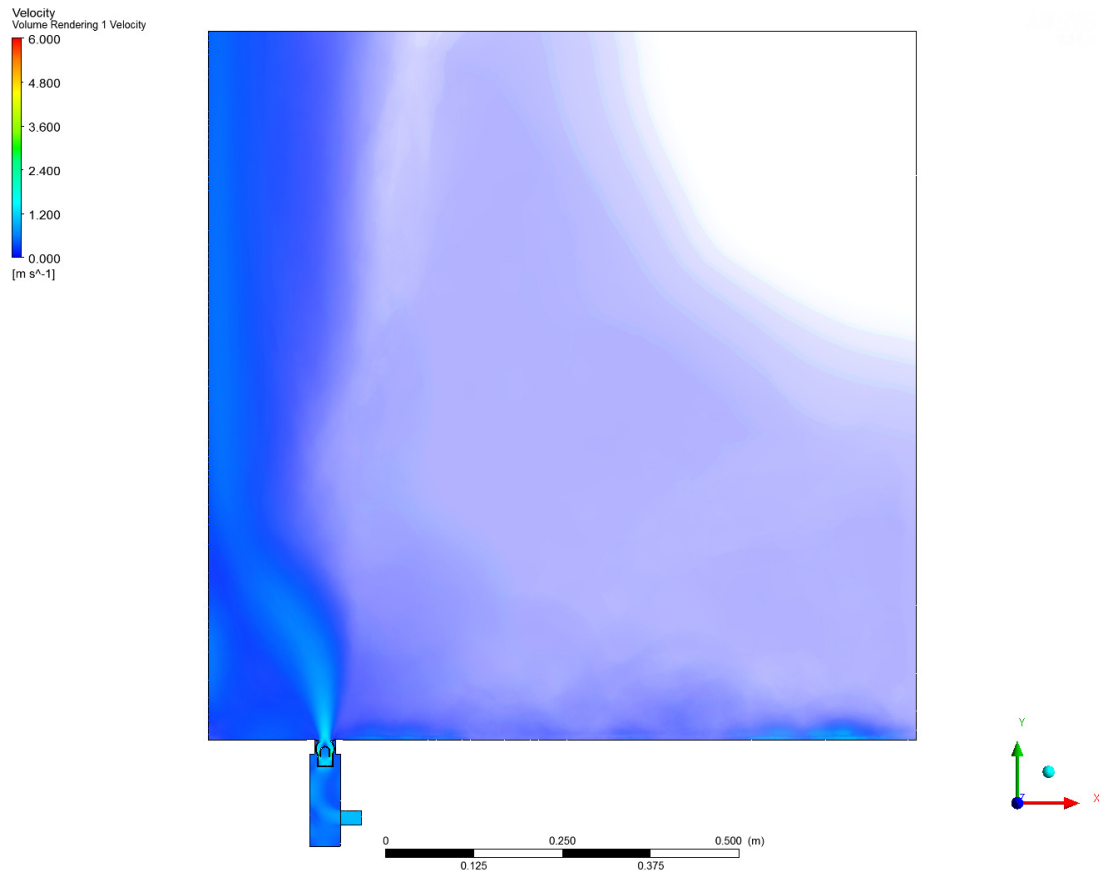
5.2.6 Rezultati "Results"

Rezultati gibanja zraka skozi komoro in nato skozi reže linijskega difuzorja v prostor so prikazani z naslednjo grafiko.



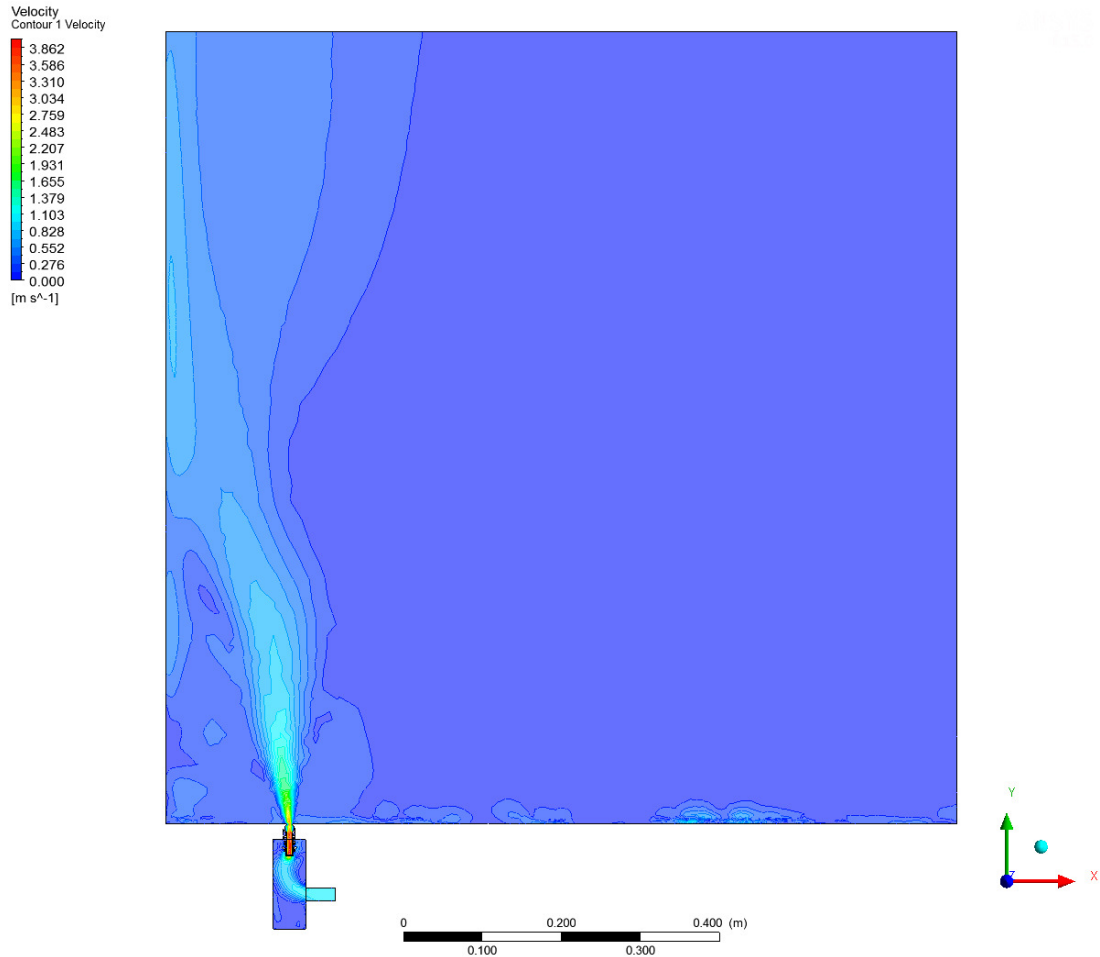
Slika 68: Pogled volumskega toka zraka skozi difuzor LD15 v prostor

Pogled skozi volumski model toka zraka iz difuzorja v prostor. Zrak vstopa skozi spodnji nastavek komore, in sicer s hitrostjo 1 m/s ter nato skozi linijski difuzor, nove konstrukcije, LD15 v prostor. Hitrost zraka se zaradi zmanjšanja prostega preseka poveča. Širina rege je 7 mm in dolžine 1 m. S povečano hitrostjo zraka je viden domet zračnega curka v prostor, ki je sprva v višini 10 cm vertikalni in homogen, nato pa se tokovnice uklonijo, in sicer v levo proti zunanji steni. V večini primerov se difuzorji vgrajujejo 10 cm od steklene stene. Povprečna hitrost vpiha znaša 1,4334 m/s. V nadaljevanju zrak izgubi na hitrosti in le ta znaša 0,2 m/s in manj, tako da hitrost zraka v prostoru nima negativnih na udobje bivanja v prostoru.



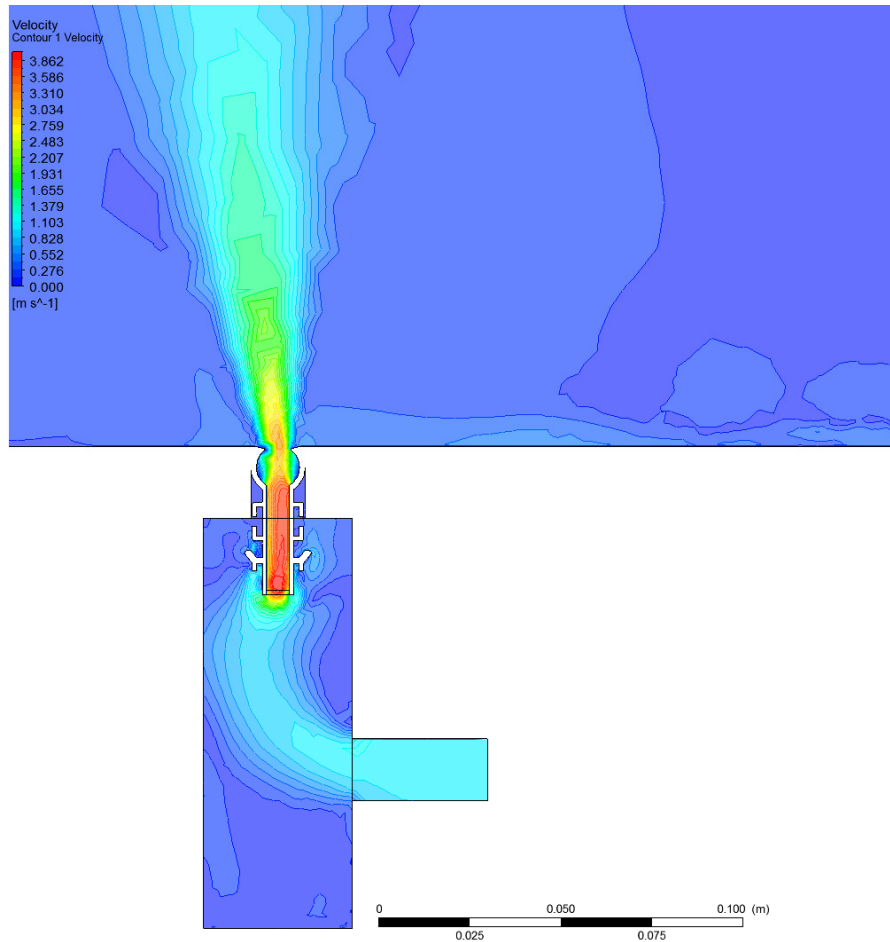
Slika 69: Pogled volumnskega toka zraka skozi difuzor LT451 v prostor

V primeri pogleda na volumnski tok zraka v prostor skozi linijski difuzor LT451 opazimo, da je zaradi večjega prostega preseka hitrost manjša. Linijski difuzor, ki ga pri vgradnji uporablja podjetje Schütz je širši, in sicer tukaj znaša širina rege 14 mm ter dolžine 1 m. Linijski difuzor ima v notranjosti vgrajene usmerjevalne valčke, s katerimi je mogoče umerjati tok zraka levo, desno ali navpično. V primeru vgradnje v tla so valjčki nastavljeni na vertikalni vpih in so postavljeni centralno na vertikalno os profila. Povprečna hitrost vpiha znaša $0,487223\text{m/s}$. Domet je zaradi manjše hitrosti zraka manjši, prav tako pa se tokovnice gibanja zraka uklonijo proti znanji steni prostora.



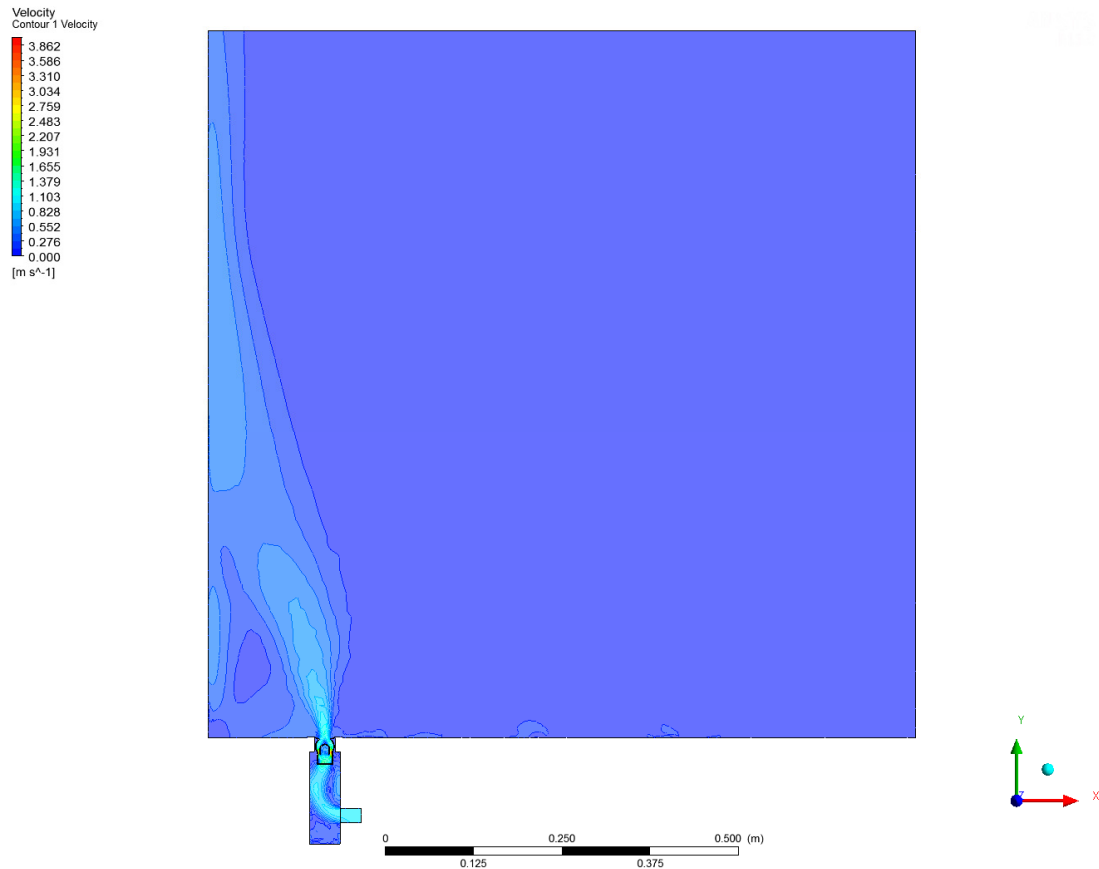
Slika 70: Hitrost zraka pri vpihu skozi linijski difuzor LD15 v konturah

Konture hitrosti zraka nam nazorno pokažejo območja in velikosti vplivov hitrosti zraka na vzorčno polje 1 m^2 . Največja hitrost se širi skupaj s curkom dovedenega zraka, in sicer ob zunanji steni prostora. Hitrost z višino pada od 2 do 1 m/s . Proti notranjosti prostora imamo pričakovano področja nizke hitrosti, in sicer pod 0,5 m/s .



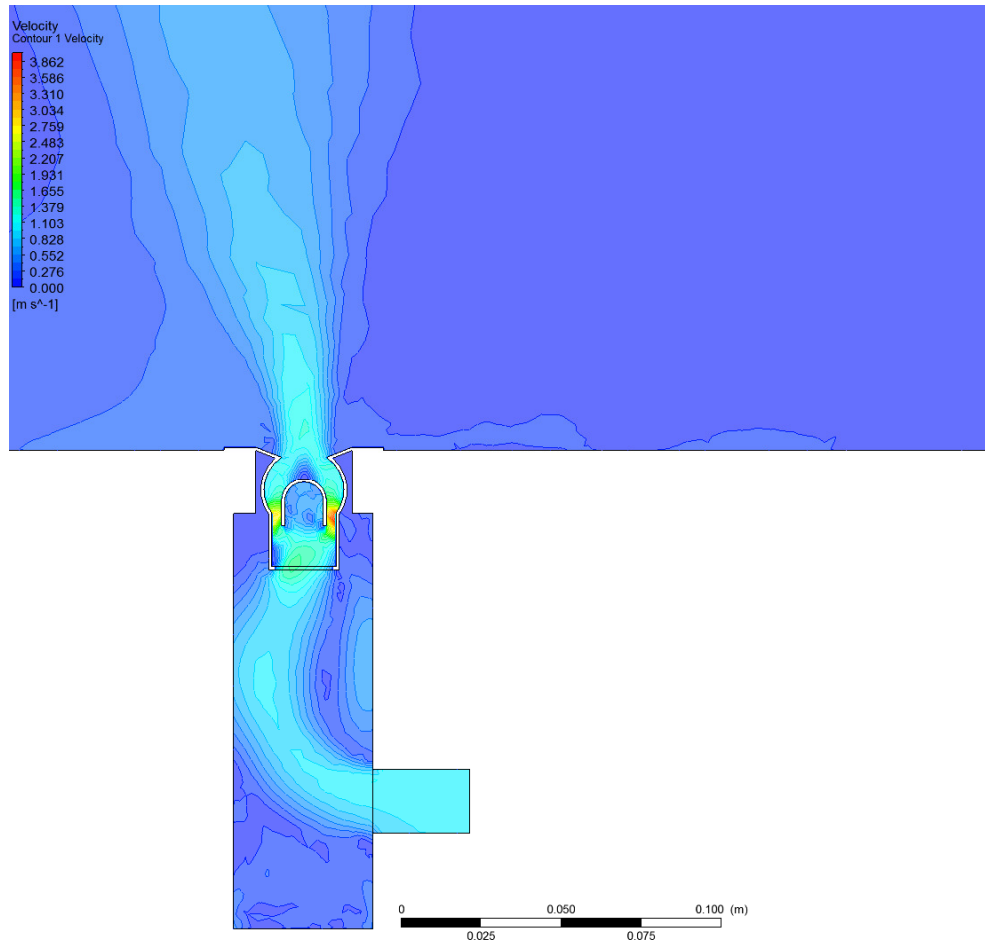
Slika 71: Detajl vpiha hitrosti zraka skozi linijski difuzor LD15 v konturah

Hitrost skozi ustje difuzorja se znatno poveča. Prosti presek iz 2 cm na vstopu v komoro, kjer se prostor še dodatno poveča in razširi, se v območju difuzorja zoža na 7 mm. Posledica je povečana hitrost, ki se giblje med 3 in 4 m/s. Na ustju difuzorja se prostor razširi in hitrost pade na 2,5 m/s. Prav zaradi te hitrosti je snop svežega zraka homogen in vertikalni in rahlo uklonjen proti zunanji steni prostora. Z višino hitrost pada, prav tako proti notranjosti prostora. Snop vpiha zraka nima vpliva proti bivalni coni prostora, je usmerjen vertikalno ob zunanji steni in s tem zmanjšuje vpliva sevalnega efekta zunanje steklene stene v prostor.



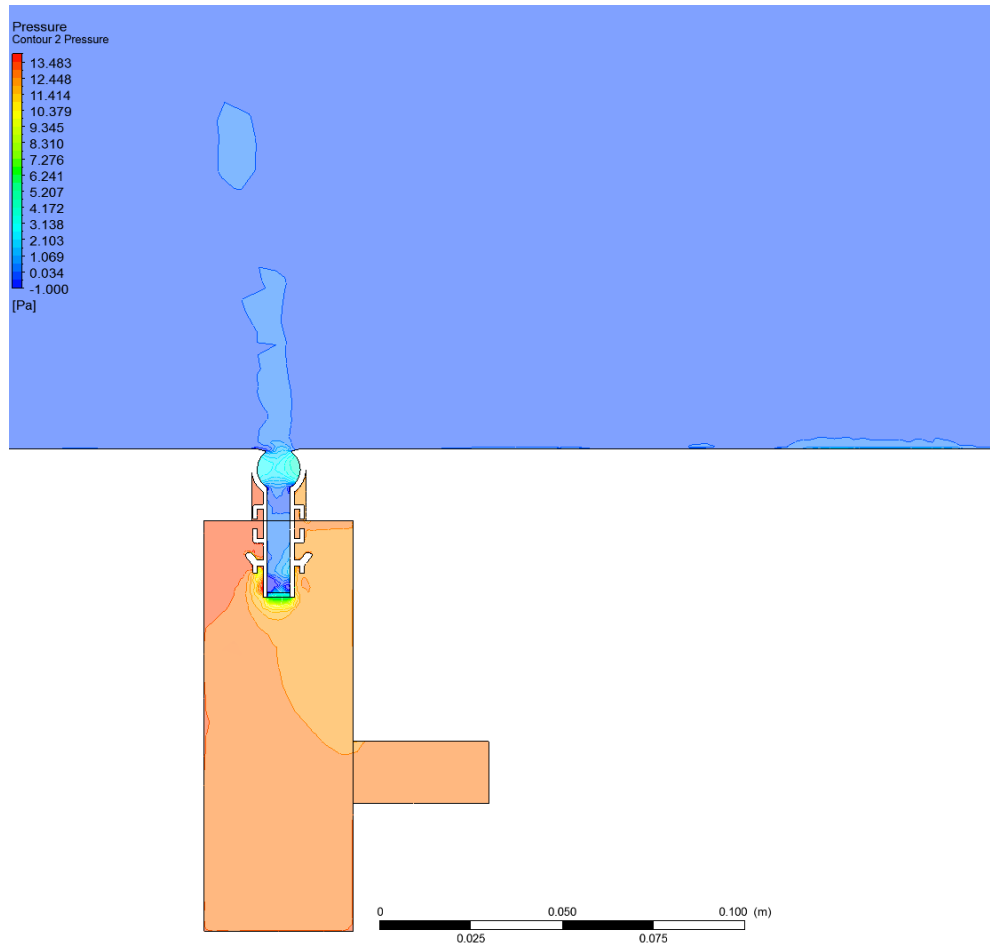
Slika 72: Hitrost zraka pri vpihu skozi linijski difuzor LT451 v konturah

Konture hitrosti zraka nam nazorno pokažejo območja in velikosti vplivov hitrosti zraka na vzorčno polje 1 m². Največja hitrost se širi skupaj s curkom dovedenega zraka, in sicer ob zunanji steni prostora. Hitrost z višino pada od 1 do 0,5 m/s. Vplivno območje je zaradi nižje hitrosti manjše, prav tako se curek dovedenega zraka ukloni prosti zunanji steni, vendar še bolj intenzivno. Proti notranjosti prostora imamo pričakovano področja nizke hitrosti, in sicer pod 0,2 m/s.



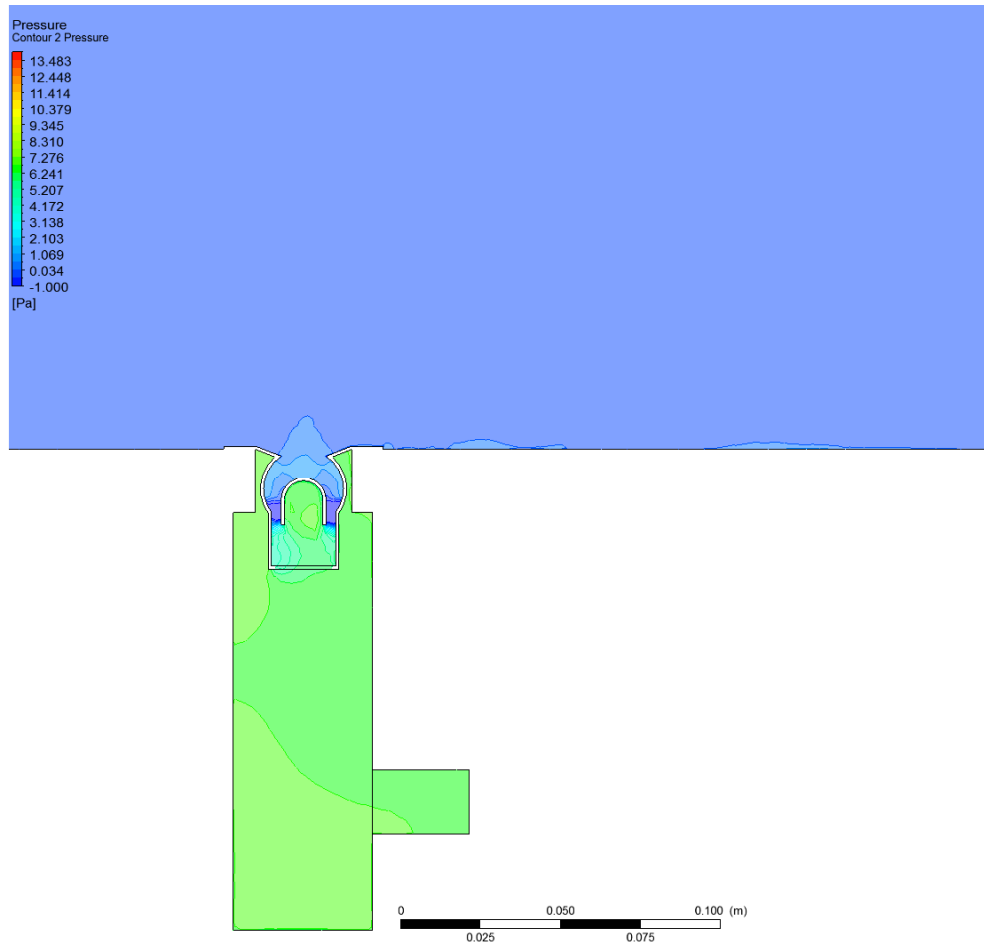
Slika 73: Detajl vpiha hitrosti zraka skozi linijski difuzor LT451 v konturah

Hitrost skozi ustje difuzorja se poveča. Prosti presek iz 2 cm na vstopu v komoro, kjer se prostor še dodatno poveča in razširi, se v območju difuzorja zoža na 14 mm. Posledica je povečana hitrost, ki se giblje med 2 in 3 m/s. Na ustju difuzorja se prostor razširi in hitrost pade na 1,5 m/s. Prav zaradi te hitrosti je snop svežega zraka homogen in vertikalni, vendar nima takšnega dometa kot LD15, prej pa se tudi ukloni proti zunanji steni. Z višino hitrost pada, prav tako proti notranjosti prostora. Snop vpiha zraka nima vpliva proti bivalni coni prostora razen v manjšem območju desno od vpiha. Pri tleh se pojavijo vrtinci, ki lokalno povečajo hitrost zraka. Curek dovedenega je usmerjen vertikalno, uklonjen proti zunanji steni in s tem zmanjšuje vpliva sevalnega efekta zunanje steklene stene v prostor.



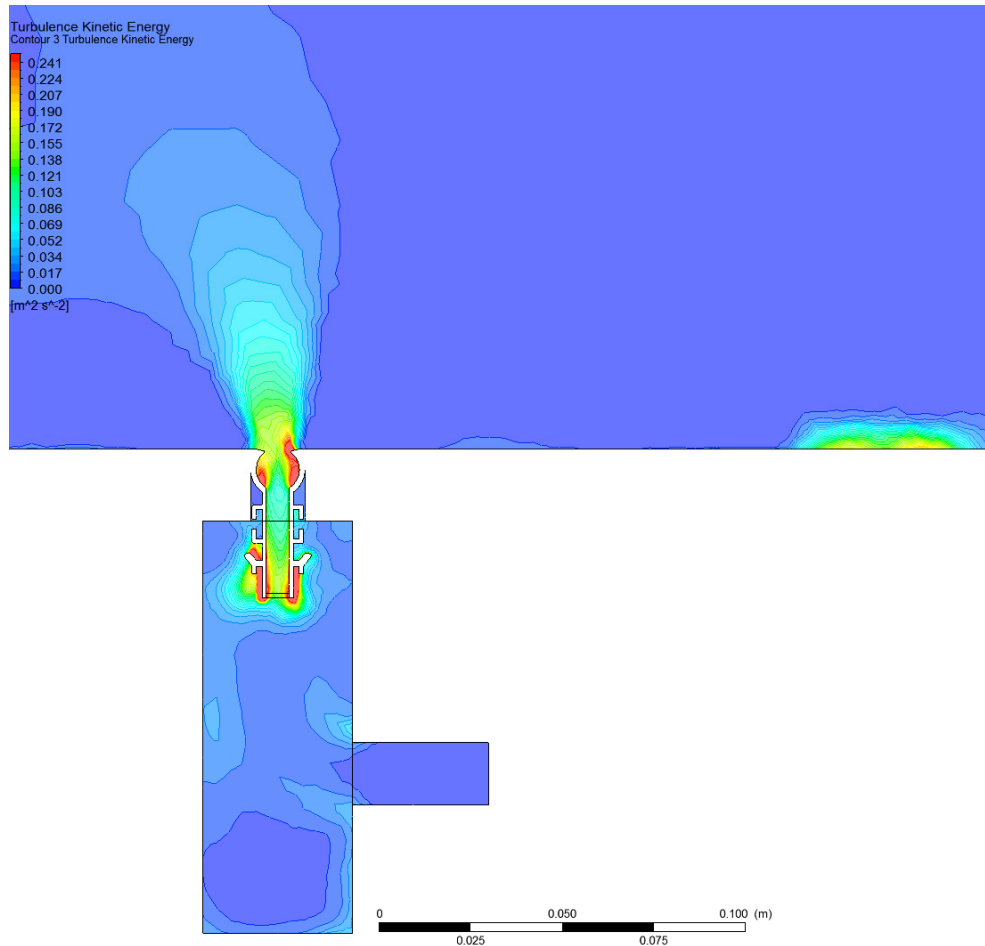
Slika 74: Detajl tlačnih vplivov pri dovedu zraka skozi linijski difuzor LD15 v konturah

V vpihovalni komori se tlak poveča tja do 12 Pa. Prostor se tu razširi in je relativno zaprt če odmislimo režo skozi difuzor, tlak naraste. Skozi režo difuzorja LD15 konture ponazarjajo padec v tlaku, hitrost se poveča. Malenkost hitrost pade v cilindričnem delu difuzorja, tik pred vstopom, posledica je povečan tlak na 3 Pa. V prostoru se tlačni vpliv odraža vertikalno, navpično. Domet tlačnega vpliva je zaznati, vendar je zelo majhen, tlačno padec predstavlja 0,5 do 1 Pa.



