

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Strojní

U12120 – Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Diplomová práce
Studie mechanismů zvýšení podílu EGR ve válci
motoru



Diplomová práce
2018

Václav Weiss

Anotace

Jméno autora:	Václav Weiss
Název diplomové práce:	Studie mechanismů zvýšení podílu EGR ve válci motoru
Rozsah práce:	68 stran, 68 obrázků, 29 příloh
Akademický rok:	2017/2018
Ústav:	U 12120 – Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Vít Doleček, Ph.D.
Zadavatel tématu:	Škoda Auto a.s.

Abstrakt

Cílem práce je prozkoumat možnosti vrstvení směsi v zážehovém motoru. V návaznosti na předchozí práce připravit návrh geometrií pro vrstvení směsi. Na těchto navržených geometriích provést CFD simulaci v programu AVL Fire k vyšetření, zda-li dochází k vrstvení směsi.

Klíčová slova: vrstvená směs, AVL FIRE, CREO2, 3-D simulace, CFD, zážehový motor

Abstract

Purpose of this thesis is to study possibilities of charge stratification in spark ignition engine. Create models based on knowledge and do CFD simulation in AVL Fire to prove usability of created model geometries.

Keywords: stratified charge, AVL Fire, Creo 2, 3-D simulation, CFD, SI engine, Spark ignition engine

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pouze za odborného vedení vedoucího práce a konzultantů. Veškeré zdroje informací, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedené v seznamu literatury.

V Praze dne

.....

Václav Weiss

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vítu Dolečkovi, Ph.D. za rady, čas a trpělivost, kterou mi věnoval při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Oldřichu Vítkovi, Ph.D. za trpělivost při spouštění výpočtů zejména v době nepřítomnosti mého vedoucího a Ing. Petru Hatschbachovi, CSc. za vstřícnost při vyřizování ostatních záležitostí ohledně mé práce.

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 VÝFUKOVÉ PLYNY.....	9
1.1 VÝZNAM VÝFUKOVÝCH PLYNŮ.....	9
1.2 SYSTÉMY RECIRKULACE.....	10
1.2.1 VNITŘNÍ RECIRKULACE.....	10
1.2.2 VNĚJŠÍ RECIRKULACE.....	10
2 VRSTVENÍ SMĚSI.....	12
2.1 AXIÁLNÍ ROZVRSTVENÍ.....	12
2.2 RADIÁLNÍ ROZVRSTVENÍ.....	13
2.3 ROZVRSTVENÍ PODLE ROVINY SYMETRIE VÁLCE.....	14
2.3.1 „TUMBLOVÁNÍ“.....	15
2.3.2 CONJUGATE VORTICES.....	16
3 ROZVAHA NAD MOŽNOSTMI KONSTRUKČNÍHO PROVEDENÍ.....	17
3.1 AXIÁLNÍ ROZVRSTVENÍ.....	17
3.2 RADIÁLNÍ ROZVRSTVENÍ.....	18
3.3 ROZVRSTVENÍ PODLE ROVINY SYMETRIE VÁLCE.....	19
3.3.1 „TUMBLOVÁNÍ“.....	19
3.3.2 CONJUGATE VORTICES.....	20
4 TVORBA MODELŮ.....	21
4.1 CREO 2 A JEHO SPECIFIKA.....	21
4.2 CHYTRÉ, ROBUSTNÍ MODELOVÁNÍ.....	25
4.2.1 REFERENCE.....	25
4.2.2 SKICL.....	27
5 GEOMETRIE.....	28
5.1 VARIANTA „CCVS“.....	29
5.2 VARIANTA 1.....	29
5.3 VARIANTA 2.....	30
5.4 VARIANTA 3.....	31
6 SÍŤOVÁNÍ V AVL FIRE.....	32
6.1 PŘÍPRAVA GEOMETRIÍ PRO SÍŤOVÁNÍ.....	32
6.1.1 OPRAVA IMPORTOVANÉ GEOMETRIE.....	32
6.1.2 SELECTIONS.....	32
6.1.3 HRANY.....	34
6.2 NASTAVENÍ SÍŤOVÁNÍ.....	34
6.2.1 MOVING DEFINITIONS.....	34
6.2.2 INPUT SURFACE.....	36
6.2.3 SETTINGS.....	37
6.2.4 RESULTS.....	39
6.3 PROBLÉMY PŘI SÍŤOVÁNÍ.....	40

7	PRACOVNÍ BODY.....	42
7.1	ZDVIHOVÉ KŘIVKY.....	42
7.1.1	PRACOVNÍ BOD 1.....	42
7.1.2	PRACOVNÍ BOD 2.....	42
7.1.3	PRACOVNÍ BOD 3.....	43
7.1.4	PRACOVNÍ BOD 4.....	43
7.2	OKRAJOVÉ A POČÁTEČNÍ PODMÍNKY.....	44
7.2.1	PRACOVNÍ BOD 1.....	44
7.2.2	PRACOVNÍ BOD 2.....	44
7.2.3	PRACOVNÍ BOD 3.....	44
7.2.4	PRACOVNÍ BOD 4.....	44
8	VÝPOČET A ZPŮSOBY VYHODNOCENÍ.....	45
8.1	NASTAVENÍ ŘEŠIČE.....	45
8.2	SPOUŠTĚNÍ SIMULACE.....	45
8.3	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ V AVL FIRE.....	47
8.4	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ POMOCÍ SKRIPTU.....	47
8.4.1	HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	49
9	VÝSLEDKY.....	50
9.1	VARIANTA 1.....	50
9.1.1	PRACOVNÍ BOD 1.....	50
9.1.2	PRACOVNÍ BOD 2.....	51
9.1.3	PRACOVNÍ BOD 3 A 4.....	52
9.2	VARIANTA 2.....	53
9.2.1	PRACOVNÍ BOD 1.....	53
9.2.2	PRACOVNÍ BOD 2.....	54
9.3	VARIANTA 3.....	55
9.3.1	PRACOVNÍ BOD 1 (AF – AF –EGR).....	55
9.3.2	PRACOVNÍ BOD 2 (AF – AF –EGR).....	56
9.3.3	PRACOVNÍ BOD 1 (EGR – AF –EGR).....	58
9.3.4	PRACOVNÍ BOD 2 (EGR – AF –EGR).....	59
10	ZÁVĚR.....	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	64
	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

ÚVOD

V oblasti spalovacích motorů zejména ve formách jaké využíváme dnes je tlak na pokrok enormní. Za více než století ušel pístový motor s vnitřním spalováním velký kus cesty. Ano pokroky již nejsou tak jednoduché jako před 80 lety, ale cesta zde stále je. Celou dobu existence spalovacího motoru se všichni konstruktéři a výpočtáři snažili zlepšit jejich parametry, ať se jednalo o vyšší výkony, nižší spotřebu paliva, obecně řečeno zlepšení účinnosti a dnes tomu není jinak. Vidíme různé snahy skloubit výhody zážehových a vznětových motorů dohromady v podobě HCCI. Snahu o zlepšení účinnosti se dá brát také snižování ztrát při pohonech příslušenství motoru využitím elektrických pohonů a provozu příslušenství tzv. „on demand“. Vše má za cíl zvýšit účinnost motoru.

Jedním ze směrů kam se dá ubírat u zážehových motorů je snižování pumpovní práce motoru při nízkém zatížení. Nutnost dodržení stechiometrické směsi nás pevně svazuje v množství vzduchu, které pro požadovaný výkon je potřeba. Již od počátků se využívá škrticí klapky, jenž funguje jako regulační člen. K naší nelibosti je tento člen při nízkém zatížení velice ztrátový. Jednou z cest jak tuto ztrátovost obejít může být proměnlivý zdvihový objem motoru, kdy bychom zdvihový objem regulovali podle požadovaného výkonu. Mechanická složitost takového motoru je velkou výzvou. Jinou cestou může být využití látky, která by vyplnila část spalovacího prostoru místo vzduchu. Vyplněním „nepotřebného“ prostoru tak docílíme toho, že nebude nutné tolik zavírat klapku, a tak nevynaložíme tolik práce na nasátí nové náplně. Takovou výplňovou látkou, kterou si při provozu spalovacího motoru vyrábíme vždy dostatečné množství, jsou jeho výfukové plyny. Volný kyslík téměř neobsahují, reagovat tedy se směsí nebudou. Výfukové plyny ovšem z motoru vychází s vysokou teplotou. Kdybychom je tedy neochlazené nasáli zpět, rapidně by nám vzrostla teplota ve spalovacím prostoru a motor by měl sklony ke klepání. Ochladit a vrátit ochlazené je už dávno umíme, ale stále je vracíme do válce promíchané se směsí. To nám sice zvýší tepelnou kapacitu náplně v porovnání s množstvím energie uložené v náplni válce, nicméně nelze přidávat výfukové plyny do nekonečna. Snížila by se tím teplota hoření na tolik, že by směs ani hořet nemohla. Jistě pozitivním vlivem recirkulovaných spalin je vliv na teplotu hoření, se kterou je přímo spojený přestup tepla do stěn. Snižováním teploty hoření lze jednoznačně ovlivnit složení spalin. Nedosáhne se dostatečné teploty a množství kyslíku pro oxidaci dusíku, nedojde k termální dekompozici oxidu uhličitého na oxid uhelnatý.

Cílem mé práce je vytvořit návrhy geometrií kanálů a spalovacího prostoru. Prozkoumat na nich možnosti vrstvení směsi na s ohledem na zapalitelnost - podíl EGR do 25 %.

1 Výfukové plyny

1.1 Význam výfukových plynů

Výfukové plyny jsou, leč to na první pohled nemusí být zřejmé, poměrně širokým zdrojem užitku. Díky vysoké entalpii výfukových plynů můžeme roztáčet turbínu turbodmyhadla a přeplňovat tak motor. Pokud dochází v motoru k ideálnímu spalování, výfukové plyny neobsahují volný kyslík, jen ten v molekulách vodní páry a oxidu uhličitého. V reálném životě nedochází k ideálnímu promísení směsi a tím pádem k ideálnímu hoření. Následně pak mohou vznikat mimo H_2O a CO_2 , též životu nebezpečný oxid uhelnatý CO , při přebytečném kyslíku i oxidy dusíku NO_x , případně u chudých směsí nebo nedokonalém promísení nespálené uhlovodíky. Když se tedy podíváme na složení výfukových plynů, uvidíme obsah kyslíku blížící se nule.

Tím přicházíme k prvnímu důvodu využití. Výfukové plyny bez obsahu kyslíku se chovají vzhledem k čerstvé směsi jako inertní plyn, jelikož jednoduše nemá co hořet. Při nízkém zatížení nepotřebují zážehové motory tolik energie z paliva a pro dodržení stechiometrické směsi je nutné dodržet poměr paliva ke kyslíku 1:14,7. Pro regulaci zážehových motorů používáme škrcení, nebo-li omezování množství nasátého vzduchu – kvantitativní regulaci. Škrcení způsobuje vynaložení energie na samotné naplnění válce, což má za následek velké snížení účinnosti motoru při nízkém zatížení, kdy je klapka přivřená. Dostáváme se tedy k myšlence, že bychom mohli namísto omezování průtoku čerstvé směsi vyplnit „přebytečnou“ část spalovacího prostoru právě výfukovými plyny.

Druhým přínosem zavedení výfukových plynů zpět do válce je zvýšení tepelné kapacity náplně. Moderní motory pracují s vysokými kompresními poměry, které přispívají k vysoké účinnosti. Nevýhodou jsou ovšem vysoké teploty hoření, které zvláště ve spojení s přebytkem kyslíku, znamenají zvýšenou produkci oxidů dusíku. Přidáním výfukových plynů tak dokážeme snižovat maximální teplotu hoření, při které oxidy dusíku převážně vznikají.

1.2 Systémy recirkulace

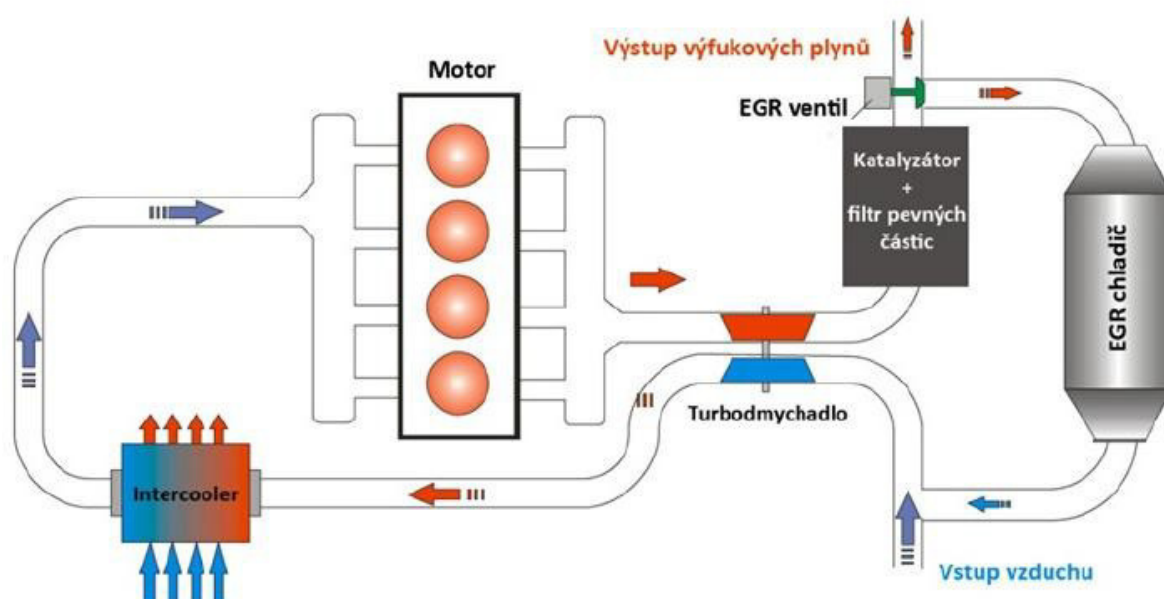
Systémy recirkulace se dají rozdělit do dvou druhů.

1.2.1 Vnitřní recirkulace

Částečně přirozenou recirkulací je vnitřní, ke které dochází tzv. „ať se nám to líbí nebo ne“. Nedokonalým vyprázdněním může zůstat ve válci část spalin. Tyto zbytkové spaliny s vysokou teplotou následně snižují účinnost. Své efektivní využití ovšem vnitřní recirkulace nalézá u motorů s řízeným detonačním spalováním (HCCI), kdy se množstvím recirkulovaných plynů reguluje teplota spalování.

1.2.2 Vnější recirkulace

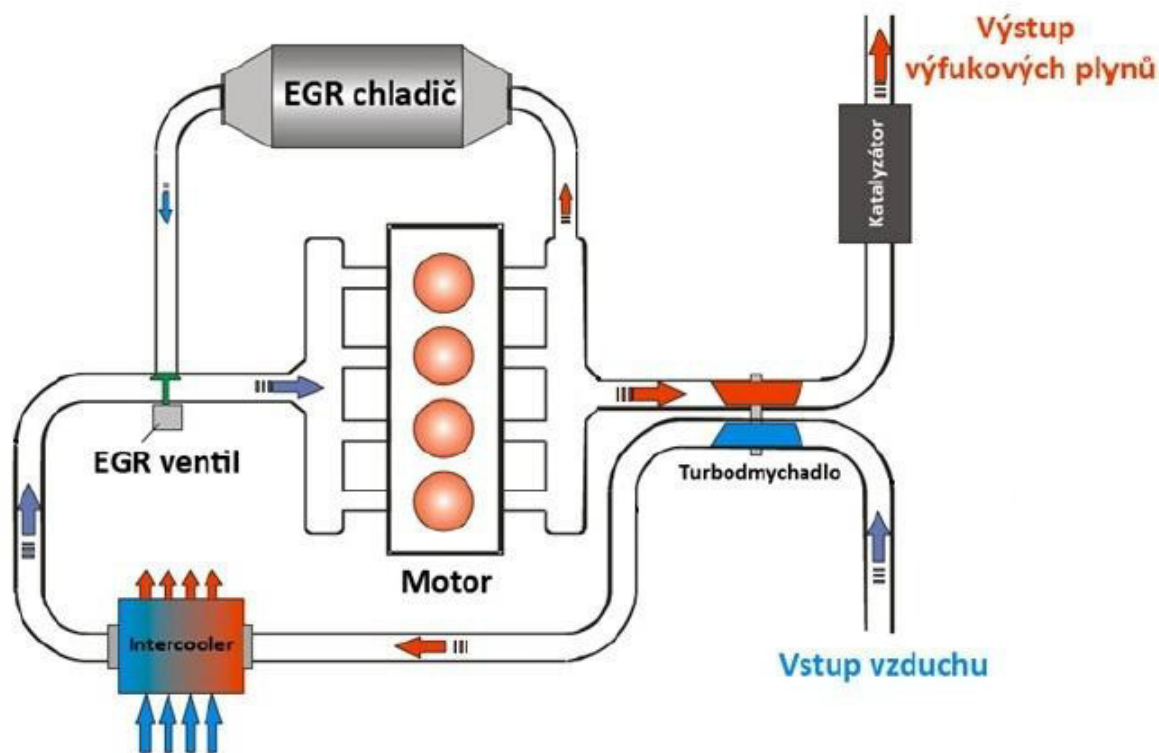
Hojně využívaný systém v zážehových a zejména vznětových motorech je využití vnější recirkulace. O vnější recirkulaci se jedná v momentě, kdy výfukové plyny opustí spalovací prostor, vstoupí do výfukového potrubí odkud jsou odebírány. Spaliny odcházející ze spalovacího prostoru díky své vysoké teplotě nejsou příliš vhodným médiem pro opětovné zavedení zpět do válce. Pro zefektivnění recirkulace se do zpětného vedení umísťují chladiče, které zajišťují snížení teploty a s tím související zvýšení hustoty plynů. Vnější recirkulace se dá rozdělit na dva druhy.



Obr. 1: Nízkotlaký EGR okruh

Nízkotlaký systém (viz obr.1) se vyznačuje odběrem spalin za veškerým příslušenstvím výfukového traktu, jako je katalyzátor či filtr pevných částic a EGR ventilem umístěným ve výfukovém potrubí. Největším problémem tohoto systému se jeví nedostatečný tlakový spád a jeho relativně větší složitosti oproti systému vysokotlakému.

Vysokotlaký systém využívá odběru plynů po opuštění spalovacího prostoru, nejčastěji ve sběrném potrubí. Ventil je umístěn v sacím potrubí a je ovládán buď elektricky nebo pneumaticky. Největším problémem v tomto provedení je chlazení plynů, které oproti nízkotlakému systému mají mnohem vyšší teplotu, čemuž musí být chladič uzpůsoben.



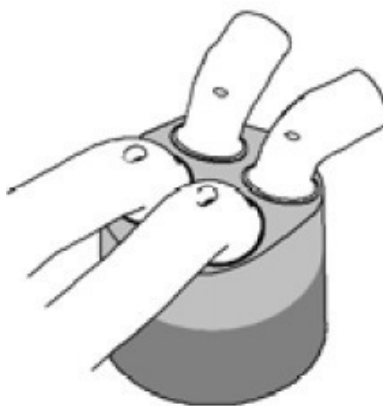
Obr. 2: Vysokotlaký EGR okruh

2 Vrstvení směsi

V současné době je převážná většina spalovacích motorů vybavena systémem recirkulace výfukových plynů jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, případně využívají vrstvení směsi přímým vstřikováním paliva. Právě přímé vstřikování a následné spalování chudé směsi má díky vysokým spalovacím teplotám a velkým přebytkům kyslíku s sebou nese problém v podobě produkce oxidů dusíku. Přimícháváním EGR do čerstvé náplně částečně snižuje teploty hoření, avšak zde narážíme na složitější problém než je produkce NO_x . Narážíme totiž na zapalitelnost směsi, kdy je kyslík v čerstvé náplni tak zředěn spaliny, že i při promíchání s palivem nelze úspěšně a stabilně zažehnout směs a začne docházet k vynechávání zapalování, či v extrémním případě zhasnutí motoru. Z tohoto problému vyvstává myšlenka pokusit se válec naplnit tak, aby v určité části byl v ideálním případě pouze EGR a v druhé pouze čerstvá směs. Vzhledem k faktu, že se jedná o 2 plyny, nelze vytvořit ve válci dvě 100% oddělené sekce aby nedocházelo k vzájemnému promíchávání a pevnou pevnou bariéru nelze, vzhledem k pohybuujícímu se pístu, vytvořit. Snažíme se proto dostat plyny do válce tak, aby k promíchávání docházelo co nejméně. Z řešení tohoto problému vzniklo několik možností, jak čerstvou směs a spaliny rozmístit.

2.1 Axiální rozvrstvení

Rozvrstvení podél osy válce se z hlediska sacího zdvihu jeví jako optimální řešení. K docílení takto rozvrstvené směsi je nutné vytvořit proudění typu swirl. Pokud ovšem chceme, aby toto rozvrstvení setrvalo až do konce komprese, je nutné předat náplni poměrně značnou kinetickou energii. Pokud bychom již takového rozvrstvení dosáhli během sání, při následné kompresi může nastat problém v podobě nestejnomyšerného stlačení čerstvé směsi a EGR.



Obr. 3: Axiální rozvrstvení

Problematikou axiálního rozdělení se zabývali ve své práci [9]. Prvotním předpokladem byly zóny, u kterých nedocházelo k vzájemnému promíchávání. Provedené simulace ukázaly teploty výfukových plynů dosahujících 1000°C. Maximální teplota spalování klesá nejen společně se zvyšujícím se podílem EGR, ale taktéž se zvyšující se teplotou recirkulovaných plynů. Pokud bychom sledovali průběhy tlaků ve válci, dojdeme k závěru, že zvyšujícím se podílem EGR tlaky klesají. Stejně tak tlaky klesají i se zvyšující se teplotou EGR. Neblahým důsledkem je snížení účinnosti cyklu. Mimo vyřazení promíchávání zón s čerstvou náplní a EGR nebyl taktéž uvažován vliv teploty EGR na přestup tepla do stěn a ovlivnění během hoření.

2.2 Radiální rozvrstvení

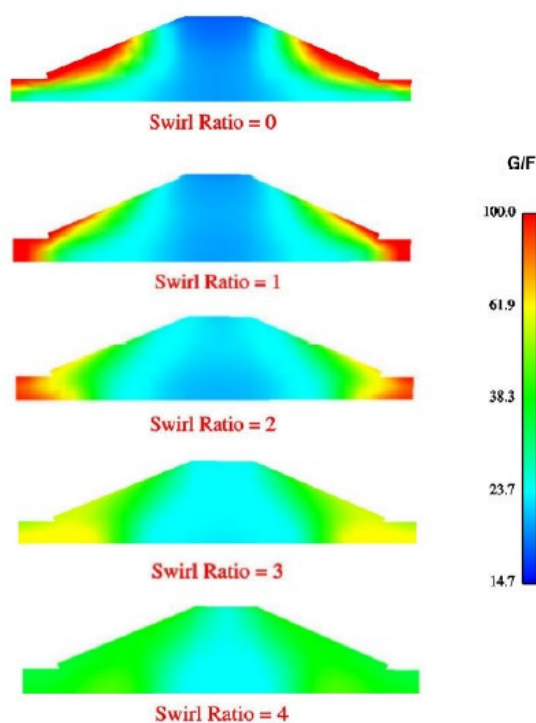
Radiálním rozvrstvením rozumíme rozvrstvení sousedních válců. Základním předpokladem za předpokladu co nejkompaktnějšího rozložení čerstvé směsi je vnitřní válec s čerstvou směsí a vnější obal s recirkulovanými plyny. Pro zajištění takového rozložení náplně ve válci se jeví potřeba vyvodit proudění typu swirl v obou zónách.



Obr. 4: Radiální rozvrstvení

Na vzájemné promíchávání zón čerstvé směsi a EGR má vliv několik faktorů jak bylo dokázáno v dřívějších pracích [3], [4]. Prvním problémem se jeví již samotné přivedení plynů do válce tak, aby vytvořily homogenní oblast bez nadměrného promíchávání s druhou zónou. V případě, že se podaří vytvořit kanály, které dobře navádí plyny do válce, je důležité, aby obě zóny proudily se stejnou úhlovou rychlostí kolem osy válce. Jakákoliv odchylka od této hodnoty znamená zvýšené promíchávání

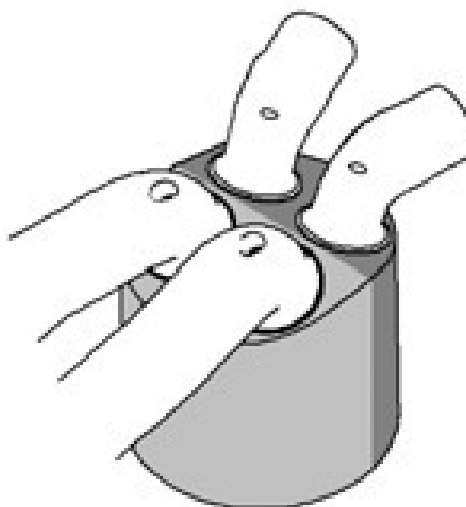
obou zón. V dřívější studii [3] bylo zjištěno, že největší promíchání nastává v případě, kdy obě zóny rotují proti sobě. Nejméně škodlivou odchylkou od společné rotace je případ, kdy vnější zóna rotuje rychleji než vnitřní. Díky větší odstředivé síle má snahu zůstat na vnějším obvodu, a tak nedochází až k takovému promíchávání. V případě, že by se vnitřní zóna točila rychleji než vnější, působící odstředivé síly by způsobily zintenzivnění promíchání. Dále byl prozkoumán vliv různé rychlosti rotace ve válci, které byla vztažena na rychlost otáčení klikové hřídele. Z této simulace vzešel ideální poměr swirlu 2, který je dostatečně silný na udržení radiálního rozložení a zároveň nezpůsobuje příliš velké promíchání z důvodu turbulentnosti proudění.



Obr. 5: Porovnání různých poměrů swirlu
(G/F – poměr vzduchu ku palivu)

2.3 Rozvrstvení podle roviny symetrie válce

Plyny ve válci lze vrstvit dále ve smyslu roviny symetrie válce. Na rozdíl od radiálního a axiálního rozvrstvení lze využít více možností jak zajistit oddělení jednotlivých zón. Jestliže se podíváme na jednotlivé již řešené možnosti, zjistíme, že pro kvalitní zapálení směsi, je nutné vyosít zapalovací svíčku, což na druhou stranu pro plnou zátěž prodlužuje dráhu plamene.