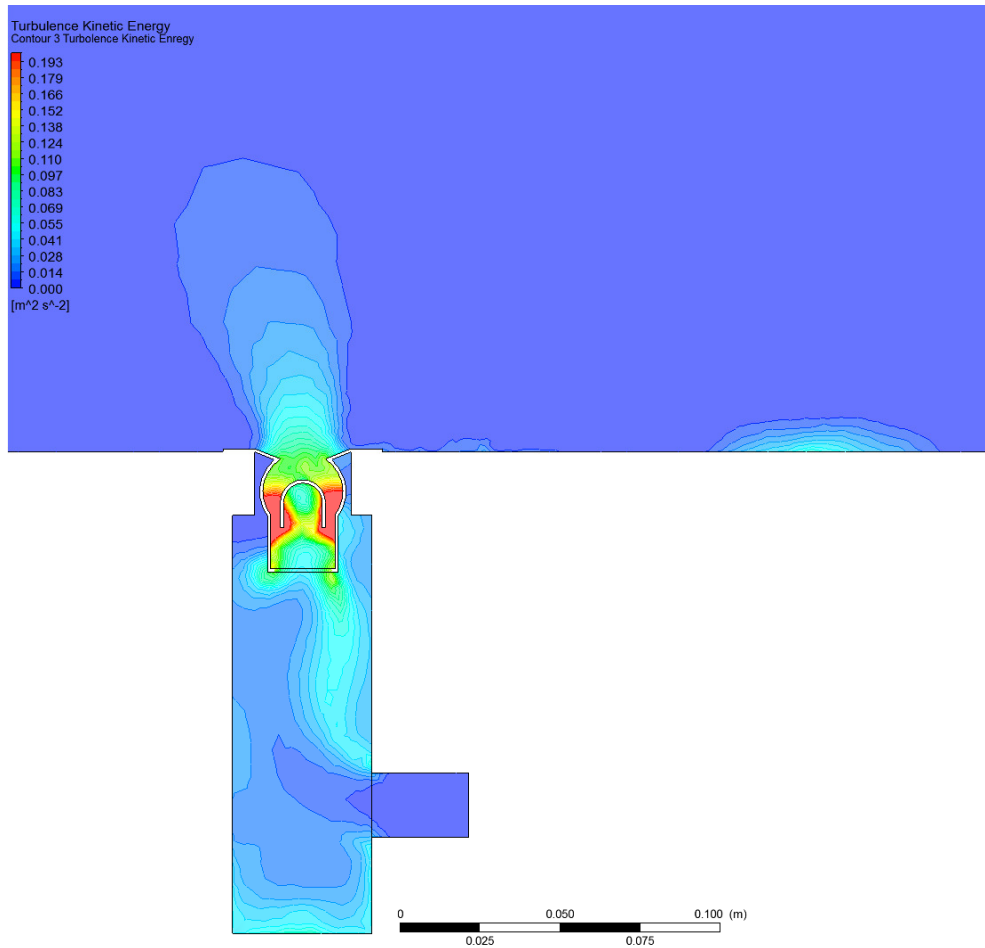
Slika 75: Detajl tlačnih vplivov pri dovedu zraka skozi linijski difuzor LT451 v konturah

V vpihovalni komori se tlak poveča tja do 9 Pa. Prostor se tu razširi in je relativno zaprt če odmislimo režo skozi difuzor, tlak naraste. Skozi režo difuzorja LT451 konture ponazarjajo padec v tlaku, hitrost se poveča, in sicer levo in desno od usmerjevalnega valjčka. Malenkost hitrost pade v cilindričnem delu difuzorja, tik pred vstopom v prostor, posledica je povečan tlak na 2 Pa. V prostoru se tlačni vpliv odraža vertikalno, stožčasto. Domet tlačnega vpliva je minimalen, tlačni padec predstavlja 0,5 Pa. Desno od difuzorja, kje se pojavi ob tleh vrtnec je zaznati polje nižje hitrosti s tem pa tlak lokalno zraste, vendar ta pojav nima vpliva na prostor kot celoto.



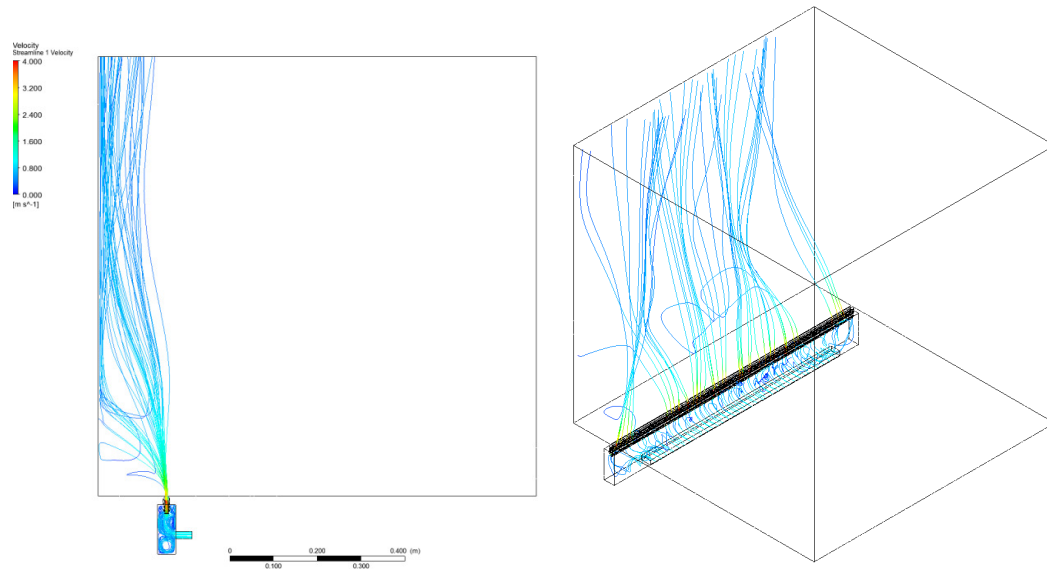
Slika 76: Detajl vpliva turbulentne kinetične energije pri dovodu zraka skozi linijski difuzor LD15 v konturah

Turbulentna kinetična energija se pojavi na konstrukcijskih izrastkih na zunanjem delu profila, znotraj vpihvalne komore. Levo in desno na vstopu zraka v difuzorski kanal se pojavijo turbulentna območja, vrednosti do $0,25 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$. Povečana turbulenca se potem še pojavi na spodnjem robu razširitve ustja difuzorja in na zgornjem robu. Področja so omejena, saj je po sredini linijskega kanala tok zraka homogen in laminaren. Kinetična energija toka zraka je v primeru linijskega difuzorja LD15 omejena na območje ob stenah v in zunaj difuzorja.



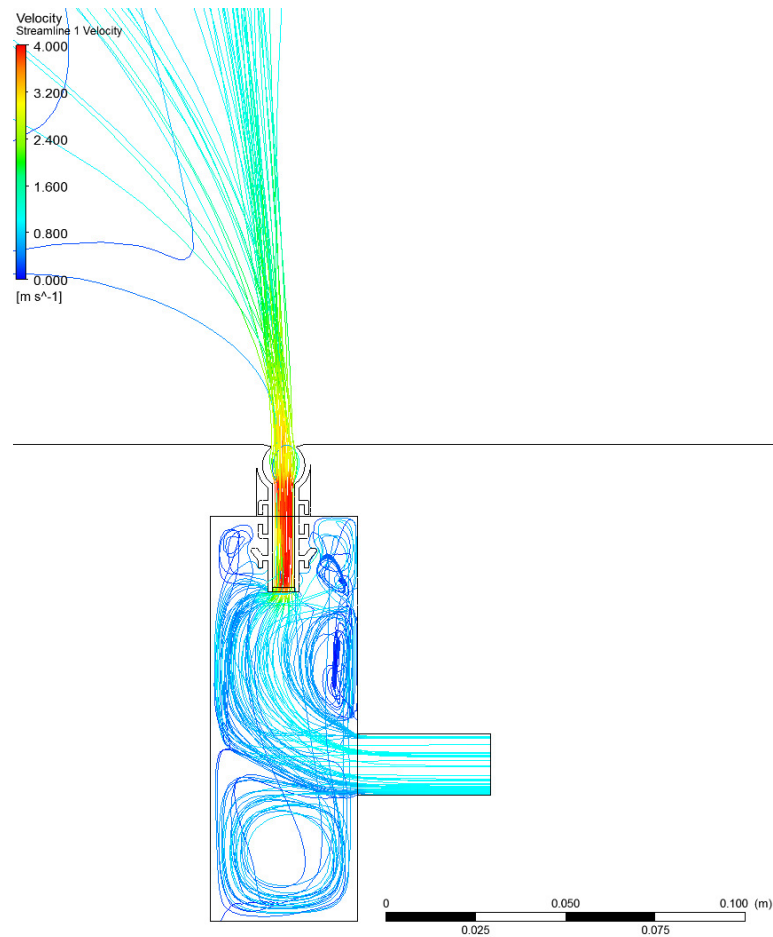
Slika 77: Detajl vpliva turbulentne kinetične energije pri dovodu zraka skozi linijski difuzor LT451 v konturah

Turbulentna kinetična energija se pojavi znotraj linijskega difuzorja LT451, in sicer levo in desno na zoženem delu med difuzorskim kanalom in usmerjevalnim valčkom. Polja, ki se pojavijo na tem delu so po obsegu večja v primerjavi s difuzorjem LD15. Povečana turbulentna kinetična energija se pojavi na tem mestu zaradi usmerjevalnega valjčka, ki je namenjen usmeritvi zraka na izhodu iz difuzorja. Smer izpiha je lahko v levo ali desno, če pa se valček pozicionira centralno, kot v našem primeru pa je vpih zraka vertikalni. V tem predelu se prosti presek kanala zoži in posledično se poveča hitrost zraka, pojavi se turbulenca.



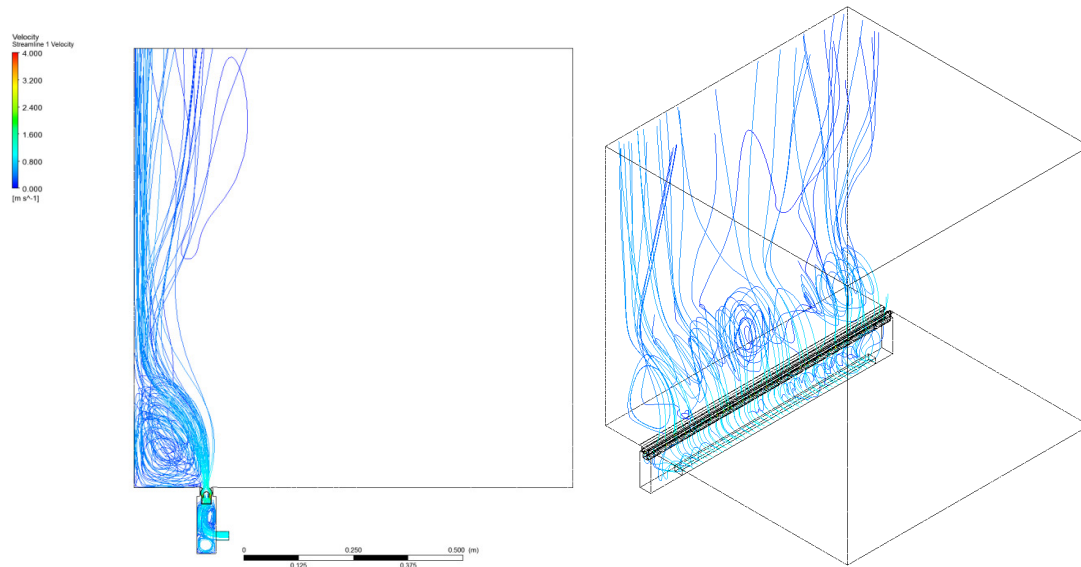
Slika 78: Prikaz analize tokovnic zraka pri dovodu skozi linijski difuzor LD15 v prostor

Iz tokovnic je razvidno kako se porazdeli zrak pri vstopu v prostor. Vpih je vertikalni, homogen in se z višino počasi ukloni proti zunanji steni ter prehaja ob njej navpično navzgor. To zagotavlja zadostno gibanje zraka za želeno izmenjavo zraka in je nemoteče za kvaliteto bivanja.



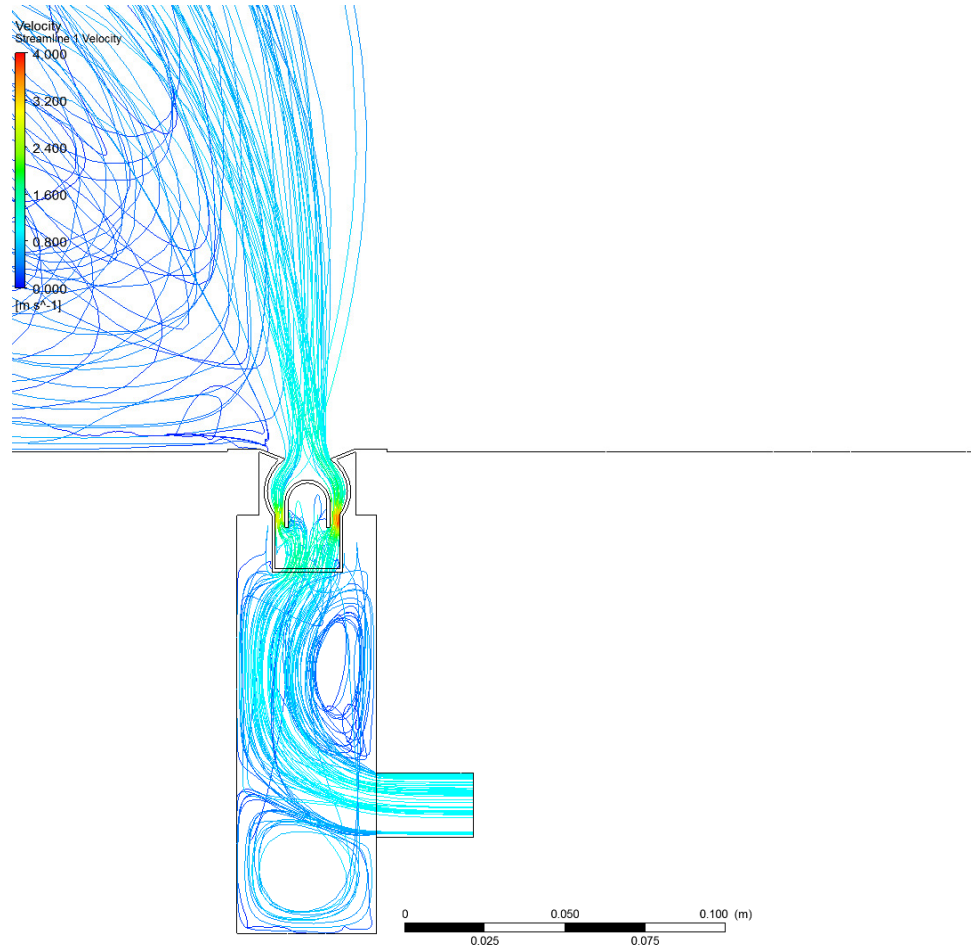
Slika 79: Detajlni prikaz analize tokovnic zraka pri prehodu skozi komoro in linijski difuzor LD15 v prostor

Grafični prikaz poteka tokovnic gibanja zraka ponazarja laminaren tok v ustju vpihovalne komore. Na vstopu v komoro ima zrak hitrost 1 m/s. Smer gibanja zraka se v komori spremeni, in sicer se tokovnice odklonijo proti linijskem difuzorju LD15. V spodnjem delu komore se pojavi vrtinec, prav tako desno znotraj radia glavnine zračnega curka proti difuzorju. Hitrost znotraj difuzorja se poveča, in sicer na 4 m/s, tok je laminaren. V ustju profila se prostor razširi, hitrost pade, tako da dobimo na izstopu v prostor hitrost 3 m/s. Tok zraka v prostoru je vertikalni, laminaren in z odklonom proti zunanji steni, ki je od mesta vpiha odmaknjena za 15 cm.



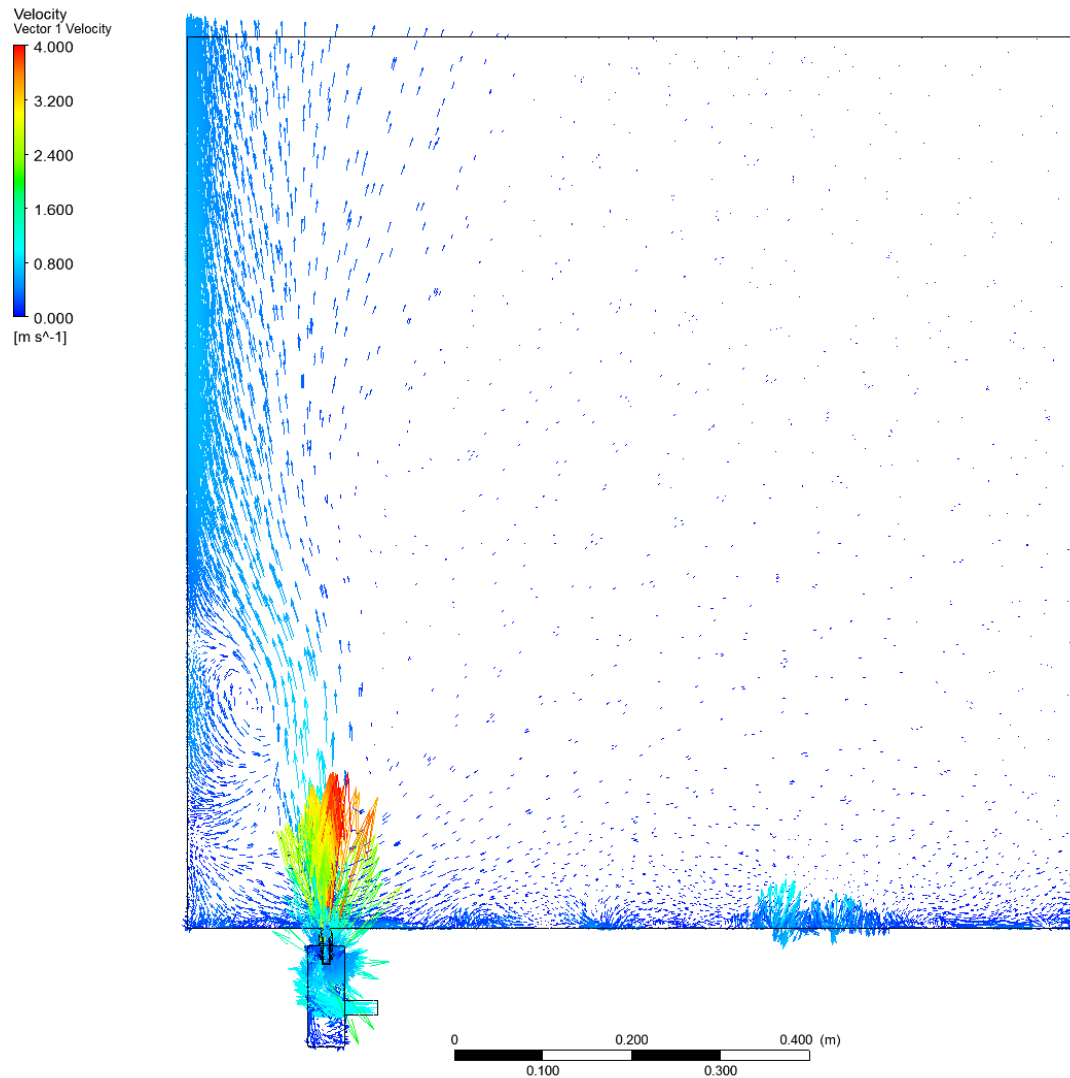
Slika 80: Prikaz analize tokovnic zraka pri dovodu skozi linijski difuzor LT451 v prostor

Iz tokovnic je razvidno kako se porazdeli zrak pri vstopu v prostor. Vpih je vertikalni, homogen in se z višino počasi ukloni proti zunanji steni ter prehaja ob njej navpično navzgor. Vrtinec se pojavi tudi v vogalu tal in zunanje stene, pod glavnim snopom dovedenega zraka v prostor. Gibanje zraka zagotavlja želeno izmenjavo zraka in je nemoteče za kvaliteto bivanja.



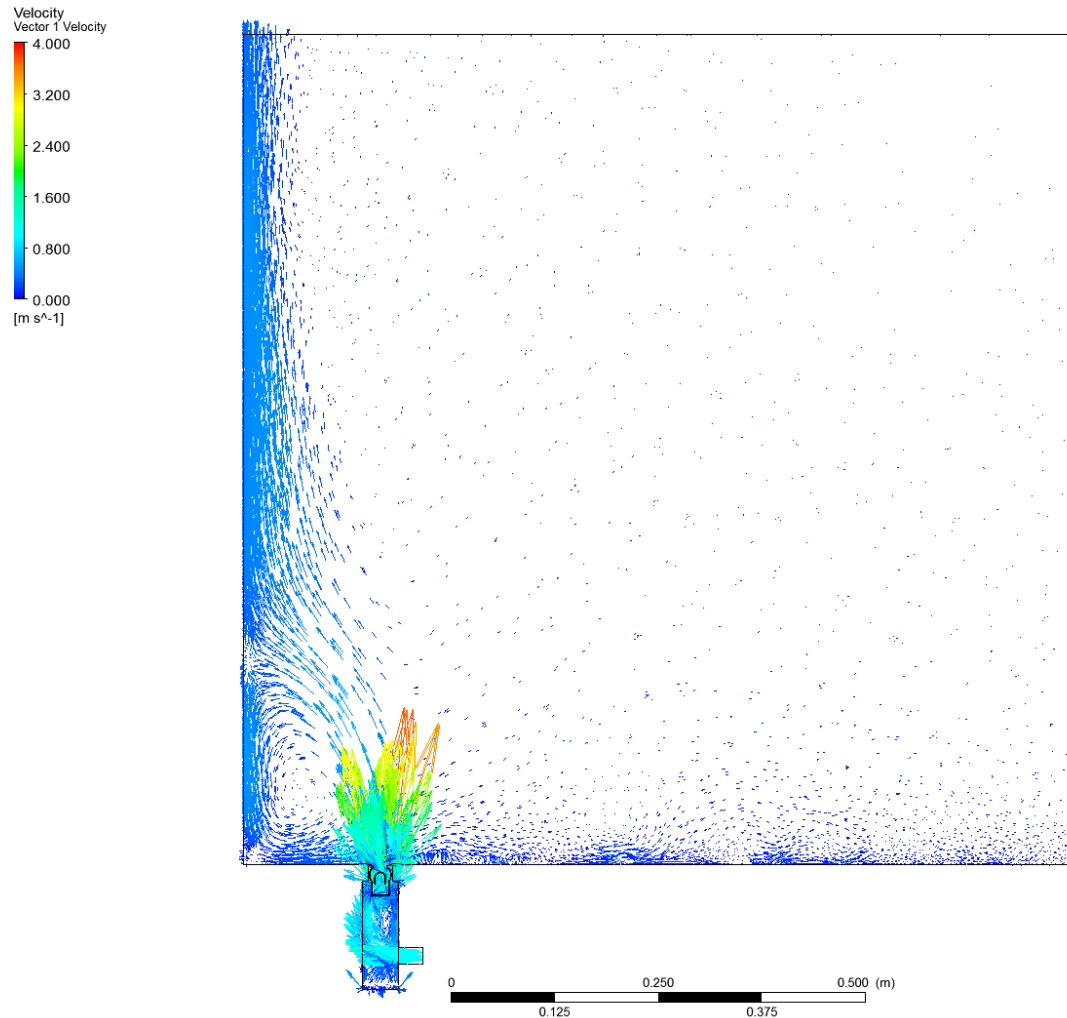
Slika 81: Detajlni prikaz analize tokovnic zraka pri prehodu skozi komoro in linijski difuzor LT451 v prostor

Grafični prikaz poteka tokovnic gibanja zraka ponazarja laminaren tok v ustju vpihovalne komore. Na vstopu v komoro ima zrak hitrost 1m/s. Smer gibanja zraka se v komori spremeni, in sicer se tokovnice odklonijo proti linijskem difuzorju LT451. V spodnjem delu komore se pojavi vrtilinec, prav tako desno znotraj radia glavnine zračnega curka proti difuzorju. Hitrost znotraj difuzorja se poveča, in sicer na 3 m/s. Tok je laminaren ob stenah difuzorske stene, v sredini pod usmerjevalnim valjčkom pa se po javi vrtilince in turbulenten tok. V ustju profila se prostor razširi, hitrost pade, tako da dobimo na izstopu v prostor hitrost 2 m/s. Tok zraka v prostoru je vertikalni, laminaren in z večjim odklonom proti zunanji steni, ki je od mesta vpiha odmaknjena za 15 cm.



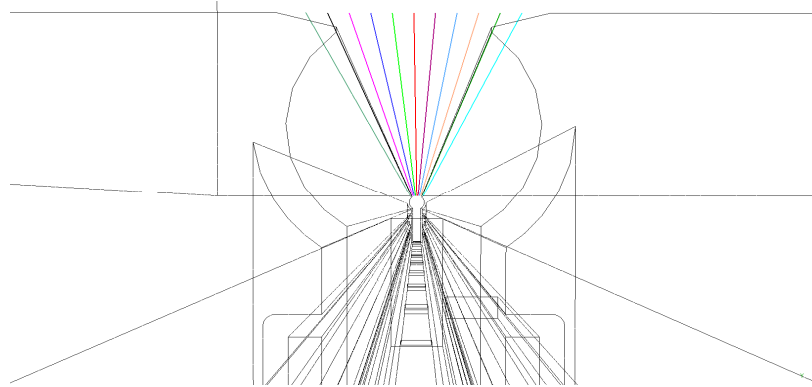
Slika 82: Vektorska analiza toka zraka pri dovodu skozi linijski difuzor LD15 v prostor

Dolžina in velikost vektorja ponazarja hitrost zraka v določeni poziciji. Usmerjenost vektorja po prikazuje smer gibanja zraka. Največja hitrost je v samem difuzorju. Zgostitev vektorjev hitrosti je največja vzdolž zunanje stene, ti je tok zraka najbolj intenziven. Vrtinčenje se pojavi levo od difuzorja v trikotnem prostoru med steno, tlemi in snopom dovedenega zraka v prostor. Proti notranjosti prostora pa so vektorji redkejši in tudi krajši. Gibanje zraka obstaja, vendar je hitrost manjša, pod 0,2 m/s.



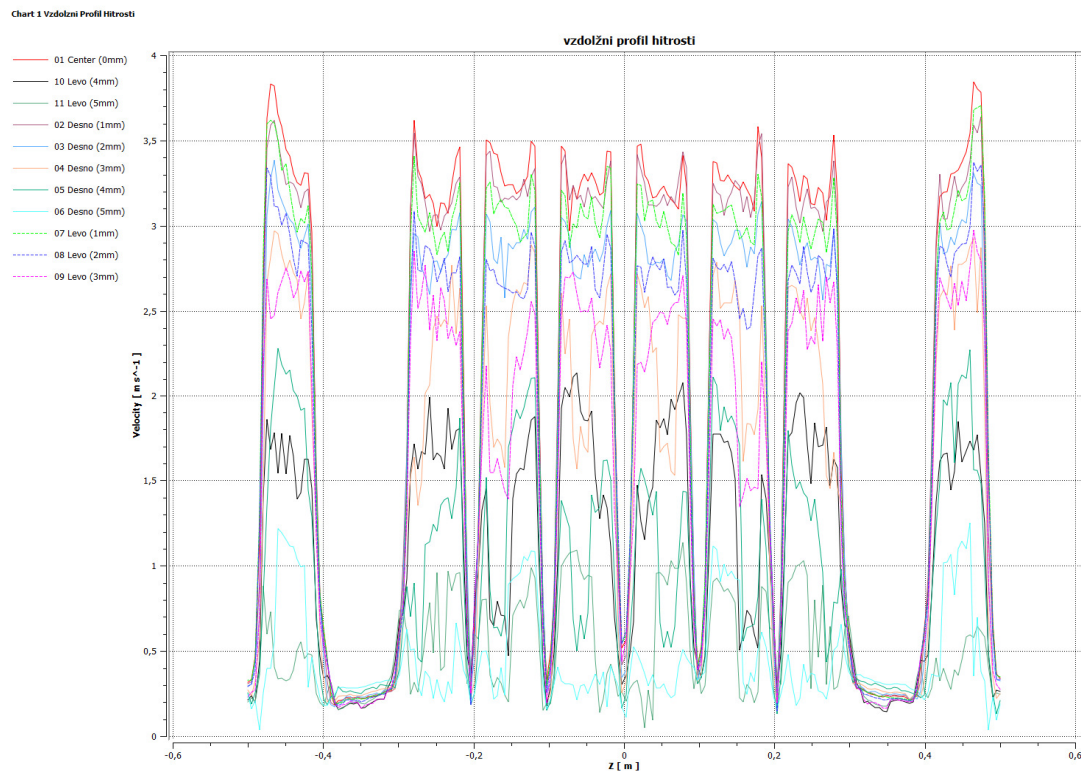
Slika 83: Vektorska analiza toka zraka pri dovodu skozi linijski difuzor LT451 v prostor

Dolžina in velikost vektorja ponazarja hitrost zraka v določeni poziciji. Usmerjenost vektorja po prikazuje smer gibanja zraka. Največja hitrost je v samem difuzorju. Zgostitev vektorjev hitrosti je največja vzdolž zunanje stene, ti je tok zraka najbolj intenziven. Vrtinčenje se pojavi levo od difuzorja v trikotnem prostoru med steno, tlemi in snopom dovedenega zraka v prostor in je zaradi manjšega dometa dovedenega zraka v prostor tudi bolj intenzivno. Prav tako je odklon dovedenega zraka proti zunanji steni bolj intenziven kot pri profilu LD15. Proti notranjosti prostora pa so vektorji redkejši in tudi krajši. Gibanje zraka obstaja, vendar je hitrost manjša, pod 0,2 m/s.



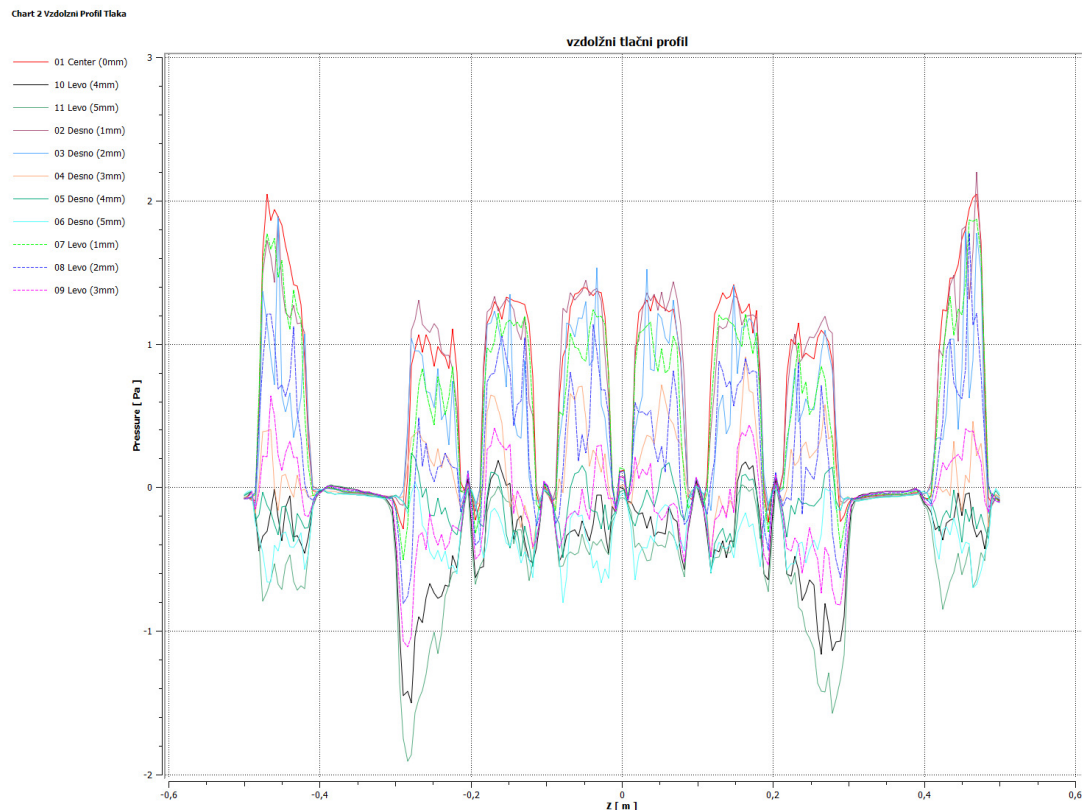
Slika 84: Vzdolžne linije meritev difuzorja LD15

Vzdolžne linije so med sabo razmaknjene za 1 mm in dolžine celotnega linijskega difuzorja LD15. Postavljene so izstopno ravnino difuzorja, torej na mestu vpiha zraka v prostor. Zadnji dve liniji, levo in desno, sta postavljeni na skrajni rob profila, oziroma že v poševnino profila. V spodnjih grafih so prikazane krivulje profilov hitrosti, tlaka in turbulentne kinetične energije vzdolž linijske difuzorja.