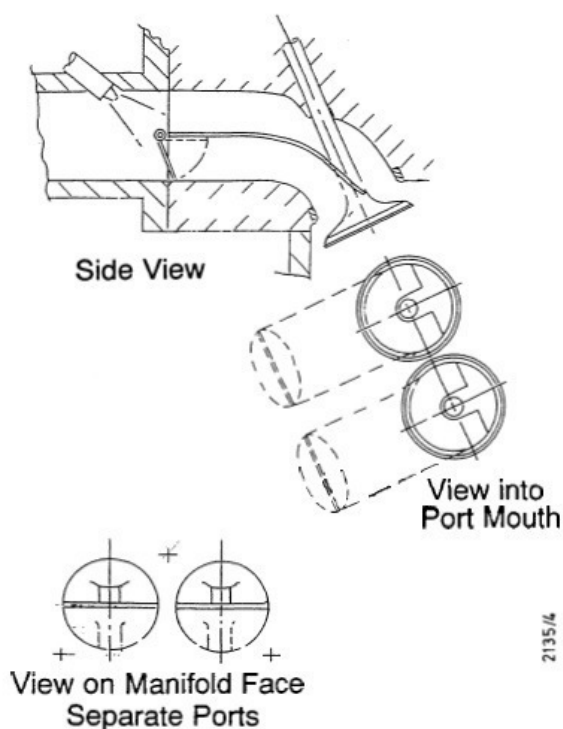


Obr. 6: Rozvrstvení podle roviny symetrie

2.3.1 „Tumblování“

Jednou z možností pro rozdělení směsi je využití proudění typu tumb, které rotuje kolmo na osu válce. Tohoto faktu lze využít u 2 sacích ventilů na válec tak, že budeme jedním ventilem nasávat čerstvou směs a druhým ventilem EGR. Na tomto principu pracuje systém Combustion Control trough Vortex Stratification [5]. V zásadě lze práci tohoto systému shrnout tak, že při volnoběhu je otevřen jeden sací ventil s čerstvou směsí a dochází ke škrcení. Jakmile přijde požadavek na částečný výkon kromě škrcení nasávané čerstvé směsi jedním ventilem se začíná otevírat druhý sací ventil, kterým proudí do válce EGR. Takto se z volnoběžného swirlu přemění na tumb. Při požadavku plného výkonu proudí do válce skrz oba sací ventily čerstvá směs. Pro vytváření tumbu dostatečně silného na setrvání separace zón je v [5] využíváno speciálních lamel s klapkou, která omezuje proudění v části kanálu.

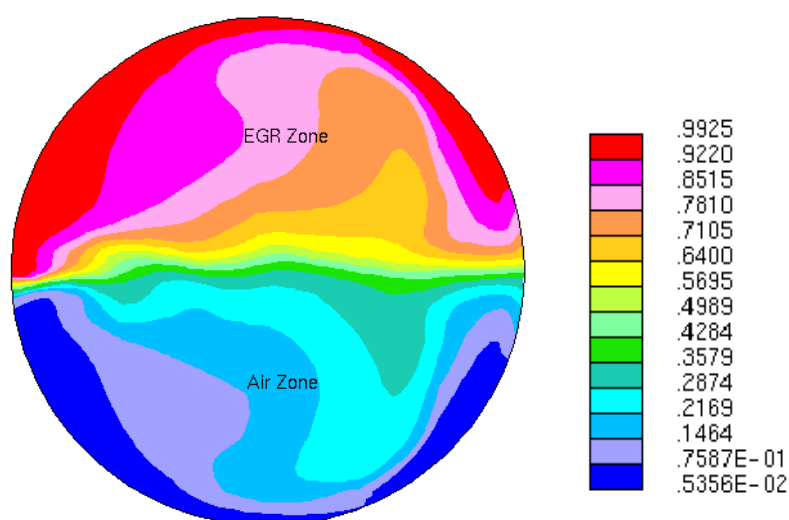
Motory s tímto systémem dle studií [5] dosahují přibližně o 5 % lepší spotřeby paliva. V závislosti na množství EGR může dojít k navýšení množství uhlovodíků ve spalínách až o 40 %, ale při nižších obsazích EGR může být nárůst přibližně do 20 %. Z pohledu produkce oxidů dusíku NO_x nastává úbytek přibližně o 60 % a je předpokládáno, že lze dosáhnout snížení až o 90 %.



Obr. 7: Lamely pro tvoření tumblu VTIS

2.3.2 Conjugate vortices

Další možností pro rozdělení směsi ve válci může být využití tzv. sdružených vírů. Tyto víry rotují vůči sobě opačným směrem a v dělicí rovině se jakoby po sobě odvalují. K rozvíření jsou využity kanály tvaru šroubovice. Největším problémem této varianty se jeví problematika dostatečné kinetické energie plynů, která by zaručila setrvání vírů během kompresního zdvihu. Během komprese obecně ve válci dochází k velkým turbulencím, které mají tendenci rozrušit námi chtěné proudění.



Obr. 8: Koncentrace EGR a vzduchu při úhlu natočení klikové hřídele 90°

3 Rozvaha nad možnostmi konstrukčního provedení

3.1 Axiální rozvrstvení

Neméně problematickou částí je, jak vůbec docílit požadovaného rozvrstvení. Pokud bychom se na takové řešení podívali z hlediska konstrukčního, dalo by se přemýšlet nad několika možnostmi řešení. Tím asi nejpřirozenějším z hlediska toho, jak u spalovacích motorů dochází k výměně náplně válce, je sání skrze sací ventily postupně pouze EGR a následně pouze čerstvou směs. Toto řešení by vyžadovalo ventil, který by byl schopen přepínat v daný okamžik mezi čerstvou směsí a EGR. Se sáním čerstvé směsi a EGR jedním kanálem by se pojila další problematika. Tou je množství plynu mezi tímto přepínacím ventilem a ventilem či ventily sacími.

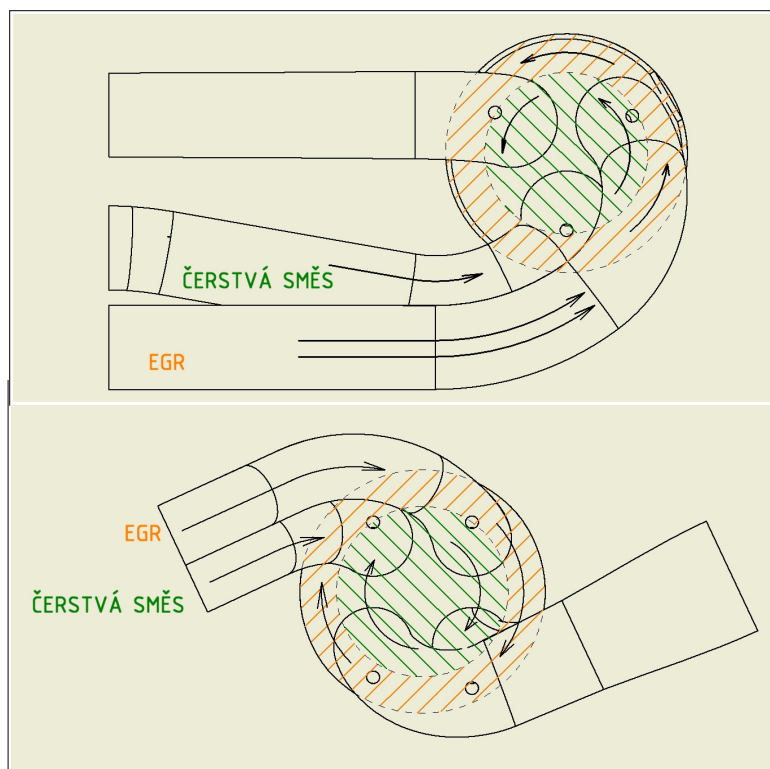
Druhou možností, která se nabízí, je využití vnitřní recirkulace ve spojení s prodlouženým zdvihem výfukových ventilů do sacího zdvihu. Toto řešení by se dalo použít jak z ohledu samotného nasátí EGR čistě výfukovými ventily, tak i kombinovaně s řešením zmíněným v odstavci výše. Pokud bychom se chtěli držet předpokladu využití proudění typu swirl z důvodu lepšího setrvání separace zón, museli bychom vhodně natvarovat výfukové kanály tak, aby při zpětném sání dokázaly proud usměrnit do swirlu. Tím ovšem by utrpěla plnicí účinnost. Oprostíme-li se od čistě konstrukčního pohledu na věc, dostaneme se k otázce jak zajistit nasátí určitého množství EGR. Tlaky ve výfukovém potrubí se mění s pracovním cyklem, otáčkami a taktéž jsou v některých konstrukčních řešeních více v některých méně ovlivňovány pracovním cyklem ostatních válců. Řekněme, že bychom tuto problematiku dokázali vyřešit kupříkladu pneumaticky ovládanými ventily, kde bychom dokázali ovládat délku nebo i zdvih ventilu. Větším úskalím ovšem je teplota výfukových plynů, které by byly do válce nasáty. Výfukové plyny opouštějící spalovací prostor mohou mít 1000°C, průchodem byť chlazenými výfukovými kanály je dokážeme ochladit i kdyby o 400°C, stále plníme spalovací prostor vnitřně recirkulovanými plyny s teplotou 600°C. Již nyní se současné motory potýkají s klepáním. Sic je to spíše problematika, když se motor využívá na vnější charakteristice, nicméně přivedením horkých výfukových plynů zpět do spalovacího prostoru se můžeme reálně dostat k situaci, kdy ke klepání bude docházet i v nízkých zatíženích.

3.2 Radiální rozvrstvení

Radiální rozvrstvení má velký potenciál jak z hlediska kompaktnosti zón, tak z hlediska konstrukční proveditelnosti. Pro prvotní představu můžeme využít tvaru kanálů vznětového motoru, který pracuje s prouděním typu swirl. To nám může zajistit dostatečné rozvíření směsi kolem osy válce, avšak už neřeší jakékoliv vytváření zón.

Dle mého názoru lze, alespoň z části, ovlivnit správným tvarováním sacích kanálů a vhodným časováním ventilů. Nabízí se řešení využít tečně navedeného kanálu jako u vznětového motoru. Ten nám může zajistit nasáváním plynu tímto kanálem rozvíření objemu náplně válce, v horní úvrati a těsně za ní, zbytku z předchozího cyklu, který jsme již nedokázali dostat ze spalovacího prostoru do výfuku. Druhý sací kanál je potřeba mít natvarovaný taktéž. Nejvhodnějším řešením se jeví šroubovicový kanál. Správným tvarováním, zejména vhodným stoupáním, lze ovlivnit rozvíření tohoto vstupujícího proudu. Ve spojení s vhodným časováním ventilů se domnívám, že lze ovlivnit míru promíchání obou zón.

Ve své práci se budu zabývat simulací dvou variant (varianta 1 – tři ventily na válec a varianta 2 – čtyři ventily na válec) s úmyslem využít radiálního rozvrstvení, které se jeví jako dobrý kompromis mezi proveditelností a potenciálem k navrstvení směsi.



Obr. 9: Radiální rozvrstvení – uvažované varianty

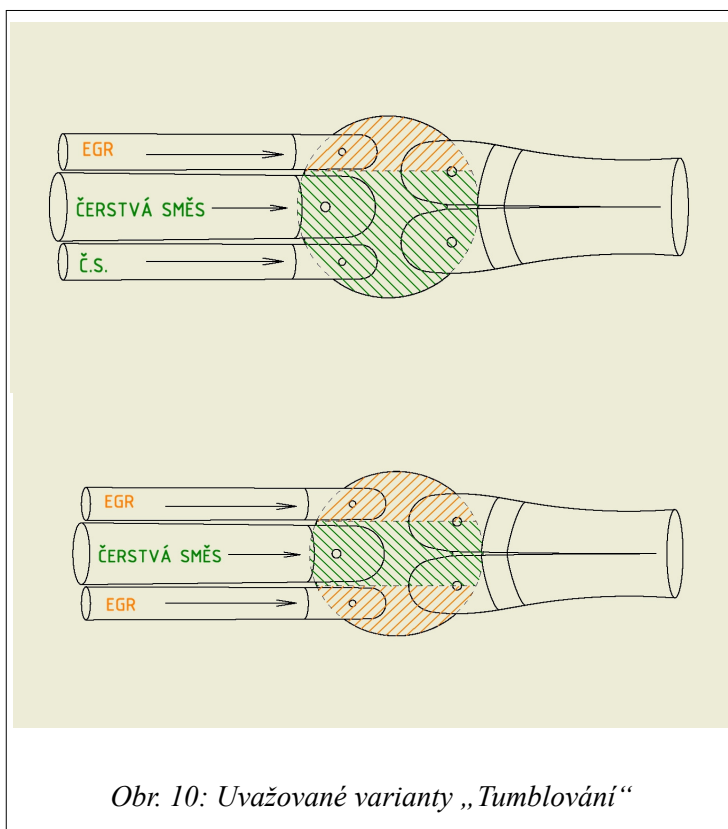
3.3 Rozvrstvení podle roviny symetrie válce

3.3.1 „Tumblování“

Již z předchozích prací je zřejmé, že toto řešení je proveditelné. Nicméně má několik úskalí. Tím největším je nestálost proudění typu tumbly při kompresi. Můžeme sice zvýšit intenzitu proudění přidáním různých klapek a lamel do sacích kanálů, nicméně si tím zhoršíme plnicí účinnost a rozpad tumbly v pozdní části kompresního zdvihu se tím taktéž nevyřeší. Druhou stranou mince je fakt, že samotný tvar sacích kanálů je více méně totožný s tím, jaký se dnes využívá u konstrukcí zážehových motorů se čtyřmi ventily na válec.

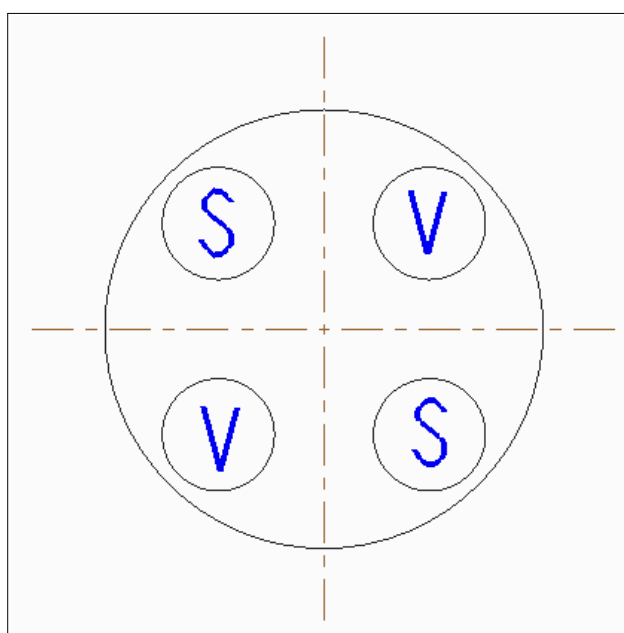
Částečně se jeví jako možnost potlačení negativních vlivů na rozpad tumbly minimalizací squishových štěrbin a další optimalizací střešového spalovacího prostoru. Dlužno uznat, že střešový spalovací prostor je poměrně přívětivý pro námi požadovaný tumbly.

Dále se budu zabývat dvěma variantami naplnění válce viz obr. 10. V první, AF – AF – EGR, se bude dvěma ventily, středovým a jedním krajním, nasávat čerstvá směs a třetím EGR. V druhé variantě, EGR – AF – EGR, se bude středovým ventilem nasávat čerstvá směs a krajními EGR.



3.3.2 Conjugate vortices

Sdružené víry mají teoreticky šanci pro vytvoření oddělených zón, avšak i zde nacházíme několik úskalí. Vytvořit šroubovicové kanály s vhodnou geometrií není až takový problém. Tím větším je umístění samotných kanálů. Nejvhodnějším umístěním je na úhlopříčku viz obr. 9. Takové uspořádání by znamenalo vyústění výfukových kanálů na obě strany motoru. Z jednoho úhlu pohledu by tím došlo k lepšímu rozložení teploty v hlavě, ze strany druhé to znamená dvě sběrná výfuková potrubí.



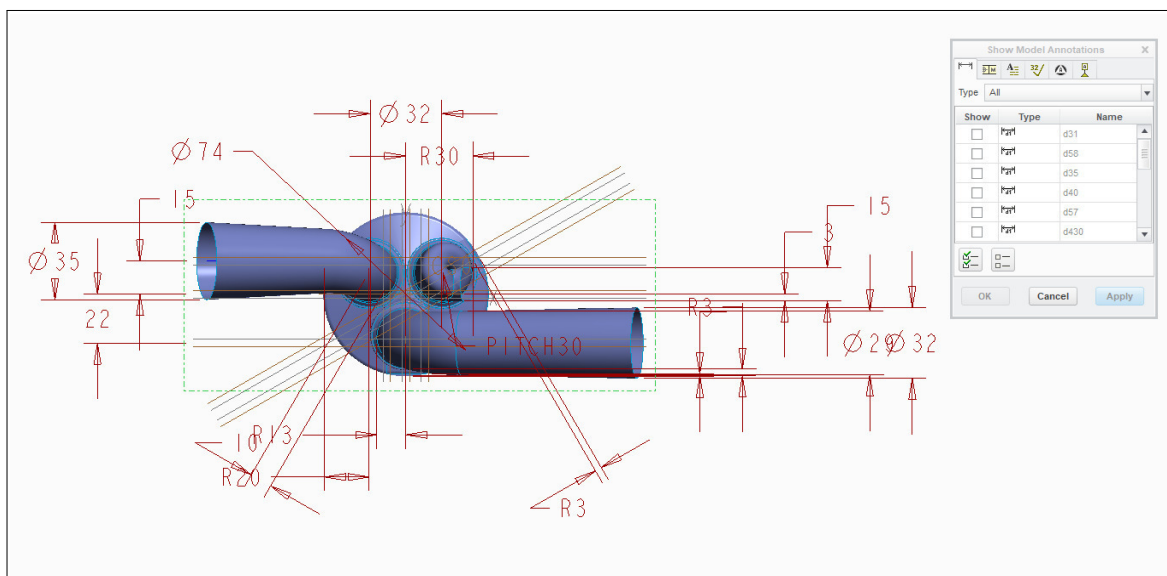
Obr. 11: Uspořádání ventilů

4 Tvorba modelů

Na počátku této práce jsem stál před rozhodnutím, který CAD program využít. Jisté zkušenosti jsem měl jisté zkušenosti s Autodesk Inventor a začátečnické zkušenosti s programem Creo 2. Průzkum užívaných programů v konstrukci spalovacích motorů dával vcelku jednoznačnou odpověď v podobě zmíněného Crea, ve kterém jsem vytvořil své geometrie a o kterém budu dále hovořit.

4.1 Creo 2 a jeho specifika

Creo 2, jmenovitě jeho část Parametric, jak už název napovídá, je platformou pro tvorbu plnohodnotných parametrických 3D modelů. V zásadě se jedná o to, že model tvoří různými prvky (vysunutí, rotace, tažení apod.), které jsou ve své podstatě stejné jako v jiných programech, ale skici, kterými tyto prvky definujeme, si přetahují své vlastnosti do výkresů. To znamená, že již ve fázi konstrukce člověk musí, nebo měl by, přemýšlet nad tím, jak danou skicu definuje. V momentě, kdy tedy začneme tvořit výkres, stačí si z modelu „vytáhnout“ kóty zadané ve skicích při konstrukci. Výhodou takového to propojení modelu s výkresem je jednoznačně možnost změn v modelu. Změnu provedeme, výkres nám následně stačí otevřít a zregenerovat. Taktéž lze díky propojenosti upravit rozměr ve výkresu a proregenerováním dílu se nám díl upraví. Další výhodou je, že používáním pouze kót z modelu nelze vytvořit překótovaný výkres. Creo si hlídá kóty vynesené ve výkresu a v momentě, kdy v jednom pohledu kótu vyneseme v jiném pohledu ji nám již nenabízí. Tento systém je dvojsečný. V případě, že model vytvoříte bezhlavě a bez přemýšlení nad výkresem, většina kót z modelu bude nepoužitelná. V ten moment sice může nastoupit „záchranná brzda“ v podobě dokótování ve výkresu, tzv. ad kóty (podle značení ve vlastnostech kóty), nicméně tyto kóty se vztahují pouze k danému výkresu a při jakémkoliv změně v geometrii ztrácí reference. Taktéž se dají vytvořit v modelu pomocné skici, v nichž lze využít reference a pomoci si vnesením pomocných kót. Správně zadané a zreferencované pomocné skici nám již dovolí parametrickost, nicméně přidávají do stromu prvků další prvky, což v modelech například o 600 či více prvcích vnáší nepřehlednost.

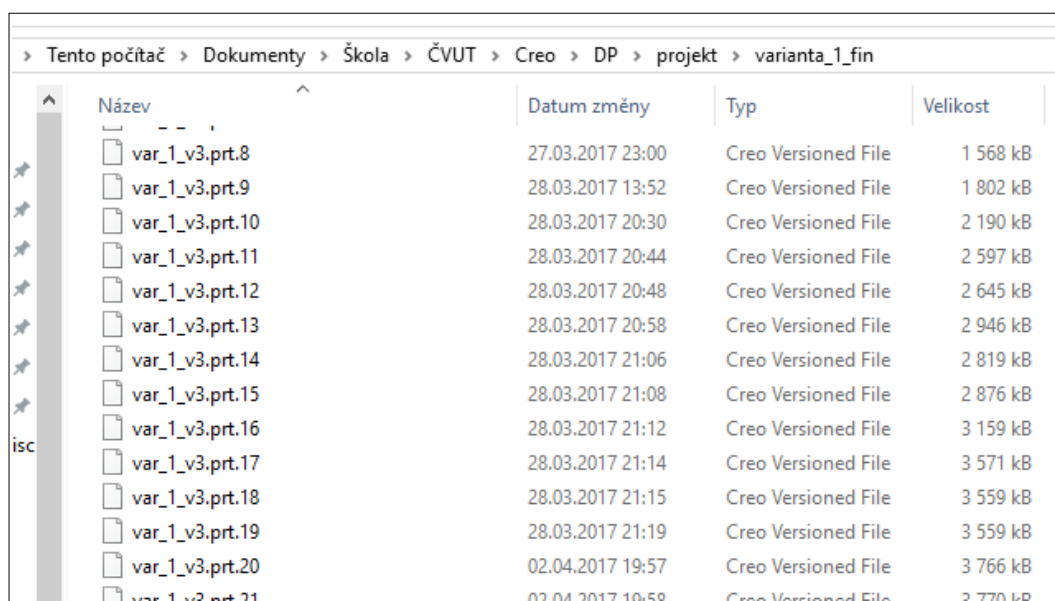


Obr. 12: Kótování ve výkresu rozměry z modelu

Nemenší odlišností od ostatních CAD programů je přesnost a aproximace modelu. Creo pracuje s aproximovanými modely, kdy míru aproximace určuje přesnost definovaná v nastavení programu. Na jednu stranu to přináší benefity v menší náročnosti na výpočetní výkon, kdy se nemusí vypočítávat absolutní rozměry těles. Na druhou stranu to může přinášet problémy při přebírání modelů vytvořených někým jiným, kdy má každý nastavenou jinou přesnost, a tak se může stát, že jeden člověk model bez problémů otevře a druhému s nižší přesností model otevřít nejde. Dalším problémem, s nímž se lze často setkat je, že dvě geometrie na sebe sice vizuálně navazují, avšak ve své definici může vznikat schod či díra. V horším případě se začne geometrie různě deformovat či bortit sama do sebe.

Jistá specifičnost spočívá taktéž v práci s daty. Běžně programy pracují tak, že data z disku se otevrou a vše je fixně spojeno s danými otevřenými daty. V zásadě se v Creu vyskytují tři úrovně pro data. Nejnižší úroveň je otevření dat ze složky. Nadřazenou úrovní je pracovní složka, kterou z pravidla nastavujeme při otevírání dat. Nejvyšší úrovní je pak „session“ (německy sitzung) – data v operační paměti. Jde o to, že při otevírání dat si program načte model do operační paměti, „uloží“ si ho tam a do momentu, než ho z té paměti smažeme, v ní stále je. V případě, že si otevíráme model, Creo si jako první sáhne do session, pokud tam nic nenajde, dívá se do pracovní složky. Pokud ani tam nic nenajde, pak teprve otevírá soubor z umístění, ze kterého otevíráme. Znamená to tedy, že v případě, že se v nadřazených úrovních nachází soubor se stejným jménem, otevře jej. Pro začátečníka je takováto práce s daty dosti obtížná a snadno se lze dopustit chyby a promíchat data. Na druhou stranu lze této vlastnosti skvěle využívat a „podhazovat“ modely

a geometrie dle potřeby bez nutnosti složitého kopírování dat (např. u sestav). U práce s daty bych zmínil ještě jednu věc a tou je ukládání. Samotný proces ukládání má taktéž určitá specifika, nicméně ta jsou částečně spojena s prací s daty výše zmíněnou. Největší specifikum ohledně ukládání spočívá v ukládání „mezistavů“. Každé uložení znamená, že se v pracovním adresáři vytvoří soubor nesoucí jméno daného modelu s příponou .prt.X, kde „X“ znamená pořadové číslo uložení. Díky těmto ukládaným mezistavům se lze lehce vracet k předešlým verzím, předchozím uložení. Na první pohled to v pracovním adresáři vypadá velice nepřehledně, nicméně tato nepřehlednost se vždy oplátí v momentě, který se několikrát nevyhnul i mě. Vydal jsem se určitou cestou a zjistil jsem, že tato cesta nebyla z nešťastnějších, nebo jsem nešetrnou úpravou geometrie porušil nějakou referenci a v pozdější fázi se model začal hroutit. Následně se stačilo vrátit k uložení před touto změnou a nemusel jsem experimentovat s úpravami modelu „aby to zase fungovalo“, když už nešlo využít tlačítka zpět.