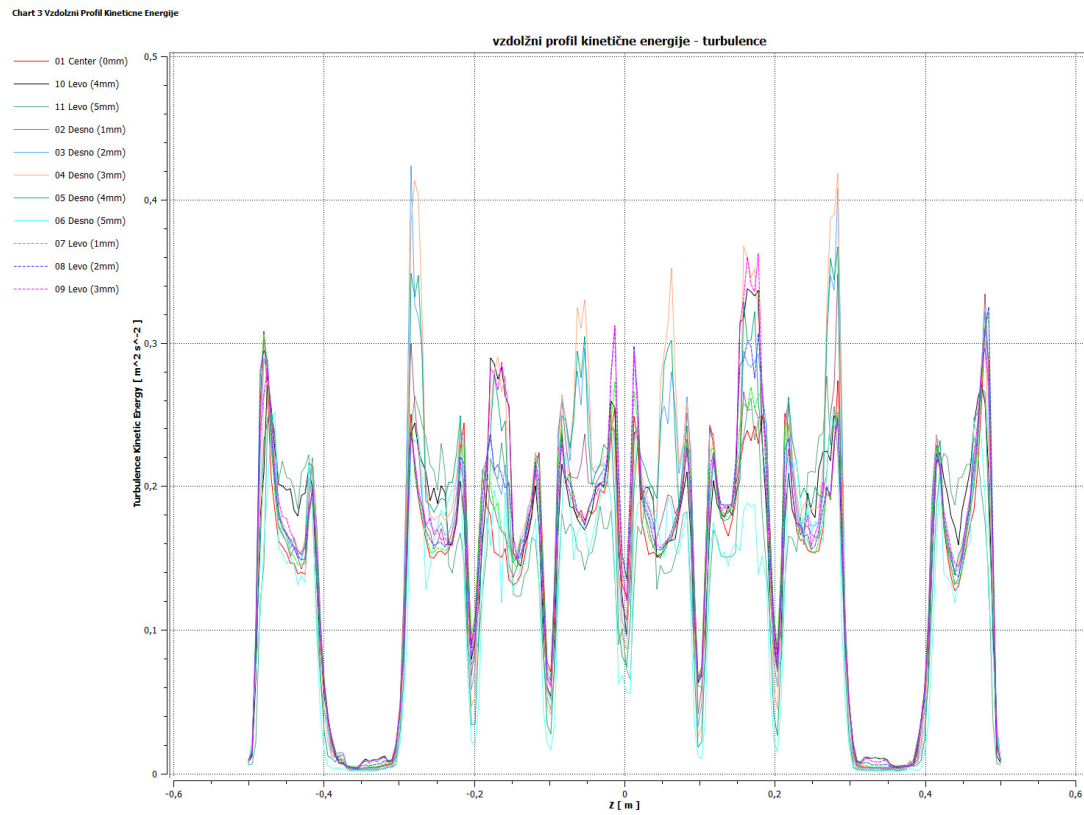
Slika 85: Graf vzdolžnega profila hitrosti, difuzorja LD15

Na vzdolžnem profilu hitrosti so razvidne prekinitev, ki so posledica veznih prečk na spodnjem robu profila LD15. Dve večji prekinitvi na skrajnih legah so posledica daljše vezne plošče v profilu. Na tem mestu je pritrjena nosilna konstrukcija. Hitrost je v povprečju po celotni dolžina konstantna, in sicer je največja na sredini izstopne površne, potem pa se zmanjšuje proti skrajnem robu profila linijskega difuzorja. Največje hitrosti se gibljejo okoli 3,5 m/s, najnižje pa okoli 0,5 m/s.



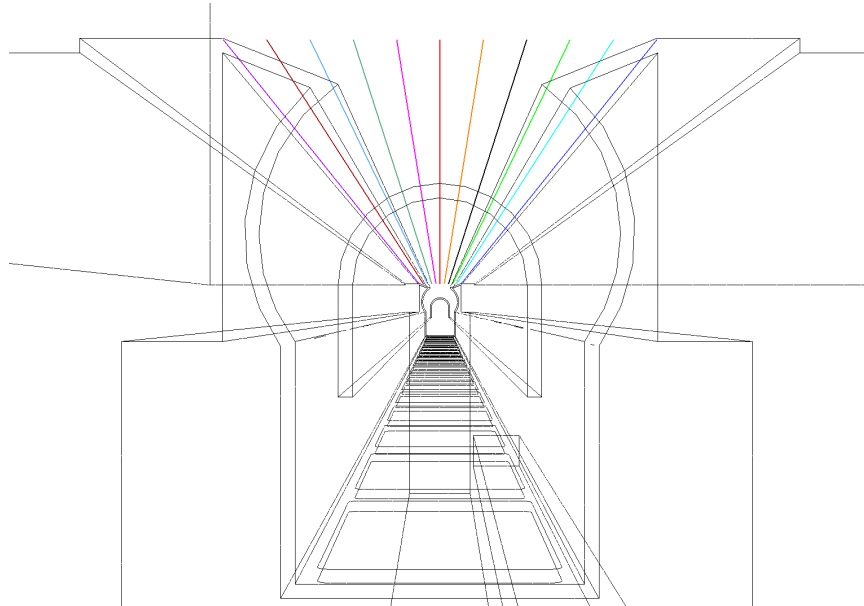
Slika 86: Graf vzdolžnega tlačnega profila, difuzorja LD15

Prav tako kot hitrostni profil je tudi tlačni profil prekinjen na mestih, kjer so konstrukcijske povezave v profilu linijskega difuzorja. Največje vrednosti so dosežene v skrajnih legah, in sicer okoli 2 Pa. Na mestih, kjer je področje daljše prekinitve profila zaradi nosilne podkonstrukcije, je tlak 0 Pa. Skrajne linije, ki so v področju roba profila, oziroma ne poševnini debeline stene, pa imajo podtlak v velikosti 0,5 - 1,0 Pa.



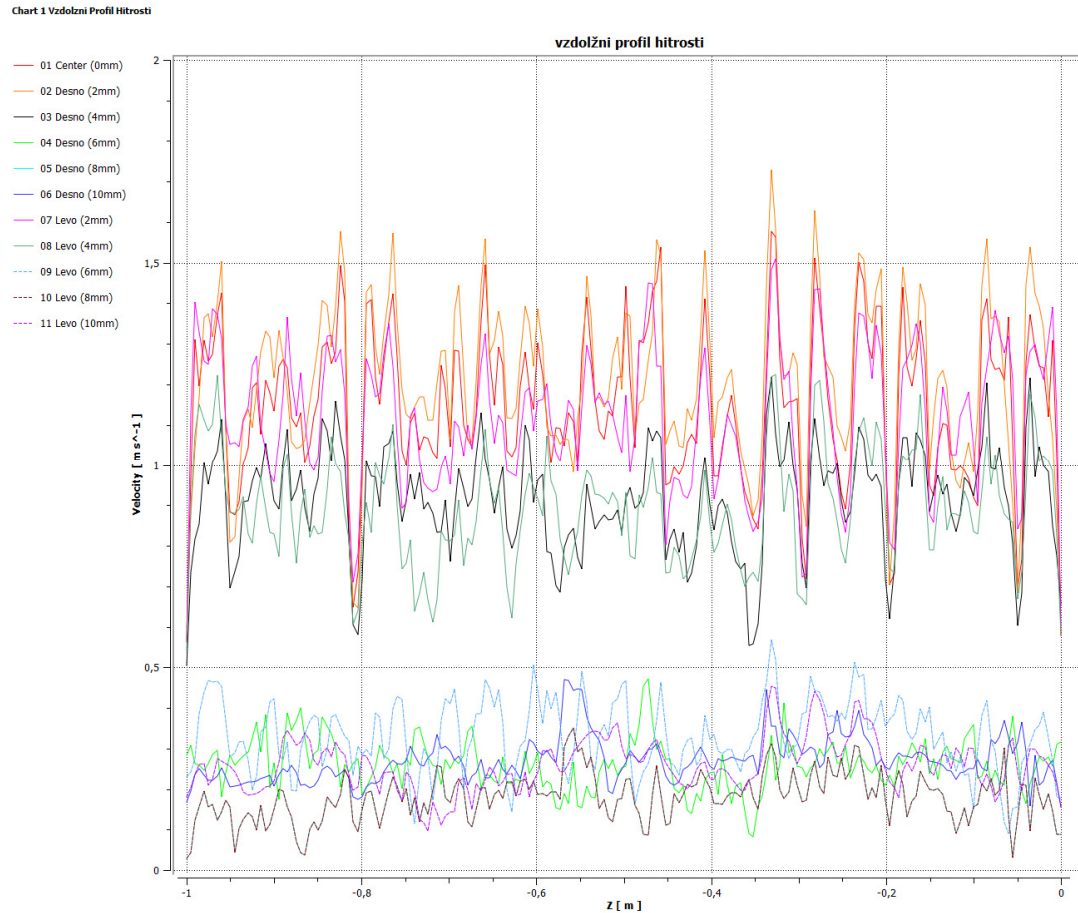
Slika 87: Graf vzdolžnega profila turbulentne kinetične energije, difuzorja LD15

Turbulentna kinetična energija sledi profilu hitrosti in tlaka, kar se tiče prekinitev geometrije profila linijskega difuzorja LD15. Največje vrednosti so na skrajnem robu profila, levo in desno, in sicer so do $0,4 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$. V povprečju pa so vrednosti okoli $0,25 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$.



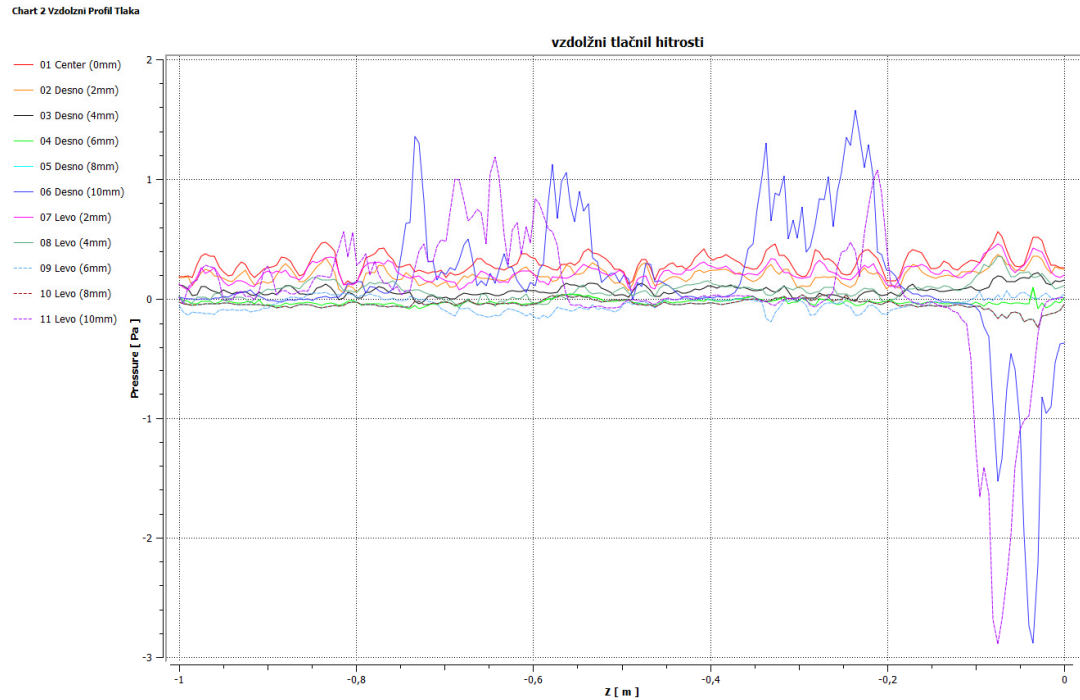
Slika 88: Vzdolžne linije meritev difuzorja LT451

Vzdolžne linije so med sabo razmaknjene za 2 mm in dolžine celotnega linijskega difuzorja LT451. Postavljene so izstopno ravnino difuzorja, torej na mestu vpiha zraka v prostor. Zadnje tri linije, levo in desno, so postavljene na skrajni rob profila, oziroma že v poševnino profila. V spodnjih grafih so prikazane krivulje profilov hitrosti, tlaka in turbulentne kinetične energije vzdolž linijske difuzorja.



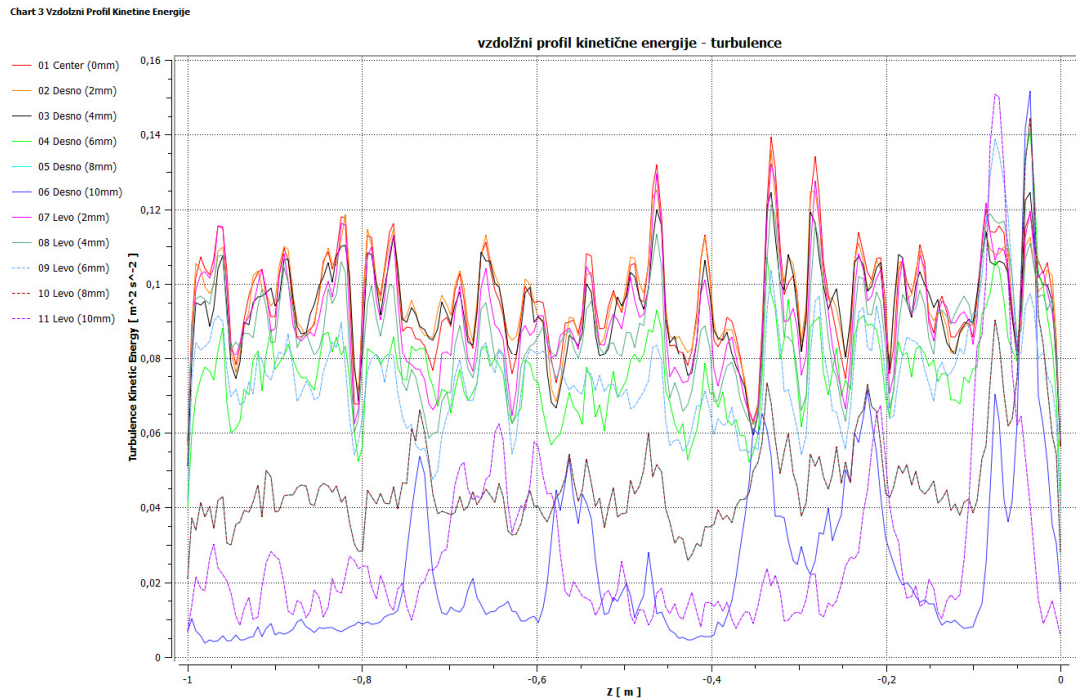
Slika 89: Graf vzdolžnega profila hitrosti, difuzorja LT451

Na vzdolžnem profilu hitrosti niso razvidne prekinitev, ki bi lahko bile posledica veznih prečk na spodnjem robu profila LT451. Hitrost je v povprečju po celotni dolžina konstantna, in sicer je največja na sredini izstopne površine, potem pa se zmanjšuje proti skrajnem robu profila linijskega difuzorja. Največje hitrosti se gibljejo okoli 1,5 m/s, najnižje pa okoli 0,2 m/s.



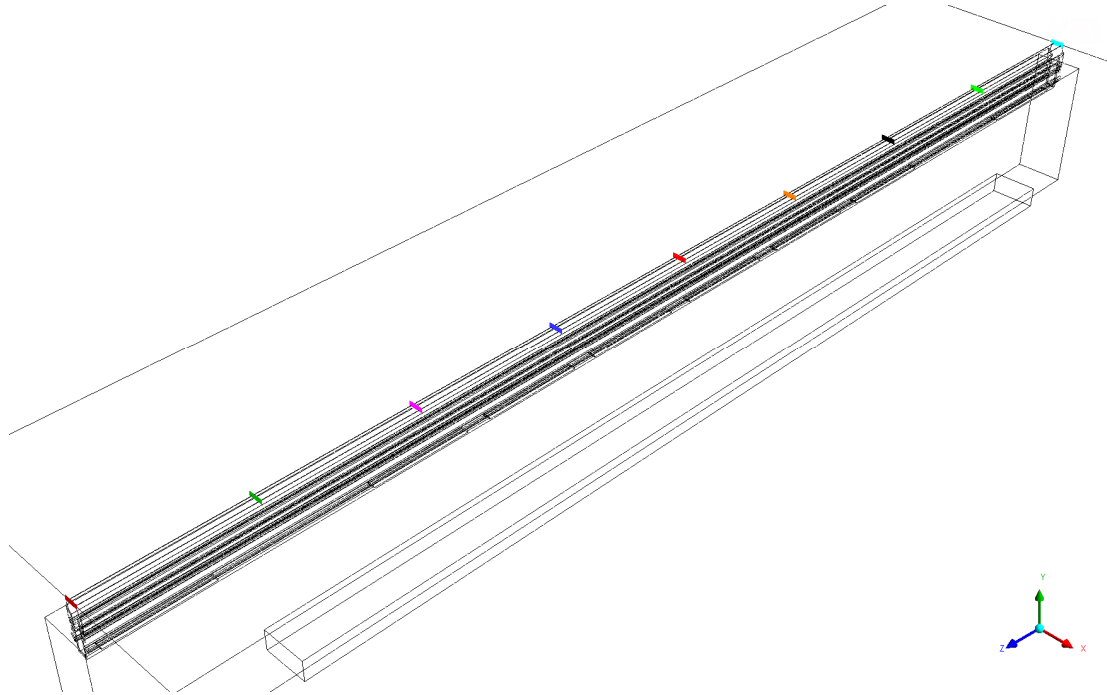
Slika 90: Graf vzdolžnega tlačnega profila, difuzorja LT451

Prav tako kot hitrostni profil, tudi tlačni profil ni prekinjen na mestih, kjer so konstrukcijske povezave v profilu linijskega difuzorja. Največje vrednosti so dosežene v sredini, in sicer okoli 1 Pa. Na mestih, kjer je področje roba profila in v poševnini je tlak 0 Pa. V skrajnih linijah je na posameznih mestih celo podtlak.



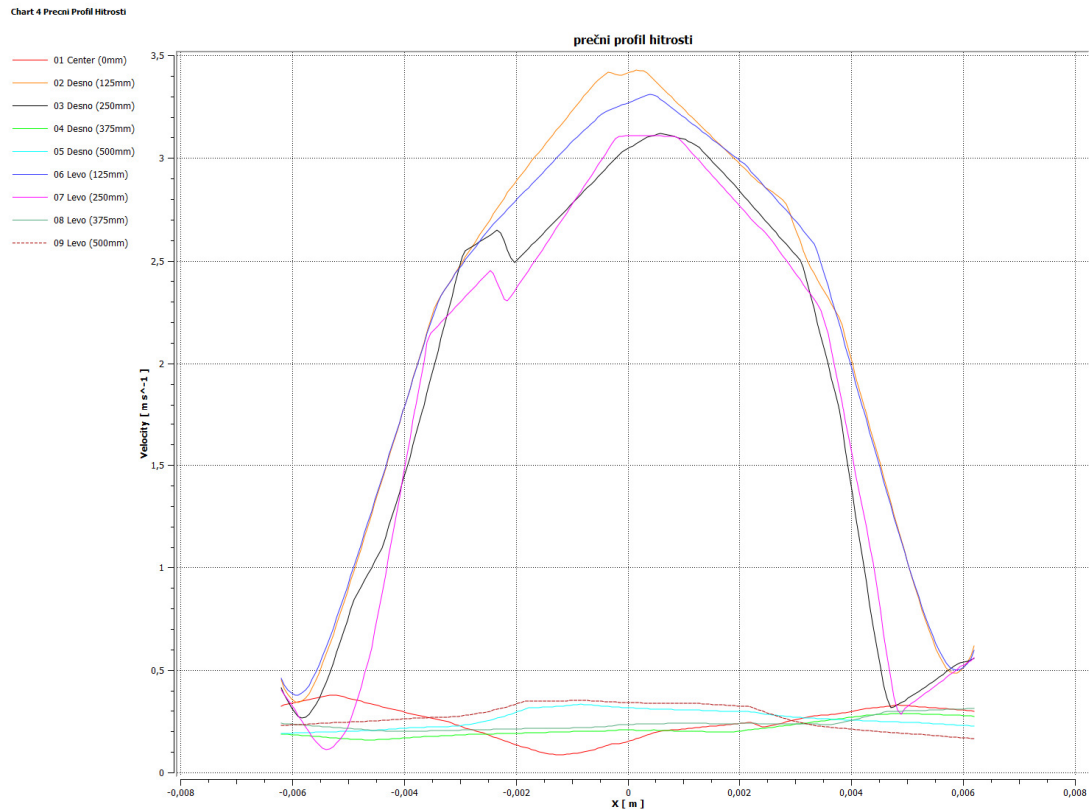
Slika 91: Graf vzdolžnega profila turbulentne kinetične energije, difuzorja LT451

Turbulentna kinetična energija sledi profilu hitrosti in tlaka in ni prekinitev zaradi geometrije profila linijskega difuzorja LT451. Največje vrednosti so v sredini profila, in sicer so do $0,12 \text{ m}^2\text{s}^2$. V povprečju pa so vrednosti okoli $0,10 \text{ m}^2\text{s}^2$. Pri linijskem profilu LT451 je geometrijska poševnina zaradi naležne prirobnice daljša, linije ki so pozicionirane v tem področju rezultirajo nižje vrednosti, in sicer tja do $0,05 \text{ m}^2\text{s}^2$.



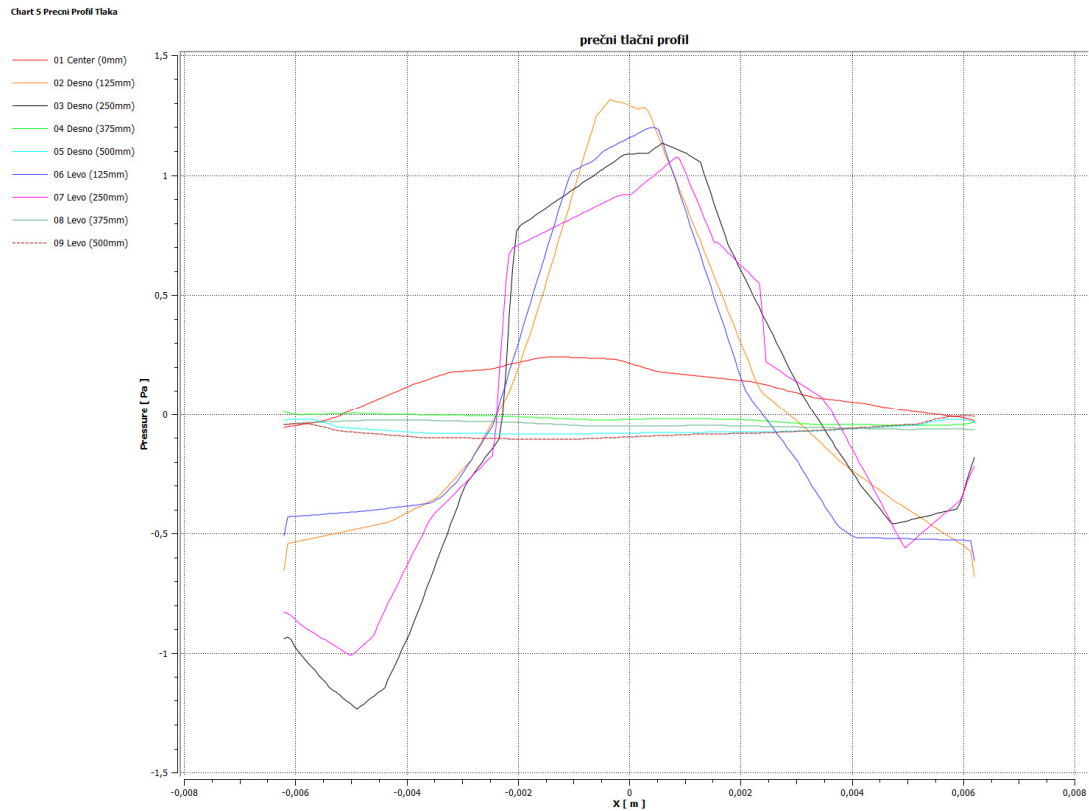
Slika 92: Prečne linije meritev difuzorja LD15

Prečne linije so med sabo razmaknjene za 125 mm in prečne dolžine svetle širine linijskega difuzorja LD15. Postavljene so na izstopno ravnino difuzorja, torej na mestu vpiha zraka v prostor. V spodnjih grafih so prikazane krivulje profilov hitrosti, tlaka in turbulentne kinetične energije prečno na linijski difuzor.



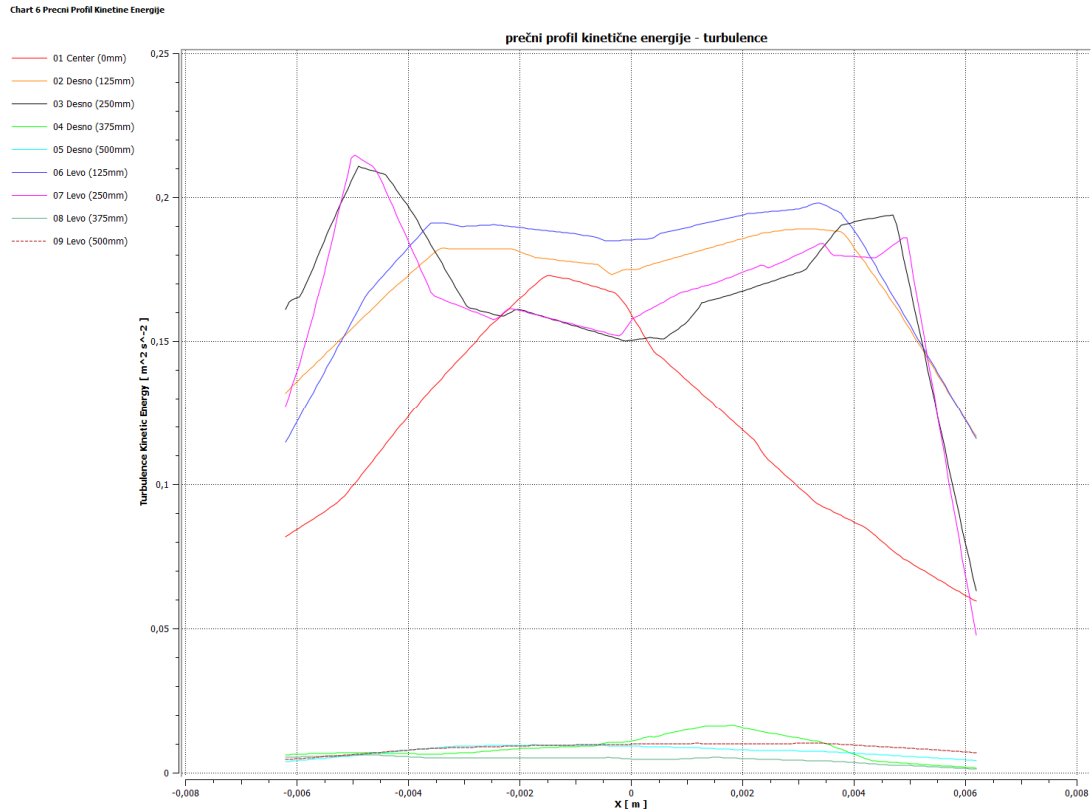
Slika 93: Graf prečnega profila hitrosti, difuzorja LD15

Prečni profil hitrosti je konkavne oblike, ki je posledica laminarnega toka skozi difuzor LD15. Hitrost je največja na sredini, potem pa se zmanjšuje proti skrajnem robu profila linijskega difuzorja. Največje hitrosti se gibljejo okoli 3,5 m/s, najnižje pa okoli 0,25 m/s. Nizke vrednosti so na linijah ker imamo prekinitev difuzorskega kanala.



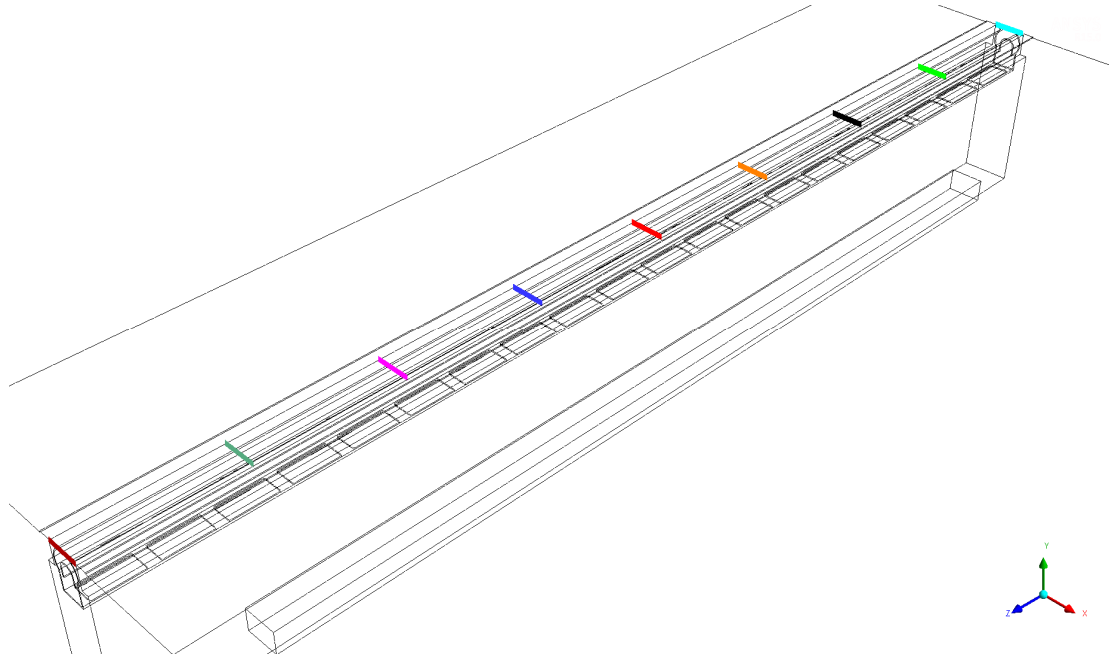
Slika 94: Graf prečnega tlačnega profila, difuzorja LD15

Največje vrednosti so v prečnem profilu so dosežene v sredini, in sicer okoli 1,3 Pa. Na mestih, kjer je področje roba profila in v poševnini je tlak 0 Pa, oziroma se podtlak v vrednosti do 1,0 Pa. V področjih prekinitev profilnega kanala pa je tlak 0 Pa.