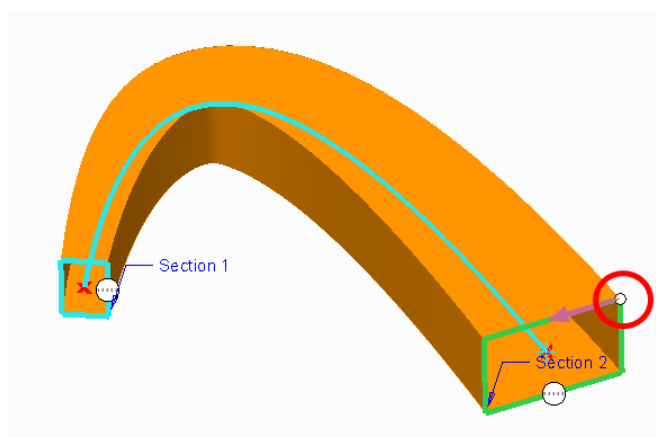


Název	Datum změny	Typ	Velikost
var_1_v3.prt.8	27.03.2017 23:00	Creo Versioned File	1 568 kB
var_1_v3.prt.9	28.03.2017 13:52	Creo Versioned File	1 802 kB
var_1_v3.prt.10	28.03.2017 20:30	Creo Versioned File	2 190 kB
var_1_v3.prt.11	28.03.2017 20:44	Creo Versioned File	2 597 kB
var_1_v3.prt.12	28.03.2017 20:48	Creo Versioned File	2 645 kB
var_1_v3.prt.13	28.03.2017 20:58	Creo Versioned File	2 946 kB
var_1_v3.prt.14	28.03.2017 21:06	Creo Versioned File	2 819 kB
var_1_v3.prt.15	28.03.2017 21:08	Creo Versioned File	2 876 kB
var_1_v3.prt.16	28.03.2017 21:12	Creo Versioned File	3 159 kB
var_1_v3.prt.17	28.03.2017 21:14	Creo Versioned File	3 571 kB
var_1_v3.prt.18	28.03.2017 21:15	Creo Versioned File	3 559 kB
var_1_v3.prt.19	28.03.2017 21:19	Creo Versioned File	3 559 kB
var_1_v3.prt.20	02.04.2017 19:57	Creo Versioned File	3 766 kB
var_1_v3.prt.21	02.04.2017 19:58	Creo Versioned File	3 770 kB

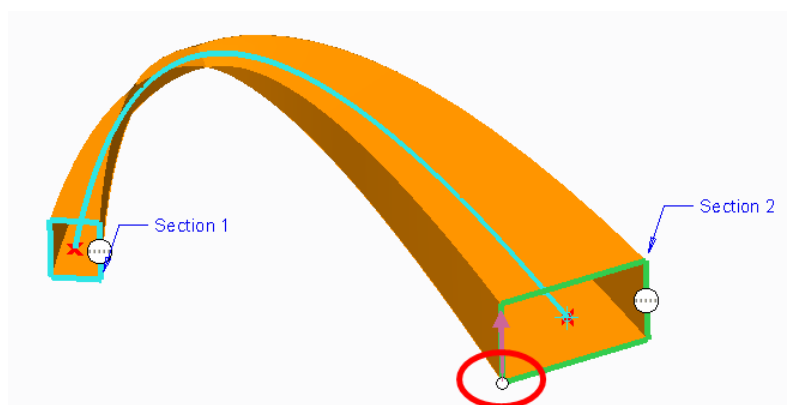
Obr. 13: Uložené mezistavy v pracovním adresáři

Jedním ze specifíků, které bych ještě vypíchl, je tažení „swept blend“. Umožňuje tažení mezi dvěma různými profily. Většina ostatních prvků nám dovolí veškeré atributy zvolit až po zakliknutí daného prvku. Zde je výjimka, takže pokud chceme provést tažení po trajektorii, která není součástí již vytvořeného modelu, např. hrana, musíme požadovanou trajektorii vytvořit v samostatné skice. Poté již můžeme začít tvořit samostatné tažení. Profily, mezi nimiž chceme provést tažení mají takovou nemilou vlastnost, že musí

souhlasit počet segmentů. V praxi to znamená, že nelze jednoduše vytvořit kružnici a čtverec a spojit je. Creo totiž kružnice vytváří jako dvě spojené půlkružnice, tzn. dva segmenty. Čtverec má segmenty čtyři, kružnici tak musíme rozdělit na čtyři díly. Podstata tkví v propojení profilů. Creo se primárně váže na kraje segmentů a zbytek vyplňuje podle nastavených okrajových podmínek – tečné, normálové či volné, které vytváří tažený profil s co „nejmenší deformací“ bez jakéhokoliv pravidla. Toto vázání na kraje segmentů nám dovolu-
je volit, jak budou profily propojeny. Na obrázcích 12 a 13 lze vidět rozdíl ve výběru okraje segmentu jednoho profilu („Section 1“) s okrajem segmentu profilu druhého („Section 2“) - červeně zvýrazněno, Section 1 beze změny. Tato nutná shoda segmentů a výběr okrajů segmentů mě stálo dost nervů a ne málo času při modelování sedel a kanálů.



Obr. 14: Ukázka napojování profilů



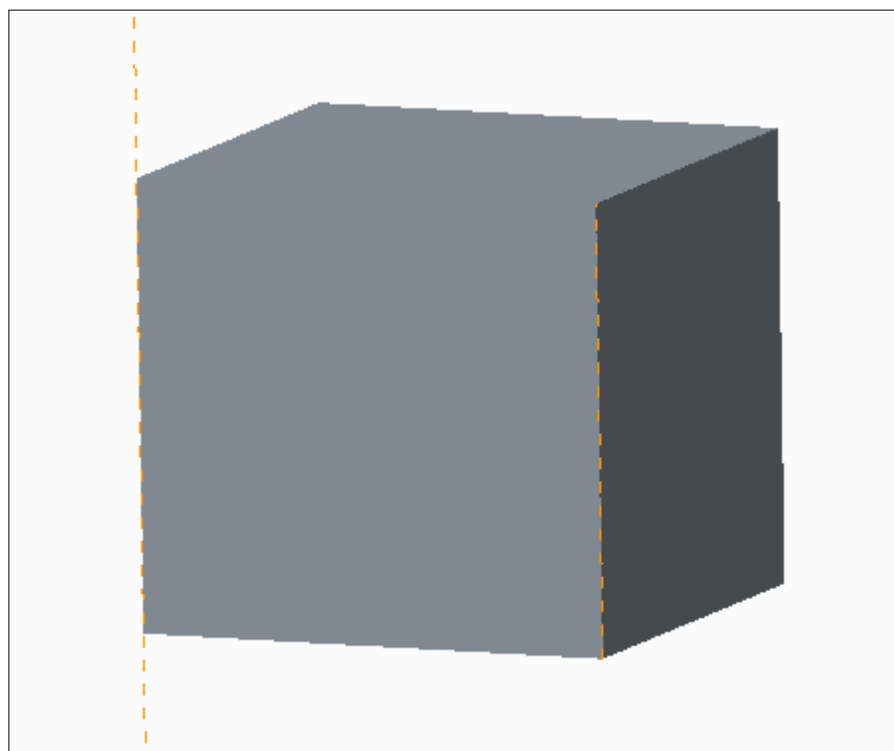
Obr. 15: Ukázka napojování profilů

4.2 Chytré, robustní modelování

Vždy, když stavíme model, měli bychom dbát na co nejčistší stavbu. S velkou pravděpodobností se totiž může stát, že bude model nutné upravit. Pokud bude model postavený špatně, snadno se stane, že po změně jednoho rozměru se model kompletně zhroutí.

4.2.1 Reference

Stavíme-li model tzv. od nuly, vždy je vhodné zamyslet se jak bude orientovaný vůči souřadnému systému. Běžně se model začne tvořit v počátku souřadného systému, orientovaný vůči nějaké ze základních rovin, jako jsem modeloval já. Bohužel jsem se nedokázal vyvarovat začátečnické chyby, kdy se mi podařilo zaměnit kladný směr osy z, a tak jeden z modelů je otočený. Existují ovšem i aplikace, kdy se model vytváří přesně orientovaný v prostoru a není umístěn do počátku souřadného systému. Toho se využívá pokud takový model patří do sestavy pro jednodušší umístění.

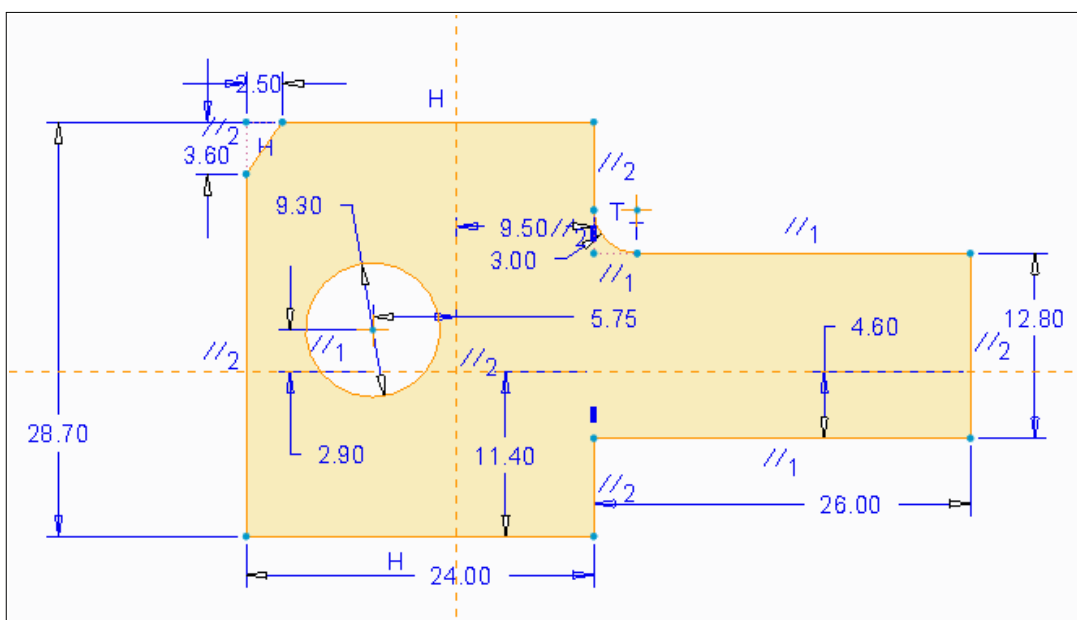


Obr. 16: Promítnutí plochy vlevo a hrany vpravo

Model mám tedy zorientovaný a začal jsem tvořit první tvary – vysunutím, rotací, tažením aj. Ať už v podobě plného materiálu, tzv. solidu, nebo plochy, což je můj případ. Následně, když modelujeme dále, je z pravidla potřeba mít nějakou vazbu na již vytvořené části. V programu Creo se tyto vazby nazývají reference a jejich špatnou volbou mohou vznikat velké nesnáze. Jako referenci můžeme vzít rovinu, osu, bod, či plochu, hranu bod již vytvořené geometrie. Roviny, osy a body mohou být jak základní, tak uživatelem zdefinované a je vhodné tyto roviny vždy vztáhnout k souřadnému systému. Toto není nutností, ale je vhodné pokud tvořím nějakou pomocnou rovinu a je vztažená na geometrii, tak aby vztahovaná geometrie byla volena s rozumem. V mém případě jsem vztažení pomocných rovin k vytvořené geometrii využíval při modelování sedel ventilů. Reference z již existující geometrie je vždy nejvhodnější volit plochy. Hrany a body nejsou tak robustní, a proto se může stát a stává se, že při drobné změně nějakého rozměru či přidání zaoblení se hrana či bod ztratí nebo přemístí a Creo tuto změnu nedokáže zpracovat a takovou referenci ztratí. Výsledkem potom je opět spadlý prvek, ve kterém tato reference byla použita a prvky, jenž jsou na něm závislé. V mé práci tak je k nalezení mnoho i takovýchto „slabých“ referencí. Vznikaly zejména v počátku tvorby modelů, když jsem se teprve s programem Creo učil. Snažil jsem se takové vazby změnit, ale ne vždy se mi je podařilo najít. Spíše jsem je opravoval v momentech, kdy jsem se k modelu vracel zpětně a upravoval ho. Dalším bonusem referencí na plochy oproti křivkám je fakt, že v případě hrany vznikne referenece v podobě obecné křivky, kdežto reference plochy znamená převzetí jejích vlastností. To znamená, že v případě reference válcové plochy se do skici promítne kružnice včetně jejího středu. Na obr. 12 si můžeme prohlédnout ilustrativní případ referencí plochy kvádru a hrany. V případě reference plochy se tato plocha promítne jako přímka, kdežto v případě hrany to je pouze úsečka odpovídající délce hrany promítnuté do roviny skici, v tomto případě umístěné na čelní straně kvádru.

4.2.2 Skici

Skici tedy umísťují podle řekněme obecných pravidel zmíněných v předchozím odstavci. Základním pravidlem pro tvorbu skic je, aby byla co nejjednodušší. V ideálním případě obdélník či kruh/kružnice. Toto pravidlo není úplnou podmínkou pro modelování jako takové jako pro kontrolu. Když se chci vrátit ke svému modelu, je pro mě mnohem jednodušší vyznat se v každém prvku, má-li skica nejmenší možný počet kót. Oprostíme-li se od samotné kontroly a čtení postaveného modelu, velké obtíže hrají složité skici i v případě její nutné úpravy. Může se tak různě deformovat a práce, která by s jednoduchými skicami byla na několik sekund nám zabere řádově více času.

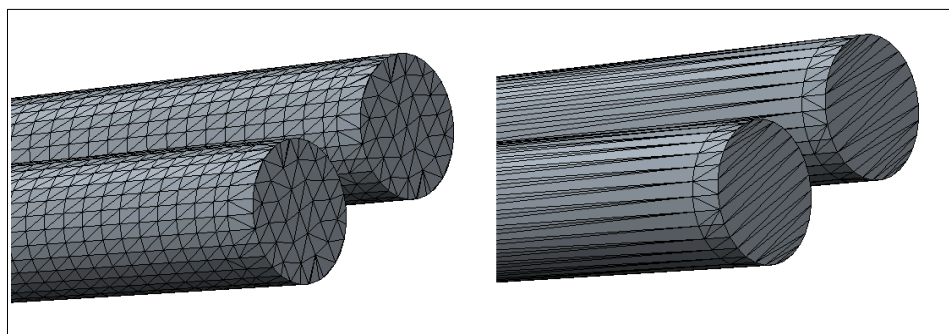


Obr. 17: Ilustrativní (pro lepší názornost) příklad zbytečně složité skici

5 Geometrie

Veškeré geometrie, které jsem vytvořil, mají za úkol představovat objem vzduchu v kanálech a válci motoru, nikoliv motor jako takový. Vytvořené geometrie bylo nutné pro export do AVL FIRE převést do formátu STL. Byť model v tomto formátu má pouze plošnou geometrii tvořenou trojúhelníky, bylo nutné návrhy geometrií v plochách převést na „solid“. V rámci exportu do STL je potřeba nastavit parametry „Chord height“, jenž určuje velikost přepon trojúhelníků, a druhý „Angle control“, kterým lze ovlivnit úhel rozevření odvěsen trojúhelníků. Zkoušením různých hodnot těchto parametrů jsem dospěl ke kompromisu v přesnosti vůči původnímu modelu s hodnotou 0,1 u obou parametrů. Dále lze ještě navíc nastavit „Step size“, což lze označit jako délku odvěsen, kterou jsem nechal v základním nastavení, jelikož ovlivňovala pouze trojúhelníky na rovných plochách, kde nevznikaly žádné problémy s geometrií.

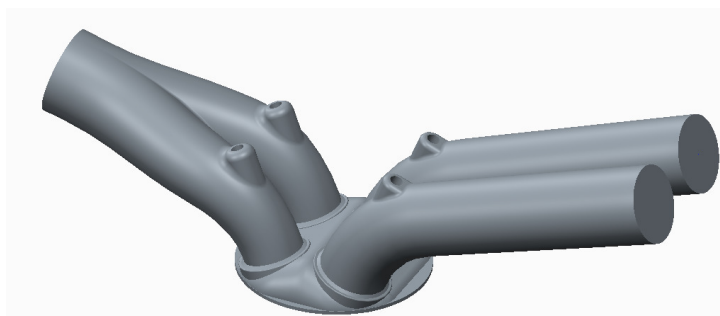
Pohybem ventilů a jejich dosednutím do sedel se oddělí objemu kanálu od objemu válce, proto všechny varianty bylo nutné vytvořit minimálně ve třech verzích. Jedna s otevřenými sacími i výfukovými ventily, druhá se zavřenými výfukovými ventily a otevřenými sacími a třetí se všemi ventily zavřenými. Následně jsem udělal navíc ještě další čtyři verze pro variantu, která ze „základního“ výpočtu vyšla s největším potenciálem pro vytvoření vrstvené směsi. Jednalo se v zásadě o možnost variace mezi otevřením sacího ventilu s EGR a s čerstvou směsí.



Obr. 18: Rozdíl v STL při základním nastavení (vpravo) a hodnotě přibližně poloviční (vlevo)

5.1 Varianta „CCVS“

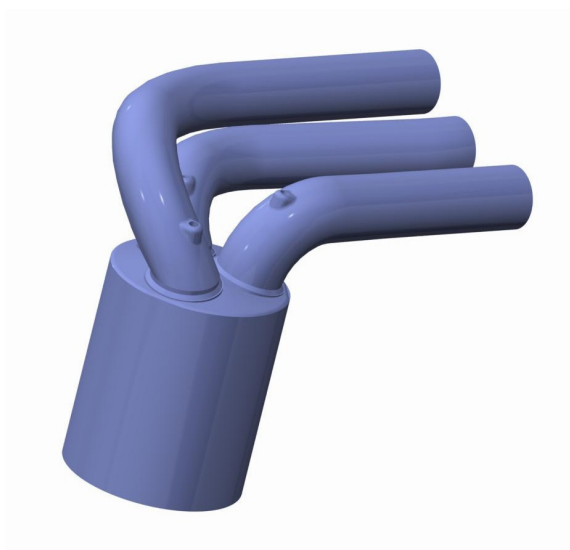
Tato varianta vznikla primárně v rámci seznámení s modelováním ploch v programu Creo, přípravou geometrie a tvorbou sítě v AVL FIRE. Jedná se o zjednodušený a upravený model vycházející z motoru Škoda 1.5 MPI. Tento model následně posloužil jako základ pro zbylé návrhy geometrií, zejména pro variantu 2 a 3.



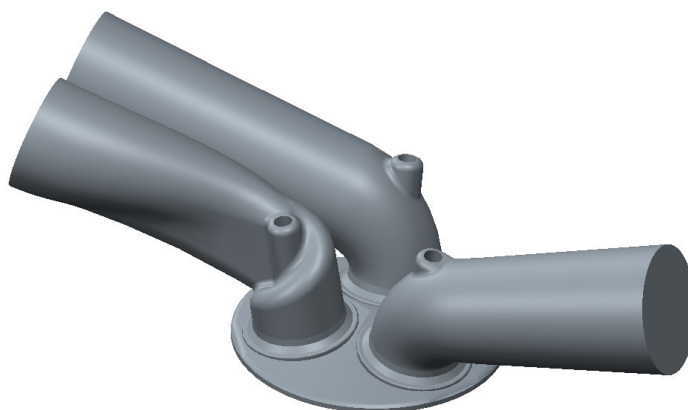
Obr. 19: Model varianty „CCVS“ připravený pro export

5.2 Varianta 1

Myšlenkou varianty 1 bylo vytvořit radiální rozvrstvení za pomoci tečného kanálu s recirkulovanými výfukovými plyny a šroubovicového kanálu s čerstvou směsí. V ideálním případě bylo úmyslem rozvířit čerstvou směs a dostat ji do středu válce. Navíc má tato varianta lepší předpoklad pro udržení swirlu díky spalovacímu prostoru spíše kulovitého prostoru a absencí squishových štěrbin.



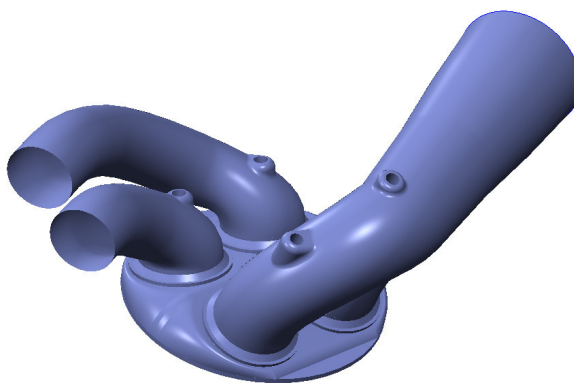
Obr. 20: První pracovní verze varianty 1



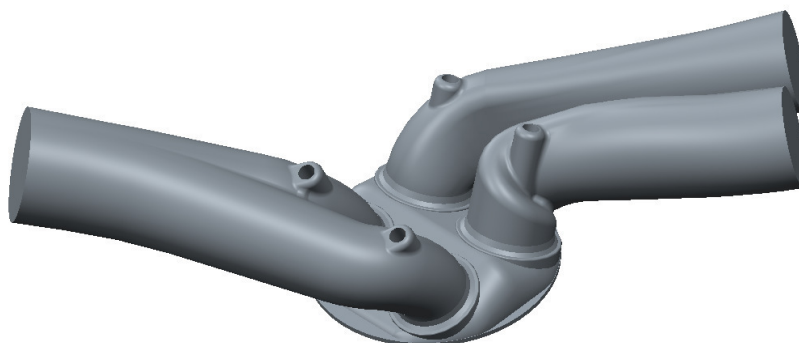
Obr. 21: Model varianty 1 připravený pro export

5.3 Varianta 2

Varianta 2 je založena na stejném principu jako varianta 1, tedy na radiálním rozvrstvení. Rozdílem oproti předchozí variantě je mimo počet ventilů zejména spalovací prostor vycházející z motoru 1.5 MPI. Tato varianta se oproti „výchozí“ variantě „CCVS“ liší tvarem kanálů. Zejména se jedná o kanály sací. Výfukové byly následně upraveny tak, aby bylo možné v rámci možností provést zástavbu do řadového uspořádání válců.



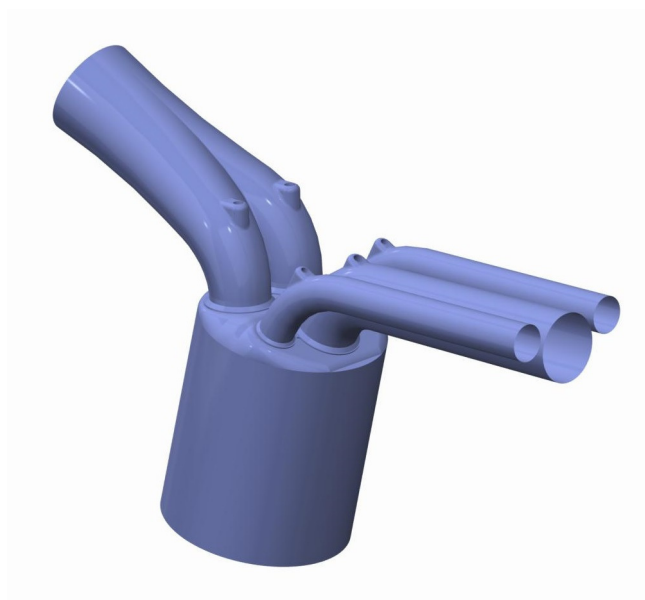
Obr. 22: První pracovní verze varianty 2



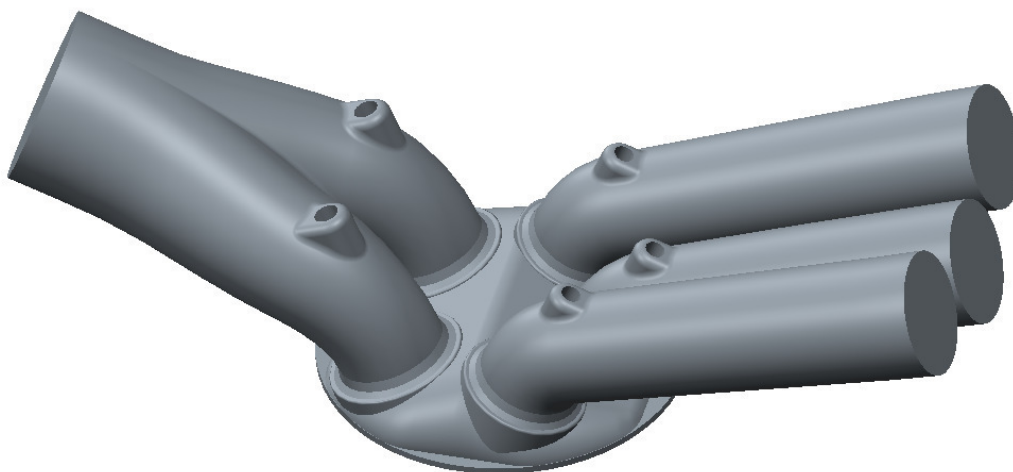
Obr. 23: Model varianty 2 připravený pro export

5.4 Varianta 3

Poslední uvažovanou variantou je využití tumblu podobným principem, jako bylo využito v CCVS, tedy rozvrstvení podle roviny symetrie válce. Myšlenkou bylo vytvoření dvou případně tří oblastí v závislosti na zatížení motoru, kdy by se dalo variovat, kterými kanály bude nasáta čerstvá směs a kterými recirkulované spaliny. Původní návrh jsem navrhl pouze jako koncept. Geometrie obsahovala tři různé průměry ventilů – dva sací a jeden výfukový. Po konzultacích jsem nakonec model upravil do finální podoby s jedním průměrem sacích ventilů a jedním průměrem výfukových ventilů.



Obr. 24: Pracovní verze varianty 3



Obr. 25: Model varianty 3 připravený pro export

6 Síťování v AVL FIRE

Jelikož chci provést výpočet, simulaci, při sacím a kompresním zdvihu, je potřeba vytvořit sadu sadu objemových sítí, které diskretizují objem modelovaného motoru. Během těchto zdvihů se postupně mění geometrie ať už objemem válce, tak i přítomností a absencí sacích a výfukových kanálů. V zásadě se jedná o vytvoření mnoha sad sítí po zvoleném inkrementu úhlu klikové hřídele. AVL Fire k tomuto účelu má funkci, modul, jménem Fame Engine + (zkráceně FEP). Ten umožňuje vytvoření pohyblivých sad automatizovaně. Každá sada obsahuje tři sítě. Jednu na začátku intervalu, jednu z konce intervalu a třetí ze středu intervalu. V rámci jedné sady dochází změnou polohy ventilů a pístu k natahování sítě.

6.1 Příprava geometrií pro síťování

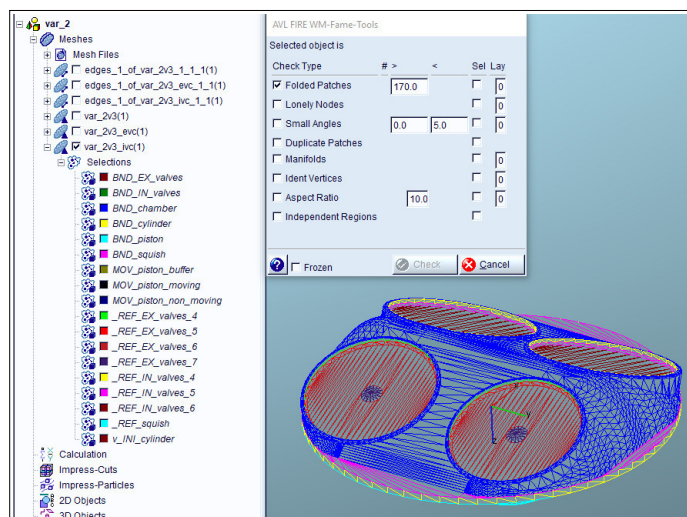
Importovaný model je potřeba před samotným síťováním připravit. Příprava tkví jednak v opravě chyb, jednak v zdefinování co která část geometrie představuje. Fire je výpočetní program uzpůsobený pro spalovací motory a z toho plyne výhoda ať už v tvorbě sítí tak i v nastavení výpočtu samotného.

6.1.1 Oprava importované geometrie

Prvním krokem po importu geometrie byla oprava chyb vzniklých převodem do STL. Převážně se jednalo o deformované trojúhelníky, tzv. „Folded patches“. Z části vznikaly v závislosti na nastavení exportu do STL, ovšem po vyzkoušení nastavení se mi podařilo část těchto problematických oblastí eliminovat a dá se říci, že dalším zjemňováním pod Chord height i Angle control 0,1 nedocházelo k dalšímu úbytku. Folded patches jsou zdeformované trojúhelníky, jenž vznikají na složitých místech geometrie, kdy se přeloží samy přes sebe. V takovéto oblasti poté může nastat problém při síťování, jelikož program v tomto místě neví, která strana je vnější a která vnitřní. I když to program vysíťuje, v těchto místech mohou vzniknout tzv. negativní objemy, což jsou zjednodušeně řečeno elementy obrácené naruby. Negativní objemy AVL Fire dokáže vyhodnotit jako nežádoucí a sadu sítí, ve kterých se vyskytují, označí v soupisu vytvořených sítí červeně.

6.1.2 Selections

Selections představuje výběr části modelu, kterému následně přiřazujeme jisté atributy pro vytvoření sítě. Tyto výběry lze provést ručně, ale taktéž lze využít zabudovaného nástroje „Engine Selection“, který dokáže vytvořit výběry sám, avšak vždy je silně žádoucí



Obr. 26: Selections v modelu a stromě, nástroj pro hledání vad geometrie

tyto výběry zkontrolovat. Může se stát, že tento nástroj výběry přiřadí špatně, např. prohodí sací a výfukovou stranu apod. Já tento nástroj nevyužíval a selections jsem vytvářel ručně.

Z počátku to bylo zejména z důvodu seznámení se práce s programem. Následně mi již oprava špatně vytvořených selections trvala déle než vytvoření nových. Fire svojí specializací na spalovací motory má jistou predikci, kdy pojmenováním selections, jejich předponou a příponou, si dokáže odvodit, co který výběr bude mít na starost a k jakému atributu bude přiřazen.

BND

Boundary jak už název napovídá určuje hranice modelujeme.

MOV

Definice hýbajících se částí modelu složená ze tří výběrů lišících se příponou. V mém případě píst a ventily.

- `_moving` – obsahuje samotnou část modelu, která se pohybuje
- `_buffer` – část modelu ve které bude docházet k protažení buněk
- `_non_moving` – část, jenž se nehýbe

_REF

Výběr pro zjemnění sítě. Vybrány jsou v nich ventily, sedla případně další části.

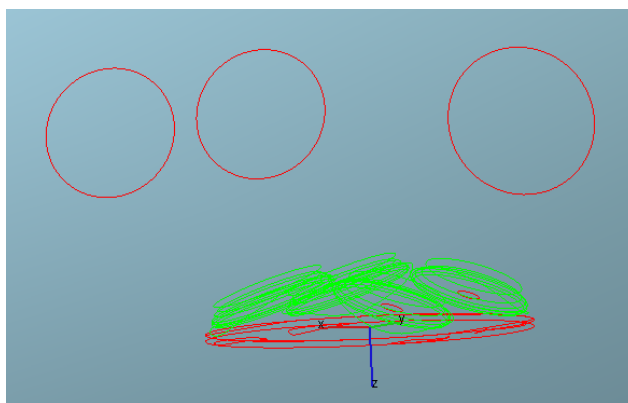
v_INI

Inicializační výběr, který hraje roli na počátku výpočtu, kdy nastavíme co a jaké podmínky v dané části geometrie mají být.

6.1.3 Hrany

Síť je tvořena kvádry, které sice mají snahu kopírovat povrch, jenž definují selections, ale pokud se dostanou tyto kvádříky k ostré hraně, z pravidla ji nedokáží dodržet. Při tvorbě sítě se FEP snaží všechny kvádry zachovat stejné a povrch se aproximuje. Abychom měli zachovány důležité hrany musíme provést výběr hran, „edges“. Ty jsou vždy přiřazeny k jednotlivé geometrii. FEP tedy začíná vytvářet síť od těchto hran, aby zaručil, že hrana v síti bude odpovídat hraně v geometrii. Jedná se většinou o hrany na ventilech, sedlech, avšak i obecně všech hran v geometrii, např. hrana mezi stěnou válce a pístem.

6.2 Nastavení síťování

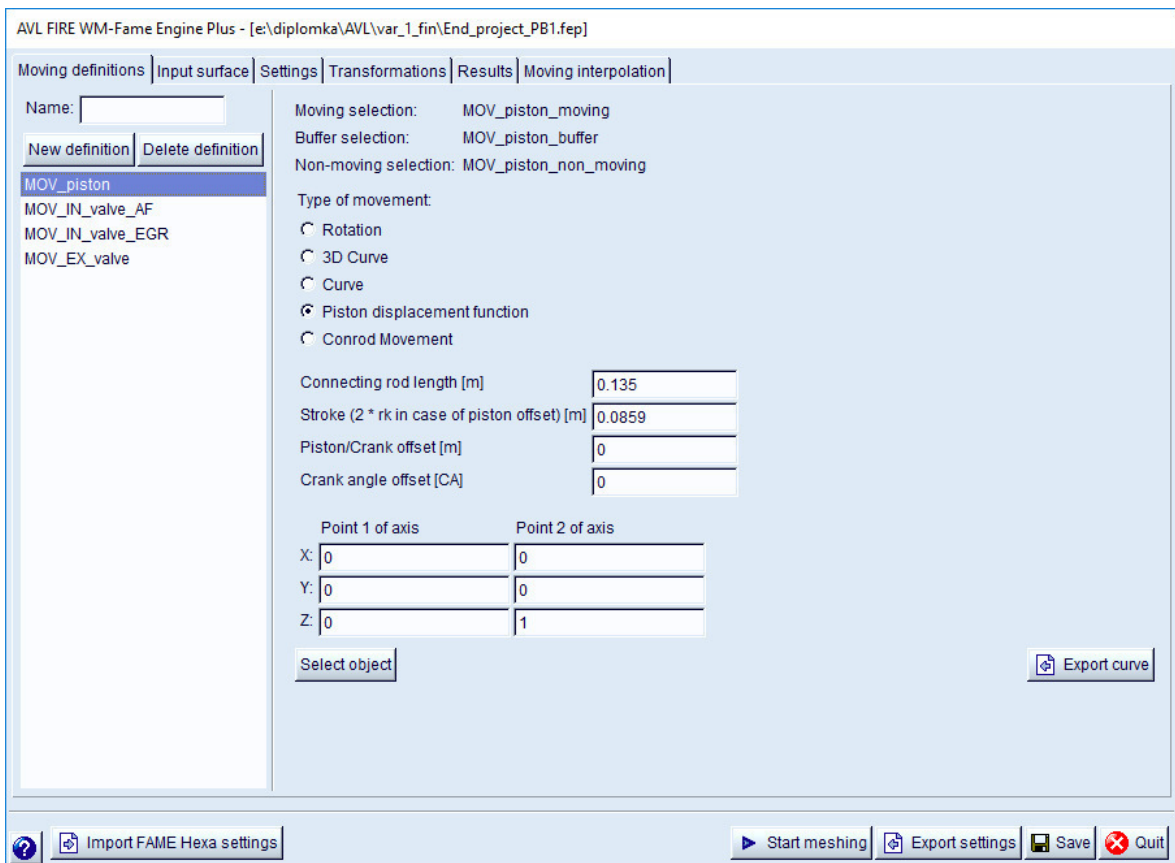


Obr. 27: Hrany varianty 2 s výběrem pro zjemnění (zelená)

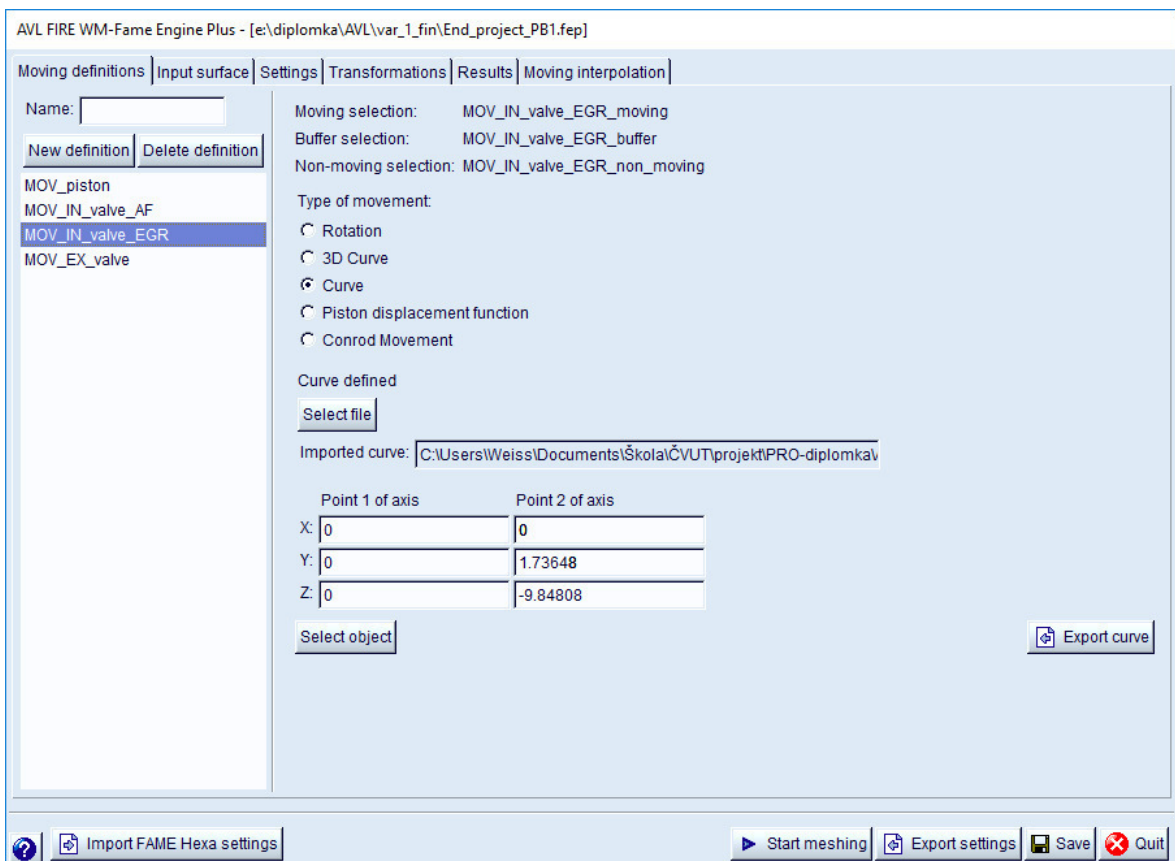
Nastavení samotného síťování se provádí pomocí samotného dialogu FEPu. Nyní v nastavení síťování musíme mít rozmyšlené pracovní body. Jmenovitě průběhy zdvihů ventilů v závislosti na úhlu natočení klikové hřídele a samozřejmě musíme znát parametry klikového mechanismu.

6.2.1 Moving definitions

V definici pohyblivých částí bylo nutné přidat každou část a následně nastavit jakým principem bude zadefinován její pohyb. Jak je vidět z dialogů viz obr. 28 a obr. 29, vytvořením nové definice pod názvem, jaký jsem zvolil při přípravě geometrie, proběhne automatické přiřazení výběrů `_moving`, `_buffer` a `_non_moving`. Následně se přiřadí druh pohybu a jeho definice. Pro píst to znamená volbu „Piston displacement function“, délku ojnice 135 mm, zdvih 85,9 mm a kladný směr pohybu. V případě ventilů volbu „Curve“, s výběrem souboru, ve kterém je zadefinována zdvihová křivka pomocí závislosti zdvihu na natočení klikové hřídele, a opět zadefinování kladného směru pohybu.



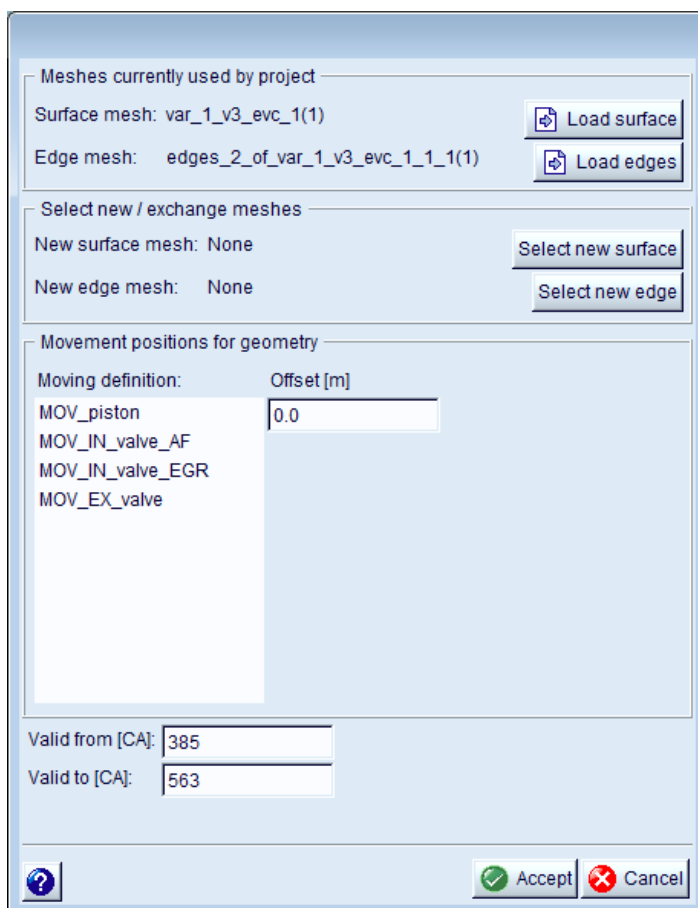
Obr. 28: Moving definitions - píst



Obr. 29: Moving definitions - ventily

6.2.2 Input surface

Záložka Input surface obsahuje definice v jakém úhlovém intervalu bude použita ta která varianta geometrie. Podíváme-li se na obrázek 30, vidíme, že použitá geometrie je platná od 385° do 583° natočení klikové hřídele a jedná se o geometrii „evc“, tedy zavřené výfukové a otevřené sací ventily. Taktéž je zde možné přiřadit odsazení, „Offset“ pro všechny použité pohyblivé definice. To jsem využil v případě ventilů, jež byly namodelovány se zdvihem 0,25 mm. Pokud bychom toto odsazení nenastavili, zdvihová křivka by byla pozměněná právě o tento zdvih z modelu. Zdvih 0,25 mm byl zvolen záměrně s ohledem na minimální doporučovanou hodnotu zdvihu, pod kterou není vhodné chodit s ohledem na možný vznik deformací buněk. Zmenšování této mezery nutně vede k definování menších buněk, které by v mém případě vedly pouze na zvýšení výpočetního času a zbytečnému navýšení objemu dat.



Obr. 30: Input surface

Pracovní bod 1

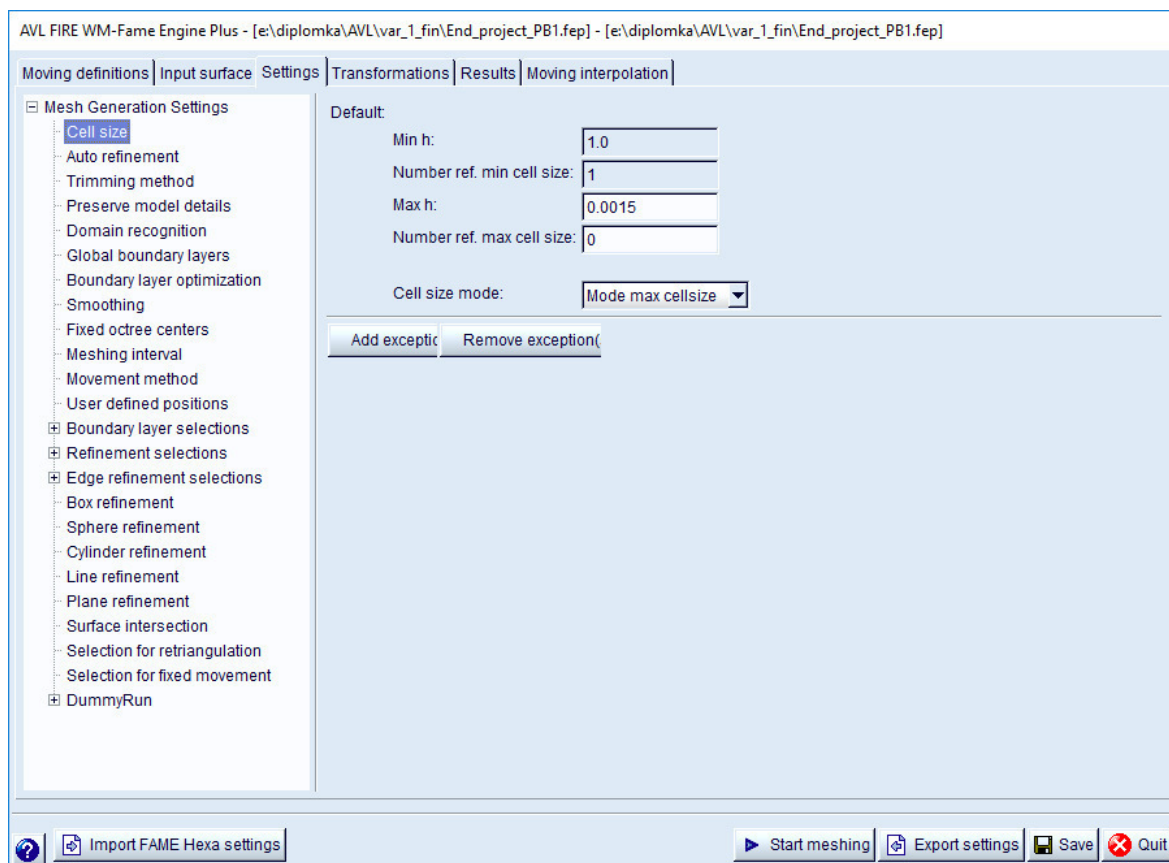
- Otevřené sací i výfukové ventily 344° – 385°
- Otevřené sací a zavřené výfukové ventily 385° – 563°
- Zavřené ventily 563° – 720°

Pracovní bod 2

- Otevřené sací i výfukové ventily 338° – 381°
- Otevřené sací a zavřené výfukové ventily 381° – 556°
- Zavřené ventily 556° – 720°

6.2.3 Settings

Settings, tedy nastavení se týká zdefinování vlastností samotné sítě jako takové. Pro mojí potřebu nebylo nutné využít veškeré nabídky pro nastavení, takže uvedu pouze ty, které jsem nastavit musel. Všechny nabídky nastavení podporují vytváření výjimek definovaných úhlem natočení klikové hřídele.



Obr. 31: Settings

Cell size

Velikost buněk sítě, definice maximální velikostí hrany

- Max h 1,5 mm

Trimming method

Metoda oříznutí geometrie – standartní. Toto nastavení ovlivňuje jak se budou chovat buňky na povrchu geometrie. Nastavení „standard“ znamená, že i na hranicích geometrie budou využity kvádry. Další varianty umožňují různé oříznutí těchto kvádrů a doplnění jehlany apod. Sice díky tomu lze dosáhnout přesnějších výsledků, avšak za cenu horšího výpočetního času, což v mém případě studie nebylo výhodné a nebyl k tomu ani důvod.

Preserve model details

Zachování podrobností modelu ANO

Global boundary layers

Okrajová, hraniční vrstva, využití pro lepší interpretaci mezní vrstvy na stěnách.

- Počet vrstev 2
- Tloušťka první vrstvy 0,2 mm
- Použit vlastní tloušťku ANO

Smoothing

Vyhlazovací metoda (doporučení) Volume and Jacobian optimizer

Meshing interval

Definice po jakém úhlu natočení klikové hřídele bude vytvořena nová sada sítí av jakém úhlovém inkrementu bude docházet k rozdělení natahované sítě a vytvoření nové.

- Maximální krok sady 20°
- Maximální krok natažení sítě 10°

Refinement selections

Nastavení výběrů, pro které chceme hustší síť, v podobě kolikanásobně chceme základní rozměr zmenšit a do jaké hloubky od povrchu má zjemnění proniknout. Zejména využití _REF selections.

Příklad: _REF_EX_valve_2 – dosedací plocha výfukového ventilu

- Úroveň zjemnění 2
- Hloubka zjemnění 5 mm

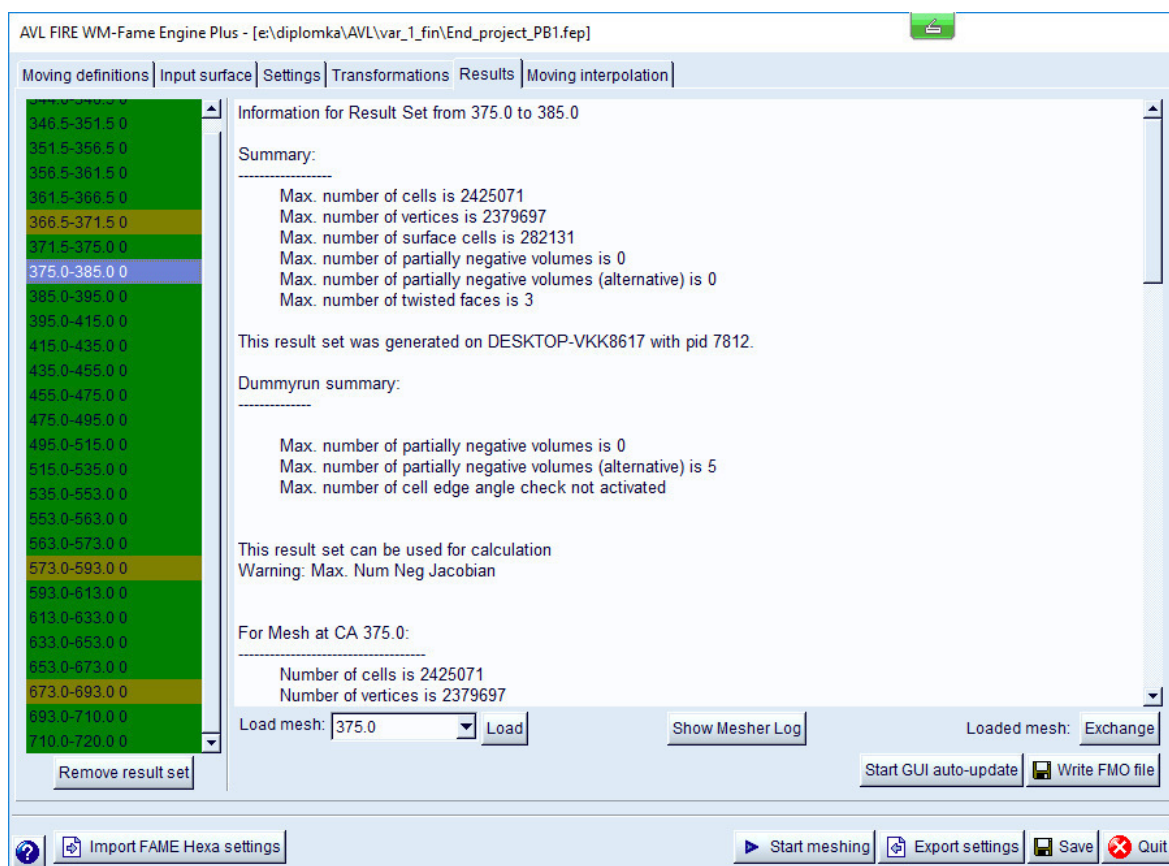
Edge refinement selections

Využití stejné jako u selections výše, avšak s rozdílem, že chceme zjemnění provést pouze v oblasti hrany.

6.2.4 Results

Záložka sloužící ke kontrole vytvořených sítí, k jejich načítání pro kontrolu vizuální a pro export do souboru FMO sloužícího pro výpočet.