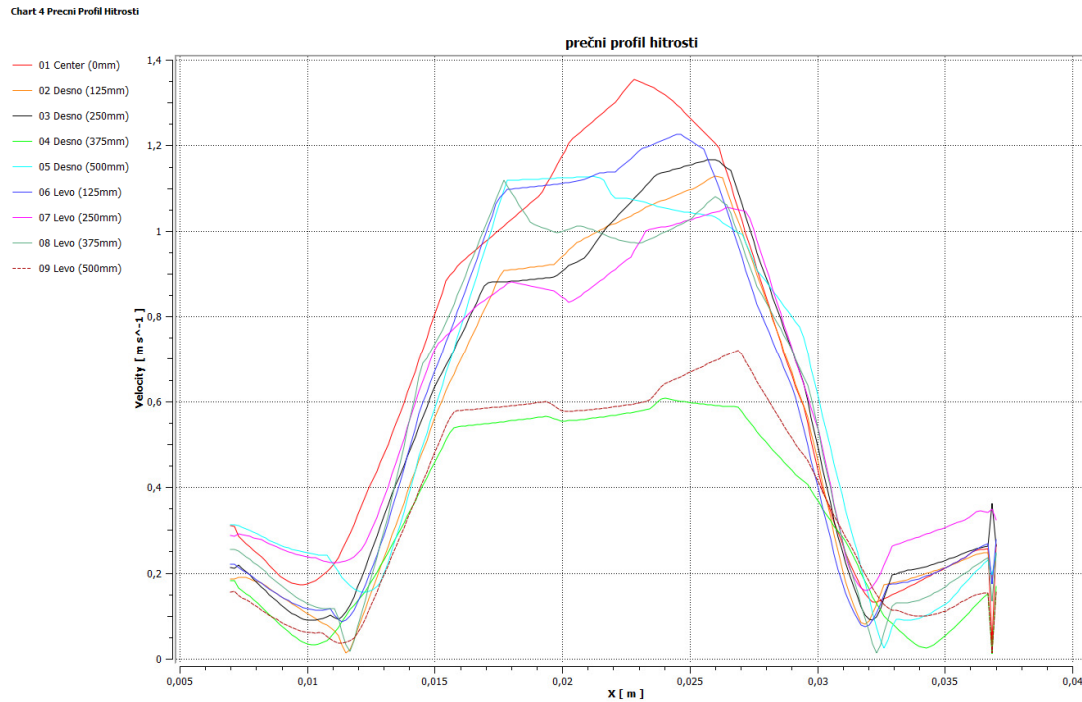
Slika 95: Graf prečnega profila turbulentne kinetične energije, difuzorja LD15

Turbulentna kinetična energija prečnega profila linijskega difuzorja LD15 je največja na robu profila, oziroma v poševnini prirobnice, vrednosti do $0,2 \text{ m}^2\text{s}^2$. V skrajnih legah, na začetku in koncu, te na mestih prekinitev, so vrednosti $0,03 \text{ m}^2\text{s}^2$. Turbulentni tok se pojavi na robu profila in se širi navzven.



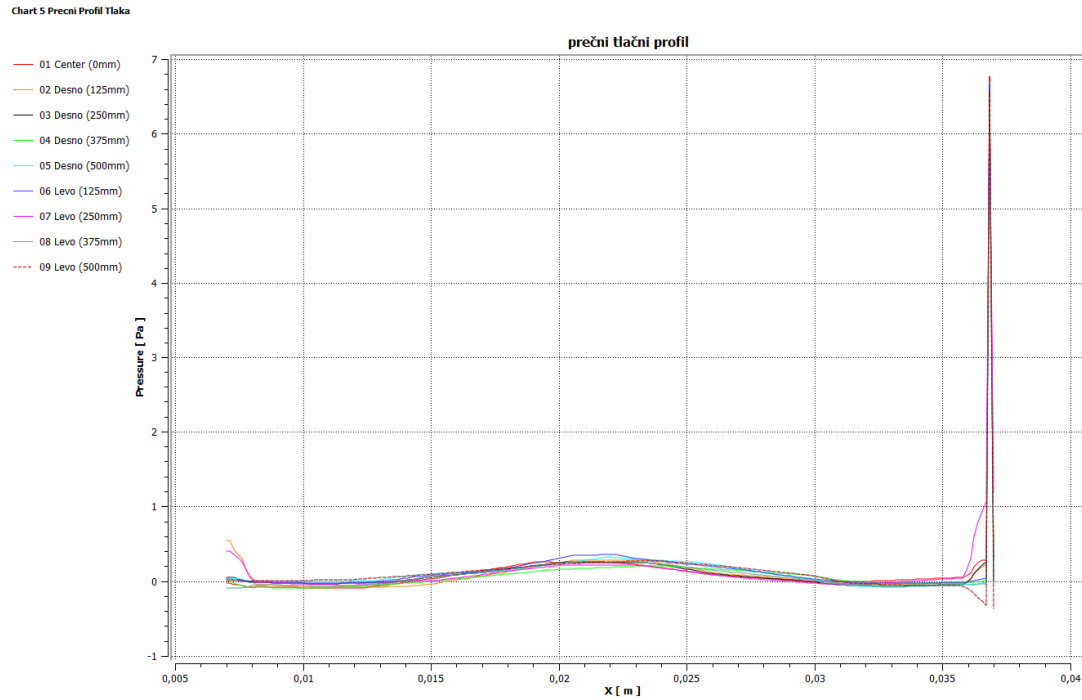
Slika 96: Prečne linije meritev difuzorja LT451

Prečne linije so med sabo razmaknjene za 125 mm in prečne dolžine svetle širine linijskega difuzorja LT451. Postavljene so na izstopno ravnino difuzorja, torej na mestu vpiha zraka v prostor. V spodnjih grafih so prikazane krivulje profilov hitrosti, tlaka in turbulentne kinetične energije prečno na linijski difuzor.



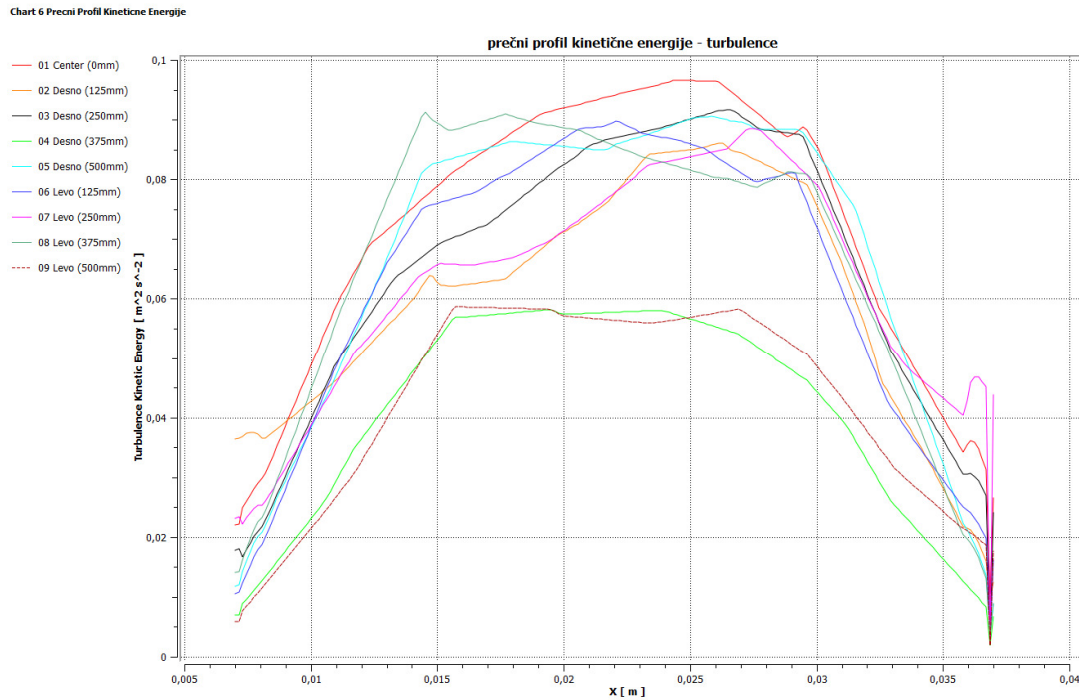
Slika 97: Graf prečnega profila hitrosti, difuzorja LT451

Prečni profil hitrosti ni tako lepe konkavne oblike kot pri profilu LD15, kar je posledica laminarnega toka ob usmerjevalnih valjčkih difuzorja LT451. V sredini hitrost ni največja, minimalno se povečuje proti skrajnemu robu svetle širine profila linijskega difuzorja. Največje hitrosti se gibljejo okoli 1,4 m/s, najnižje pa okoli 0,2 m/s. Nizke vrednosti so v področju poševnine prirobničnega dela linijskega difuzorja LT451.



Slika 98: Graf prečnega tlačnega profila, difuzorja LT451

Največje vrednosti so v prečnem profilu so dosežene v sredini, in sicer okoli 0,3 Pa. Na mestih, kjer je področje roba profila in v poševnini je tlak 0 Pa. Zaradi večje širine odprtine in usmerjevalnih valjčkov je tlačni profil bolj homogen in manj izrazit kot v primeru profila LD15.



Slika 99: Graf prečnega profila turbulentne kinetične energije, difuzorja LT451

Turbulentna kinetična energija prečnega profila linijskega difuzorja LT451 ima konkavno obliko in je največja v sredini profila, v vrednosti do $0,1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$. V skrajnih legah so vrednosti $0,03 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$. Turbulentni tok se pojavi po sredini profila LT451 in proti robu zmanjšuje, kar je posledica turbulence nad usmerjevalnimi valjčki v profilu linijskega difuzorja LT451.

5.3 Analiza sistemske plošče

5.3.1 Cilji analize

Sistemska plošča vpiha je v sistemu Airconomy pozicionirana pred komoro vpiha. Zrak skozi prezračevalne kanale najprej pride do sistemske plošče, kjer se presek vpiha poveča in pade hitrost zraka. Sistemska plošča ima več funkcij v sistemu prehoda zraka skozi njo, in sicer:

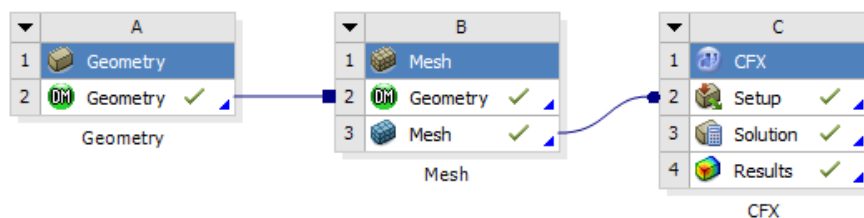
- prenosnik toplote,
- zmanjša hitrost zraka in
- ima funkcijo dušilca zvoka.

Cilji analize sistemske plošče so naslednji, in sicer z rezultati prikazati:

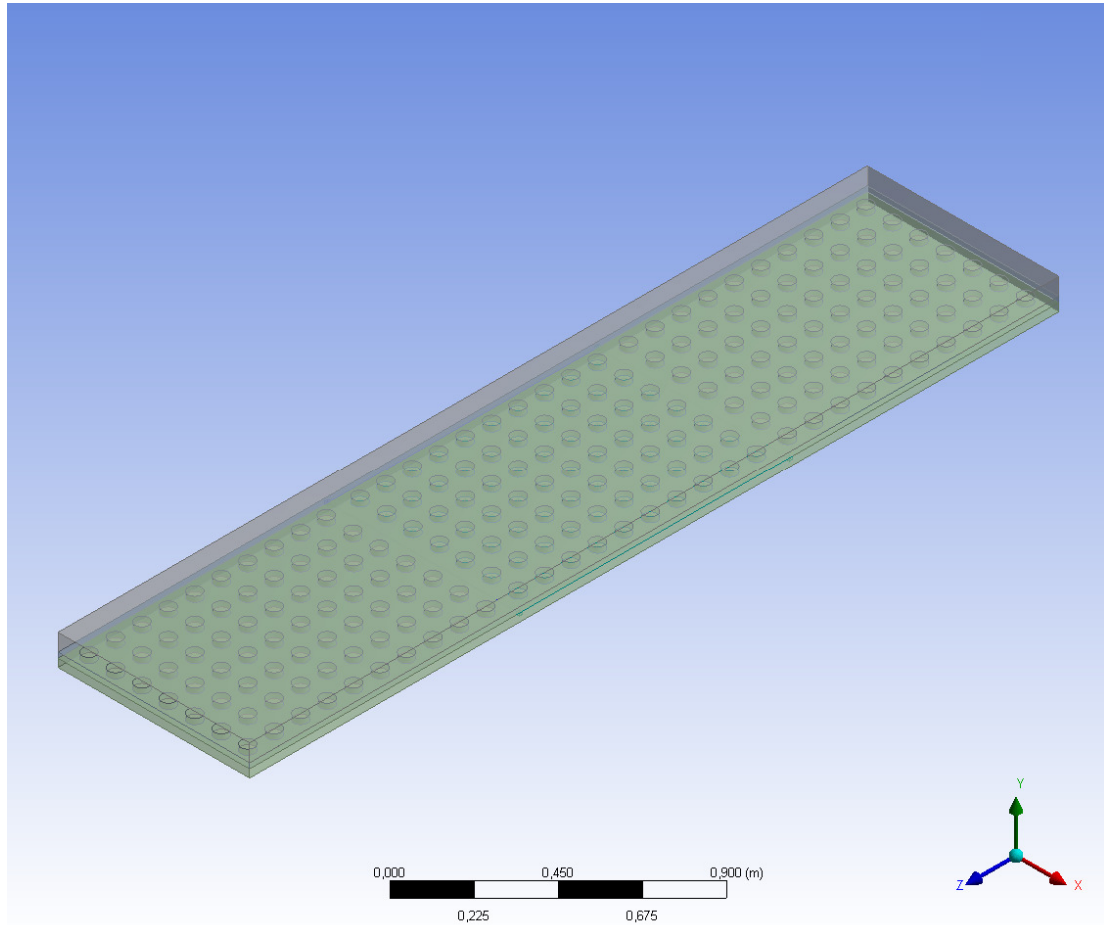
- padec hitrosti zraka skozi ploščo,
- prenos toplote iz ogretega estriha na dovedeni zrak

5.3.2 Geometrija

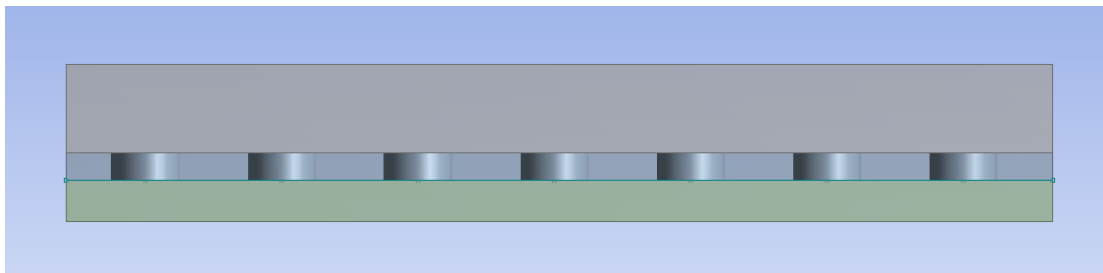
Polje sistemske plošče je sestavljen iz treh sistemskih plošč širine 0,8m in skupne dolžine 3m. Višina prostora za prehod zraka je 2cm. Distanca ki zagotavlja prehod zraka je zagotovljena s cilindričnimi distančniki. Kontakt na zgornji površini plošče predstavlja estrih višine 6,5 cm, spodaj pa toplotna izolacija v višini 3 cm.



Slika 100: Shematičen prikaz modulov v okolju "Workbench"



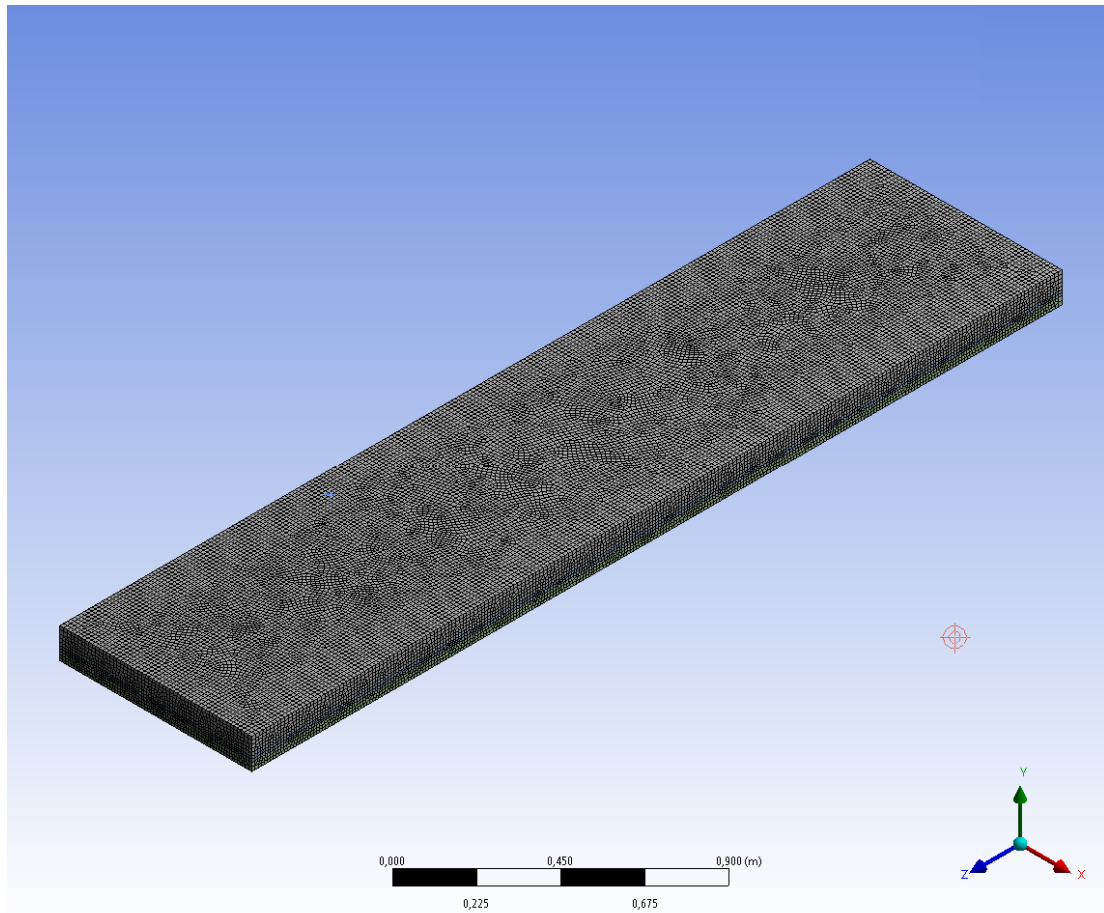
Slika 101: Geometrija sistemske plošče



Slika 102: Prečni prerez geometrije sistemske plošče

5.3.3 Mreženje

Mreženje je izvedeno z modulom "Mesh". Geometrija je v tem primeru relativno enostavna, zato je tudi mreža dokaj homogena. Velikost mreže 1,5 mio elementov.



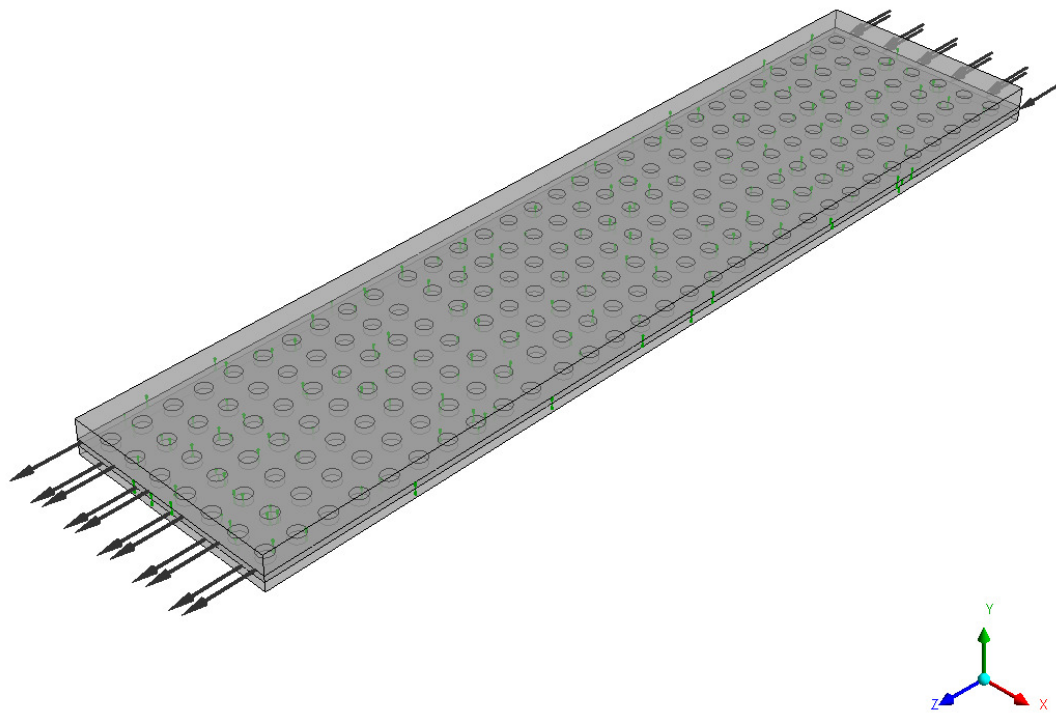
Slika 103: Mrežni model sistemske plošče

5.3.4 Robni pogoji "Setup"

Model je sestavljen iz treh različnih teles, in sicer zgornjega, ki je debeline 6,5 cm in predstavlja estrih. Srednje telo je sistemska plošča in je definirana kot zrak, višine 2 cm. Spodnji sloj pa je izolacija debeline 2 cm.C

Povprečna temperatura estriha je 26°C in predstavlja telo, ki seva in ogreva zrak, ki potuje skozi sistemske ploščo.

Sistemska plošča ima na skrajnih legah odprtini. Vstopna odprtina je definirana s hitrostjo vstopnega zraka, in sicer 2 m/s. Izstopna odprtina pa ima definirano hitrost zraka 1 m/s. Temperatura zraka na vstopu je 18°C.

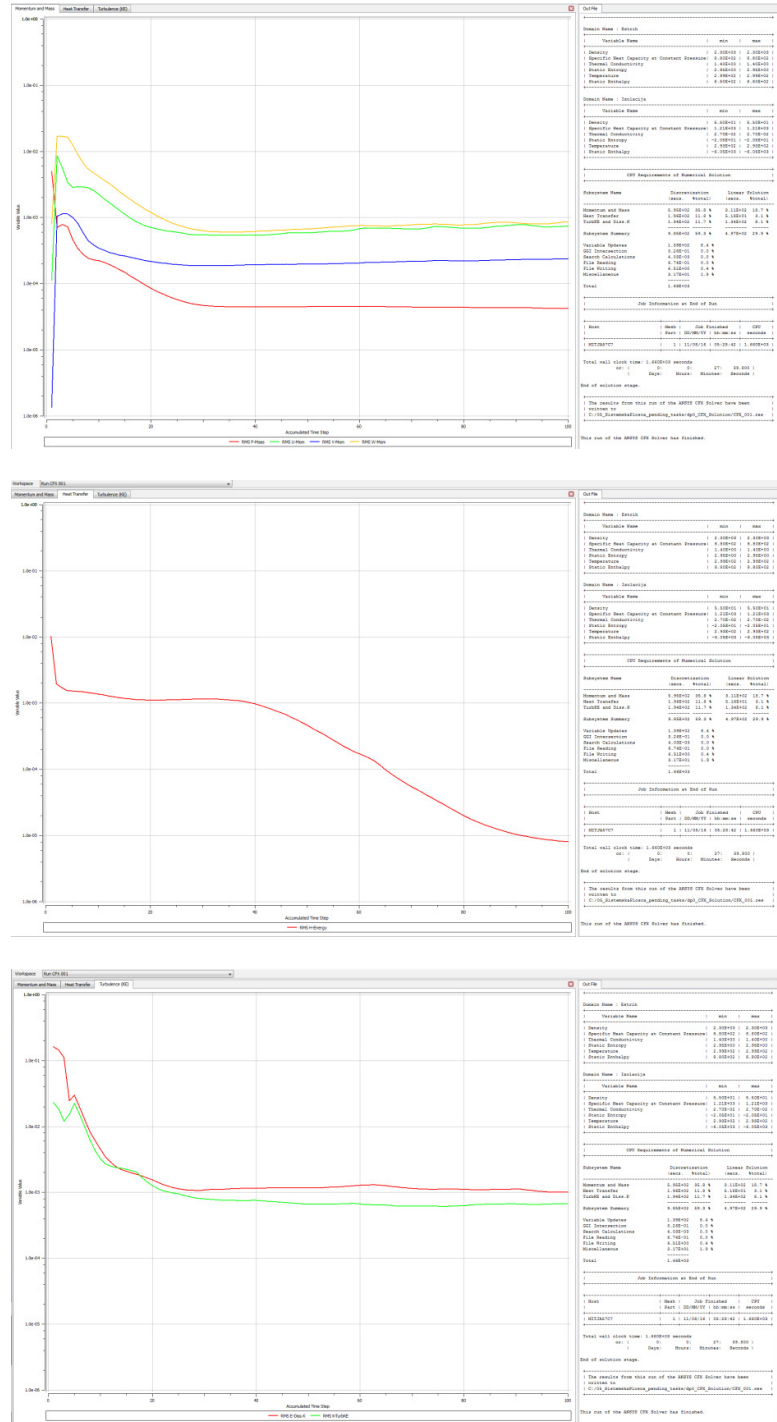


Slika 104: Robni pogoji sistemske plošče - prikaz določitve vstopne in izstopne površine

5.3.5 *Izračun "Solution"*

Po določitvi vseh robnih pogojev in lastnosti materialov, zaženemo izračun modela. Konvergenca je nastavljena na maksimalno število interakcij, in sicer na 1000.

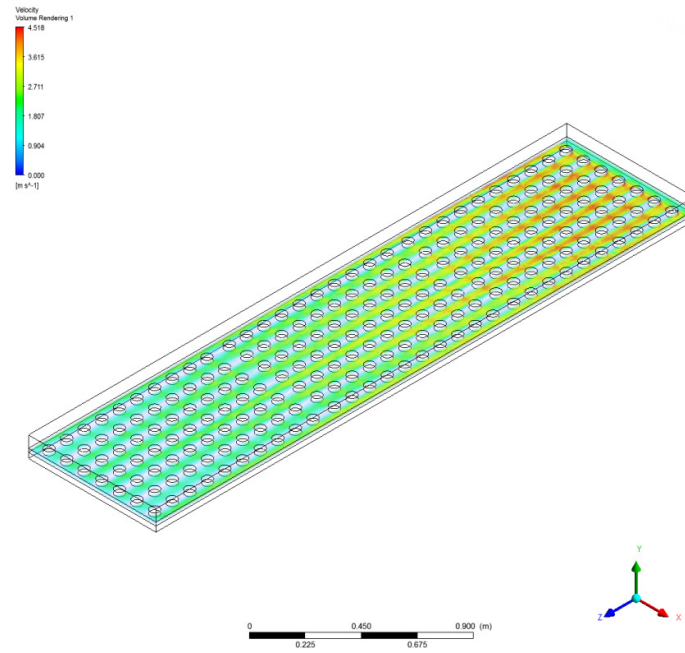
Ko program obdela zahtevano število interakcij se izračun zaključi. Na grafih so v krivuljah izrisani poteki izračuna, v desnem ob grafih pa se v tabelaričnem pogledu izpisujejo podatki v tekstovni in tabelarični obliki.



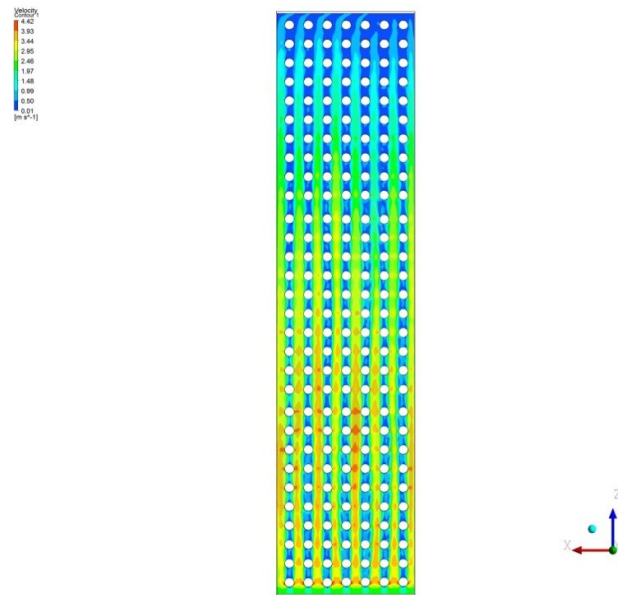
Slika 105: Grafični in tekstovni prikaz izračunov sistemske plošče

5.3.6 Rezultati "Results"

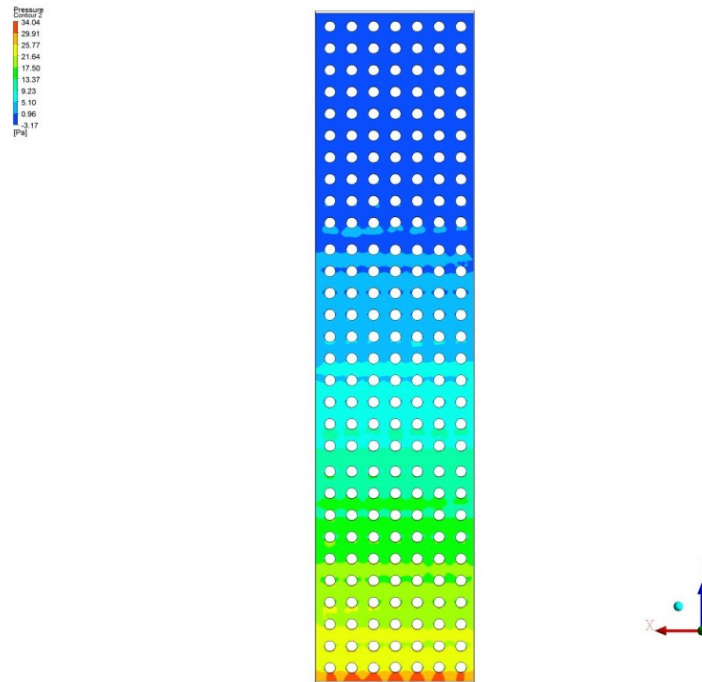
Rezultati gibanja zraka skozi sistemske ploščo so prikazani z naslednjo grafiko.