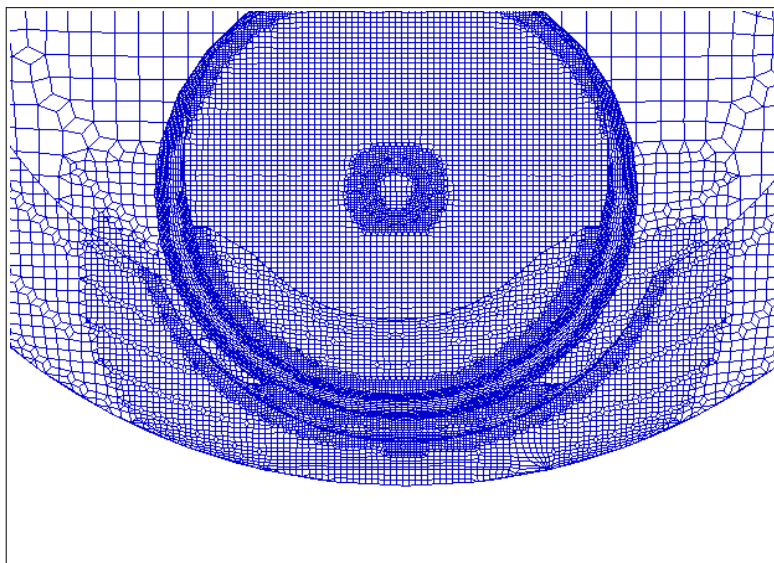
V levém sloupci se nachází soupis vytvořených sad sítí. Mohou nabývat třech barev. Zelená znamená, že sada je v pořádku, okrová znamená alternativní negativní objemy v dummyrunu – takový vykřičník, že mohou nastat potíže ve výpočtu, ale lze ji použít, červená znamená negativní objemy a nepoužitelnou síť



Obr. 32: Results

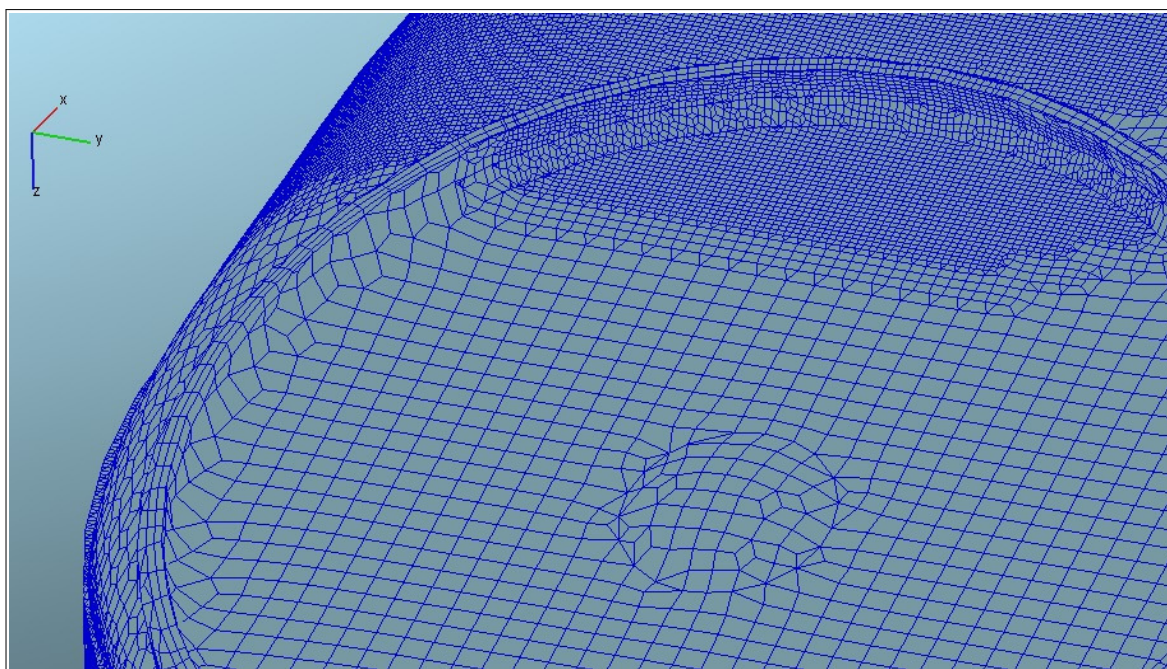
6.3 Problémy při síťování

Převážná část problémů při síťování byla v podobě vzniku negativních objemů v jedné síti. Někdy se dal takový problém vyřešit pouze vymazáním „červené“ sady sítí a jejím novým nasítováním. V jiných případech pomohlo až využití výjimky v „Meshing interval“ v podobě zkrácení intervalu na polovinu či čtvrtinu. Poměrně dlouhou dobu jsem řešil nemožnost nasítovat variantu 1. Stále vycházely negativní objemy v úseku přibližně 40° natočení klikové hřídele za horní úvratí. Po vyzkoušení všech možných i nemožných nastavení jsem začal pátrat od začátku nastavení a chybu jsem našel v definici kladného směru u sacího kanálu pro EGR. Chyba spočívala v prohození směru v ose x a v ose y. Výsledkem bylo, že se ventil vysouval šikmo a náhoda tomu chtěla, že v pracovním bodě 1 stačilo zkrátit v dané oblasti interval natahování sítě a sada sítí prošla. V pracovním bodě 2 již bylo nemožné vytvořit síť s jakýmkoliv nastavením. Tato zdánlivá nekonzistentnost odvedla pozornost od nastavení „základu“, jenž byl zaručeně totožný, k odlišnosti v nastavení mezi pracovními body.



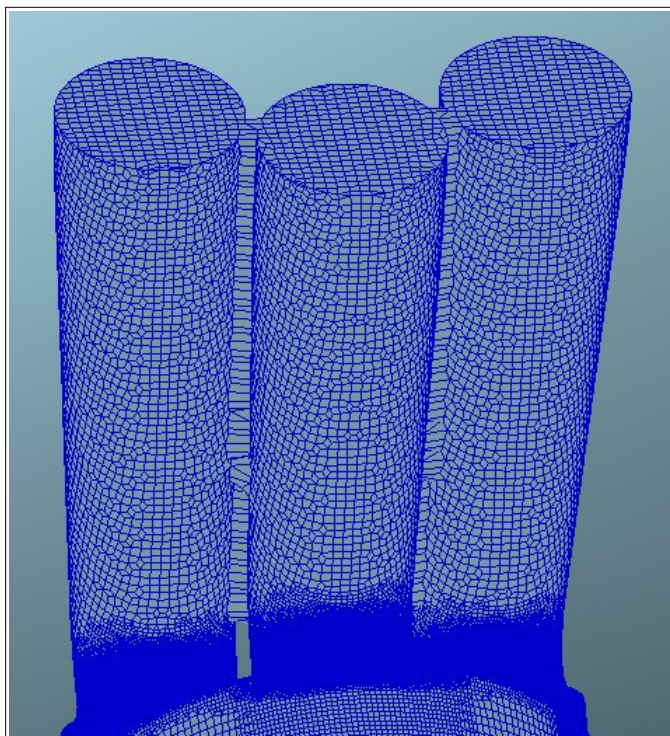
Obr. 33: Nesymetrické vysunutí ventilu

Jedním z problémů, který by se dal označit jako záhadný, bylo ignorování Firu nastavení selections. Na počátku jsem neměl zadané zjemnění v místech talířů zavřených ventilů. Při zběžné kontrole sítě jsem objevil vynechané hrany na talířích ventilů. Po prohlédnutí selections a nastavení FEPu jsem doplnil chybějící výběry na zavřených ventilech. Chybné síť jsem znovu nasítval, avšak jen s částečným úspěchem. Část hrany se již chytla zadané hrany, část však stále ne. Pomohlo až zadaní zjemnění kolem inkriminovaných hran.



Obr. 34: Výnechané hrany na ventilu

Asi posledním zásadním problémem bylo spojování sacích kanálů varianty 3. Po diskusi s mým vedoucím jsem soudili, že se pravděpodobně jedná o chybu, kdy Fire, který v momentě, kdy se dostanou dvě vnější plochy k sobě natolik k sobě, že jejich vzdálenost se blíží nebo je menší než rozměr buněk, síť spojí. Řešením bylo zvýšit zjemnění v oblasti sacích kanálů a ke spojování již nedocházelo.



Obr. 35: Spojování sacích kanálů

7 Pracovní body

Pracovní body byly stanoveny dva pro všechny tři varianty a další dva pro nejnadějnější variantu jsem následně vytvořil kombinací ze dvou stanovených pracovních bodů. Tyto pracovní body byly stanoveny Škodou Auto a vycházejí z typických pracovních podmínek, pro které by bylo řešení případně uplatněno.

7.1 Zdvihové křivky

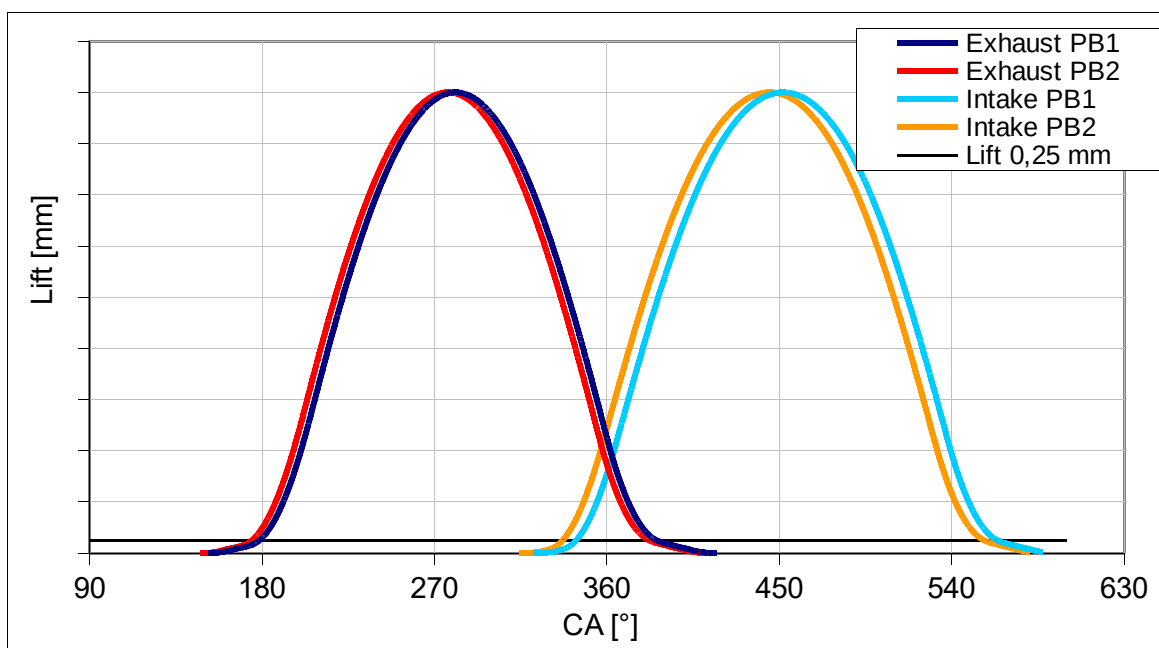
Jedním ze parametrů zadaných ze Škoda Auto byl průběh zdvihových křivek se zadanými vrcholy křivek, jenž odpovídají natočení cam phaseru na motoru 1.5 MPI. Zdvihové křivky využívané v programu Fire jsou ořezány při zdvihu 0,25 mm z důvodu deformací sítě a problémů z toho plynoucích.

7.1.1 Pracovní bod 1

- Vrchol křivky zdvihu výfukových ventilů 282°
- Vrchol křivky zdvihu sacích ventilů 452°

7.1.2 Pracovní bod 2

- Vrchol křivky zdvihu výfukových ventilů 278°
- Vrchol křivky zdvihu sacích ventilů 445°



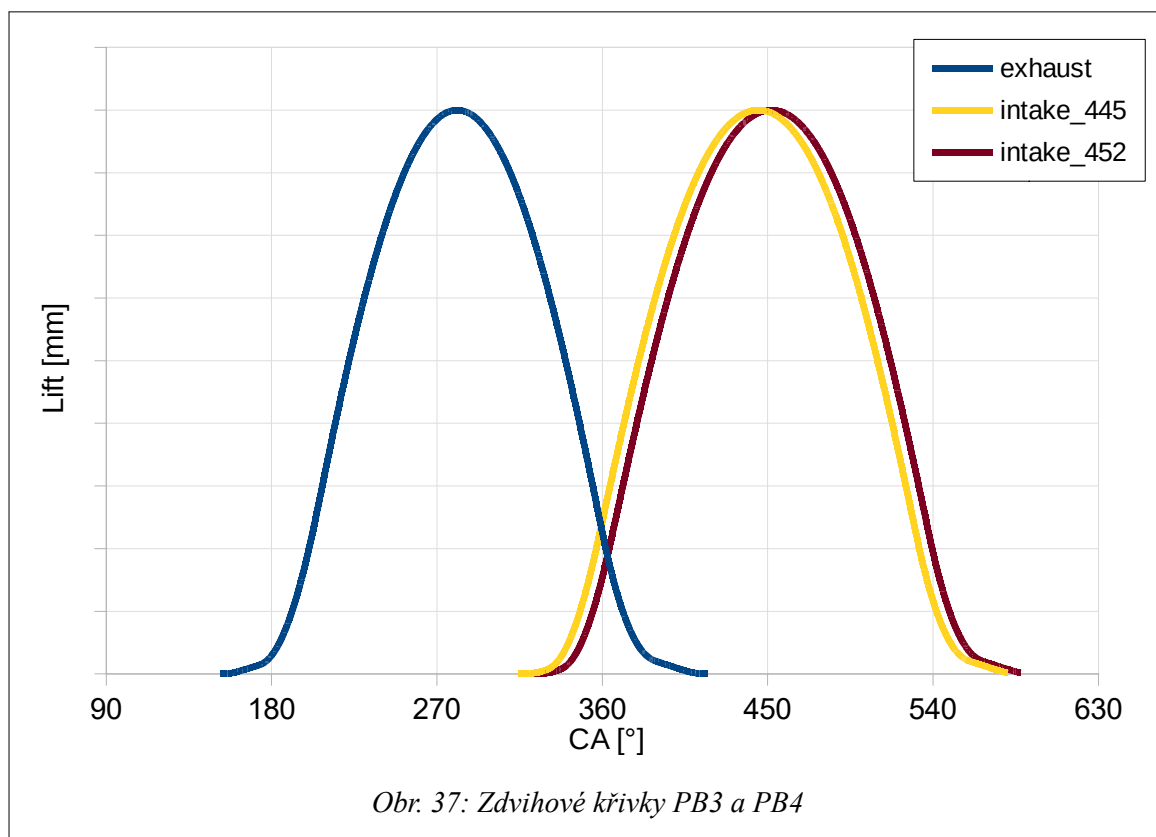
Obr. 36: Zdvihové křivky PB1 a PB2

7.1.3 Pracovní bod 3

- Vrchol křivky zdvihu výfukových ventilů 282°
- Vrchol křivky zdvihu sacího ventilu s čerstvou směsí 452°
- Vrchol křivky zdvihu sacího ventil s EGR 445°

7.1.4 Pracovní bod 4

- Vrchol křivky zdvihu výfukových ventilů 282°
- Vrchol křivky zdvihu sacího ventilu s čerstvou směsí 445°
- Vrchol křivky zdvihu sacího ventil s EGR 452°



7.2 Okrajové a počáteční podmínky

Dalšími z dat získaných byly okrajové podmínky v podobě tlaků v sacím a výfukovém potrubí při středním efektivním tlaku 2,75 bar. Chybějící data byla dopočítána upraveným modelem v GTpower, který mi poskytl můj vedoucí práce. Model byl založen na motoru podobné koncepce a parametrů blízkých motoru 1.5 MPI.

7.2.1 Pracovní bod 1

- Tlak v sání 338 mbar
- Tlak před katalyzátorem 1011 mbar
- Teplota čerstvé směsi 300 K
- Teplota EGR 330 K

7.2.2 Pracovní bod 2

- Tlak v sání 485 mbar
- tlak před katalyzátorem 1021 mbar

7.2.3 Pracovní bod 3

- Tlak v sání čerstvé směsi 338 mbar
- Tlak v sání EGR 485 mbar
- tlak před katalyzátorem 1011 mbar

7.2.4 Pracovní bod 4

- Tlak v sání čerstvé směsi 485 mbar
- Tlak v sání EGR 338 mbar
- tlak před katalyzátorem 1011 mbar

8 Výpočet a způsoby vyhodnocení

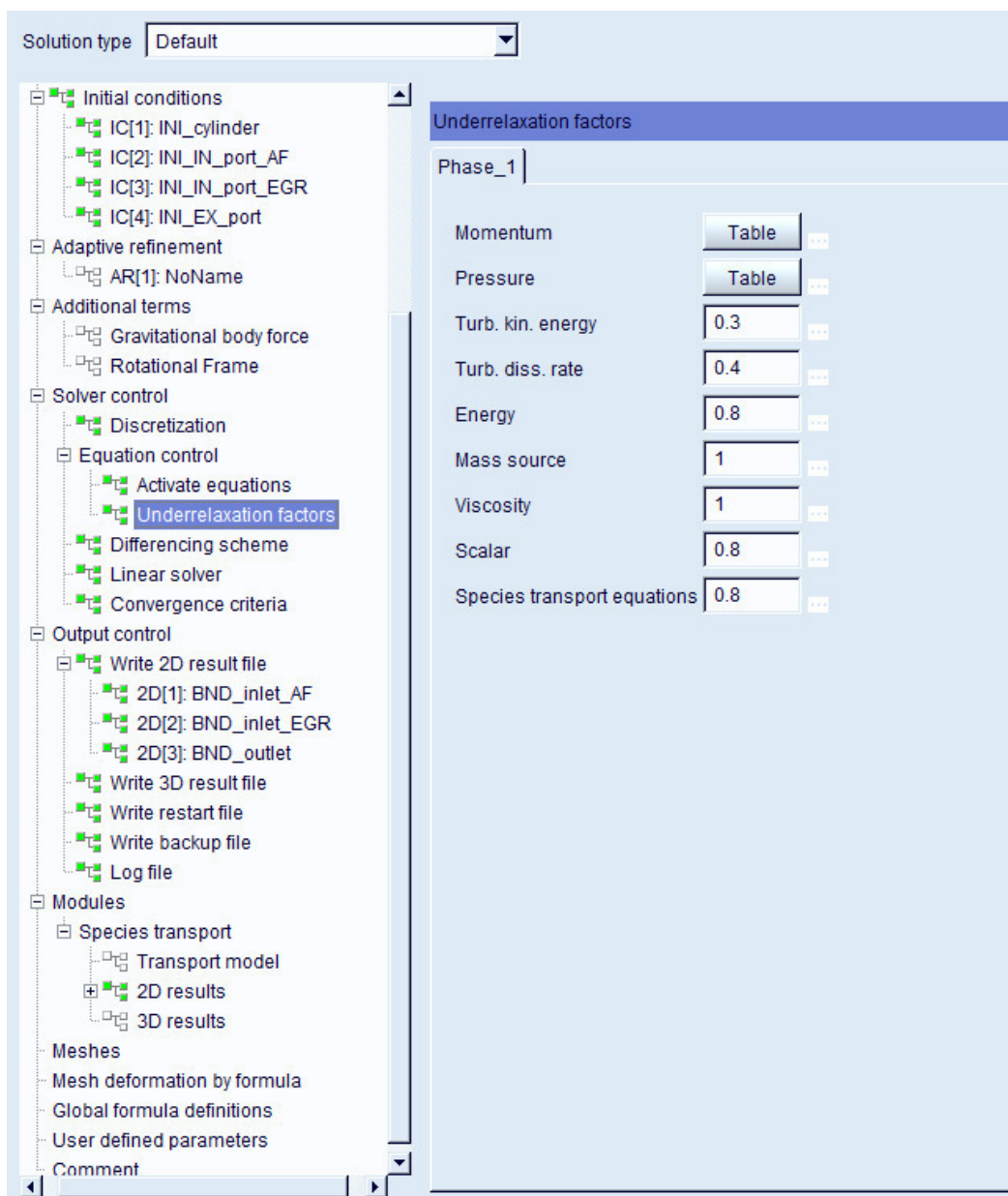
8.1 Nastavení řešiče

Pro nastavení vstupních dat výpočtu se používá Solver steering file, zkráceně SSF. Ten obsahuje jak samotné počáteční podmínky tak i řízení řešiče.

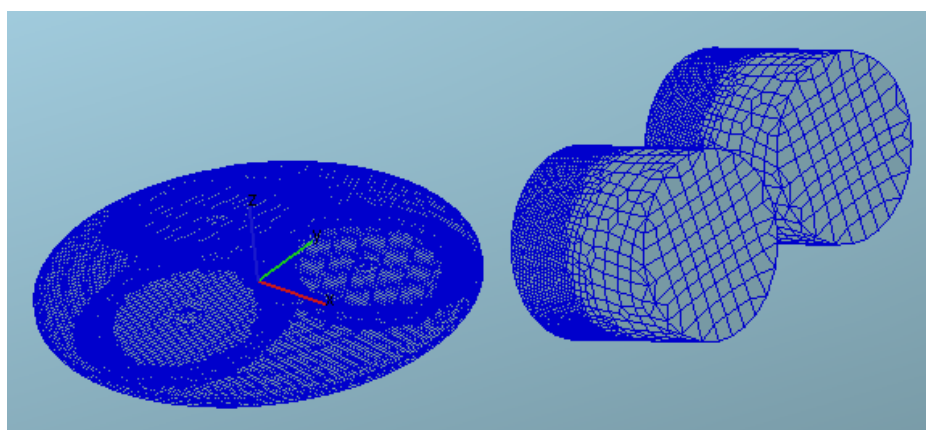
Obr. 38: Příklad dialogu SSF – nastavení okrajových podmínek

8.2 Spouštění simulace

K nastavení řízení řešiče a spuštění simulace byly hotové sítě předány mému vedoucímu. Samotný výpočet probíhal na serveru ústavu a trval v řádu hodin. Některé varianty vykazovaly problémy s konvergencí výpočtu. Při otevření sacích ventilů docházelo k otočení proudu. Pro vyřešení tohoto problému byly prodlouženy sací kanály. Tyto přídavky díky hrubší síti pomáhají k lepší stabilitě výpočtu.



Obr. 39: SSF – nastavení podrelexačních faktorů



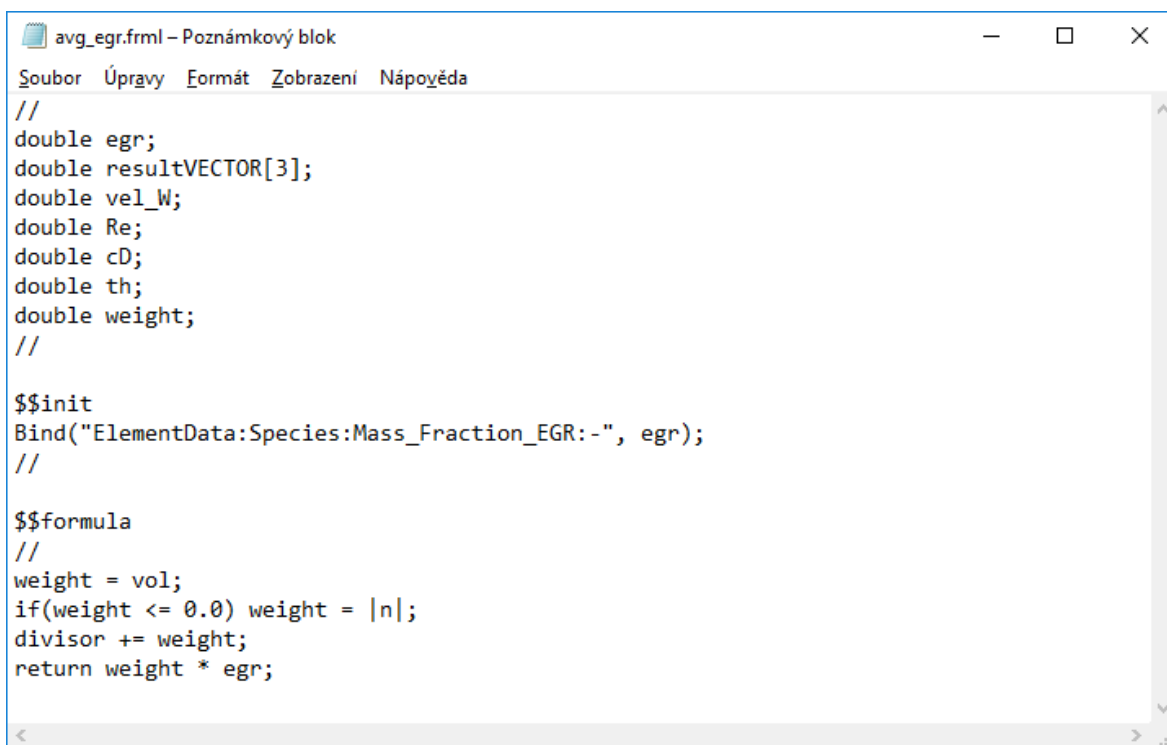
Obr. 40: Prodloužení sacích kanálů

8.3 Vyhodnocení výsledků v AVL Fire

Vyhodnocení výsledků probíhalo ve dvou úrovních. Tou první byl program Fire s modulem Impress a jedná se spíše o vizuální vyhodnocení. Podrobněji budou výsledky probrány v následující kapitole. Abychom si mohli výsledky prohlédnout, bylo potřeba provést načtení výsledků podobou vytvoření nového projektu – souboru s příponou FPR. Tento soubor si prvním otevřením načte data ze samotného výpočtu. Pro prohlédnutí výsledků lze vytvářet řezy a to jak v rovinách rovnoběžných se souřadným systémem, tak i v rovinách obecných.

8.4 Vyhodnocení výsledků pomocí skriptu

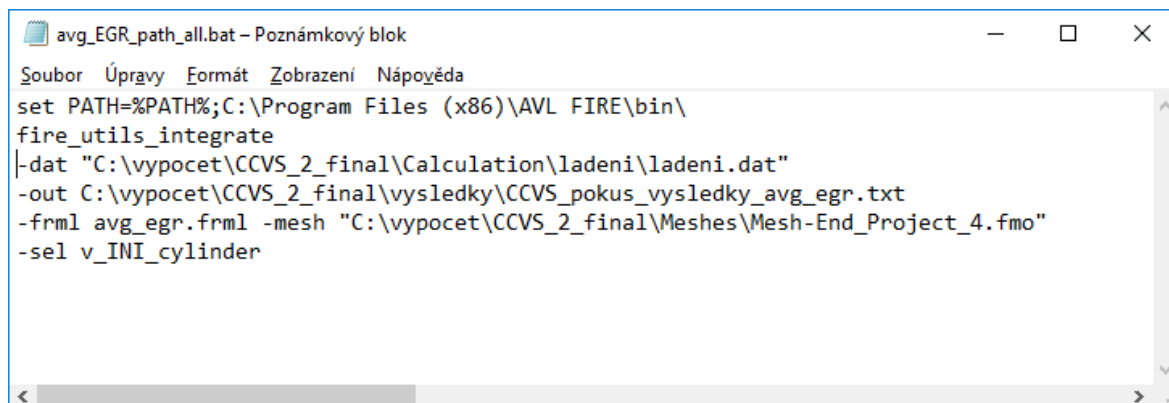
Pokud chceme výsledky vyhodnocovat kvantitativně, je nutné z vypočítaných dat ve Fire získat číselné výsledky. K tomu slouží makra, nebo-li skripty. Jedná se o jednoduché programy napsané v jazyce C. Jsou složeny ze dvou souborů, jedním je samotný program, v němž je naprogramováno co se má provést, a má příponu FRML. Při tvorbě těchto maker jsem vycházel z příkladů, které jsou poskytovány s programem Fire, a vytvořil si svoje. AVL poskytuje k programu Fire sadu příkladů skriptů, ze kterých jsem vycházel při tvorbě vlastních.



```
avg_egr.frml - Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
//
double egr;
double resultVECTOR[3];
double vel_W;
double Re;
double cD;
double th;
double weight;
//
$$init
Bind("ElementData:Species:Mass_Fraction_EGR:-", egr);
//
$$formula
//
weight = vol;
if(weight <= 0.0) weight = |n|;
divisor += weight;
return weight * egr;
```

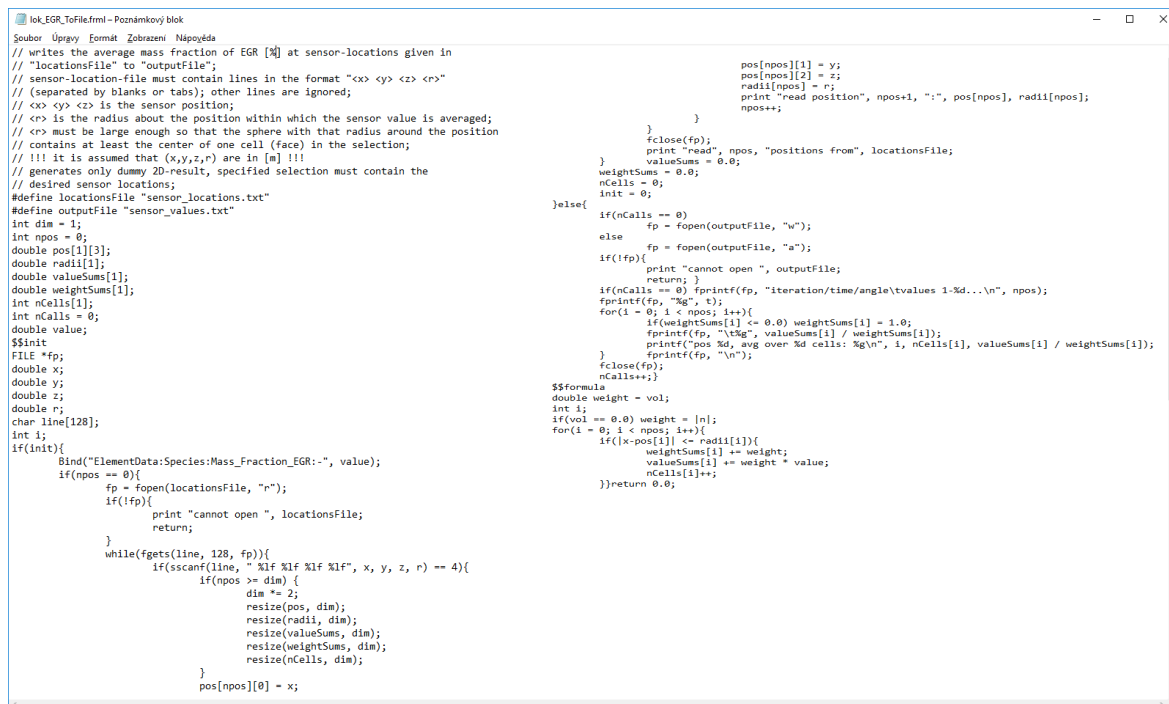
Obr. 41: Makro k vyhodnocení průměrného množství EGR

Druhým souborem je tzv. spouštěcí program. Ty se liší v závislosti na operačním systému, ve kterém chceme makra spouštět. Pokud pracujeme v systému Windows má tento spouštěcí soubor příponu BAT, v Linuxu SH. V zásadě se oba shodují v principu práce s daty. V tomto spouštěcím skriptu je zadefinováno kde na disku se data nacházejí, z jakého místa, výběru, se mají data vypsat, čím se budou zpracovávat – cesta směřující k FRML a kam se mají zpracovaná data uložit.



```
avg_EGR_path_all.bat - Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení nápověda
set PATH=%PATH%;C:\Program Files (x86)\AVL FIRE\bin\
fire_utils_integrate
-dat "C:\vypocet\CCVS_2_final\Calculation\ladeni\ladeni.dat"
-out C:\vypocet\CCVS_2_final\vysledky\CCVS_pokus_vysledky_avg_egr.txt
-frml avg_egr.frml -mesh "C:\vypocet\CCVS_2_final\Meshes\Mesh-End_Project_4.fmo"
-sel v_INI_cylinder
```

Obr. 42: Spouštěcí soubor BAT



```
lok_EGR_ToFile.frm - Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení nápověda
// writes the average mass fraction of EGR [%] at sensor-locations given in
// "locationsFile" to "outputFile";
// sensor-location-file must contain lines in the format "<x> <y> <z> <r>"
// (separated by blanks or tabs); other lines are ignored;
// <x> <y> <z> is the sensor position;
// <r> is the radius about the position within which the sensor value is averaged;
// <r> must be large enough so that the sphere with that radius around the position
// contains at least the center of one cell (face) in the selection;
// !!! it is assumed that (x,y,z,r) are in [m] !!!
// generates only dummy 2D-result, specified selection must contain the
// desired sensor locations;
#define locationsFile "sensor_locations.txt"
#define outputFile "sensor_values.txt"
int dim = 1;
int npos = 0;
double pos[1][3];
double radii[1];
double valueSums[1];
double weightSums[1];
int nCells[1];
int nCalls = 0;
double value;
$$init
FILE *fp;
double x;
double y;
double z;
double r;
char line[128];
int i;
if(!init){
    $bind("ElementData:Species:Mass_Fraction_EGR:-", value);
    if(npos == 0){
        fp = fopen(locationsFile, "r");
        if(!fp){
            print "cannot open ", locationsFile;
            return;
        }
        while(fgets(line, 128, fp)){
            if(sscanf(line, "%lf %lf %lf", x, y, z, r) == 4){
                if(npos >= dim){
                    dim += 2;
                    resize(pos, dim);
                    resize(radii, dim);
                    resize(valueSums, dim);
                    resize(weightSums, dim);
                    resize(nCells, dim);
                }
                pos[npos][0] = x;
                pos[npos][1] = y;
                pos[npos][2] = z;
                radii[npos] = r;
                print "read position", npos+1, ":", pos[npos], radii[npos];
                npos++;
            }
        }
        fclose(fp);
        print "read", npos, "positions from", locationsFile;
        valueSums = 0.0;
        weightSums = 0.0;
        nCalls = 0;
        init = 0;
    }
    else{
        if(nCalls == 0)
            fp = fopen(outputFile, "w");
        else
            fp = fopen(outputFile, "a");
        if(!fp){
            print "cannot open ", outputFile;
            return;
        }
        if(nCalls == 0) fprintf(fp, "iteration/time/angle/tvalues 1-%d...\n", npos);
        fprintf(fp, "%g", 0);
        for(i = 0; i < npos; i++){
            if(weightSums[i] <= 0.0) weightSums[i] = 1.0;
            fprintf(fp, "%g", valueSums[i] / weightSums[i]);
            printf("pos %d, avg over %d cells: %g\n", i, nCells[i], valueSums[i] / weightSums[i]);
            fprintf(fp, "\n");
            fclose(fp);
            nCalls++;
        }
        $$formula
        double weight = vol;
        int i;
        if(vol == 0.0) weight = [n];
        for(i = 0; i < npos; i++){
            if(|x-pos[i]| <= radii[i]){
                weightSums[i] += weight;
                valueSums[i] += weight * value;
                nCells[i]++;
            }
        }
        return 0.0;
    }
}
```

Obr. 43: Makro k vyhodnocení lokálního podílu EGR

8.4.1 Hodnocení výsledků

Pro vyhodnocování byla stanovena síť o hrubosti 2,5 mm ve směru osy x a y a 3 mm ve směru osy z, tedy ve směru osy válce. Vyhodnocování probíhalo pomocí stanovení průměrného množství recirkulovaných plynů v kulovém objemu s poloměrem 2,5 mm. Střed těchto ploch se nacházel v bodech definovaných sítí.

Všechny diagramy použité dále zobrazují spalovací prostor stejným principem, tedy jednotlivé vrstvy odpovídají vrstvám vyhodnocovací sítě. Znamená to, že vrstvy jsou od sebe vzdáleny 3 mm ve směru osy z. Osy x a y leží v rovině kolmé na osu válce a odpovídají rozměrům spalovacího prostoru. Z pohledu zobrazených dat je jedno společné vodítko – šedé zóny odpovídají hodnotám vyšším než jsou maximální na stupnici vpravo. V případě varianty 1, 2 a 3 AF – AF – EGR znamená šedá nad 30 %, v případě varianty 3 EGR – AF – EGR to je více než 55 % EGR. Hodnotu 30 % jsem zvolil zejména z důvodu zobrazení zóny s nejnižším podílem EGR s případnou možností zapalitelnosti v této oblasti.

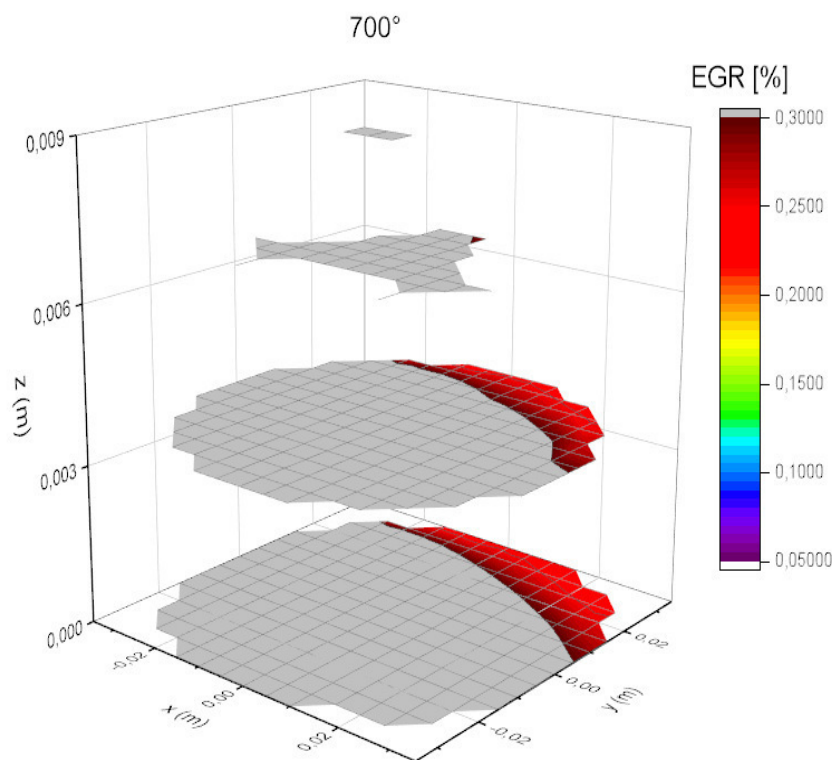
9 Výsledky

Výsledky, které mě zajímají, jsou v intervalu od 690° do 720° natočení klikové hřídele. Tento interval má původ v podobě oblasti zážehu paliva. Po diskusi se Škodou Auto byla dohodnuta mez „úspěšnosti“ vrstvení na 25 % EGR z důvodu zapalitelnosti.

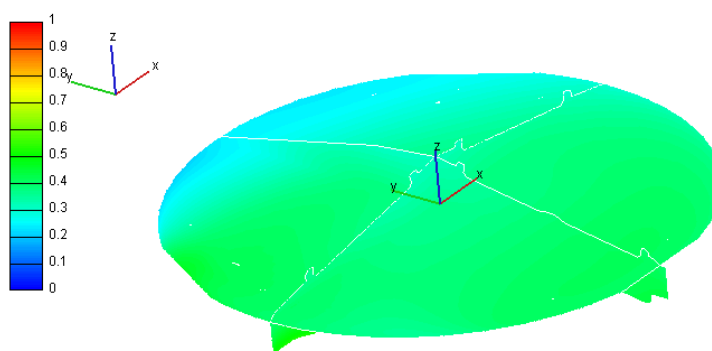
9.1 Varianta 1

9.1.1 Pracovní bod 1

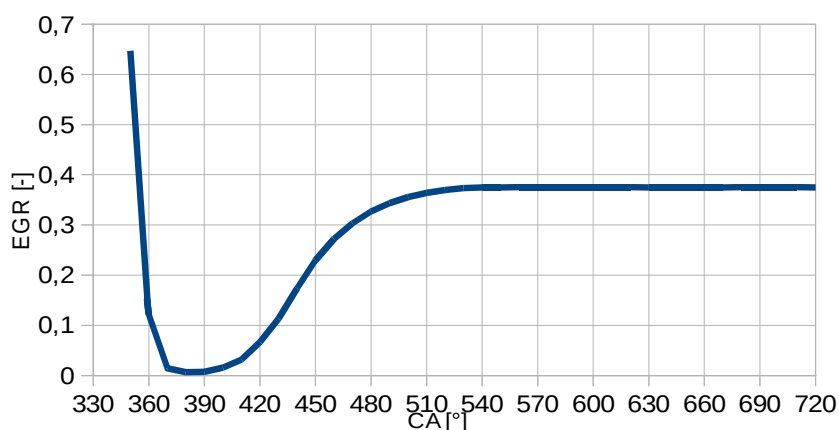
Podíváme-li se na přílohu 5, je vidět setrvání rozvrstvení zón během sání, které s kompresí zaniká. Z diagramu níže vidíme, že se na konci komprese dostáváme lokálně přibližně ke 30 % EGR, avšak námi stanovená hranice 25 % není dosažena nikde. Průměrný podíl EGR je 37,5 %. Pokud bychom chtěli využít navrstvení této varianty, museli bychom přemístit svíčku do krajní oblasti mezi výfukový kanál a kanál s čerstvou směsí, tzn. přibližně v x, y souřadnicích [0, 30] mm. Podrobnějším prozkoumáním vytvořeného proudění ve válci, jak v tomto pracovním bodě, tak i v PB2, lze dospět k závěru, že snaha o vytvoření swirlu nevyšla tak, jak bylo záměrem, a proto je navrstvení směsi spíše ve směru osy z než ve směru radiálním.



Obr. 44: Varianta 1 PBI 700°



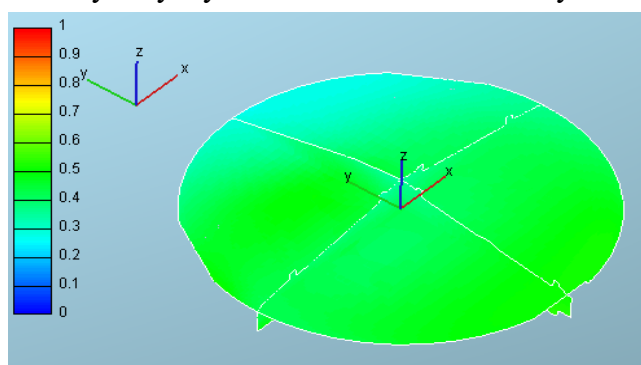
Obr. 45: Varianta 1 PB1 700° – AVL FIRE



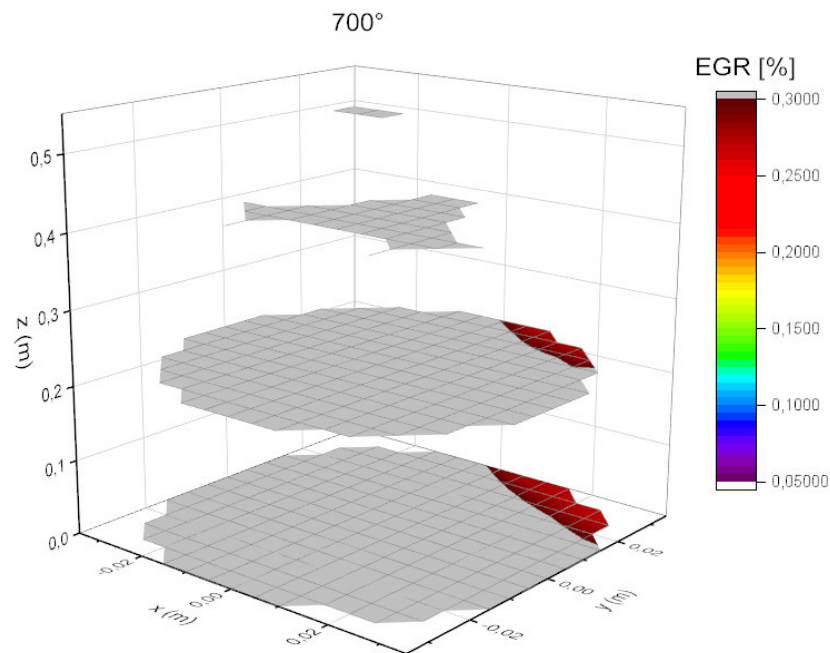
Obr. 46: Průběh průměrného podílu EGR ve válci

9.1.2 Pracovní bod 2

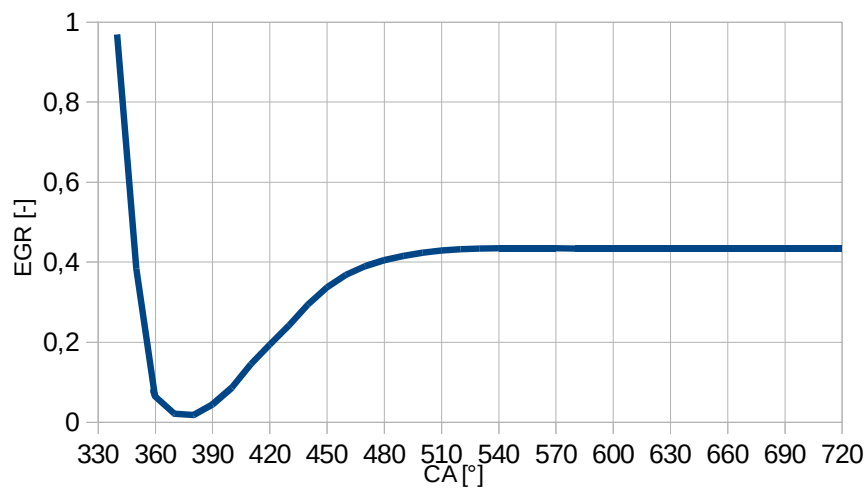
Příloha 8 opět ukazuje rozvrstvení během sacího zdvihu, které zanikne stejně jako v PB1 při kompresi. Z diagramu níže je patrné, že v pracovním bodě 2 nedokáže setrvat oddělení zón s EGR a s čerstvou náplní pod úrovní 25% EGR. Zóna s promícháním do 30% je v porovnání s PB1 ještě menší. Průměrný podíl EGR je 43,4 %. Vrstvení směsi v pracovním bodě 2 koresponduje s výsledky z pracovního bodu 1, zejména vzhledem k umístění svíčky s jejím mírným vychýlením v kladném směru osy x.



Obr. 47: Varianta 1 PB2 700° – AVL FIRE



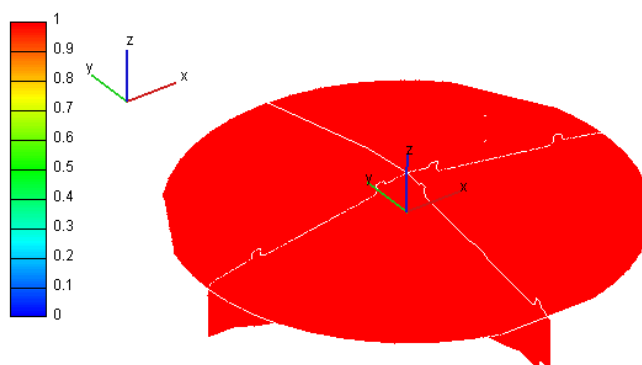
Obr. 48: Varianta 1 PB2 700°



Obr. 49: Průběh průměrného podílu EGR ve válci

9.1.3 Pracovní bod 3 a 4

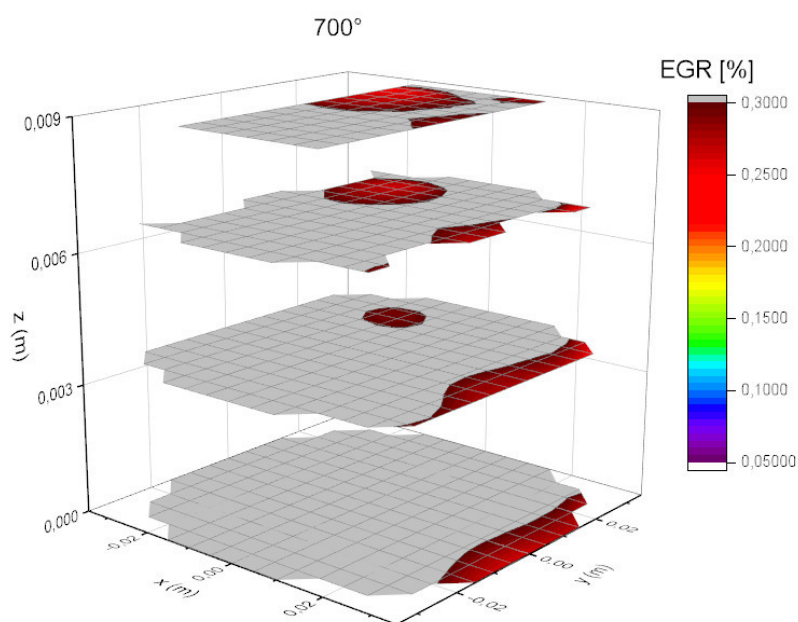
Velký tlakový rozdíl v sacích kanálech způsobil přetoky mezi kanály. Důsledkem je tak 100% naplnění EGR v případě PB3 a 100% naplnění čerstvou směsí v PB4. Pro tyto varianty dále zpracovávat výsledky nemá smysl.



Obr. 50: Varianta 1 PB3 690° – AVL FIRE

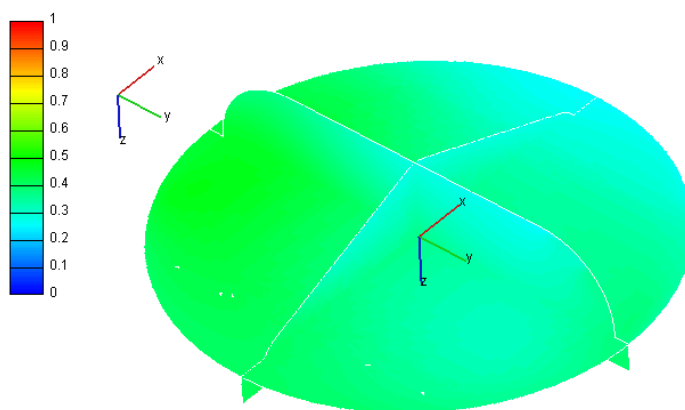
9.2 Varianta 2

9.2.1 Pracovní bod 1

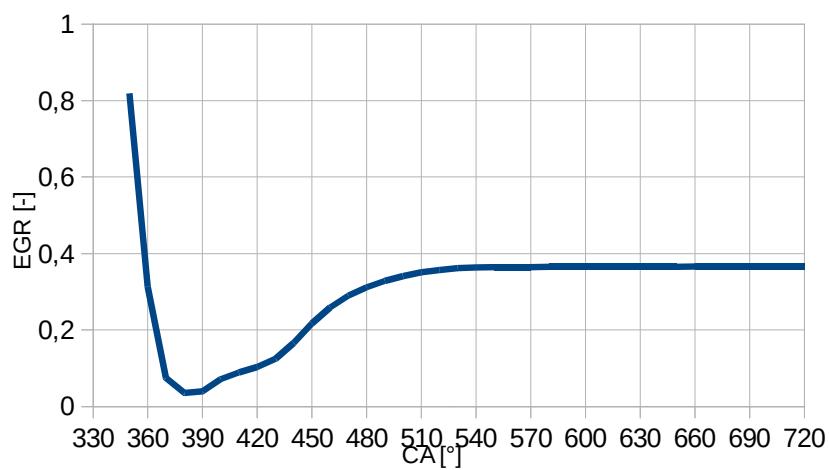


Obr. 51: Varianta 2 PB1

Lze pozorovat jistou separaci zejména v sacím zdvihu (viz příloha 11), nicméně i v této variantě se kompresí recirkulované plyny promíchají a nedostávají pod stanovenou hranici. Nelze si taktéž nepovšimnout roztržení zóny s nízkým obsahem EGR. Lze to přisoudit nedokonalému swirlu. Průměrný podíl EGR je 36,6 %. Změna polohy zapalovací svíčky by v tomto případě nebyla nutná, jelikož jedna část z rozpadlé zóny se nachází blízko osy válce, kde je původní poloha svíčky. Roztržení zóny s nízkým podílem EGR je pravděpodobně způsobeno squishem vznikajícím při kompresi.