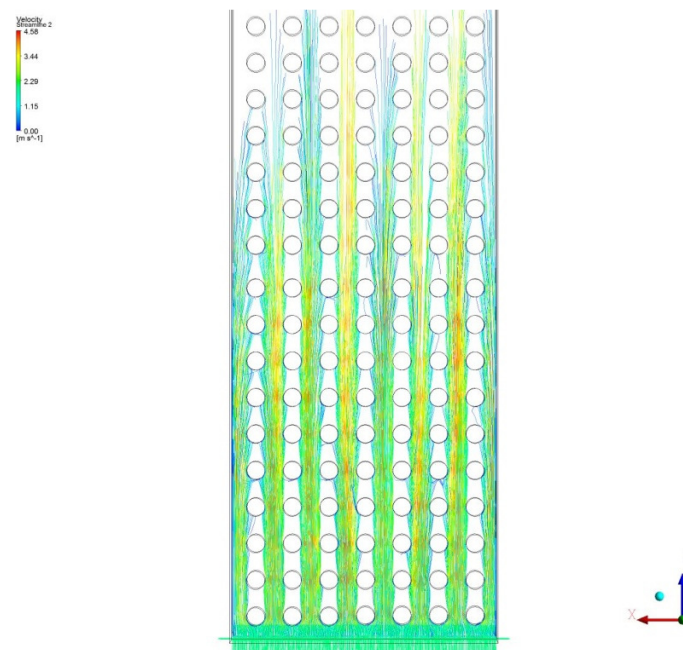
Slika 106: Prikaz odvisnosti hitrosti skozi celotno dolžino sistemske plošče



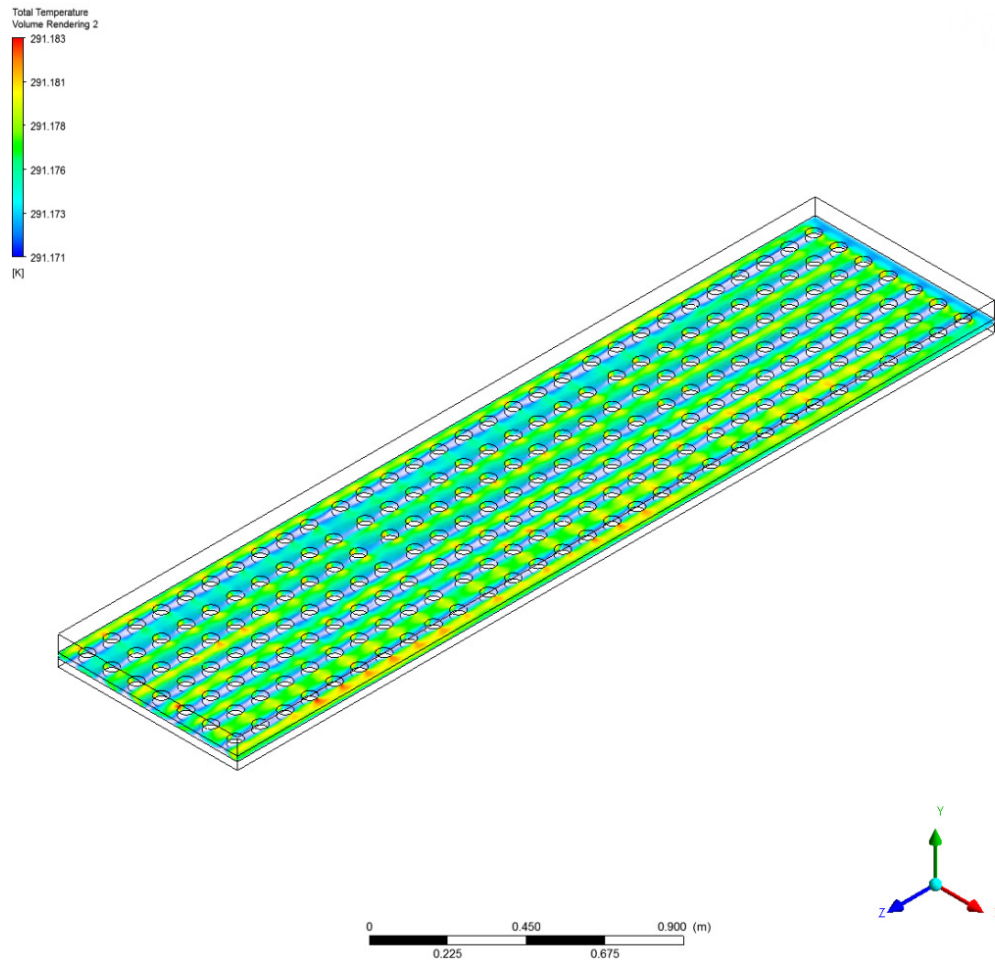
Slika 107: Tlorisni prikaz padca hitrosti zraka skozi sistemske ploščo



Slika 108: Prikaz tlačnega padca skozi sistemsko ploščo



Slika 109: Prikaz tokovnic in vektorjev hitrosti zraka v sistemski plošči



Slika 110: Temperaturna odvisnost zraka v sistemski plošči

Hitrost skozi sistemsko ploščo pada in sicer iz začetnik 2 m/s na 1 m/s. Tolikšna je tudi vstopna hitrost v komoro difuzorja. Največji tlačni padec je prisoten na začetku ob vstopu v ploščo, prav tako se med cilindričnimi distančniki v prvi tretjini hitrost poveča. Vseskozi pa imamo laminarni tok med cilindričnimi distančniki. Posamezna območja turbulence se pojavijo za distančniki.

5.4 Analiza prostora

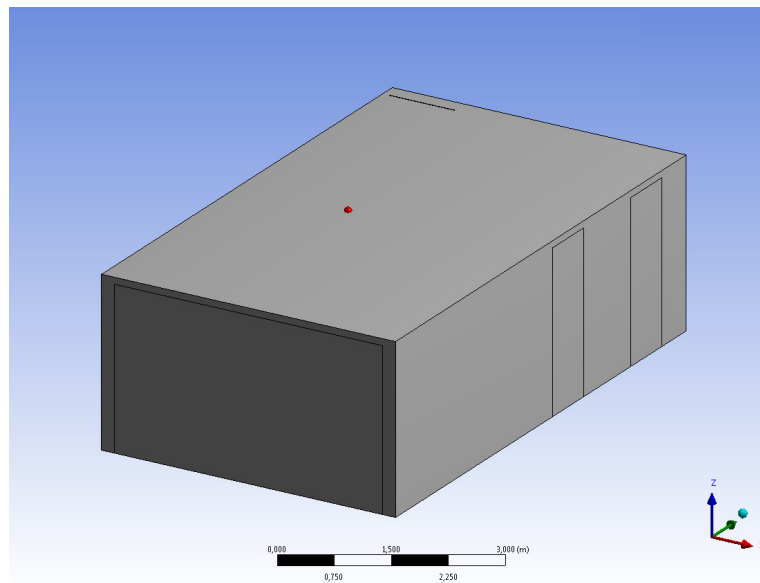
5.4.1 Cilji analize

Prezračevanje prostora je v sistemu Airconomy ključnega pomena. Zrak se dovaja v nivoju tal, odvaja pa v nivoju stropu. Pri prezračevanju je pomembno da dosežemo naslednje dejavnike, in sicer:

- hitrost zraka skozi prostor 0,2 m/s,
- tiho delovanje prezračevalnega sistema
- zamenjavo celotnega volumna zraka v 2 urah.

5.4.2 Geometrija

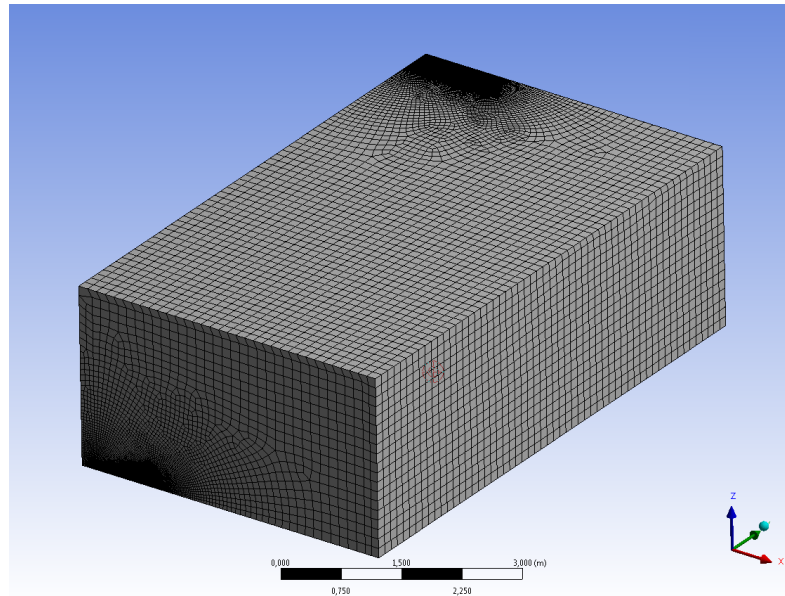
Geometrija prostora je sestavljena iz dveh zunanjih sten in dveh notranjih sten, tal in stropu. Zunanje stena ima eno veliko panoramsko okno, ob katerem je pozicioniran tudi vpih zraka, in sicer v nivoju tal. Odvod zraka je pozicioniran pod stropom prostora diagonalno glede na vpih.



Slika 111: Geometrija prostora

5.4.3 Mreženje

Mreženje je izvedeno z modulom "Mesh". Geometrija je v tem primeru relativno enostavna, zato je tudi mreža dokaj homogena. Velikost mreže 0,7 mio elementov.



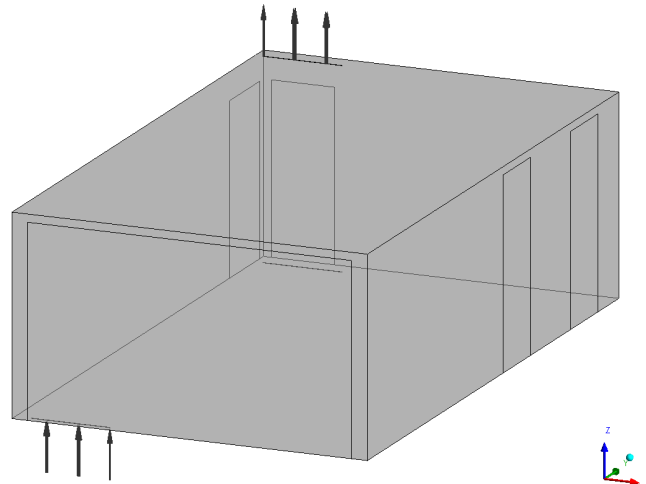
Slika 112: Mreža prostora

5.4.4 Robni pogoji "Setup"

Model je sestavljen iz enega telesa, in sicer prostora, ki je definiran kot zrak. Prostor ima dve površini, ki so definirani kot vstop in izstop zraka iz prostora. Analiza je narejena za oba primera tipov linijskih difuzorjev, LD15 in LT451. Za vsak primer je bila vnesena povprečna hitrost vpiha, izračunana na površino prostega preseka iz predhodnih preračunov difuzorjev LD15 in LT451.

- povprečna hitrost zraka na vpihu v prostor, v primeru LD15, je 1,4334 m/s,
- povprečna hitrost zraka na vpihu v prostor, v primeru LD15, je 0,4872 m/s,
- zunanje stene imajo koeficient prevodnosti $k=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- zunanja okna imajo koeficient prevodnosti $k=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- temperatura notranjih sten je 22°C ,

- temperatura tal (estriha) je 26°C ,
- temperatura zunanjega zraka je 0°C
- temperatura v prostoru je 22°C ,
- temperatura zraka na vpihu je 20°C ,



Slika 113: Robni pogoji pri prostoru

5.4.5 Izračun "Solution"

Po določitvi vseh robnih pogojev in lastnosti materialov, zaženemo izračun modela. Konvergenca je nastavljena na maksimalno število interakcij, in sicer na 1000.

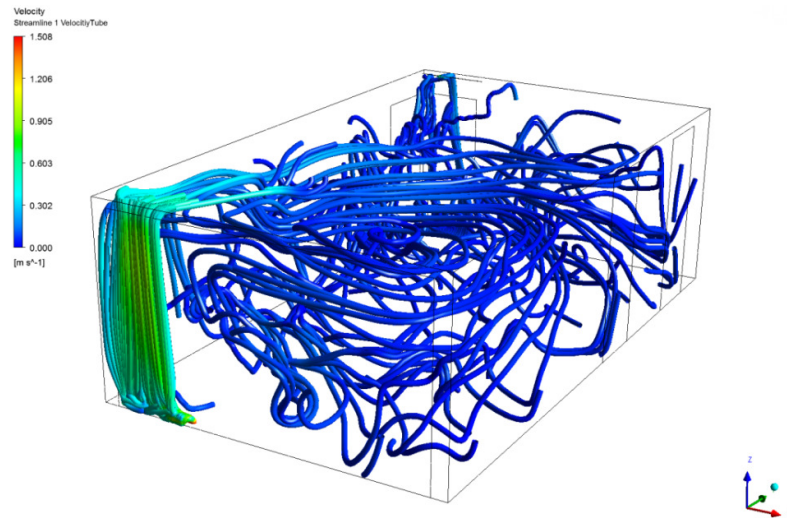
Ko program obdela zahtevano število interakcij se izračun zaključi. Na grafih so v krivuljah izrisani poteki izračuna, v desnem ob grafih pa se v tabelaričnem pogledu izpisujejo podatki v tekstovni in tabelarični obliki.



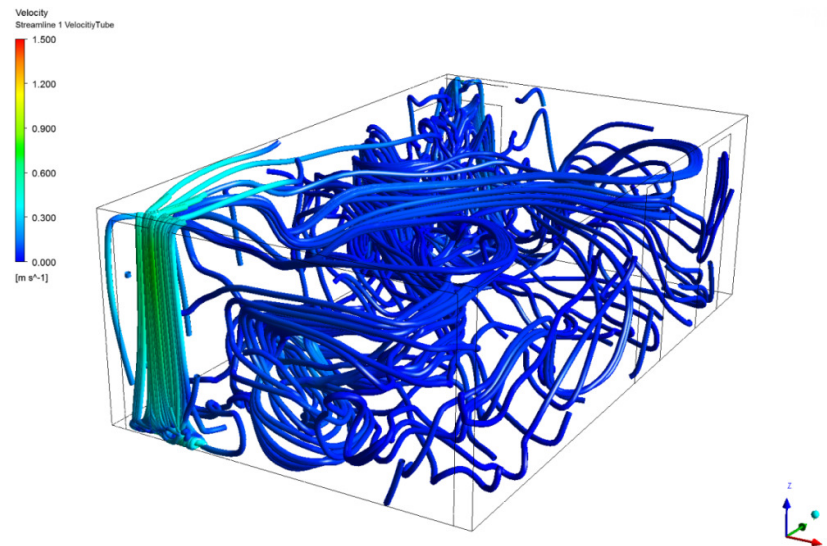
Slika 114: Grafični in tekstovni prikaz izračunov prostora

5.4.6 Rezultati "Results"

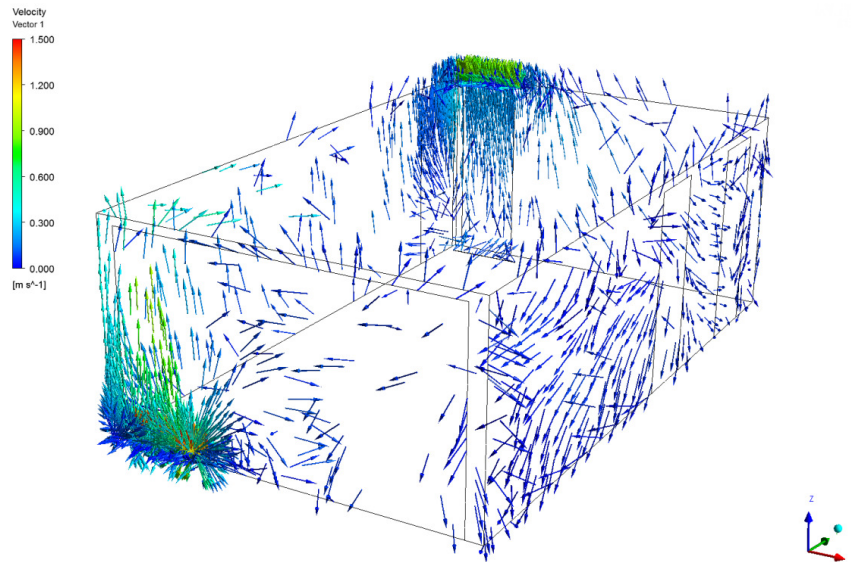
Rezultati gibanja zraka skozi prostor pri vpihu skozi difuzor LD15 ali LT451 so prikazani z naslednjo grafiko. Razliko med obema variantama je opaziti v hitrosti vpiha ob stekleni steni, in sicer z uporabo difuzorja LD15. Znotraj prostora pa so tokovne razmere laminarne, nizke hitrosti, kar je ugodno za bivanje.



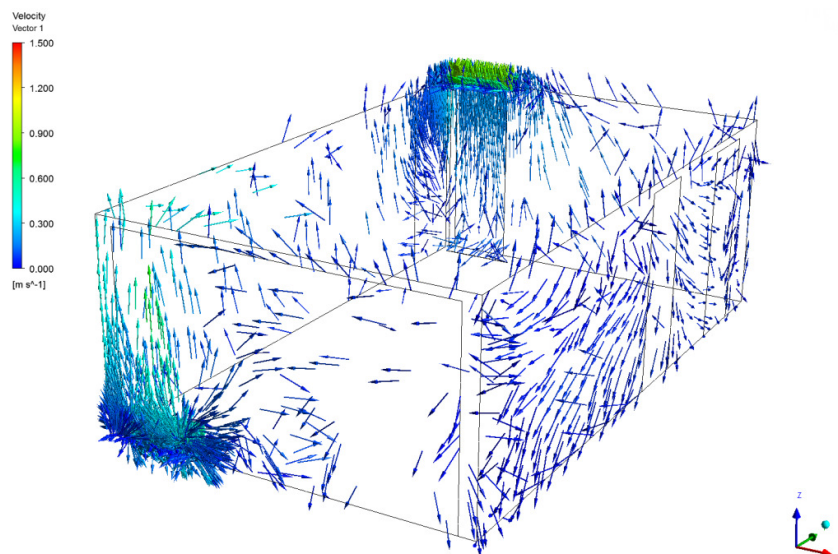
Slika 115: Volumski in tokovni prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15



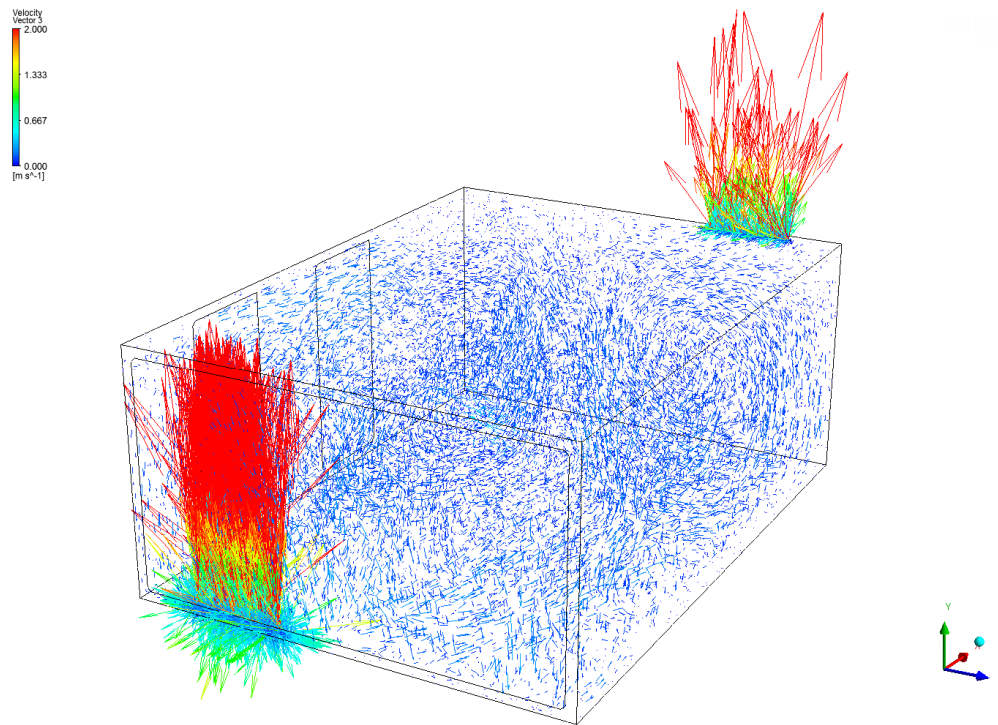
Slika 116: Volumski in tokovni prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451



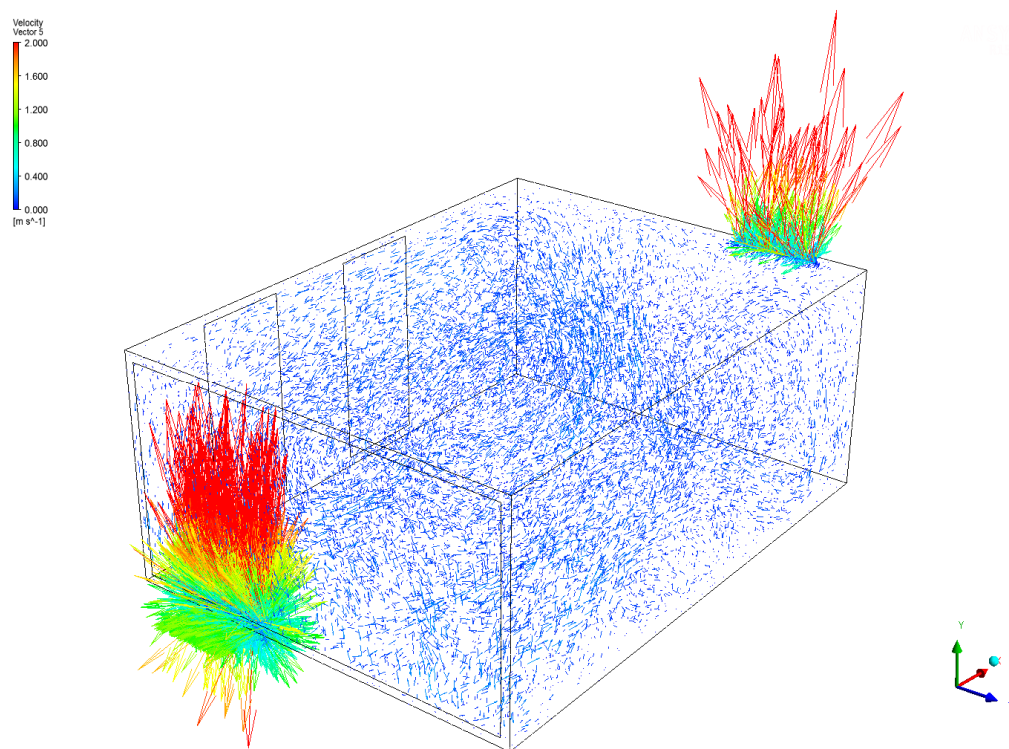
Slika 117: Vektorski prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15



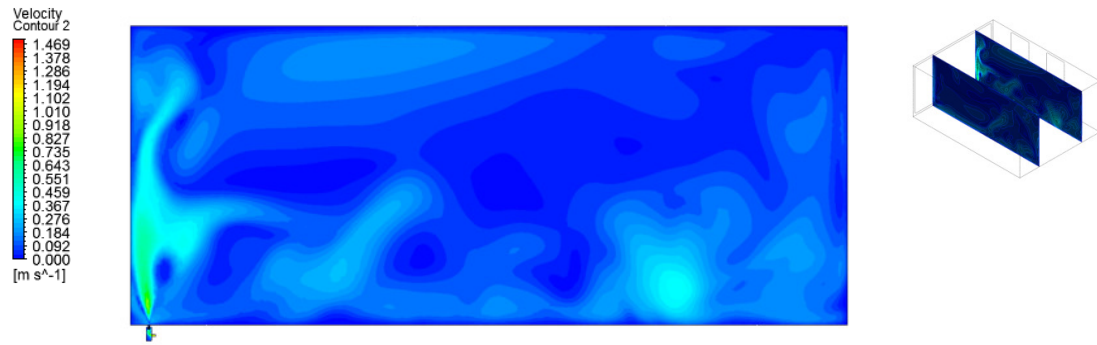
Slika 118: Vektorski prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451



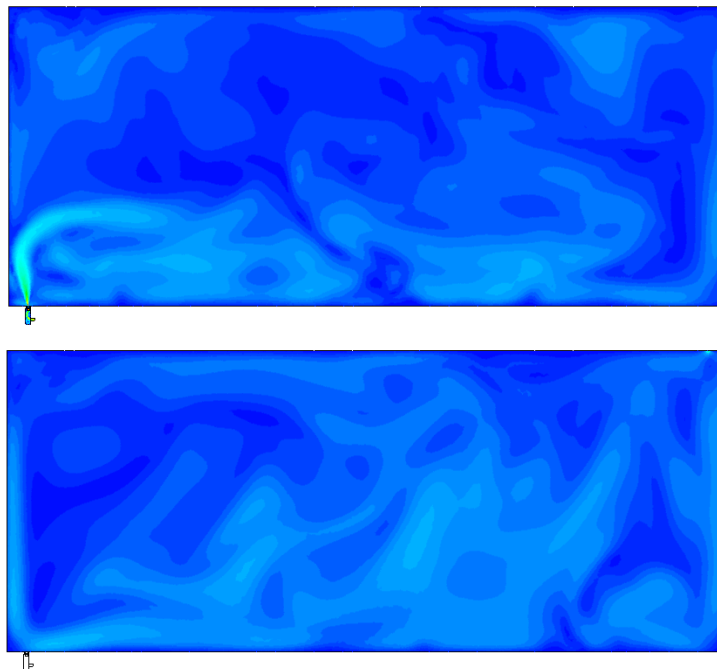
Slika 119: Prostorski vektorski prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15



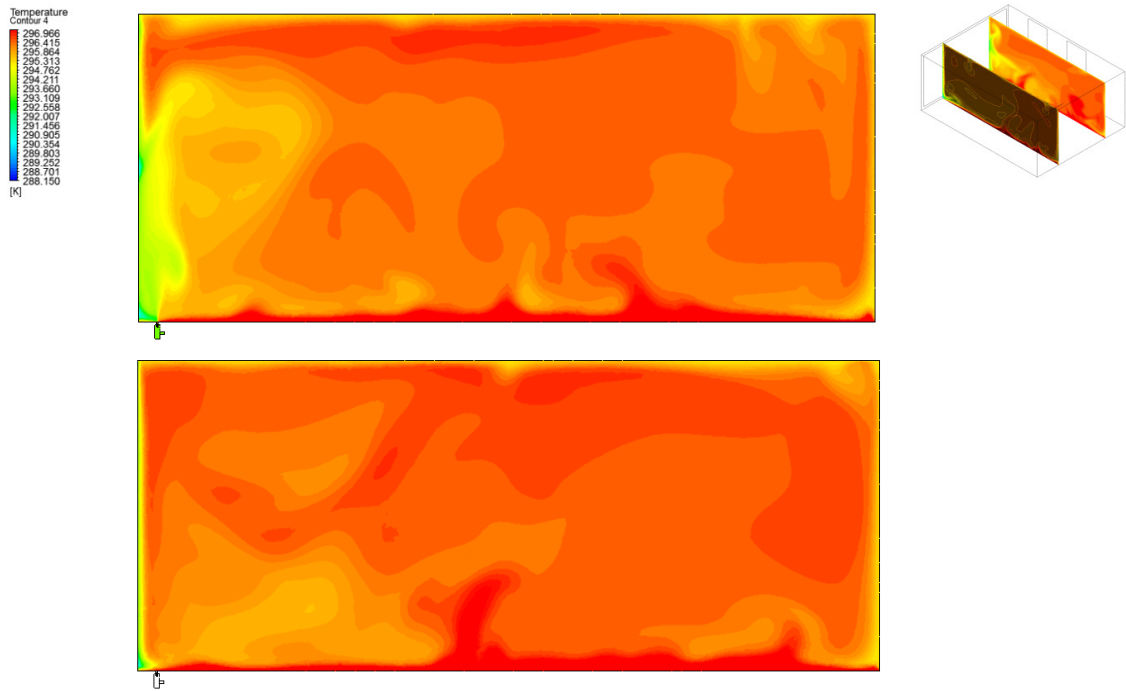
Slika 120: Prostorski vektorski prikaz gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451



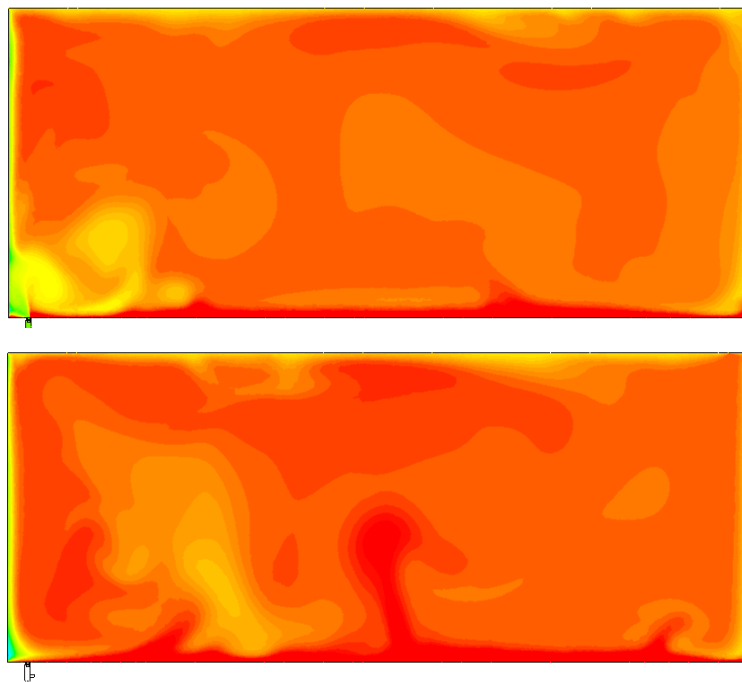
Slika 121: Ravnski presek gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15



Slika 122: Ravnski presek gibanja zraka skozi prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451

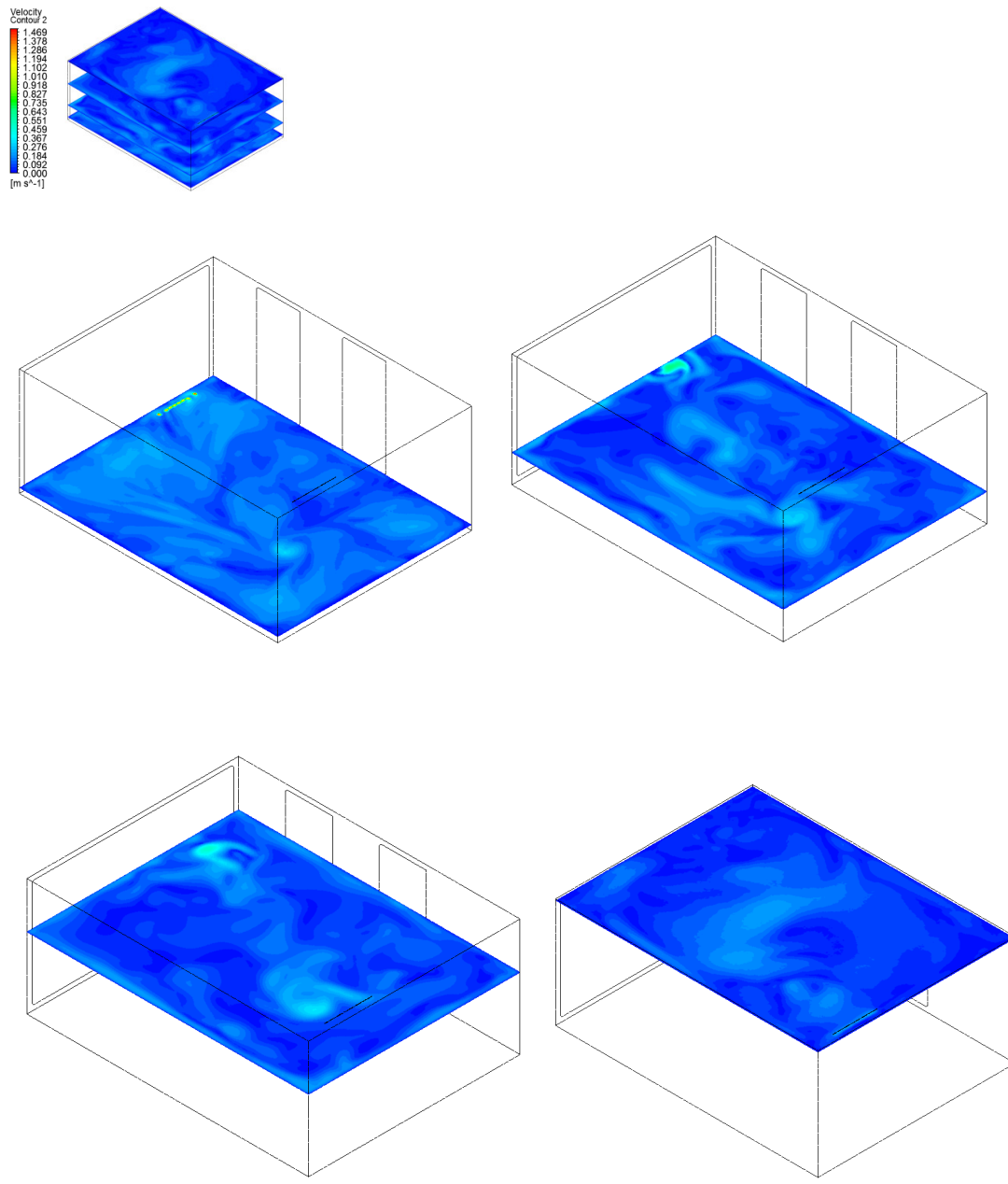


Slika 124: Ravninski presek temperaturnih vplivov v prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15



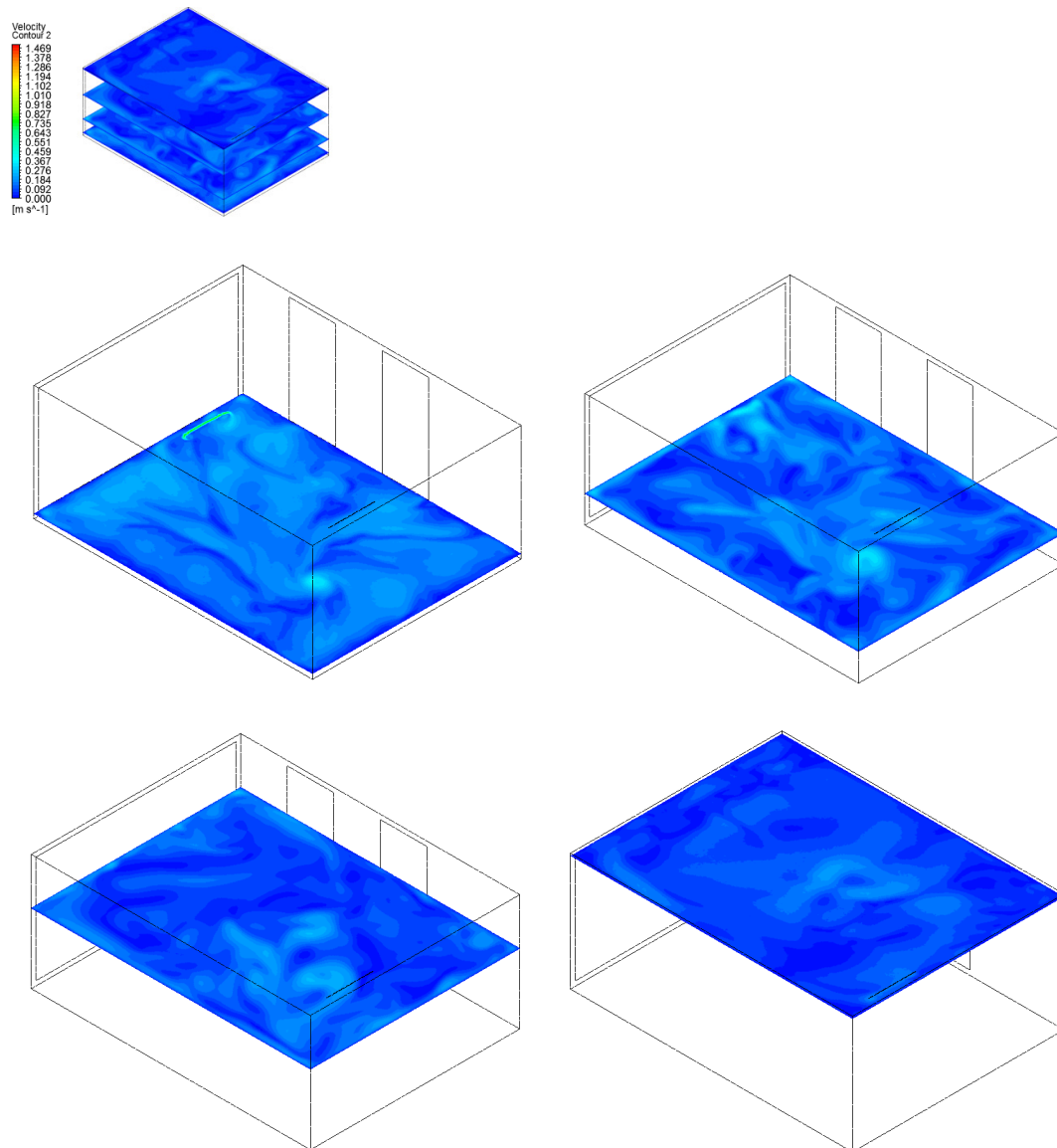
Slika 123: : Ravninski presek temperaturnih vplivov v prostor v primeru uporabe linijskega difuzorja LT451

Vertikalni ravninski preseki skozi dovodni in odvodni difuzor ponazori da v primeru uporabe obeh tipov linijskih difuzorjev ni opaziti razlik. Razlika je vidna ob stekleni površini, kje je vpih z difuzorjem LD15 bolj intenziven.



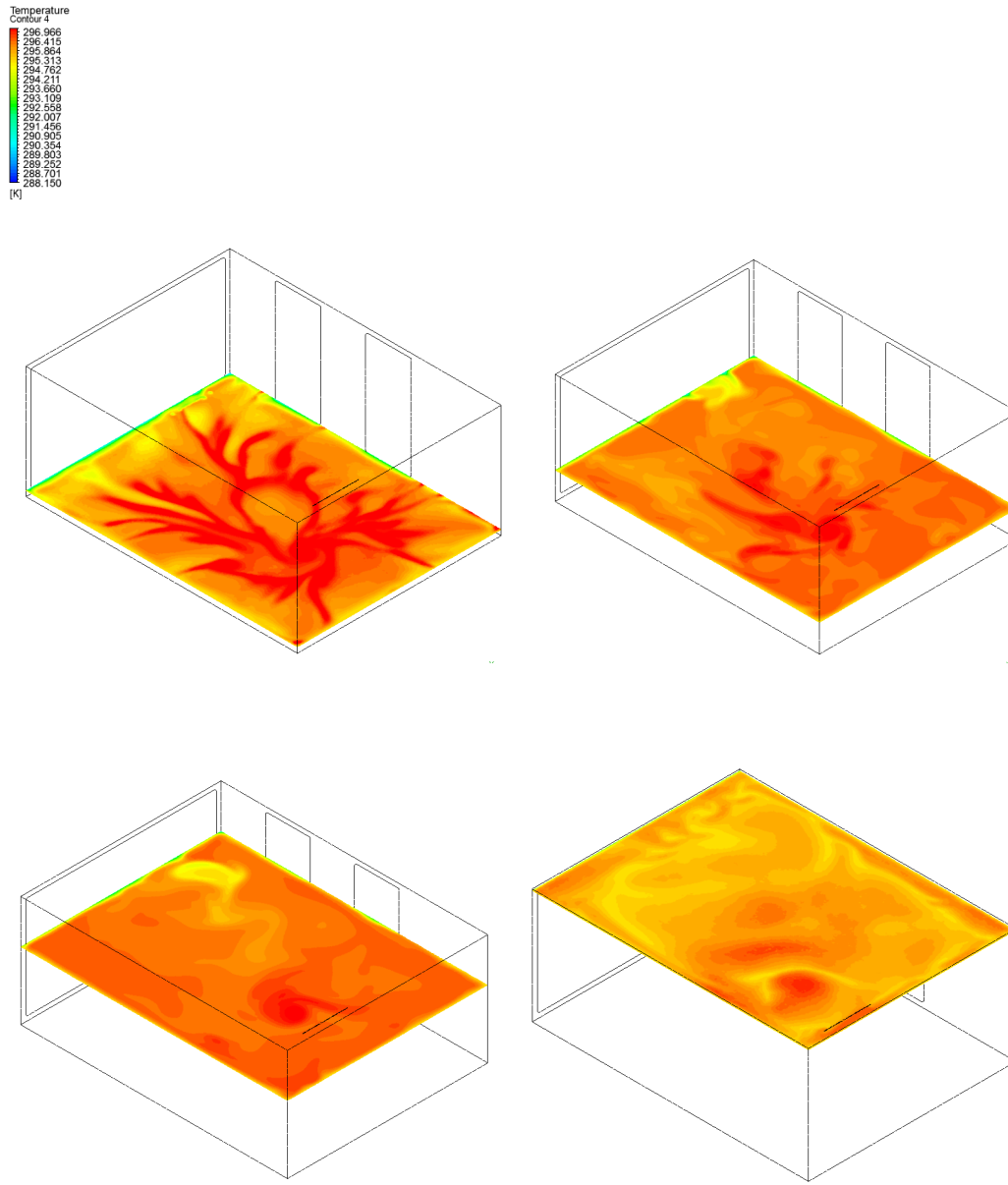
Slika 125: Prikaz vpliva gibanja zraka na posameznih nivojih od tal; 0.1, 0.6, 1.5 in 2.4 m (LD15)

Na zgornjih slikah vidimo kako vpliva gibanje dovedenega zraka na posamezne nivoje bivanja, in sicer na višini 0,6m (na višini gležnjev), na višini 1 m (sedeči položaj človeka), na višini 1,5 m stoječi položaj človeka in pa na višini stropu 2,4m. Vpliv prezračevanja na bivalno cono je zelo ugodna saj ni zaznati večjih hitrosti v gibanju zraka.

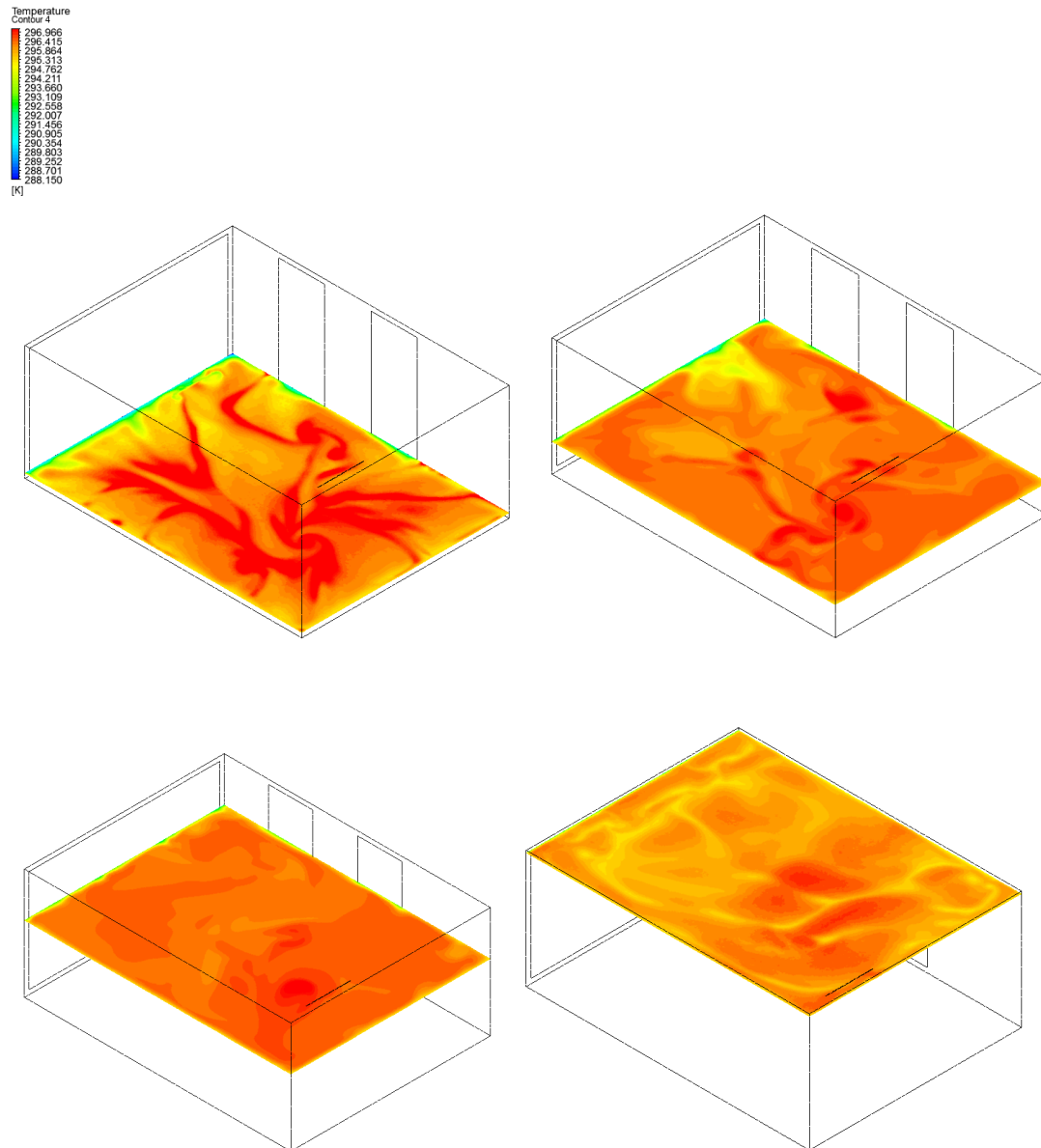


Slika 126: Prikaz vpliva gibanja zraka na posameznih nivojih od tal; 0,1, 0,6, 1,5 in 2,4 m (LT451)

Na zgornjih slikah vidimo kako vpliva gibanje dovedenega zraka na posamezne nivoje bivanja, in sicer na višini 0,6m (na višini gležnjev), na višini 1 m (sedeči položaj človeka), na višini 1,5 m stoječi položaj človeka in pa na višini stropu 2,4m. Vpliv prezračevanja na bivalno cono je zelo ugodna saj ni zaznati večjih hitrosti v gibanju zraka. Razlik med uporabo obeh tipov difuzorjev praktično v bivalni coni ni zaznati.



Slika 127: Prikaz temperaturnih vplivov na posameznih nivojih od tal; 0.1, 0.6, 1.5 in 2.4 m (LD15)



Slika 128: Prikaz temperaturnih vplivov na posameznih nivojih od tal; 0,1, 0,6, 1,5 in 2,4 m (LT451)

Na zgornjih slikah vidimo vpliv različnih temperatur dovedenega zraka na posamezne nivoje bivanja, in sicer na višini 0,6m (na višini gležnjev), na višini 1 m (sedeči položaj človeka), na višini 1,5 m stoječi položaj človeka in pa na višini stropu 2,4m. Vpliv prezračevanja na bivalno cono je zelo ugodna saj ni zaznati večjih temperaturnih razlik.

Razlik temperaturnih vplivov v prostoru z uporabo linijskega difuzorja LD15 in LT451 praktično ni zaznati.

5.4.7 Udobja bivanja

V prostoru kjer je vgrajeno prisilno prezračevanje smo pod vplivom pretoka zraka skozi prostor. V kolikor se te zračne mase gibljejo počasi in preišljeno le to ne vpliva moteče na počutje. Prav tako imamo učinek ogrevanja ali hlajenja z ogromnimi ploskovnimi površinami. Temperature predtoka so nizke s tem pa je sevalni učinek toliko bolj neopazen, nemoteč. V prostoru je nižja temperatura kot pri radiatorskem ogrevanju, pa vendar zaradi sevalnega efekt občutimo ugodno toplino. V kombinaciji s prezračevanjem pa se izmenja še zrak v prostoru, potem pa je udobje bivanja še toliko večje.

Človeško telo se prilagodi na različna stanja zraka v prostoru, vendar pa je pomembno območje ugodnosti, v katerem je počutje optimalno. Neugodnost zaradi vročine, mraza, prepaha ali asimetrij sevanja povzroči nezadovoljstvo. Vpliv na občutek vročine ima aktivnost, oblačilo, temperatura zraka, povprečna temperatura sevanja, hitrost gibanja zraka in vlažnost. (Špegel, Prezračevanje in klimatizacija poslovnih prostorov, 2010, str. 5)

Pri sistemu Airconomy gre pri udobju bivanja za kombinacijo nizkotemperaturnega ogrevanja in prezračevanja. Bistvenega pomena imajo naslednji dejavniki:

- učinek na prostor zunanjih sten in steklenih površin,
- učinkovitost delovanja celotnega sistema,
- lokalna kontrola nad zelenimi parametri,
- gibanje zraka skozi prostor in celo stavbo.

Kot udobno notranjo klimo razumemo razmere v prostoru, ki so za ljudi podzavestno in zavestno dobro sprejete:

- vsako telo ima sposobnost določene mere termo regulacije, in če zagotovimo pogoje takšne da organizem ohranja konstantno temperaturo telesa bo udobje zagotovo ugodno,
- lahkoten in neopazen prestop toplote iz grelnih teles na okolico.

- subjektivni občutek zaradi svežega zraka, tudi zaradi kontrolirane vlage v prostoru.

Obstajata dve osnovni merili za vrednotenje udobja, in sicer:

- globalno termično merilo za udobje.
- lokalno termično merilo za udobje.

5.5 Ocenjevanje napake diskretizacije s pomočjo Richardsonove ekstrapolacije

Richardsonova ekstrapolacija je metoda, s pomočjo katere lahko na podlagi diskretnih vrednosti nižjega reda ocenimo vrednost višjega reda (vrednost, ko je velikost končnega elementa 0). Tudi ta metoda je konvergenčna metoda. Tradicionalne metode, ki temeljijo na ocenjevanju napake s pomočjo Richardsonove ekstrapolacije, običajno temeljijo na spreminjanju velikosti elementov mreže za faktor 2. Novejše metode zmanjšujejo takšne omejitve. Raziskovalec Roache je razvil metodo, v kateri ocenjuje napako diskretizacije s pomočjo indeksa konvergence mreže GCI (Grid Convergence Index). Indeks konvergence mreže podaja procentualno napako. S pomočjo njega lahko določimo meje, znotraj katerih pričakujemo, da bo konvergirana rešitev ležala. Za napovedovanje napake diskretizacije z uporabo GCI potrebujemo rezultate simulacije za vsaj dve mreži, vendar metoda daje boljše rezultate ob uporabi treh mrež.[16]

5.5.1 Osnove Richardsonove ekstrapolacije

Če imamo na voljo vsaj rezultate na dveh različnih mrežah in če poznamo stopnjo konvergence, potem lahko na podlagi tega ocenimo natančno rešitev matematičnega problema. Na podlagi tega lahko ali popravimo rezultate, pridobljene na fini mreži, ali pa podamo oceno napake diskretizacije. Richardsonova ekstrapolacija je bila prvotno uporabljena le za lokalne vrednosti odvisnih spremenljivk na domeni, uporabna pa je tudi na kateri koli vrednosti odziva sistema. Pri tem moramo upoštevati dodaten pogoj — dodatne numerične aproksimacije (odvajanje, integriranje ...), s pomočjo katerih pridobimo vrednost odziva sistema, morajo biti vsaj istega reda natančnosti kot diskretne rešitve, iz katerih so izračunane.[16]

Napako diskretizacije lahko definiramo na podlagi lokalne ali globalne rešitve f na mreži z veliko elementov h :

$$\varepsilon_h = f_h - \tilde{f} \quad (5.1)$$

Pri tem je f_h eksaktna rešitev diskretnih enačb, \tilde{f} pa eksaktna rešitev matematičnega modela. Numerično rešitev f_h lahko razvijemo v Taylorjevo vrsto:

$$f_h = \tilde{f} + \frac{\partial f}{\partial h} \cdot h + \frac{\partial^2 f}{\partial h^2} \cdot \frac{h^2}{2} + \frac{\partial^3 f}{\partial h^3} \cdot \frac{h^3}{6} + \dots \quad (5.2)$$

Razvijemo pa jo lahko tudi v potenčno vrsto:

$$f_h = \tilde{f} + g_1 \cdot h + g_2 \cdot h^2 + g_3 \cdot h^3 + \dots \quad (5.3)$$

Na podlagi enačb 5.1 in 4.3 lahko zapišemo odvisnost napake diskretizacije ε_h od velikosti končnega elementa h :

$$\varepsilon_h = f_h - \tilde{f} = g_1 \cdot h + g_2 \cdot h^2 + g_3 \cdot h^3 + \dots \quad (5.4)$$

Pri tem so koeficienti g lahko odvodi eksaktne rešitve matematičnega modela v odvisnosti od velikosti končnega elementa h ali neodvisnih spremenljivk, ki vplivajo na napako diskretizacije. V splošnem uporabljamo numerične metode, ki imajo red natančnosti višji kot prvi red. Metode tako že same izničijo napako nižjega reda. Če na primer izberemo numerično shemo drugega reda, potem lahko splošno napako diskretizacije zapišemo kot:

$$\varepsilon_h = f_h - \tilde{f} = g_2 \cdot h^2 + g_3 \cdot h^3 + g_4 \cdot h^4 + \dots \quad (5.5)$$

Na enačbi 5.5 temelji Richardsonova ekstrapolacija.

Richardsonovo ekstrapolacijo lahko v splošnem zapišemo za red natančnosti sheme p . Pri tem potrebujemo dve mreži, ki sta sistematično zgoščeni za poljuben faktor. Zapišimo enačbo za napako diskretizacije za red sheme p :

$$\varepsilon_h = f_h - \tilde{f} = g_p \cdot h^p + g_{p+1} \cdot h^{p+1} + g_{p+2} \cdot h^{p+2} + \dots \quad (5.6)$$

Faktor zgostitve zapišemo kot:

$$r = \frac{h_{groba}}{h_{fina}} \quad (5.7)$$

Velikost grobih končnih elementov lahko tako zapišemo kot $h_{groba} = r \cdot h_{fina}$.

Za h izberemo h_{fina} ter zapišemo enačbi za grobo in fino mrežo:

$$f_h = \tilde{f} + g_p \cdot h^p + g_{p+1} \cdot h^{p+1} + O(h^{p+2}) \quad (5.8)$$

$$f_{rh} = \tilde{f} + g_p \cdot (r \cdot h)^p + g_{p+1} \cdot (r \cdot h)^{p+1} + O(h^{p+2}) \quad (5.9)$$

Na podlagi teh enačb lahko zapišemo enačbo za \tilde{f} :

$$\tilde{f} = f_h + \frac{f_h - f_{rh}}{r^p - 1} + g_{p+1} \frac{r^p(r-1)}{r^p - 1} + O(h^{p+2}) \quad (5.10)$$

Če upoštevamo le člene reda h^{p+1} in višje in z uporabo eksaktne rešitve \tilde{f} dobimo:

$$\bar{f} = \tilde{f} - g_{p+1} \frac{r^p(r-1)}{r^p - 1} + O(h^{p+2}) \quad (5.11)$$

Če enačbo 5.11 vstavimo v enačbo 5.10, dobimo splošno oceno Richardsonove ekstrapolacije \bar{f} :

$$\bar{f} = f_h + \frac{f_h - f_{rh}}{r^p - 1} \quad (5.12)$$

Kot je razvidno iz enačbe 5.11, je ocena eksaktne rešitve v splošnem reda $(p+1)$ natančnosti glede na matematični model.[16]

5.5.2 Prostorska diskretizacija

Na podlagi študije prostorske konvergence želimo določiti napako, povzročeno zaradi prostorske diskretizacije. Za to potrebujemo različno goste mreže.

Najlažji način generiranja različno gostih mrež je pričetek z najbolj fino mrežo, ki si jo lahko privoščimo (glede na računalniške zmogljivosti, časa, ki ga imamo na voljo). Nadaljnje mreže dobimo tako, da odstranimo vsako drugo mrežno črto v vsaki koordinatni smeri. To lahko ponovimo večkrat in s tem pridobimo več grobih mrež. Enačba, ki opisuje število mrežnih točk fine mreže v vsaki smeri:

$$N = 2^n \cdot m + 1 \quad (5.13)$$

Pri tem N predstavlja število točk v vsaki koordinatni smeri, n predstavlja naravno število ter pomeni kolikokrat bomo začetno mrežo redčili. Vrednost m predstavlja naravno število, ki je lahko različno za posamezne koordinatne smeri.

Če želimo tri mreže (fino, srednjo ter grobo), potem sledeča enačba opisuje število mrežnih točk v posamezni smeri:

$$N = 2^2 \cdot m + 1 = 4 \cdot m + 1 \quad (5.14)$$

Gosta mreža z najmanj mrežnimi točkami ($m=1$) ima torej v vsaki smeri 5 mrežnih točk, srednje gosta mreža jih ima 3, groba pa 2.

Pri generiranju mrež ni zmeraj potrebno uporabiti celih števil za redčenje mreže. Velikokrat to sploh ni mogoče, saj bi na tak način ustvarili neprimerne mreže za podano geometrijo. Pri takšni generaciji mreže moramo poskrbeti, da so nove mreže čim bolj enakomerno redčene. Zaželeno je, da se elementi zmanjšajo v vseh smereh približno enako. Prav tako morajo biti mreže čim bolj enakomerno redčene: pri generiranju treh mrež naj bo razlika med fino in srednjo mrežo ter med srednjo in grobo mrežo približno enaka. Razmerje zgostitve mreže naj bo vsaj $r \geq 1,1$. Na ta način lahko ločimo napako diskretizacije od drugih virov napak (npr. napake pri konvergenci iterativnih metod, napake zaokroževanja ...).

V realnih primerih redko zgoščamo mrežo enakomerno po modelu. Gostejšo mrežo uporabimo na kritičnih območjih, kot so na primer območja z visokimi napetostnimi gradienti. V takšnih primerih je vrednotenje rezultatov s pomočjo Richardsonove ekstrapolacije precej težje, saj je velikost elementov v modelu različna. Za lokalno

študijo vpliva velikosti končnih elementov na natančnost numeričnih rezultatov simulacije lahko uporabimo podmodel (ang. »submodel«). Po izvedeni simulaciji modela ugotovimo, da želimo določeno območje modela nadaljnje raziskati (npr. zaradi visokih napetostnih gradientov). Uporaba podmodela temelji na zmanjšanju celotnega modela na manjše območje, ki nas podrobneje zanima. Takšno območje običajno »izrežemo« iz celotnega modela. Na podlagi prvotne simulacije se na mejah izrezanega območja določijo novi robni pogoji. Manjše območje lahko zamrežimo s precej gostejšo mrežo, saj smo velikost celotnega modela bistveno zmanjšali. Na takšnem modelu lahko mrežo tudi enakomerneje zgostimo. Vendar se moremo zavedati, da so robni pogoji podmodela rezultat simulacije na bolj grobi mreži.[16]

5.5.3 Red konvergence mreže

Red konvergence mreže je neposredno povezan z napako prostorske diskretizacije. Napako definiramo kot razliko med diskretno in eksaktno rešitvijo:

$$E = f(h) - f_{exact} = C \cdot h^p + H.O.T \quad (5.15)$$

Pri tem je C konstanta, h predstavlja velikost elementov v mreži, p pa red konvergence mreže (oz. red natančnosti). Rešitev drugega reda ima $p = 2$. $H.O.T$ (higher order terms) predstavlja napake višjih redov.