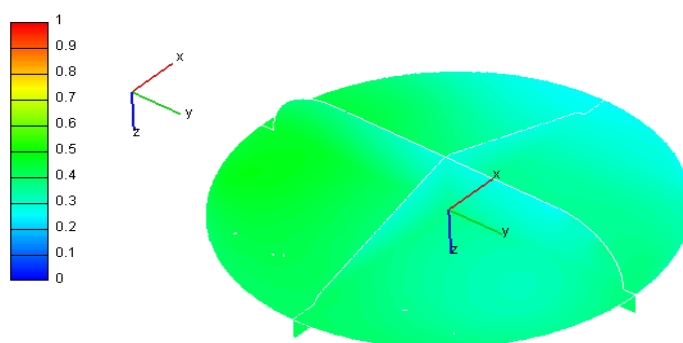


Obr. 52: Varianta 2 PB1 700° – AVL FIRE

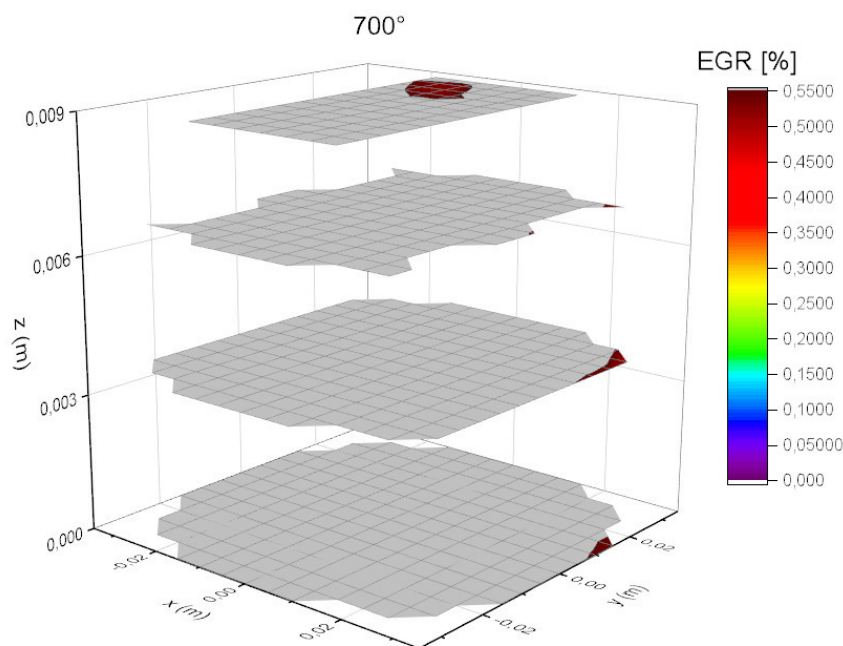


Obr. 53: Průběh průměrného podílu EGR ve válci

9.2.2 Pracovní bod 2

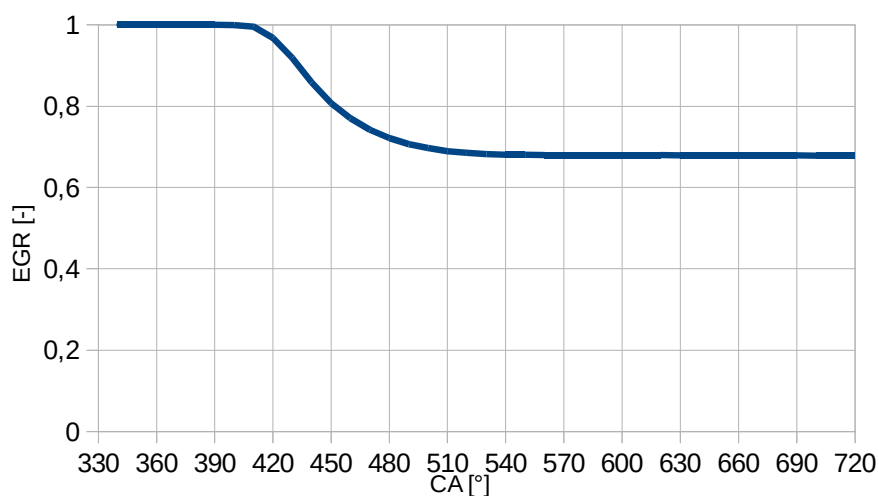


Obr. 54: Varianta 2 PB2 700° – AVL FIRE



Obr. 55: Varianta 2 PB2

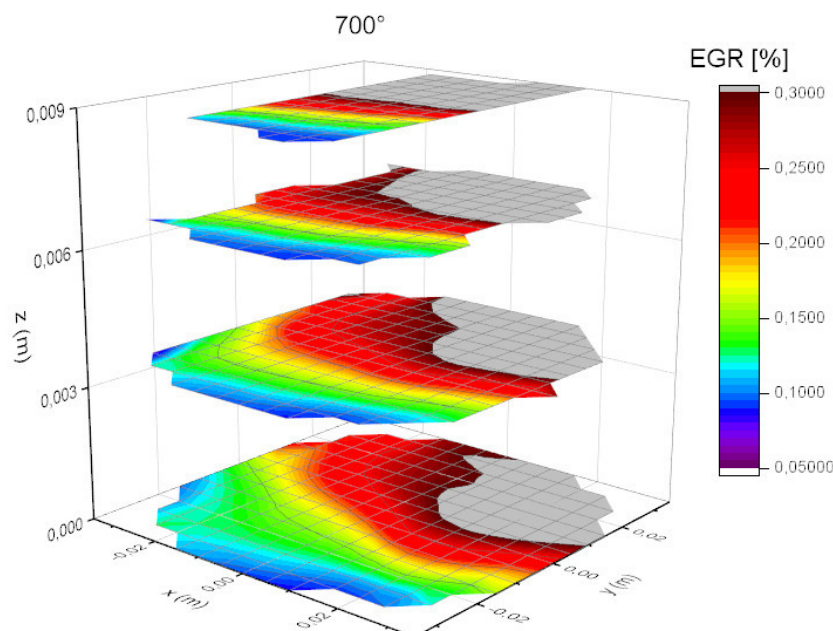
Z výsledků pracovního bodu 2 lze pozorovat tendence varianty 2 k roztržení zóny s nízkým podílem EGR již při sacím zdvihu viz příloha 14. Taktéž lze spatřit, že pracovní bod 2 i vzhledem k výsledkům varianty 1 má horší potenciál pro setrvání oddělených zón oproti pracovnímu bodu 1 při snaze oddělení zón pomocí proudění typu swirl. Průměrný podíl EGR je 67,8 %. Vzhledem k průběhu průměrného podílu EGR ve válci se nabízí otázka, zda-li jsou výsledky správné. V tomto případě by bylo téměř nevyhnutelné posunout pozici svíčky v kladném směru osy y.



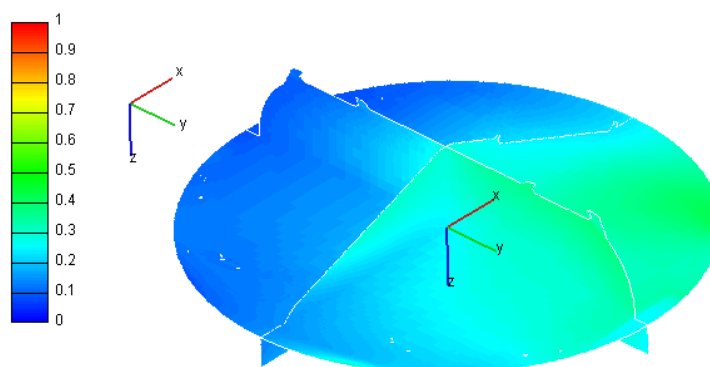
Obr. 56: Průběh průměrného podílu EGR ve válci

9.3 Varianta 3

9.3.1 Pracovní bod 1 (AF – AF –EGR)

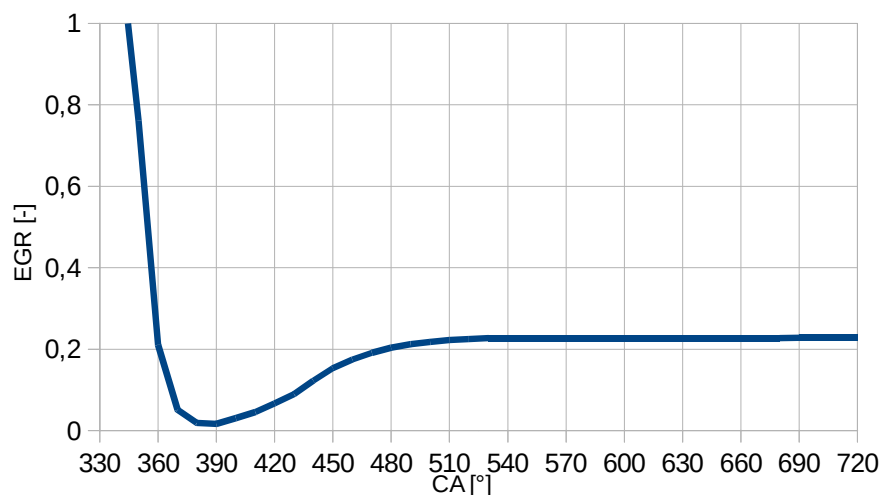


Obr. 57: Varianta 3 PBI (AF – AF –EGR) 700°



Obr. 58: Varianta 3 PBI (AF – AF –EGR) 700° – AVL FIRE

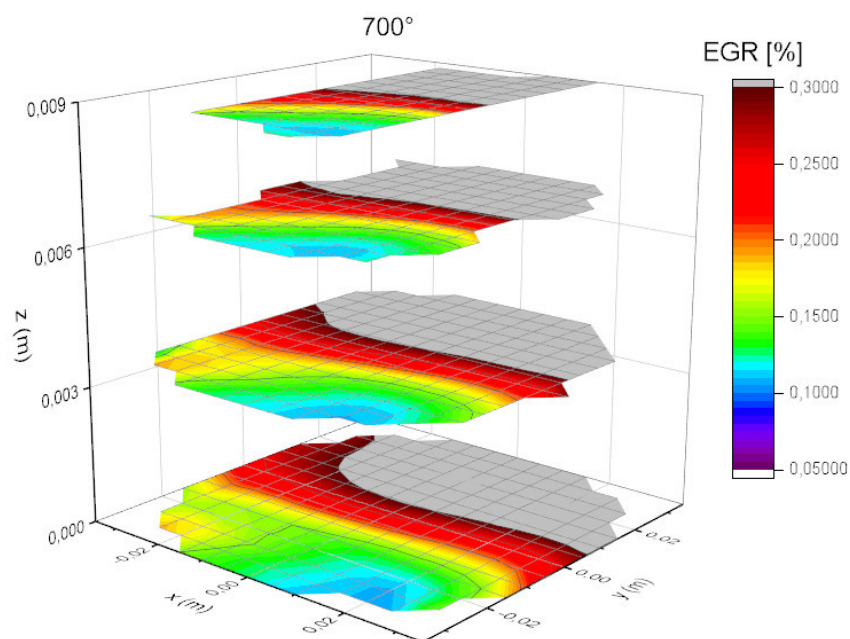
Na první pohled se jeví tento pracovní bod velice pozitivně, kdy oddělení zón setrvává během sacího i kompresního zdvihu (příloha 17). Nesmím však opomenout, že v modifikaci AF – AF –EGR je použit pro sání jeden kanál s EGR a dva kanály s čerstvou směsí. Jako nezbytný doplněk je celkový podíl EGR v náplni pouze 22,8 %. Tumbler je svým principem pohybu předurčen k rozpadu během komprese. Nicméně je již méně pravděpodobné, že dojde k rozvíření napříč celým spalovacím prostorem. Zapalovací svíčky by se musela posunout v záporném směru osy y .



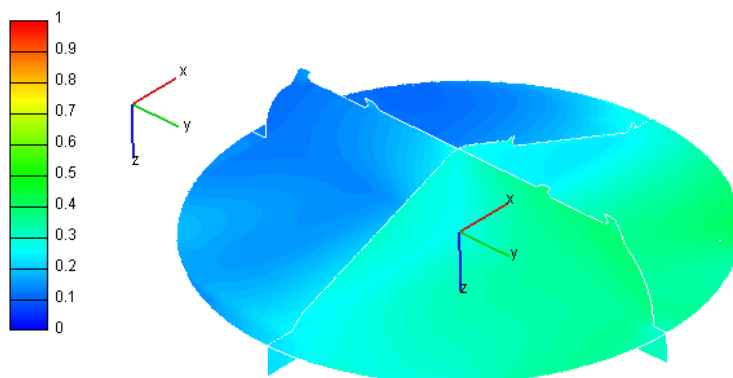
Obr. 59: Průběh průměrného podílu EGR ve válci

9.3.2 Pracovní bod 2 (AF – AF –EGR)

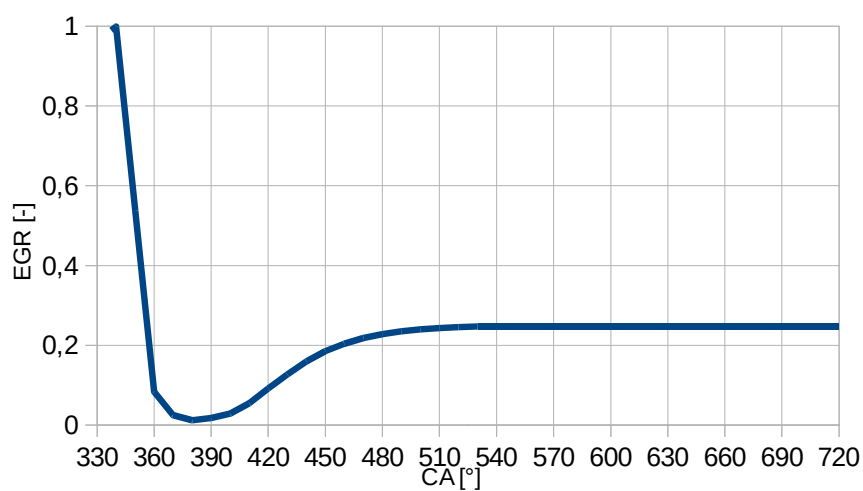
I zde platí obezřetnost jako v případě Varianty 3 PB1 (AF – AF –EGR). Jak je již zřejmé z názvu taktéž byly využity dva kanály s čerstvou směsí. Rozvrstvení přetrvává během sání i komprese (viz příloha 23), ovšem průměrný podíl EGR je 24,7 %. Poloha zapalovací svíčky by byla v podstatě stejná jako v případě pracovního bodu 1.



Obr. 60: Varianta 3 PB2 700°

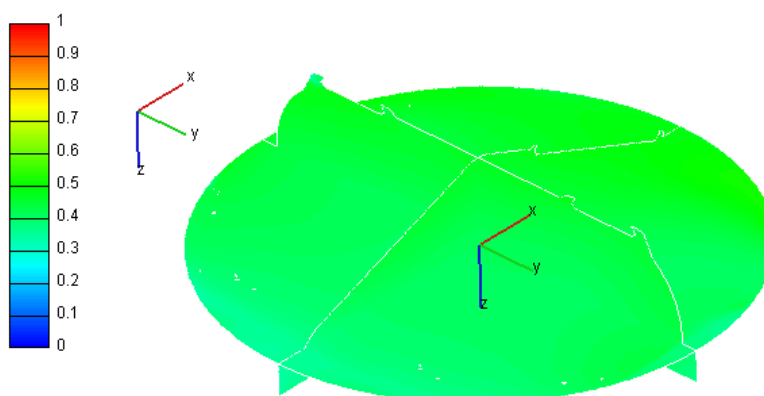


Obr. 61: Varianta 3 PB2 (AF – AF –EGR) 700° – AVL FIRE

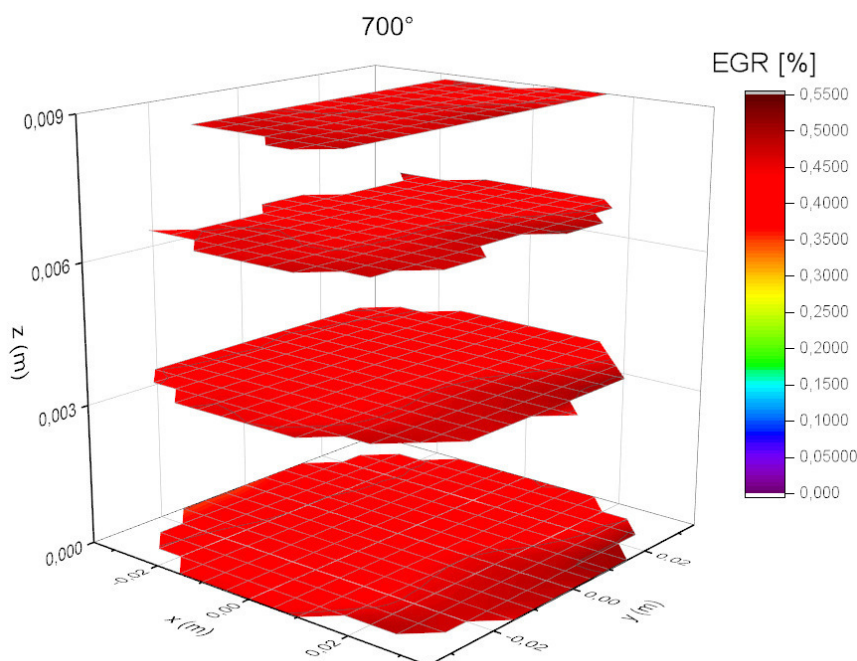


Obr. 62: Průběh průměrného podílu EGR ve válci

9.3.3 Pracovní bod 1 (EGR – AF –EGR)

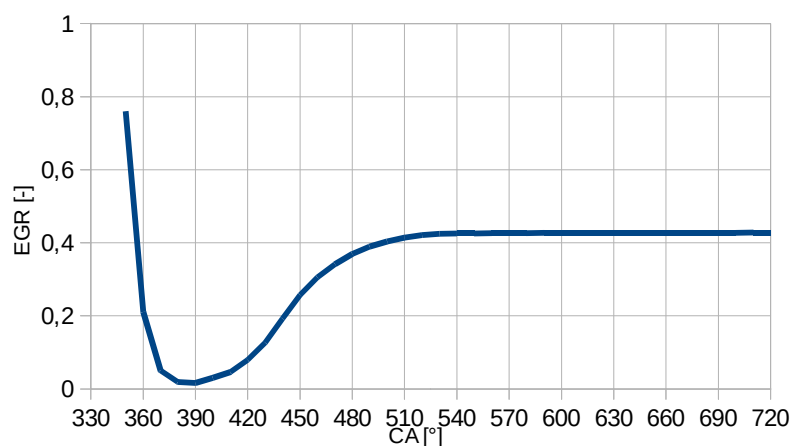


Obr. 63: Varianta 3 PB1 (EGR – AF –EGR) 700° – AVL FIRE



Obr. 64: Varianta 3 PBI (EGR – AF –EGR) 700°

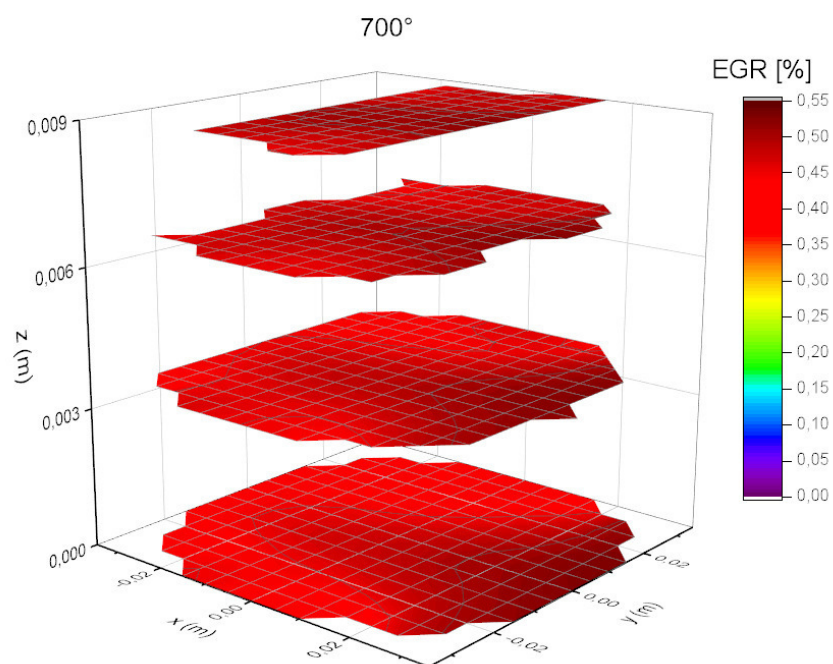
Již první pohled na výsledky v příloze 20 a diagramu výše prozradí, že v případě tohoto řešení, jsem docílil téměř dokonalého promíchání zón již v průběhu sacího zvihu. O jeho „kvalitě“ svědčí průměrný podíl EGR 42,8 %, který lze na obr. 63 vidět téměř ve všech místech spalovacího prostoru. K promíchávání dochází okamžitě při nasávání zejména v důsledku geometrického překrytí ventilů vzhledem k ose zamýšleného tumbly.



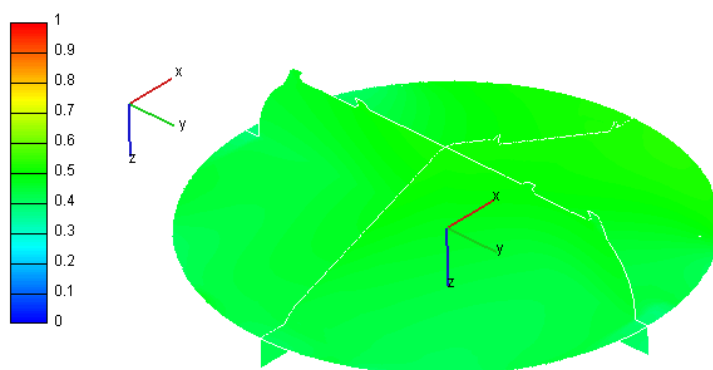
Obr. 65: Průběh průměrného podílu EGR ve válci

9.3.4 Pracovní bod 2 (EGR – AF –EGR)

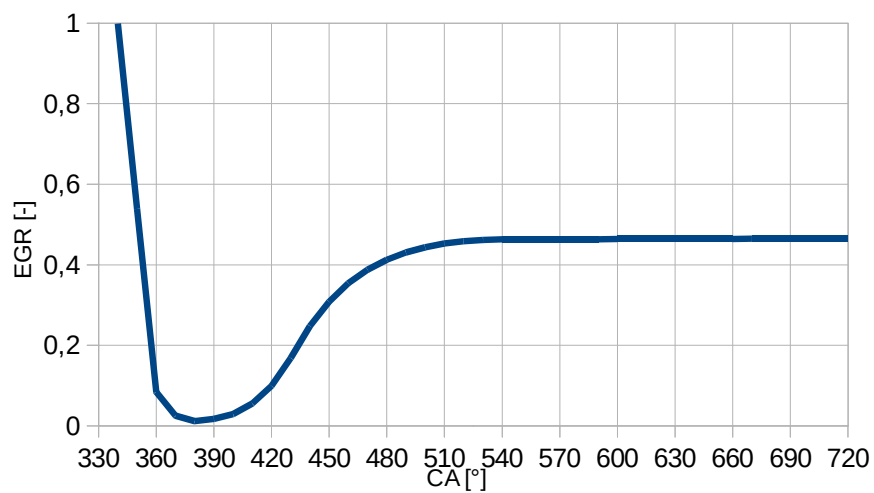
Taktéž jako u pracovního bodu 1 modifikace EGR – AF –EGR je dosaženo velkého rozmíchání již během sání viz příloha 26. Průměrný podíl EGR je 46,5 %. Z toho lze usuzovat, že tento princip rozhodně není vhodný pro vrstvení směsi. Změnu polohy svíčky nemá smysl uvažovat.



Obr. 66: Varianta 3 PB2 (EGR – AF –EGR) 700°



Obr. 67: Varianta 3 PB2 (EGR – AF –EGR) 700° – AVL FIRE



Obr. 68: Průběh průměrného podílu EGR ve válci

10 Závěr

Cílem mé práce bylo prozkoumat možnosti vrstvení směsi ve válci zážehového motoru. V návaznosti na získané informace jsem následně vytvořil několik návrhů geometrií pro navrstvení směsi ve válci a na těchto geometriích následně provedl simulaci při daných podmínkách. Vytvořené geometrie měly být primárně postaveny na geometriích motoru 1.5 MPI od Škody Auto, ovšem v případě funkčního řešení, tedy dosažení zóny s méně jak 25% EGR, nebyl problém se konstrukčně původnímu motoru vzdálit.

Výsledky předchozích prací se zaměřovaly v podstatě výlučně pouze na jeden z pracovních zdvihů, nikoliv na oba jako komplexní celek. Z nabytých informací jsem se vydal dvěma směry v návaznosti na možnost zajištění rozdělení zón s čerstvou směsí. Jedním směrem bylo pomocí proudění typu swirl, které, dle předchozích prací, dávalo mnoho šancí na pozitivní výsledek. Vytvořil jsem tedy dvě varianty.

První byla asi nejvzdálenější „výchozímu“ motoru se třemi ventily a spalovacím prostorem blízcím se kulovému. Tato geometrie se nakonec projevila jako neperspektivnější ze tří navržených. Tato perspektivita se projevila zejména tvarem spalovacího prostoru přímo příhodným pro swirl a v podstatě absencí squishových mezer. Nicméně ani to nestačilo k dosažení uspokojivých výsledků.

Druhou geometrií pracující na principu swirlu byla se čtyřventilovou hlavou. Tato geometrie byla nejbližší původnímu motoru. Bohužel na této geometrii nebylo dosaženo dostatečného rozvíření a oddělení zón, a tak docházelo k promísení. Část neúspěchu nebo spíše ne ideální „odvedené práce“ této varianty a varianty předchozí lze spatřit v nedokonalém swirlu, který se začínal správně formovat až ke konci sacího zdvihu.

Třetí variantou byla varianta 3 se třemi sacími a dvěma výfukovými ventily pracující na principu proudění tumbl. V této konfiguraci se nabízelo několik možností kudy pouštět čerstvou směs a EGR. První možností s jedním ventilem s EGR sice bylo dosaženo rozvrstvení, avšak celkový poměr EGR ve válci byl necelých 30 %. Druhá ze simulovaných možností skončila nezdarem a téměř dokonalým promícháním EGR a čerstvé směsi. Příčinou byla nevhodná volba kanálu se směsí uprostřed.

Dále nelze nezmínit, že provedené simulace sice mají stanovené počáteční podmínky, avšak celkový objem nasátého EGR a čerstvé směsi není nijak přímo řízen a stanoven, a proto lze ve výsledcích nalézt různé průměrné podíly recirkulovaných plynů v náplni. Nelze opomenout, že v globálním pohledu k jistému navrstvení náplně dochází ve

většině navržených případů, nicméně míra rozvrstvení respektive gradient podílu EGR je napříč válcem spíše malý, tudíž v případech, kde bychom dosáhli rozvrstvení a zároveň zachování podílu EGR pod mezí zapalitelnosti, jsme velice blízko provozu s homogenní směsí.

Pohledem na provedené simulace si nejde nevšimnout linie, jenž spojovala všechny navržené varianty. Touto linií se jeví kompresní zdvih, který je kritický pro setrvání nebo rozbití zón. Během komprese, zejména s blížící se horní úvratí roste intenzita turbulencí, které zóny promíchávají. Intenzitu turbulencí navíc snahou o nasátí dvou plynů tak, aby se nepromíchaly, tzn. s využitím například tumbly, ještě značně zvyšujeme. Stejně tak tato intenzita roste se zvyšujícími se otáčkami. Nabízí se tedy otázka, zda-li by šlo nasát náplň do válce tak, aby při nasátí nebyla rozpohybována v jakémkoliv směru, jelikož turbulencím při kompresi v absolutním měřítku zabránit nelze.