Če zanemarimo napake višjih redov ter enačbo logaritmiramo, dobimo:

$$\log(E) = \log(C) + p \cdot \log(h) \quad (5.16)$$

Red konvergence p lahko dobimo na podlagi naklona krivulje $\log(E)$ napram $\log(h)$. Če imamo na voljo podatke o napaki, potem lahko skozi točke grafa povlečemo aproksimacijsko premico (s pomočjo metode najmanjših kvadratov), naklon premice pa predstavlja red konvergence mreže p . [17]

Konstantni faktor zgostitve

Red aproksimacije p pa lahko dobimo na bolj direkten način, na podlagi treh rezultatov

simulacije in z uporabo konstantnega faktorja zgostitve mreže r . Upoštevamo, da je $h_1 < h_2 < h_3$ in $r = \frac{h_3}{h_2} = \frac{h_2}{h_1} > 1$. Tako lahko zapišemo:

$$h_1 = h, \quad h_2 = r \cdot h, \quad h_3 = r^2 \cdot h \quad (5.17)$$

Z uporabo enačbe za napako diskretizacije (enačba 5.6) lahko zapišemo naslednje tri enačbe:

$$f_1 = \tilde{f} + g_p \cdot h^p + g_{p+1} \cdot h^{p+1} + O(h^{p+2}) \quad (5.18)$$

$$f_2 = \tilde{f} + g_p \cdot (r \cdot h)^p + g_{p+1} \cdot (r \cdot h)^{p+1} + O(h^{p+2}) \quad (5.19)$$

$$f_3 = \tilde{f} + g_p \cdot (r^2 \cdot h)^p + g_{p+1} \cdot (r^2 \cdot h)^{p+1} + O(h^{p+2}) \quad (5.20)$$

Če zanemarimo člene reda h^{p+1} in višje, potem lahko zapišemo te tri enačbe za lokalno gledan red natančnosti \hat{p} :

$$f_1 = \bar{f} + g_p \cdot h^{\hat{p}} \quad (5.21)$$

$$f_2 = \bar{f} + g_p \cdot (r \cdot h)^{\hat{p}} \quad (5.22)$$

$$f_3 = \bar{f} + g_p \cdot (r^2 \cdot h)^{\hat{p}} \quad (5.23)$$

Lokalno gledan red natančnosti \hat{p} se bo ujemal s formalnim redom natančnosti p , če bodo členi višjih redov majhni. Če odštejemo f_2 od f_3 in f_1 od f_2 , dobimo:

$$f_3 - f_2 = g_p \cdot (r^2 \cdot h)^{\hat{p}} - g_p \cdot (r \cdot h)^{\hat{p}} = g_p \cdot r^{\hat{p}} \cdot h^{\hat{p}} \cdot (r^{\hat{p}} - 1) \quad (5.24)$$

$$f_2 - f_1 = g_p \cdot (r \cdot h)^{\hat{p}} - g_p \cdot h^{\hat{p}} = g_p \cdot h^{\hat{p}} \cdot (r^{\hat{p}} - 1) \quad (5.25)$$

Če enačbo 5.24 delimo z enačbo 5.25, dobimo:

$$\frac{f_3 - f_2}{f_2 - f_1} = r^{\hat{p}} \quad (5.26)$$

S pomočjo logaritmiranja izrazimo \hat{p} :

$$\hat{p} = \frac{\ln\left(\frac{f_3 - f_2}{f_2 - f_1}\right)}{\ln(r)} \quad (5.27)$$

Oceno Richardsonove ekstrapolirane vrednosti za eksaktno rešitev \bar{f} (enačba) lahko zapišemo v odvisnosti od opazovanega reda natančnosti \hat{p} : [16]

$$\bar{f} = f_h + \frac{f_h - f_{rh}}{r^{\hat{p}} - 1} \quad (5.28)$$

Vedeti moramo, da lahko pričakujemo natančno ekstrapolirano vrednost (enačba 5.28) le, če se opazovan red natančnosti ujema s formalnim redom natančnosti numerične sheme. Prav tako morajo biti vse tri rešitve v asimptotičnem območju. Kako je definirano asimptotično območje ter kdaj vrednosti ležijo znotraj asimptotičnega območja bo opisano v naslednjem poglavju. Členi višjih redov v enačbah 5.18—5.20 morajo biti majhni. Če v praksi uporabimo lokalno opazovan red natančnosti za oceno ekstrapolirane vrednosti, potem mora ležati znotraj območja: [16]

$$0,5 \leq \hat{p} \leq p_f \quad (5.29)$$

Pri tem je formalni red natančnosti diskretizacijske sheme. Če je opazovan red natančnosti večji od formalnega reda, potem je lahko ocena napaka diskretizacija podcenjena. Če pa se \hat{p} približuje vrednosti 0, potem raste ocena ekstrapolirane vrednosti brez meje. [16]

5.5.4 Roachejev indeks konvergence mreže (GCI)

V preteklosti so avtorji pogosto predpostavljali, da je ocena napake diskretizacije enaka relativni razliki med dvema diskretnima rešitvama, pridobljenima na različnih mrežah:

$$E = \frac{f_2 - f_1}{f_1} \quad (5.30)$$

Pri tem je f_1 rešitev na fini mreži, f_2 pa na grobi. Ta reaktivna razlika je lahko zelo zavajajoča, ko ocenjujemo napako. Oceno relativne napake diskretizacije RDE (Relative discretization error) za splošno Richardsonovo ekstrapolacijo lahko zapišemo kot:

$$RDE_1 = \frac{f_1 - \bar{f}}{\bar{f}} = \frac{f_1 - \left(f_1 + \frac{f_1 - f_2}{r^{p-1}} \right)}{f_1 + \frac{f_1 - f_2}{r^{p-1}}} = \frac{f_2 - f_1}{f_1 \cdot r^p - f_2} \quad (5.31)$$

Za primer vzemimo dve numerični rešitvi. Opazovana vrednost f , ki nas zanima, ima vrednost 20 na fini ter 21 na grobi mreži. Relativna razlika med rešitvama znaša 5 %. Pri prvem primeru imamo shemo tretjega reda natančnosti in faktor zgostitve $r = 2$. Iz enačbe 5.31 izračunamo oceno napake diskretizacije, ki znaša 0,71 %. Pri drugem primeru imamo shemo prvega reda natančnosti ter faktor zgostitve mreže $r = 1,5$. Ocenjena napaka diskretizacije v tem primeru znaša 9,1 %. Relativna razlika 5 % pri dveh rešitvah lahko predstavlja zelo različni vrednosti relativne napake diskretizacije glede na red natančnosti sheme in faktorja zgostitve mreže. Za oceno napake diskretizacije moramo zato upoštevati ta dva parametra. Da bi preprečili napačno uporabo relativne razlike dveh diskretnih rešitev za oceno napake je Roache [18] razvil indeks konvergence mreže GCI (Grid convergence index).

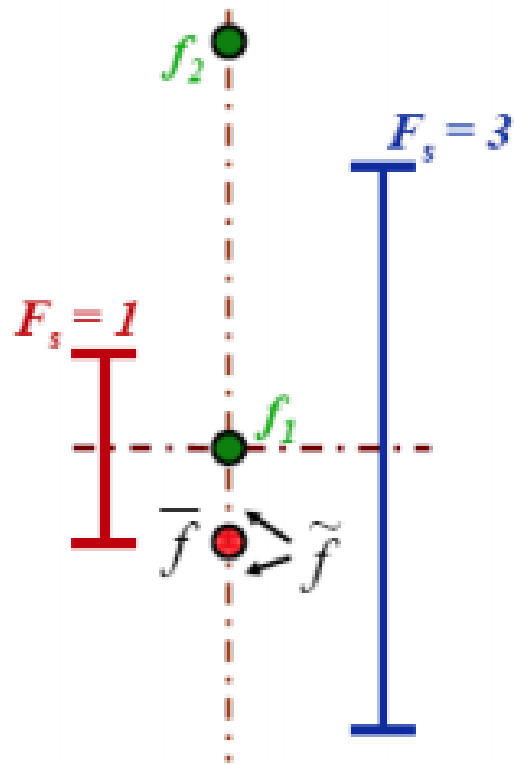
Definicija

Roache [18] je predstavil indeks konvergence mreže, ali krajše GCI. Roachejev cilj je zasnovati metodo, ki dosega 95 % gotovost (torej predstavlja konservativno oceno negotovosti v 19 od 20 primerih). Metoda GCI je zasnovana na relativni razliki med dvema diskretnima rešitvama, upošteva pa tudi koeficient zgoščanja mreže in red natančnosti. GCI prav tako pretvori oceno napake diskretizacije v oceno negotovosti s pomočjo absolutne vrednosti. Roache [18] je GCI na fini mreži je definiral kot:

$$GCI = \frac{F_s}{r^p - 1} \left| \frac{f_1 - f_2}{f_1} \right| \quad (5.32)$$

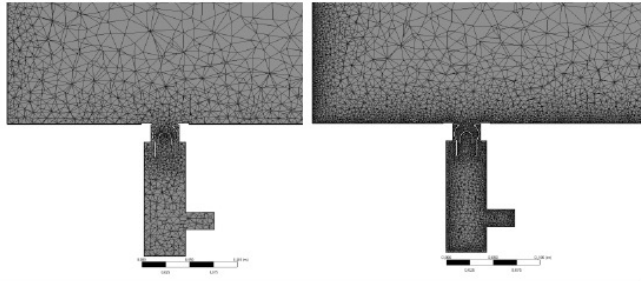
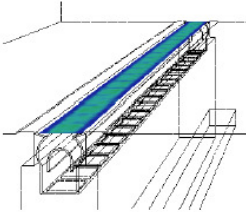
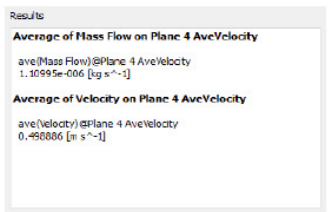
F_s v enačbi predstavlja varnostni faktor. Če imamo na voljo le dve diskretni rešitvi, potem uporabimo formalni red natančnosti in varnostni faktor $= 3$. Če imamo na voljo tri diskretne rešitve, lahko izračunamo opazovan red natančnosti. V takšnem primeru imamo možnost uporabiti manj konservativen varnostni faktor $= 1,25$. Na podlagi GCI dobimo oceno relativne negotovosti za rezultate na fini mreži. Na primer, če imamo vrednost GCI 0,15, to predstavlja 15 % negotovost rezultatov na fini mreži. Za to oceno moramo zagotoviti sistematično zgoščanje mreže.[16]

Pomembno je, da v oceno GCI vključimo varnostni faktor. GCI temelji na Richardsonovi ekstrapolirani vrednosti, ki je že sama ocena eksaktne rešitve matematičnega problema. Ne vemo pa, če je ocenjena eksaktna rešitev nad ali pod eksaktno rešitvijo matematičnega modela. Na sliki 124 sta prikazani dve numerični rešitvi (f_1 in f_2) ter ocenjena eksaktna rešitev \bar{f} na podlagi Richardsonove ekstrapolacije in eksaktna rešitev \tilde{f} . V splošnem je enaka možnost, da je eksaktna rešitev nad ali pod ocenjeno vrednostjo. Pri varnostnem faktorju $F_s = 1$ bo torej le 50% verjetnost, da je eksaktna rešitev \tilde{f} znotraj območja negotovosti. Večanje varnostnega faktorja tako povečuje verjetnost, da bo eksaktna rešitev \tilde{f} znotraj območja negotovosti. Zanesljivost napake diskretizacije ali ocene negotovosti pa lahko določimo le, če imajo diskretne rešitve asimptotično naravo. Če so rešitve precej izven asimptotičnega območja, potem bo najbrž tudi ocena napake ali negotovosti slaba. V takšnem primeru ne moremo določiti varnostnega faktorja, za katerega bi lahko trdili, da je konservativen.[16]



Slika 129: Varnostni faktor pri GCI[19]

5.5.5 *Primer preračuna v primeru modela linijskega difuzorja LT451*

prostornina modela m ³	V ₁	1,0066		
	V ₂	1,0066		
	V ₃	1,0066		
število elementov mreže Mesh Statistics Elements kos	N ₁	24158383		
	N ₂	7604765		
	N ₃	3404953		
povprečna hitrost zraka Average of Velocity m/s	Φ ₁	0,5504		
	Φ ₂	0,4989		
	Φ ₃	0,5055		
določitev reprezentativne velikosti elementa računske mreže h	h ₁	0,0035	h ₁ =V ₁ /N ₁	$h = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta V_i) \right]^{1/3}$ $h_1 < h_2 < h_3$ $h_{redka} / h_{gosta} > 1,3$
	h ₂	0,0051	h ₂ =V ₂ /N ₂	
	h ₃	0,0067	h ₃ =V ₃ /N ₃	

	r_{21}	1,4700	$r_{21}=h_2/h_1$	$r_{21}=h_2/h_1, r_{32}=h_3/h_2$	
	r_{32}	1,3071	$r_{32}=h_3/h_2$		
razlike v vrednostih ciljnega parametra Φ med različnimi mrežami	ϵ_{21}	-0,0515	$\epsilon_{21}=\Phi_2-\Phi_1$	$\epsilon_{32}=\phi_3-\phi_2, \epsilon_{21}=\phi_2-\phi_1$	
	ϵ_{32}	0,0066	$\epsilon_{32}=\Phi_3-\Phi_2$		
nelinearni sistem za določitev reda p navadna iteracijskometoda	$\epsilon_{32}/\epsilon_{21}$	-0,1279		$s = 1 \cdot \text{sign}(\epsilon_{32} / \epsilon_{21})$	
	s	-1	$s=1 \cdot \text{sign}(\epsilon_{32}/\epsilon_{21})$	$\text{sign}(x) := \begin{cases} -1 & \text{if } x < 0, \\ 0 & \text{if } x = 0, \\ 1 & \text{if } x > 0. \end{cases}$	
	p	4,2897		$p = \frac{1}{\ln(r_{21})} \ln \epsilon_{32} / \epsilon_{21} + q(p) $	
	q(p)	0,4037	$q(p)=\ln((r_{21}^p-s)/(r_{32}^p-s))$	$q(p) = \ln\left(\frac{r_{21}^p - s}{r_{32}^p - s}\right)$	
ekstrapolirana vrednost za mreži 2 in 1	Φ_{ext}^{21}	0,5626	$\Phi_{\text{ext}}^{21}=(r_{21}^p \cdot \Phi_1 - \Phi_2)/(r_{21}^p - 1)$	$\phi_{\text{ext}}^{21} = (r_{21}^p \phi_1 - \phi_2) / (r_{21}^p - 1)$	
približna relativna napaka	e_a^{21}	9,36%	$e_a^{21}=\text{abs}((\Phi_1-\Phi_2)/\Phi_1)$	$e_a^{21} = \left \frac{\phi_1 - \phi_2}{\phi_1} \right $	
ekstapolirana relativna napaka	e_{ext}^{21}	2,17%	$e_a^{21}=\text{abs}((\Phi_{\text{ext}}^{12}-\Phi_1)/\Phi_{\text{ext}}^{12})$		
indeks konvergence redke mreže	$\text{GCI}_{\text{fine}}^{21}$	2,77%	$\text{GCI}_{\text{fine}}^{21}=(1,25 \cdot e_a^{21})/(r_{21}^p - 1)$		
ekstrapolirana vrednost za mreži 3 in 2	Φ_{ext}^{32}	0,4958	$\Phi_{\text{ext}}^{32}=(r_{32}^p \cdot \Phi_3 - \Phi_2)/(r_{32}^p - 1)$	$e_{\text{ext}}^{21} = \left \frac{\phi_{\text{ext}}^{12} - \phi_1}{\phi_{\text{ext}}^{12}} \right $	
približna relativna napaka	e_a^{32}	1,32%	$e_a^{32}=\text{abs}((\Phi_2-\Phi_3)/\Phi_2)$	$\text{GCI}_{\text{fine}}^{21} = \frac{1.25 e_a^{21}}{r_{21}^p - 1}$	
ekstapolirana relativna napaka	e_{ext}^{23}	0,62%	$e_a^{23}=\text{abs}((\Phi_{\text{ext}}^{23}-\Phi^2)/\Phi_{\text{ext}}^{23})$		
indeks konvergence goste mreže	$\text{GCI}_{\text{large}}^{23}$	0,77%	$\text{GCI}_{\text{large}}^{23}=(1,25 \cdot e_a^{23})/(r_{23}^p - 1)$		
Numerična negotovost izračuna je		2,77%			

6 DISKUSIJA

Prezračevanje v sodobnem bivalnem okolju je nujno, na tržišču pa kljub temu, da se je vgradnja prezračevalnih sistemov zelo razmahnila ni veliko estetsko oblikovanih končnih distribucijskih elementov, kot je v tem primeru linijski difuzor.

V magistrski nalogi je obdelano področje gibanja zraka pri vpihu skozi sistemsko ploščo in linijski difuzor v prostor. Jedro naloge je primerjalna analiza linijskega difuzorja LT451, ki ga pri vgradnji uporablja podjetje Schütz in difuzorja LD15, ki sem ga konstruiral sam.

Povod za razvoj in izdelavo novega linijskega difuzorja je bil predvsem iz funkcijskega in estetskega vidika oblikovanja interjerja prostora. Do sedaj se v tovrstne rešitve dovajanja zraka v nivoju tal pri sistemu Airconomy uporabljajo linijski difuzorji tipa LT451, ki pa so v svoji osnovi stenske, oz. stropne izvedbe. So oblikovno različni v tem, da imajo usmerjevalne valjčke, ki imajo funkcijo usmerjanja zračnega toka. To se uporablja predvsem pri vpihu iz stropu, kje je potrebno vpih horizontalno usmeriti. Prav tako so linijski difuzorji LT451 nepohodni in so namenjeni za nadometno vgradnjo.

Linijski difuzor LD15 je sestavljen iz aluminijskega profila in nosilne podkonstrukcije in postavljen v vpihvalno komoro. Poravnan s finalnim podom in na tak način pohoden.

Cilj naloge je bilo obdelati problem gibanja zraka skozi komoro in difuzor v prostor. Analizirati kaj se pri prehodu zraka dogaja znotraj obravnavanega področja in kakšne karakteristike zraka dobimo na samem izhodu iz difuzorja. Primerjati rezultate obeh tipov difuzorjev LT451 in LD15 in ugotoviti razlike in izboljšave.

Analiza se je razdeljena na tri sklope, in sicer so v njej obdelane in analizirane razmere hitrosti zraka, tlaka in turbulentno kinetične energije.

Hitrosti zraka skozi "novi" linijski difuzor LD15 je večja, predvsem zaradi vitkejšje konstrukcije. Prosti presek vpihvalne površine se je zmanjšal in po predpostavki da gre v obeh primerih za enako količino dovedenega zraka ter enako hitrost na vstopu v

vpihovalno komoro, je rezultat večja hitrost na izstopni površini. Oba linijska difuzorja tako "stari" LD451, kot "novi" LD15 imata pozicijo vpiha na istem višinskem nivoju, in sicer na nivoju finalnega poda v prostoru. Odmik vpihovalnega mesta je 15 cm od zunanje stene, kar pa v večini primerov v praksi predstavlja zunanjo stekleno steno. Večja hitrost na izstopu iz difuzorja v prostor ima ugodnejše učinke na zmanjševanje toplotnega vpliva zunanje steklene stene na prostor. Zračni curek je v primeru uporabe linijskega difuzorja LD15 vertikalni, ima večji dolet in se prav tako kot v primeru "starega" LD451 ukloni proti zunanji steni. Tok svežega dovedenega zraka torej potuje vertikalno ob stekleni steni proti stropu prostora.

Razlika tlačnih razmer v analizi obeh primerov linijskih difuzorjev je vidna predvsem na izstopu zraka iz difuzorja v prostor ter v vpihovalni komori. Zaradi manjšega prostega preseka dobimo pri "novem" linijskem difuzorju LD15 večje tlačne padce v vpihovalni komori. Razlike so v analizi vidne, vendar pa vrednosti ne vplivajo na učinkovitost prezračevalnega sistema. Na izstopu iz difuzorja v prostor pa ima zračni curek "novega" linijskega difuzorja LD15 večji tlačni vpliv v prostor. Posledica tega je močnejši snop dovedenega zraka v prostor in večji vertikalni dolet.

Poleg razlik v hitrostnih razmerah, so največje razlike v analizi opažene pri turbulentno kinetični energiji. Razlika v geometriji med difuzorjem LD15 in LT451 je velikosti profila ter usmerjevalnih valjčkov, ki jih vsebuje difuzor LT451. Iz primerjalne analize je razvidno, da so v primeru "starega" linijskega difuzorja LT451 prisotna večja območja turbulenc. Mesta kjer se ta področja pojavijo so ravno ob usmerjevalnem valjčku. V tem področju zračni tok ni laminaren, pojavijo se vrtinci in posledica tega je povečano polje turbulenc. Ustje profila se na tem mestu zoži in zrak potuje levo in desno ob usmerjevalnem valjčku v zgornji del difuzorja. Teh zožitev pa v konstrukciji "novega" linijskega difuzorja ni. Vstopni kanal difuzorja je po preseku konstanten, tok zraka dobi v tem območju laminarno obliko. Turbulentnih polj praktično ni zaznati in so v primerjavi s "starim" difuzorjem LT451 bistveno manjša. Pojavijo se le v manjši meri na izstopnem cilindričnem delu profila. Z vidika manjših turbulentnih področij znotraj profila, predstavlja "novi" linijski difuzor LD15, napredek v razvoju. S tem se zmanjšujejo področja, ki bi lahko bila neugodna za povečanje šumnosti, kar pa je pglavitnega pomena

pri sistemu Airconomy. Zagotavljati učinkovito, nemoteče in neslišno prezračevanje bivalnih con.

V analizi je poleg območja linijskih difuzorjev analiziran tudi del prostora na mestu vpiha, in sicer v velikosti kocke s stranico enega metra. V primeru "starega" linijskega difuzorja LT451 je pojavijo manjša turbulentna področja tudi v prostoru samem, in sicer na nivoju tal v smeri notranjosti prostora. Na tem mestu prihaja do lokalnih vrtincev zraka, kar pa za razliko od "starega" pri "novem" v analizi ni zaznati. V primeru "novega" linijskega difuzorja LD15 v analiziranem vzorčnem delu prostora teh vrtincev ob vpišovalnem mestu ni zaznati.

Preden zrak vstopi v komoro linijskega difuzorja se giblje skozi sistemsko ploščo. Plošča je bila predmet drugega sklopa analize, in sicer je v nalogi obdelana simulacija prehoda zraka skozi ploščo. Po celotni dolžini sistemske plošče je s programskim orodjem simulirana sprememba v hitrosti zraka, tlačni padec ter prenos toplote. Dovedeni zrak v tem segmentu izgubi na hitrosti, in pridobi na temperaturi, saj estrih z zgornje strani plošče dodatno ogreje, oziroma pohladi (v režimu hlajenja) zrak. Sistemske plošče predstavljajo zelo učinkovit dušilec zvoka. Na celotni dolžini treh plošč se šumnost občutno zmanjša in se le ta ne prenaša iz kanalske mreže v vpišovalno komoro, v kateri je vgrajen linijski difuzor.

Zadnji sklop obravnava prostor, in sicer gibanje zraka skozi prostor od vpiha pa vse do vleka. S programom ANSYS je izračunano in predstavljeno gibanje zraka skozi prostor, vpliv hitrosti gibanja zraka na ugodnost bivanja ter vpliv temperaturnih učinkov na bivalno okolje. Analiza na prostorskem modelu prikaže gibanje zračnih tokov in mas po celotnem prostoru. Hitrosti gibanja zraka v bivalni coni je v zelenih mejah, zamenjava zraka celotnega volumna prostora pa zagotovljena. Primerjava uporabe obeh tipov difuzorjev na same razmere v prostoru nima bistvenih vplivov. Na osnovi temperaturnih in hitrostnih primerjalnih analiz je ugotovljeno, da nimamo bistvenih odstopanj.

7 SKLEP

Izbira programskega orodja ANSYS z CFD analizo se je izkazala za zelo učinkovit moderen pristop pri primerjavi dveh sorodnih izdelkov. S tem pristopom dobimo nek inženirski občutek in idejo kje je možno stvari še izboljšati in razvijati še naprej.

Rezultati so pokazali, da je vpih zraka v prostor lepo razporejen po celotni dolžini profila linijskega difuzorja LD15. Na vpihu dobimo vertikalno usmerjen laminaren zračni tok, ki se z višino ukloni proti zunanji steni. Znotraj komore hitrost zraka pade in dobimo področja turbulentnega toka, še posebej na mestu kjer je nosilna konstrukcija. Vendar to bistveno ne vpliva na zračni tok vpiha v prostor. Dobili smo homogeno področje vpiha, kar zelo ugodno vpliva na sam sistem prezračevanja, ki je specifičen v tem, da je vpih zraka v nivoju tal.

Razlike med difuzorjema se vidijo predvsem v hitrosti zraka na izstopu, in sicer je pri "novem" LD15 hitrost večja in se zračni snop kasneje ukloni proti zunanji steni. Znotraj difuzorja je prisotnih bistveno manj turbulentnih con kot pri "starem" LT451. Tok zraka je laminaren in ugoden tudi s strani šumnosti.

Razlike torej obstajajo vendar so minimalne in nimajo bistvenega vpliva na celoten prezračevalni sistem Airconomy. Nova geometrija linijskega difuzorja LD15 lahko predstavlja osnovo za nadaljnje raziskave pri razvoju novih tipov difuzorjev pohodne izvedbe.

8 SEZNAM UPORABLJENIH VIROV

- [1] Špegel Robert. Prezračevanje in klimatizacija poslovnih prostorov. Maribor. Magistrsko delo. Fakulteta za energetiko. 2010
- [2] Štravs Boštjan. Primerjalna analiza izpodrivnega prezračevanja. Maribor. Diplomsko delo. Fakulteta za strojništvo. 2009
- [3] <https://www.airconomy.net>
- [4] RWE Bauhandbuch, Ausgabe 14
- [5] Technische Information. Das system. SCHÜTZ GmbH & Co. KGaA, Selters – Juni 2014
- [6] Technische Information. Sichtteile. SCHÜTZ GmbH & Co. KGaA, Selters – Juni 2014
- [7] Technische Information. Planung. SCHÜTZ GmbH & Co. KGaA, Selters – Juni 2014
- [8] Technische Information. Anwendungsbereiche. SCHÜTZ GmbH & Co. KGaA, Selters – Juni 2014
- [9] Technische Information. systemleistung. SCHÜTZ GmbH & Co. KGaA, Selters – Juni 2014
- [10] Linijski difuzorji, Spirokanalni difuzorji, Hidria
- [11] Maher Jernej. Analiza vpliva vetra na strešno konstrukcijo Motodroma Petrolija. Maribor. Diplomsko delo. Fakulteta za gradbeništvo. 2011
- [12] Alujevič Andro, Leopold Škerget. Prenos toplote. Maribor. 1990
- [13] Leopold Škerget. Prenosni pojavi. Del 1, Prenos gibalne količine in snovi. Maribor. 2015
- [14] Marn Jure. Termodinamika. Maribor. 2006
- [15] Medved Sašo. Toplotna tehnika v zgradbah. Ljubljana. 1993
- [16] Jure Šantl. Analiza vpliva prostorske diskretizacije metode končnih elementov na natančnost numeričnih rezultatov. Maribor. Magistrsko delo. Fakulteta za strojništvo. 2015.
- [17] Examining Spatial (Grid) Convergence [svetovni splet]. NASA. Dostopno na WWW: <http://www.grc.nasa.gov/WWW/wind/valid/tutorial/spatconv.html> [10. 5. 2014]
- [18] P. J. Roache. Perspective: A Method for Uniform Reporting of Grid Refinement Studies. Journal of Fluids Engineering, Vol. 116, 405-413, 1994
- [19] C. J. Roy. Review of Code and Solution Verification Procedures for Computational Simulation. Journal of Computational Physics, Vol. 205, No. 1, 2005, pp. 131-156., 2005

9 PRILOGE

Projekt strojnih instalacij sistema Airconomy vključuje preračun, dimenzioniranje prezračevanja, talnega ogrevanja/hlajenja ter tehničnega prostora.

Podatki preračuna VPW2100
ID 2015-05-06 09:08:27

Izbrana lokacija Klimatske podatke zagotavlja METEONORM.
Slovenia - Celje

Novogradnja
 Obstoječa hiša ali obstoječa poraba **Poraba energije**

Maksimalna moč za ogrevanje kW pri ceni električnega toka EUR/kWh .

Topa sanitarna voda

tevilo gospodinjstev s sobno temperaturo. °C
tevilo oseb. z Prha Kopalna kad Masažna kad vsota kWh

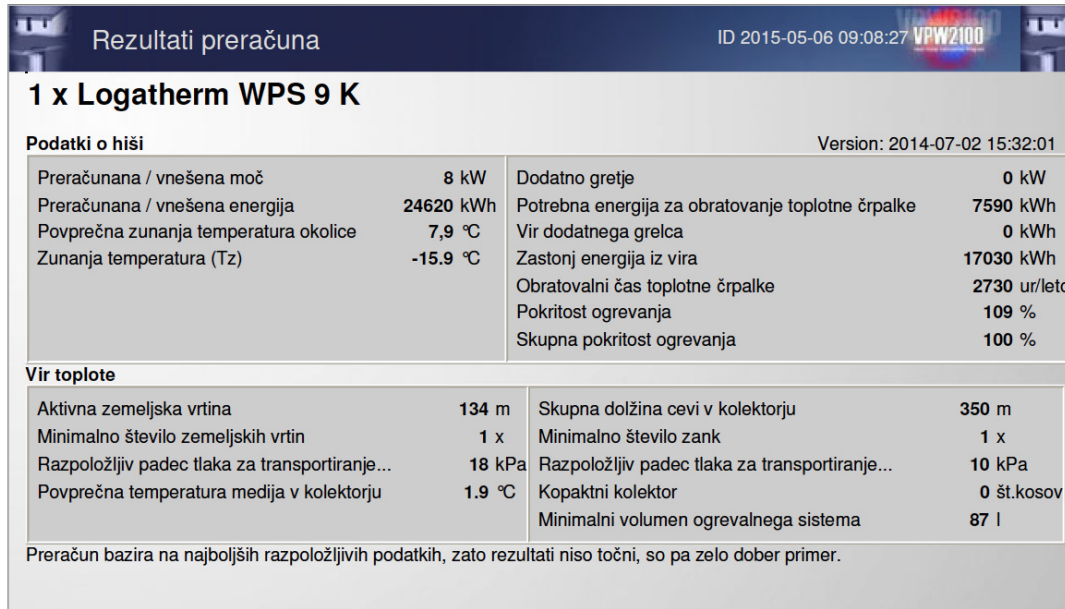
Vrsta toplotne črpalke

Zemlja/voda Zrak/voda
 Ročna izbira

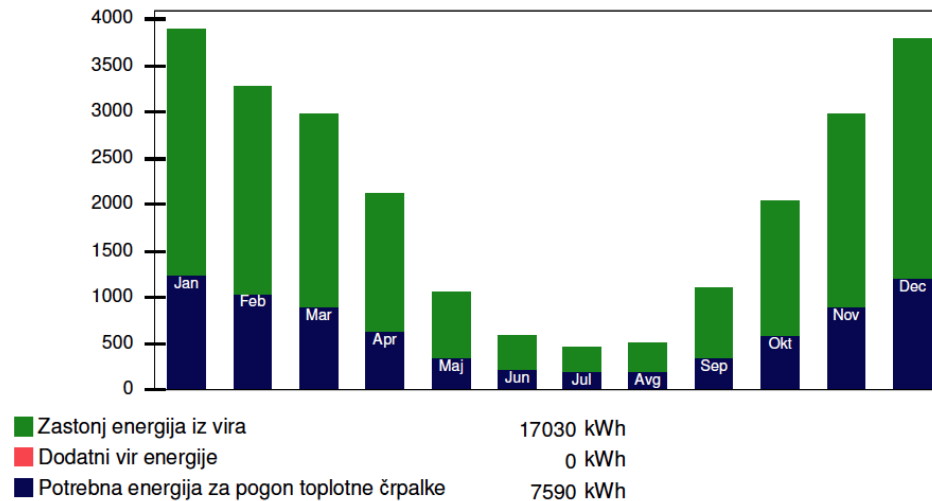
Stanje zemlje Pipe type and brine liquid

Ogrevalni sistem

Temperatura predtoka °C pri zunanji temperaturi. °C Notranji dobitki v hiši °C
 Zahtevana moč % Temperatura tekočine v kolektorju °C



Poraba energije [kWh/mesec]



Stolpčni diagram prikazuje mesečno razporeditev porabe energije skozi običajno leto. Opomba: odstopanja po potrebi energije so različna od leta do leta.

Letna poraba energije		ID 2015-05-06 09:08:27	VPW2100
S toplotno črpalko			
Oddana energija toplotne črpalke		24620 kWh	
Dodatni vir toplote (električni grelec)		0 kWh	
Koristna količina energije		24620 kWh	
<hr/>			
Energija potrebna za pogon toplotne črpalke		7590 kWh	
Dodatni vir toplote (električni grelec)		0 kWh	
Skupna količina zakupljene energije vključno s toplotno črpalko		7590 kWh	
<hr/>			
Obnovljiva energija (zastoj energija iz vira okolice)		17030 kWh	

Letni stroški (obratovalni stroški)		ID 2015-05-06 09:08:27	VPW2100
Letni stroški s toplotno črpalko			
Potrebna energija za pogon toplotne črpalke		835 EUR	
Dodatni vir toplote (električni grelec)		0 EUR	
Skupni letni stroški s toplotno črpalko		835 EUR	

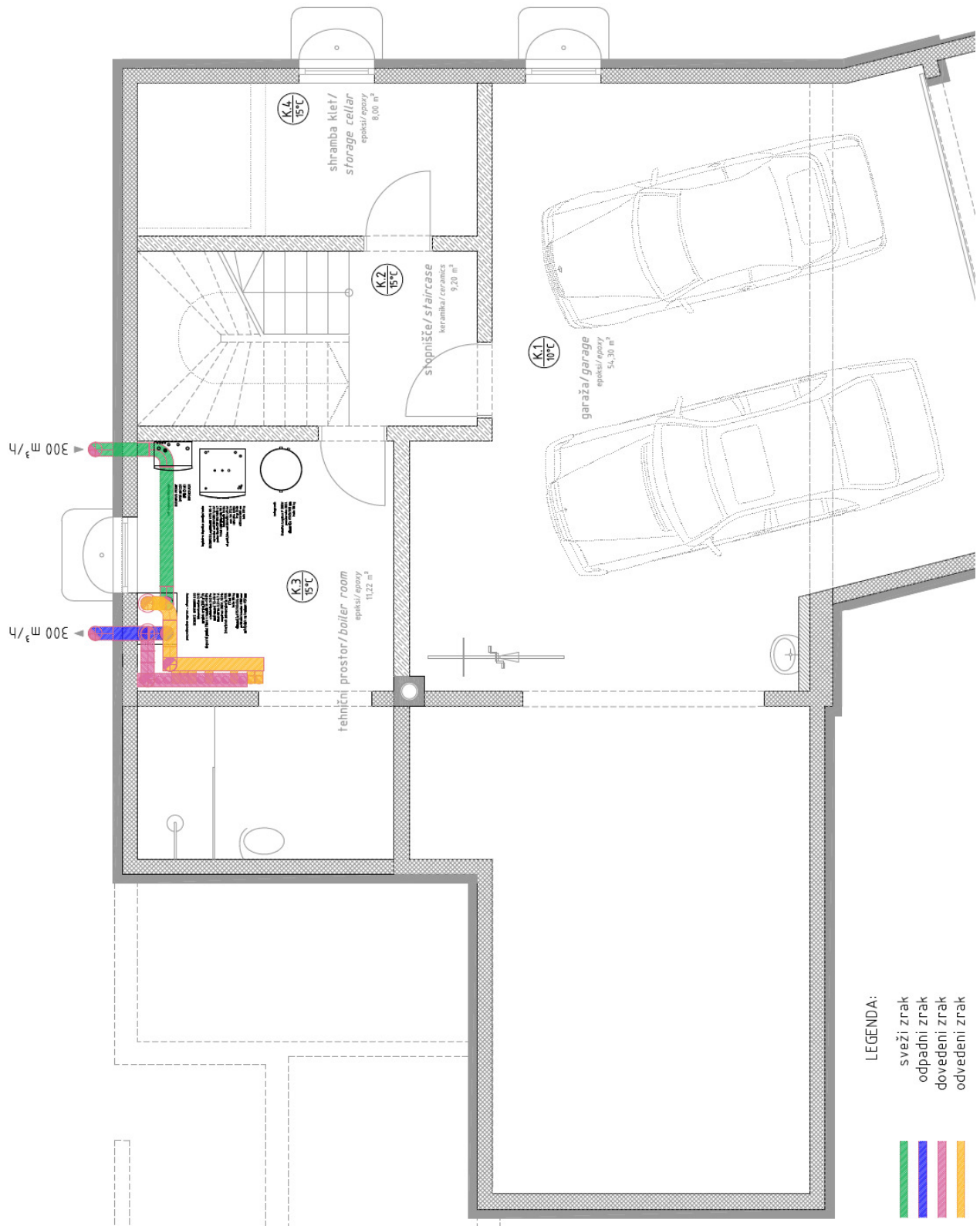
Preračun bazira na najboljših razpoložljivih podatkih, zato rezultati niso točni, so pa zelo dober primer.

Slika 130: Preračun porabe energije skozi celo leto in določitev toplotne črpalke

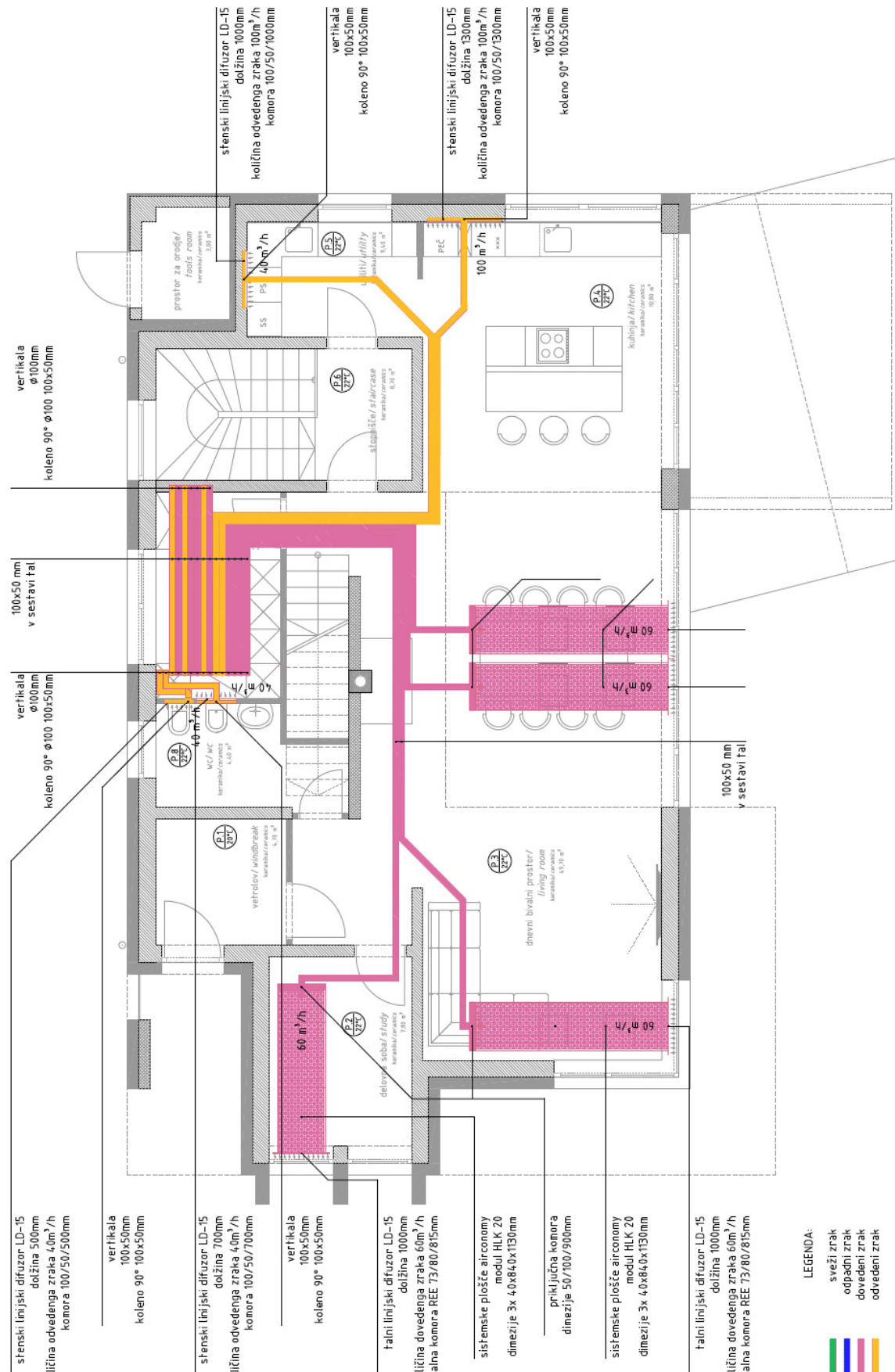
SESTAVA TOPLOTE/HLADU - AIRCONOMY (PREZRACEVANJE)

projek: stanovanjska hiša BREČKO

število / number	prostor	area	etaža	floor	temp. prostora	postojna	volumen	gled./ / hladilni element	system	število vj.	izračunani število vj.	zbrana	dolžina zask. v prostoru	razdelje do razdelilca	skupna dolžina zask.	dolžina posamezne zanke	toplotna moč / heating	hladilna moč / cooling	temo pogostost	iznosnosti	iznosnosti	razdelilce	manifold
K.2	stopenjske	staircase	klet	basement	20	9,20	26,04	talno grelno/hlajenje	heating/cooling	1,2	1	1	92	1	94	94	368	-230	1	1	ST02	R01	
K.3	stronica, tehnični prostor	boiler room	klet	basement	20	11,22	31,75	talno grelno/hlajenje	heating/cooling	1,4	1	1	112	1	114	115	449	-281	1	1		R01	
razdelilce / manifold																							
P.1	vetrolow	portico	prilije	ground floor	20	4,70	11,89	airconomy grelno/hlajenje	airconomy heating/cooling	0,6	1	1	16	4	24	24	188	-118	1	1	ST03	R02	
P.2	delovna soba	study	prilije	ground floor	22	7,80	19,73	airconomy grelno/hlajenje	airconomy heating/cooling	1,0	1	1	26	5	36	36	288	-185	1	1	ST04	R02	
P.3	delovno bivalni prostor	living room	prilije	ground floor	22	49,70	125,74	airconomy grelno/hlajenje	airconomy heating/cooling	6,2	6	6	497	4	545	549	1.988	-1.243	6	1	ST05	R02	
P.4	kuhinja	kitchen	prilije	ground floor	22	10,80	27,32	airconomy grelno/hlajenje	airconomy heating/cooling	1,4	2	2	108	2	116	58	432	-270	2	2		R03	
P.5	utiliti	utility	prilije	ground floor	18	9,40	23,78	airconomy grelno/hlajenje	airconomy heating/cooling	1,2	1	1	94	5	104	104	376	-235	1	1	ST06	R03	
P.6	stopenjske	staircase	prilije	ground floor	22	3,91	9,89	airconomy grelno/hlajenje	airconomy heating/cooling	0,5	1	1	39	1	41	41	156	-86	1	1	ST07	R03	
P.7	gardsnoba	wardrobe	prilije	ground floor	22	7,70	19,48	airconomy grelno/hlajenje	airconomy heating/cooling	1,0	1	1	77	1	79	79	308	-193	1	1	ST08	R02	
P.8	drveni wc	wc	prilije	ground floor	22	4,40	11,13	airconomy grelno/hlajenje	floor heating	0,6	1	1	15	1	17	17	176	-193	1	1	ST09	R02	
razdelilce / manifold																							
ground floor																							
														14	961	3.936	-2.950	14	7				
														9	2.972	964	-1.748						
														5			-693						
R02																							
R03																							
R04																							
R05																							
R06																							
R07																							
R08																							
R09																							
R10																							
R11																							
R12																							
R13																							
R14																							
R15																							
R16																							
R17																							
R18																							
R19																							
R20																							
R21																							
R22																							
R23																							
R24																							
R25																							
R26																							
R27																							
R28																							
R29																							
R30																							
R31																							
R32																							
R33																							
R34																							
R35																							
R36																							
R37																							
R38																							
R39																							
R40																							
R41																							
R42																							
R43																							
R44																							
R45																							
R46																							
R47																							
R48																							
R49																							
R50																							
R51																							
R52																							
R53																							
R54																							
R55																							
R56																							
R57																							
R58																							
R59																							
R60																							
R61																							
R62																							
R63																							
R64																							
R65																							
R66																							
R67																							
R68																							
R69																							
R70																							
R71																							
R72																							
R73																							
R74																							
R75																							
R76																							
R77																							
R78																							
R79																							
R80																							
R81																							
R82																							
R83																							
R84																							
R85																							
R86																							
R87																							
R88																							
R89																							
R90																							
R91																							
R92																							
R93																							
R94																							
R95																							
R96																							
R97																							
R98																							
R99																							
R100																							
R101																							
R102																							
R103																							
R104																							
R105																							
R106																							
R107																							
R108																							
R109																							
R110																							
R111																							
R112																							
R113																							
R114																							
R115																							
R116																							
R117																							
R118																							
R119																							
R120																							
R121																							
R122																							
R123																							
R124																							
R125																							
R126																							
R127																							
R128																							
R129																							
R130																							
R131																							
R132																							
R133																							
R134																							
R135																							
R136																							
R137																							
R138																							
R139																							
R140																							
R141																							
R142																							
R143																							
R144																							
R145																							
R146																							
R147																							
R148																							
R149																							
R150																							
R151																							
R152																							
R153																							
R154																							
R155																							
R156																							
R157																							
R158																							
R159																							
R160																							
R161																							
R162																							
R163																							
R164																							
R165																							
R166																							
R167																							
R168																							
R169																							
R170																							
R171																							
R172																							
R173																							
R174																							
R175																							
R176																							
R177																							
R178																							
R179																							
R180																							
R181																							
R182																							
R183																							
R184																							
R185																							
R186																							
R187																							
R188																							
R189																							
R190																							
R191																							
R192																							
R193																							
R194																							
R195																							
R196																							
R197																							
R198																							
R199																							
R200																							
R201																							
R202																							
R203																							
R204																							
R205																							
R206																							
R207																							
R208																							
R209																							
R210																							
R211																							
R212																							
R213																							
R214																							
R215																							
R216																							
R217																							
R218																							
R219																							
R220																							
R221																							
R222																							
R223																							
R224																							
R225																							
R226																							
R227																							
R228																							
R229																							
R230																							
R231																							
R232																							
R233																							
R234																							
R235																							
R236																							
R237																							
R238																							
R239																							
R240																							
R241																							
R242																							
R243																							
R244																							
R245																							
R246																							
R247																							
R248																							
R249																							
R250																							
R251																							
R252																							
R253																							
R254																							
R255																							
R256																							
R257																							
R258																							
R259																							
R260																							
R261																							
R262																							
R263																							
R264																							
R265																							
R266																							
R267																							
R268																							
R269																							
R270																							
R271																							
R272																							
R273																							
R274																							
R275																							
R276																							
R277																							
R278																							
R279																							
R280																							
R281																							
R282																							
R283																							
R284																							
R285																							
R286																							
R287																							
R288																							
R289																							
R290																							
R291																							
R292																							
R293																							
R294																							
R295																							
R296																							
R297																							
R298																							
R299																							
R300																							
R301																							
R302																							
R303																							
R304																							
R305																							
R306																							
R307																							
R308																							
R309																							
R310																							
R311																							
R312																							
R313																							
R314																							
R315																							
R316																							
R317																							
R318																							
R319																							
R320																							
R321																							
R322																							
R323																							
R324																							
R325																							
R326																							
R327																							
R328																							
R329																							
R330																							
R331																							
R332																							
R333																							
R334																							
R335																							
R336																							
R337																							
R338																							
R339																							
R340																							
R341																							
R342																							
R343																							
R344																							
R345																							
R346																							
R347																							
R348																							
R349																							
R350																							
R351																							
R352																							
R353																							
R354																							
R355																							
R356																							
R357																							
R358																							
R359																							
R360																							
R361																							
R362																							
R363																							
R364																							
R365																							
R366																							
R367																							
R368																							
R369																							
R370																							
R371																							
R372																							
R373																							
R374																							
R375																							
R376																							
R377																							
R378																							
R379																							
R380																							
R381																							
R382																							
R383																							
R384																							
R385																							
R386																							
R387																							
R388																							
R389																							
R390																							
R391																							
R392																							
R393																							
R394																							
R395																							
R396																							
R397																							
R398																							
R399																							
R400																							
R401																							
R402																							
R403																							
R404																							
R405																							
R406																							
R407																							
R408																							
R409																							
R410																							
R411																							
R412																							
R413																							
R414																							
R415																							
R416																							
R417																							
R418																							
R419																							
R420																							
R421																							
R422																							
R423																							
R424																							
R425																							
R426																							
R427																							
R428																							
R429																							
R430																							
R431																							
R432																							
R433																							
R434																							
R435																							
R436																							
R437																							
R438																							
R439																							
R440																							
R441																							
R442																							
R443																							
R444																							
R445																							
R446																							
R447																							
R448																							
R449																							
R450																							
R451																							
R452																							
R453																							
R454																							
R455																							
R456																							
R457																							
R458																							
R459																							
R460																							
R461																							



Slika 132: Prezračevanje - klet



stenski linijski difuzor LD-15
dolžina 500mm
količina odvedenega zraka 40m³/h
komora 100/50/500mm

vertikalna
100x50mm
koleno 90° 100x50mm

stenski linijski difuzor LD-15
dolžina 700mm
količina odvedenega zraka 40m³/h
komora 100/50/700mm

vertikalna
100x50mm
koleno 90° 100x50mm

talni linijski difuzor LD-15
dolžina 1000mm
količina dovedenega zraka 60m³/h
talna komora REE 73/80/815mm

sistemske plošče airconomy
modul HLK 20
dimezije 3x 40x840x1130mm

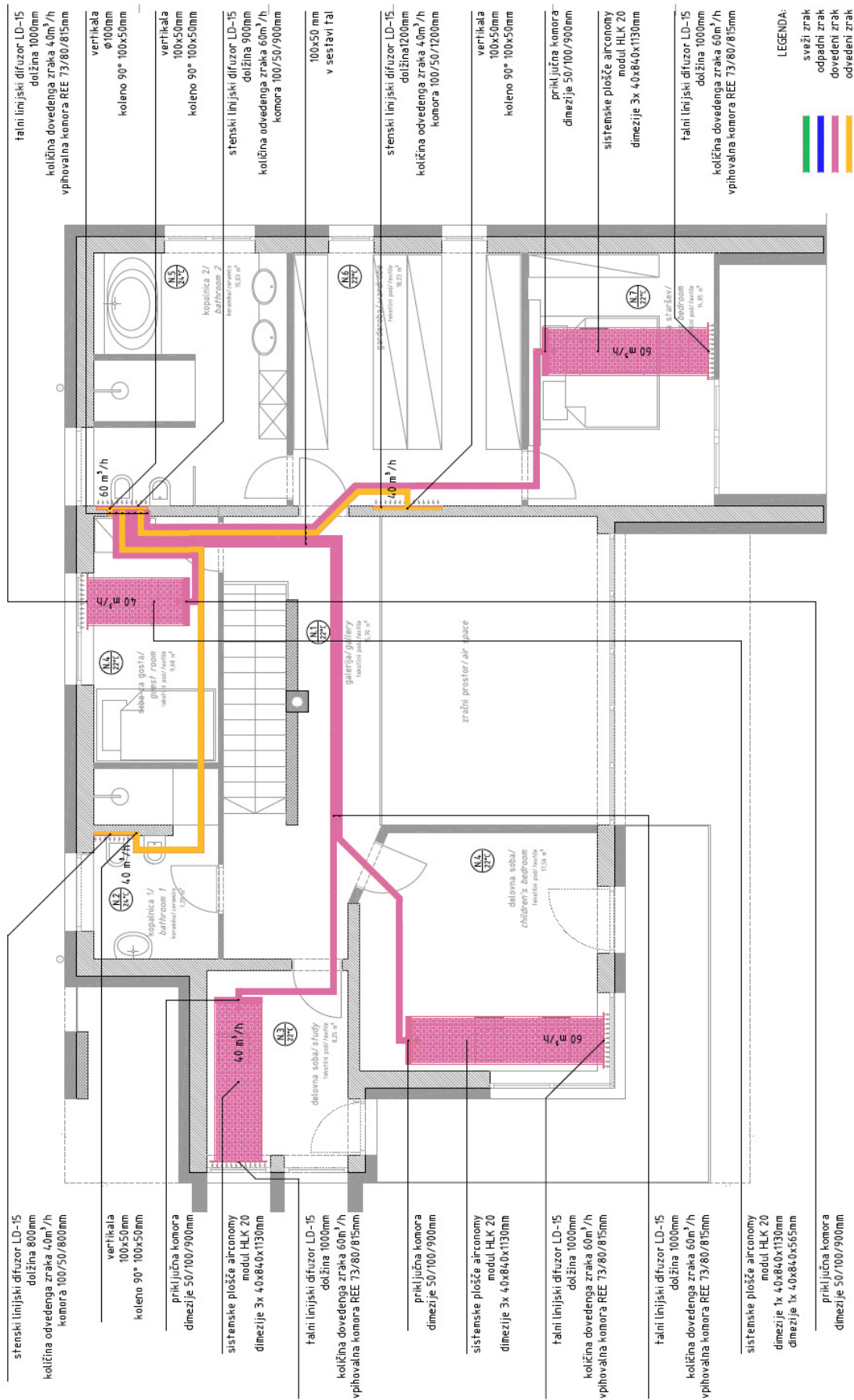
priključna komora
dimezije 50/100/900mm

sistemske plošče airconomy
modul HLK 20
dimezije 3x 40x840x1130mm

talni linijski difuzor LD-15
dolžina 1000mm
količina dovedenega zraka 60m³/h
talna komora REE 73/80/815mm

- LEGENDA:
- █ sveži zrak
 - █ odpadni zrak
 - █ dovedeni zrak
 - █ odvedeni zrak

Slika 133: Prezračevanje - pritličje



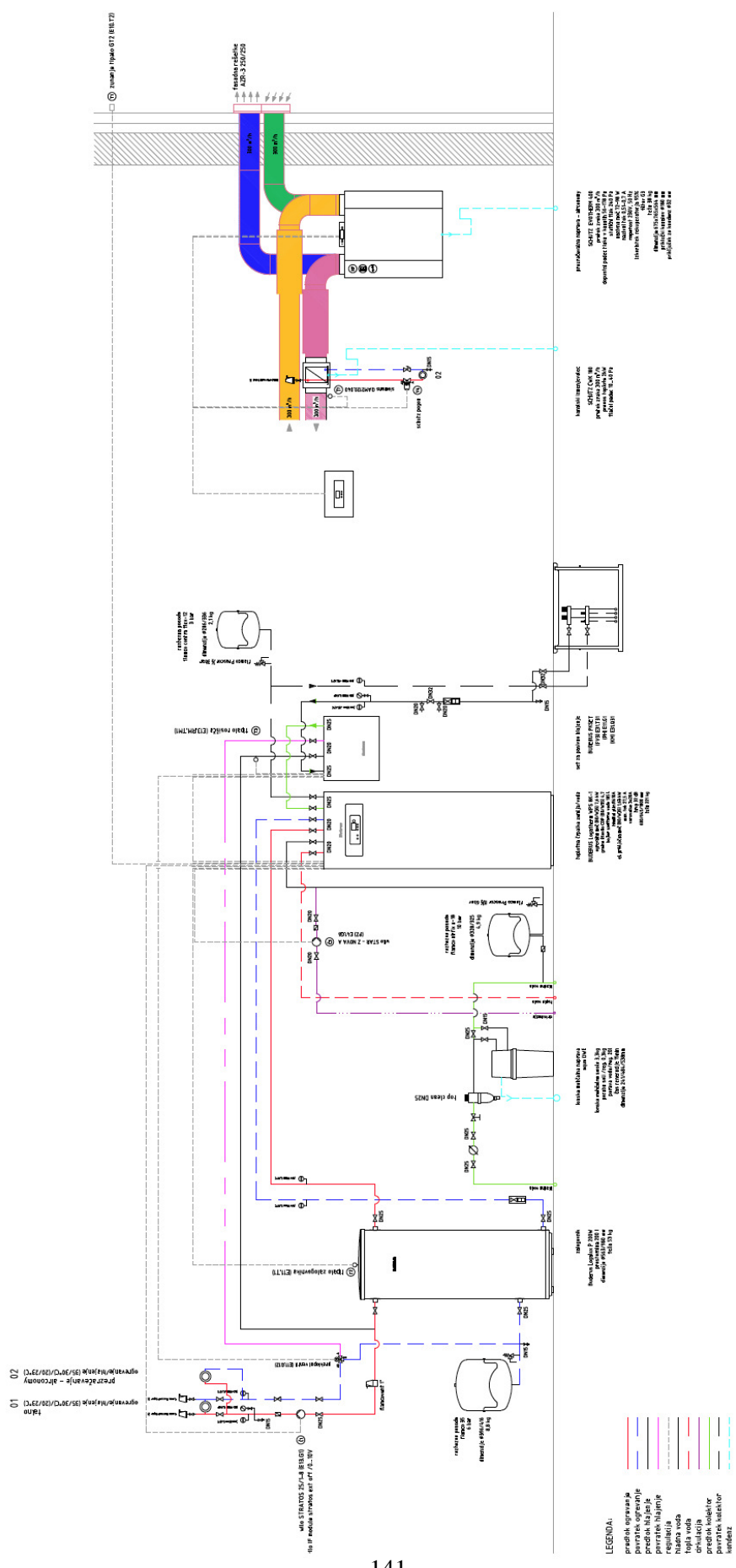
Slika 134: Prezračevanje - nadstropje



LEGENDA:

-  predtok ogrevanje
-  površak ogrevanje
-  R02 talno ogrevanje / hlajenje
-  R01 talno ogrevanje / hlajenje

Slika 136: Talno ogrevanje / hlajenje - nadstropje



141
Slika 137: Shema kurilnice

ŽIVLJENJEPIS

OSEBNI PODATKI

Mitja Selič
Zagrad 35d, 3000 Celje (Slovenija)

datum rojstva: 22.07.1976
državljanstvo: slovensko

IZOBRAŽEVANJE IN USPOSABLJANJE

- 1983 - 1991 *Osnovna šola Lava, Celje*
- 1991 - 1995 **Strojni tehnik**
Srednja tehnična šola Celje, Strojna smer
- 1995 - 2001 **Univerzitetni diplomirani gospodarski inženir - smer strojništvo**
Fakulteta za Strojništvo, Maribor
GING - smer strojništvo
- 2002 - *Fakulteta za strojništvo, Maribor*
Podiplomski študij - smer strojništvo
- 2003 **Odgovorni projektant načrtov strojnih inštalacij in strojne opreme za zahtevne, manj zahtevne in enostavne objekte**
Odgovorni vodja del in odgovorni vodja gradbišča za zahtevne, manj zahtevne in enostavne objekte
Odgovorni nadzornik za zahtevne, manj zahtevne in enostavne objekte
Inženirska zbornica Slovenije

DELOVNE IZKUŠNJE

- 2001 - 2002 **Investicijsko tehnična služba**
Avto Celje d.d., Celje
- 2002 - 2003 **Vodja prodajno servisnega centra TOYOTA**
Avto Celje d.d., Celje

- 2003 - 2006 **Projektiranje in nadzor strojnih instalacij**
Premica d.o.o., Celje
- 2006 - **Strokovna tehnična podpora prodaji ogrevalne tehnike**
Projektiranje strojnih instalacij
Nadzor strojnih instalacij
Inženiring pri izvajanju strojnih instalacij
Kovintrade d.d. Celje
PE Buderus
- 2009 **Direktor podjetja**
Ipsilon d.o.o.
Poslovno in tehnično svetovanje

UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

I Z J A V A

Podpisani **Mitja SELIČ**, vpisna številka **95023491**,

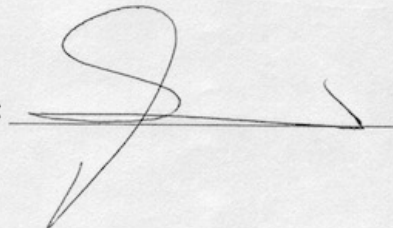
izjavljam, da je predloženo magistrsko delo z naslovom:

ANALIZA SISTEMSKE PLOŠČE Z DIFUZORJEM V SISTEMU HVAC.

- rezultat lastnega raziskovalnega dela,
- da so rezultati korektno navedeni,
- da nisem kršil-a avtorskih pravic in intelektualne lastnine drugih,
- da predloženo delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe po študijskem programu druge fakultete ali univerze.

Maribor, 09.09.2016

Podpis:



UNIVERZA V MARIBORU

Fakulteta za strojništvo

IZJAVA O ISTOVETNOSTI TISKANE IN ELEKTRONSKE VERZIJE ZAKLJUČNEGA DELA IN OBJAVI
OSEBNIH PODATKOV MAGISTRANTOVIme in priimek magistranta-tke: Mitja Selič

Vpisna številka: _____

Študijski program: STROJNIŠTVONaslov magistrskega dela: Analiza sistemske plošče z difuzorjem v sistemu HVACMentor: Jure Marn

Somentor: _____

Podpisani-a Mitja Selič izjavljam, da sem za potrebe arhiviranja oddal elektronsko verzijo zaključnega dela v Digitalno knjižnico Univerze v Mariboru. Magistrsko delo sem izdelal-a sam-a ob pomoči mentorja. V skladu s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah dovoljujem, da se zgoraj navedeno zaključno delo objavi na portalu Digitalne knjižnice Univerze v Mariboru.

Tiskana verzija magistrskega dela je istovetna elektronski verziji, ki sem jo oddal za objavo v Digitalno knjižnico Univerze v Mariboru.

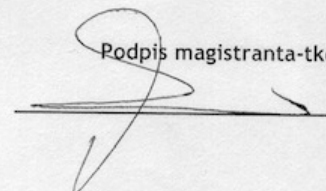
Zaključno delo zaradi zagotavljanja konkurenčne prednosti, varstva industrijske lastnine ali tajnosti podatkov naročnika: _____ ne sme biti javno dostopno do _____ (datum odloga javne objave ne sme biti daljši kot 3 leta od zagovora dela).

Podpisani izjavljam, da dovoljujem objavo osebnih podatkov vezanih na zaključek študija (ime, priimek, leto in kraj rojstva, datum magistriranja, naslov magistrskega dela) na spletnih straneh in v publikacijah UM.

Datum in kraj:

Maribor, 01.10.2016

Podpis magistranta-tke:



Podpis mentorja _____
(samo v primeru, če delo ne sme biti javno dostopno):

Podpis odgovorne osebe naročnika in žig: _____
(samo v primeru, če delo ne sme biti javno dostopno)