Zejména varianta 3 s pěti ventily na válec podněcuje k další práci zkusit simulaci třetí, nezkoušené možnosti s ventilem s čerstvou směsí na kraji. Nemuselo by docházet k tak velkému narušení natékajícího proudu proudy ze sousedních kanálů. Taktéž jednoznačně z výsledků plyne, že časování ventilů má zásadní vliv na formování a setrvání zón. Nemalou měrou se taktéž na separaci zón podílí tvar kanálů, který podbízí k dalším variantám stoupání šroubových kanálů a úhlů kanálů tečných. Otázkou však zůstává jestli je vůbec možné dosáhnout vrstvení směsi a EGR v jednom pracovním bodě a pokud ano, zda-li lze dosáhnout vrstvení směsi v širším spektru otáček a podmínek.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MACEK, J.: Spalovací motory I. Nakladatelství ČVUT, 2007, 260 s.
- [2] KOVAŘÍK, L.; FERENCEY, V.; SKALSKÝ, R.; ČÁSTEK, L.: Konstrukce vozidlových spalovacích motorů. Praha: Naše vojsko, 1992. 492 s.
- [3] Min Xu; Grant Chen; Chao Daniels; Mike Dong: Numerical Study on Swirl-Type High-Dilution Stratified EGR Combustion System, SAE TECHNICAL PAPERS 2000-01-1949
- [4] Mike Dong; Grant Chen; Min Xu; Chao Daniels: A Preliminary CFD Investigation of In-Cylinder Stratified EGR for Spark Ignition Engines, SAE TECHNICAL PAPERS 2002-01-1734
- [5] J. Stokes, T. H. Lake, and M. J. Christie: Improving the NO_xFuel Economy Trade-Off for Gasoline Engines with the CCVS Combustion System, SAE TECHNICAL PAPERS 940482
- [6] T. H. Lake, J. Stokes, and K. J. Pendlebury: Development Experience of a Multi-Cylinder CCVS Engine, SAE TECHNICAL PAPERS 950165
- [7] N. S. Jackson, J. Stokes, T. H. Lake, and S. M. Sapsford: Understanding the CCVS Stratified EGR Combustion System: SAE TECHNICAL PAPERS 960837
- [8] Bassem Ramadan: A Study of EGR Stratification, Kettering University
- [9] Peter Calnan, Hua Zhao, Nicos Ladomattos, Tom Ma: The Influence of Dilution Composition and Temperature Upon a Stratified Charge Spark Ignition Engine, SAE TECHNICAL PAPERS 2000-01-1947
- [10] Tadao Yamato, Hirofumi Sekino, Tomohiro Ninomiya and Masaru Hayashida: Stratification of In-cylinder Mixture Distributions by Tuned Port Injection in a 4-valve SI Gas Engine, SAE TECHNICAL PAPERS 2001-01-0610
- [11] Fatih Sarikoc, Maurice Kettner, Amin Velji, Ulrich Spicher, Alina Krause, Alfred Elsaesser: Potential of Reducing the NO_x Emissions in a Spray Guided DI Gasoline Engine by Stratified Exhaust Gas Recirculation (EGR), SAE TECHNICAL PAPERS 2006-01-1261
- [12] Sangmyeong Han, Wai K. Cheng: Design and Demonstration of a Spark Ignition Engine Operating in a Stratified-EGR Mode, SAE TECHNICAL PAPERS
- [13] Sangmyeong Han, Wai K. Cheng: Design and Demonstration of a Spark Ignition Engine Operating in a Stratified-EGR Mode, SAE TECHNICAL PAPERS 980122

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Nízkotlaký EGR okruh.....	10
Obr. 2: Vysokotlaký EGR okruh.....	11
Obr. 3: Axiální rozvrstvení.....	12
Obr. 4: Radiální rozvrstvení.....	13
Obr. 5: Porovnání různých poměrů swirlu.....	14
Obr. 6: Rozvrstvení podle roviny symetrie.....	15
Obr. 7: Lamely pro tvoření tumbly VTIS.....	16
Obr. 8: Koncentrace EGR a vzduchu při úhlu natočení klikové hřídele 90°.....	16
Obr. 9: Radiální rozvrstvení – uvažované varianty.....	18
Obr. 10: Uvažované varianty „Tumblování“.....	19
Obr. 11: Uspořádání ventilů.....	20
Obr. 12: Kótování ve výkresu rozměry z modelu.....	22
Obr. 13: Uložené mezistavy v pracovním adresáři.....	23
Obr. 14: Ukázka napojování profilů.....	24
Obr. 15: Ukázka napojování profilů.....	24
Obr. 16: Promítnutí plochy vlevo a hrany vpravo.....	25
Obr. 17: Ilustrativní (pro lepší názornost) příklad zbytečně složité skici.....	27
Obr. 18: Rozdíl v STL při základním nastavení (vpravo) a hodnotě přibližně poloviční (vlevo).....	28
Obr. 19: Model varianty „CCVS“ připravený pro export.....	29
Obr. 20: První pracovní verze varianty 1.....	29
Obr. 21: Model varianty 1 připravený pro export.....	30
Obr. 22: První pracovní verze varianty 2.....	30
Obr. 23: Model varianty 2 připravený pro export.....	30
Obr. 24: Pracovní verze varianty 3.....	31
Obr. 25: Model varianty 3 připravený pro export.....	31
Obr. 26: Selections v modelu a stromě, nástroj pro hledání vad geometrie.....	33
Obr. 27: Hrany varianty 2 s výběrem pro zjemnění (zelená).....	34
Obr. 28: Moving definitions - píst.....	35
Obr. 29: Moving definitions - ventily.....	35
Obr. 30: Input surface.....	36
Obr. 31: Settings.....	37

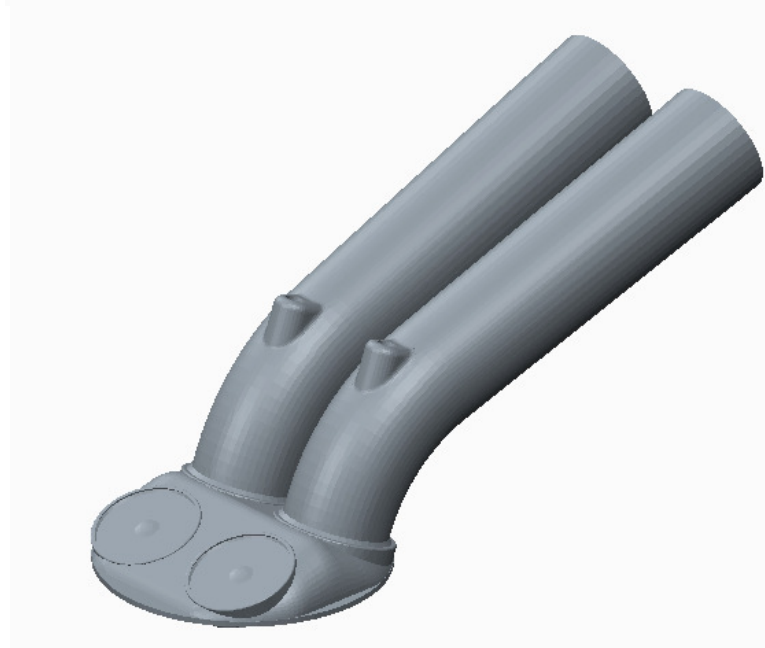
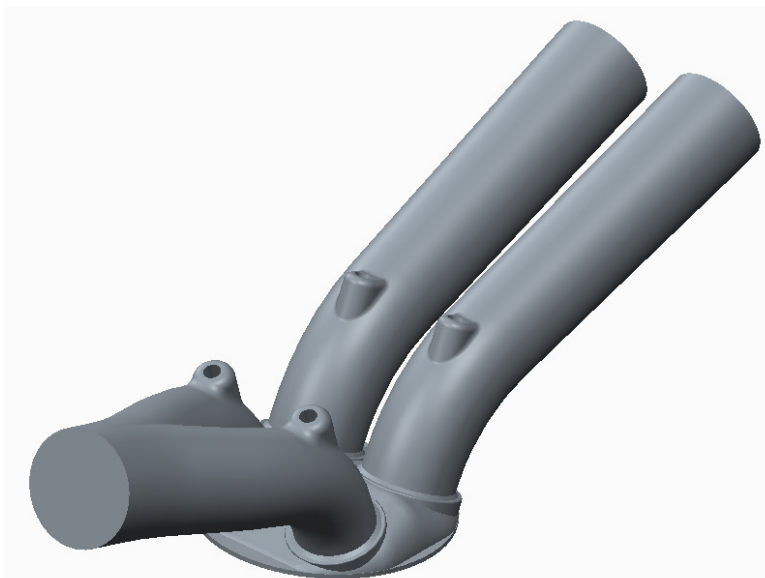
Obr. 32: Results.....	39
Obr. 33: Nesymetrické vysunutí ventilu.....	40
Obr. 34: Vynechané hrany na ventilu.....	41
Obr. 35: Spojování sacích kanálů.....	41
Obr. 36: Zdvihové křivky PB1 a PB2.....	42
Obr. 37: Zdvihové křivky PB3 a PB4.....	43
Obr. 38: Příklad dialogu SSF – nastavení okrajových podmínek.....	45
Obr. 39: SSF – nastavení podrelexačních faktorů.....	46
Obr. 40: Prodloužení sacích kanálů.....	46
Obr. 41: Makro k vyhodnocení průměrného množství EGR.....	47
Obr. 42: Spouštěcí soubor BAT.....	48
Obr. 43: Makro k vyhodnocení lokálního podílu EGR.....	48
Obr. 44: Varianta 1 PB1 700°.....	50
Obr. 45: Varianta 1 PB1 700° – AVL FIRE.....	50
Obr. 46: Průběh průměrného podílu EGR ve válci.....	51
Obr. 47: Varianta 1 PB2 700°.....	51
Obr. 48: Varianta 1 PB2 700° – AVL FIRE.....	52
Obr. 49: Průběh průměrného podílu EGR ve válci.....	52
Obr. 50: Varianta 1 PB3 690° – AVL FIRE.....	52
Obr. 51: Varianta 2 PB1.....	53
Obr. 52: Varianta 2 PB1 700° – AVL FIRE.....	53
Obr. 53: Průběh průměrného podílu EGR ve válci.....	54
Obr. 54: Varianta 2 PB2.....	54
Obr. 55: Varianta 2 PB2 700° – AVL FIRE.....	54
Obr. 56: Průběh průměrného podílu EGR ve válci.....	55
Obr. 57: Varianta 3 PB1 (AF – AF –EGR) 700°.....	55
Obr. 58: Varianta 3 PB1 (AF – AF –EGR) 700° – AVL FIRE.....	56
Obr. 59: Průběh průměrného podílu EGR ve válci.....	56
Obr. 60: Varianta 3 PB2 700°.....	57
Obr. 61: Varianta 3 PB2 (AF – AF –EGR) 700° – AVL FIRE.....	57
Obr. 62: Průběh průměrného podílu EGR ve válci.....	57
Obr. 63: Varianta 3 PB1 (EGR – AF –EGR) 700°.....	58
Obr. 64: Varianta 3 PB1 (EGR – AF –EGR) 700° – AVL FIRE.....	58
Obr. 65: Průběh průměrného podílu EGR ve válci.....	59
Obr. 66: Varianta 3 PB2 (EGR – AF –EGR) 700°.....	59

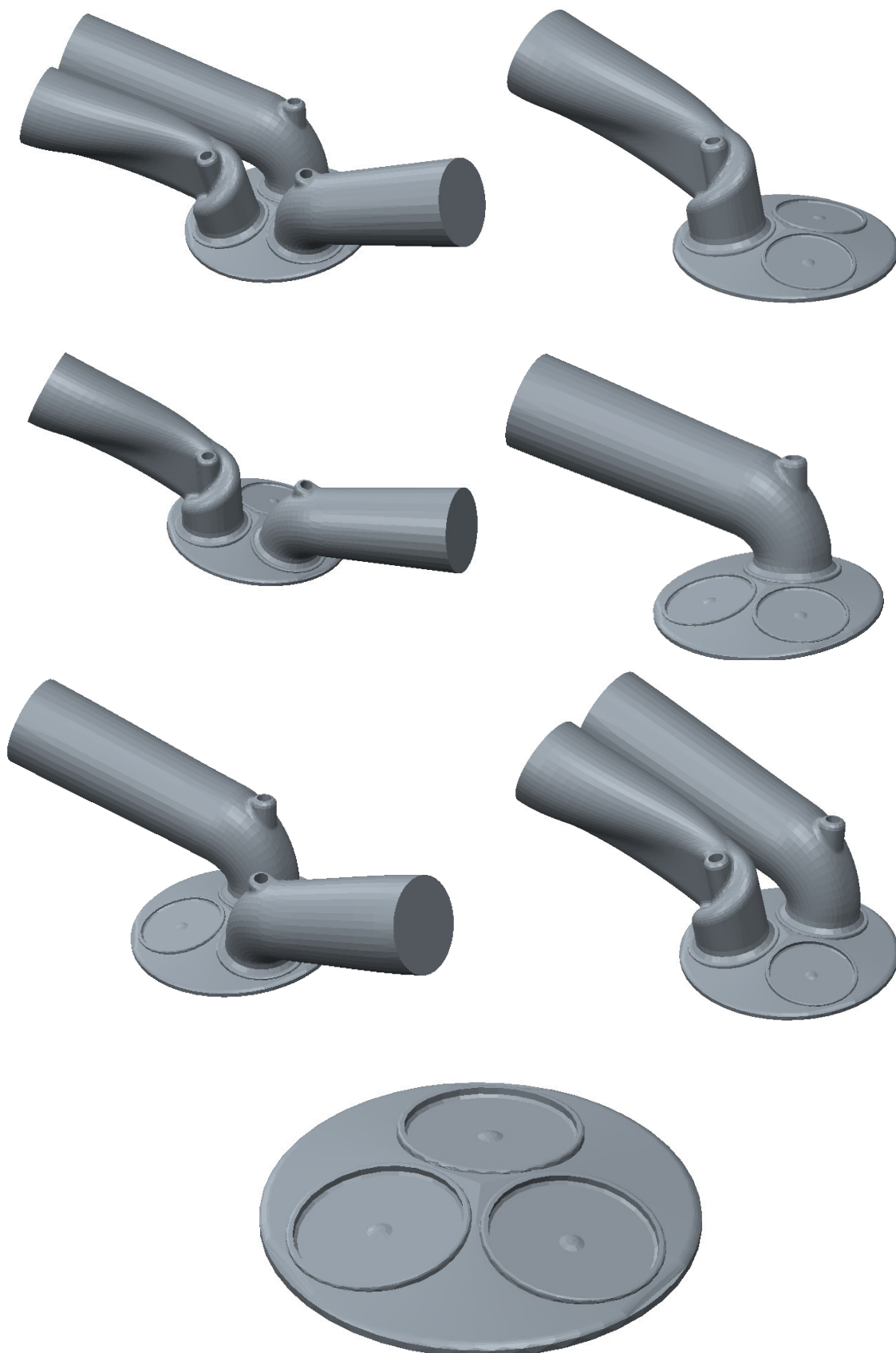
Obr. 67: Varianta 3 PB2 (EGR – AF –EGR) 700° – AVL FIRE.....	60
Obr. 68: Průběh průměrného podílu EGR ve válci.....	60

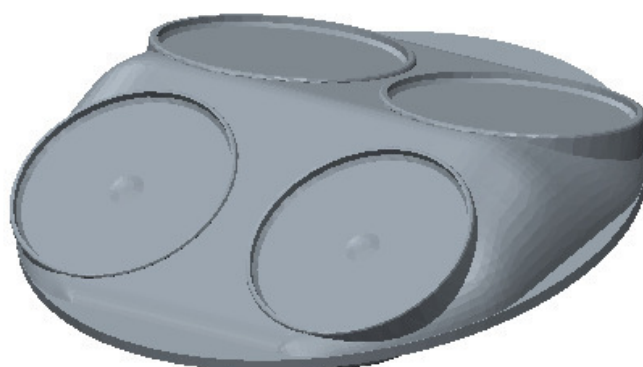
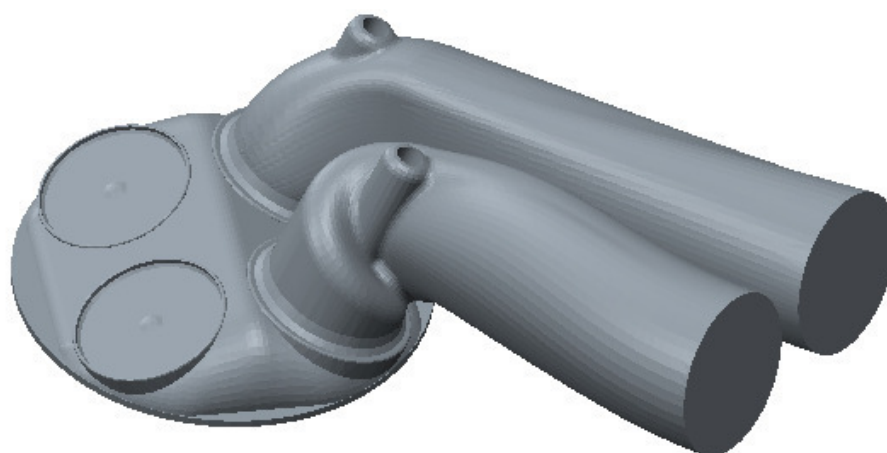
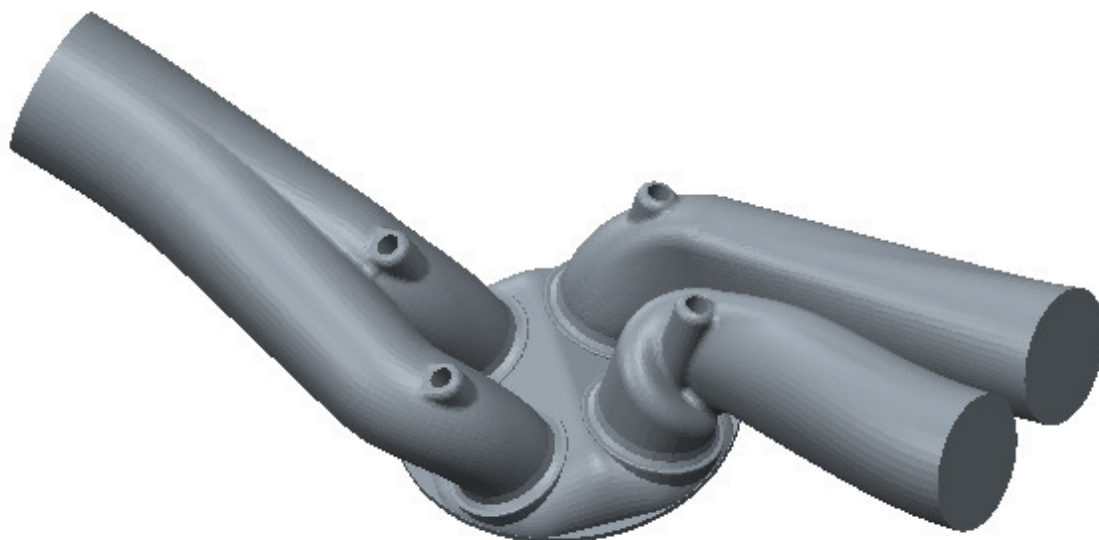
SEZNAM PŘÍLOH

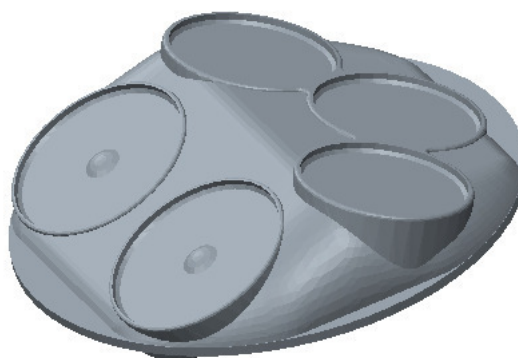
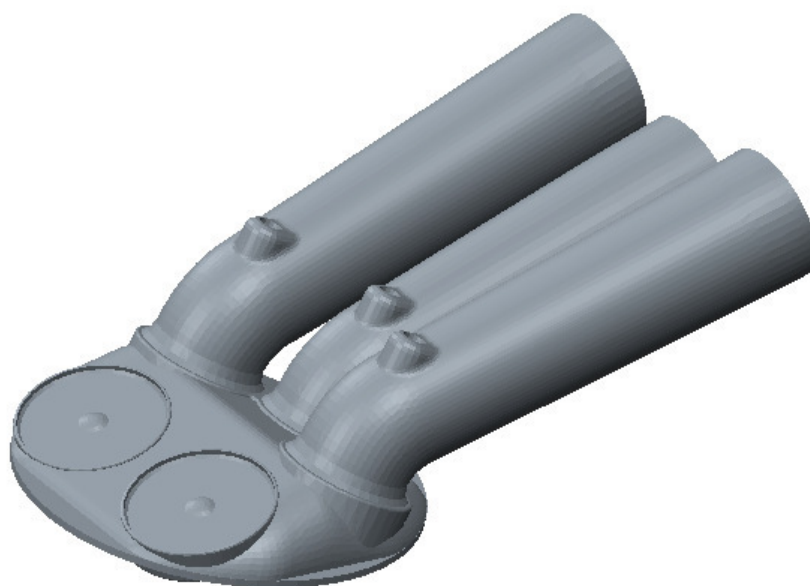
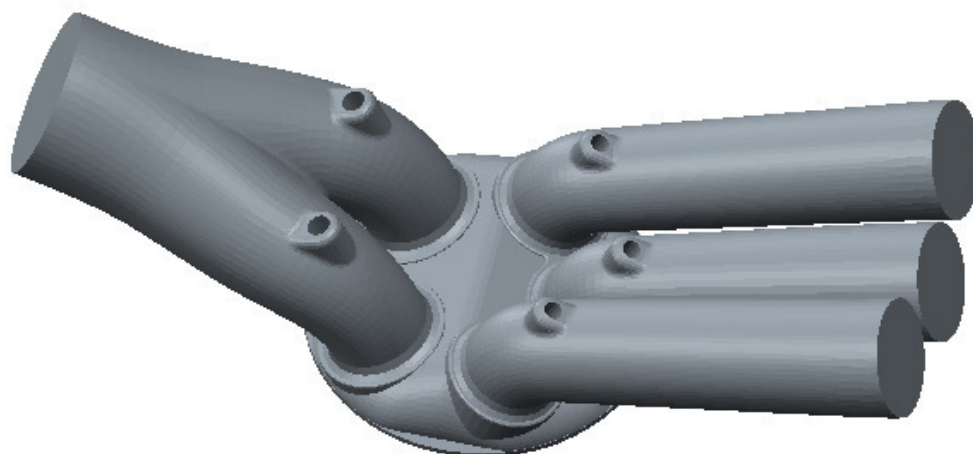
Příloha 1.....	Varinata „CCVS“
Příloha 2.....	Varianta 1
Příloha 3.....	Varianta 2
Příloha 4.....	Varianta 3
Příloha 5.....	Varianta 1 PB1 450°, 540°, 630°
Příloha 6.....	Varianta 1 PB1 690°, 700°
Příloha 7.....	Varianta 1 PB1 710°, 720°
Příloha 8.....	Varianta 1 PB2 450°, 540°, 630°
Příloha 9.....	Varianta 1 PB2 690°, 700°
Příloha 10.....	Varianta 1 PB2 710°, 720°
Příloha 11.....	Varianta 2 PB1 450°, 540°, 630°
Příloha 12.....	Varianta 2 PB1 690°, 700°
Příloha 13.....	Varianta 2 PB1 710°, 720°
Příloha 14.....	Varianta 2 PB2 450°, 540°, 630°
Příloha 15.....	Varianta 2 PB2 690°, 700°
Příloha 16.....	Varianta 2 PB2 710°, 720°
Příloha 17.....	Varianta 3 PB1 (AF-AF-EGR) 450°, 540°, 630°
Příloha 18.....	Varianta 3 PB1 (AF-AF-EGR) 690°, 700°
Příloha 19.....	Varianta 3 PB1 (AF-AF-EGR) 710°, 720°
Příloha 20.....	Varianta 3 PB1 (EGR-AF-EGR) 450°, 540°, 630°
Příloha 21.....	Varianta 3 PB1 (EGR-AF-EGR) 690°, 700°

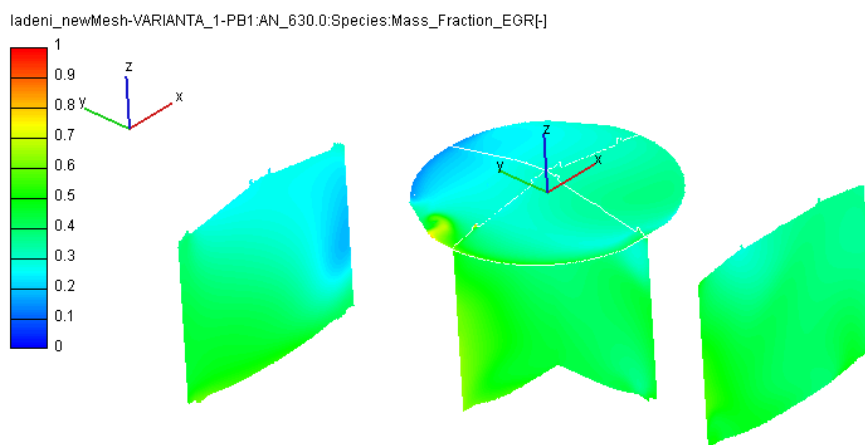
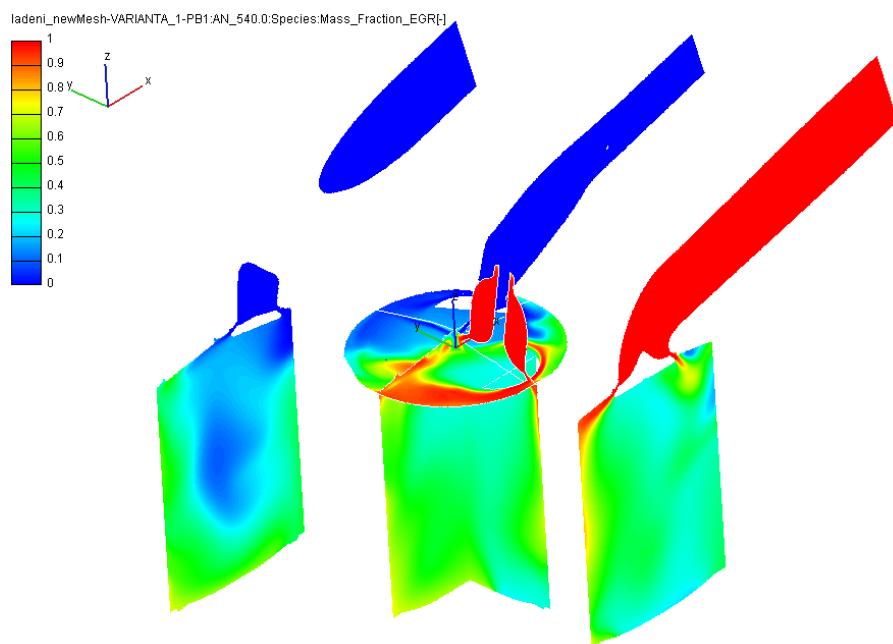
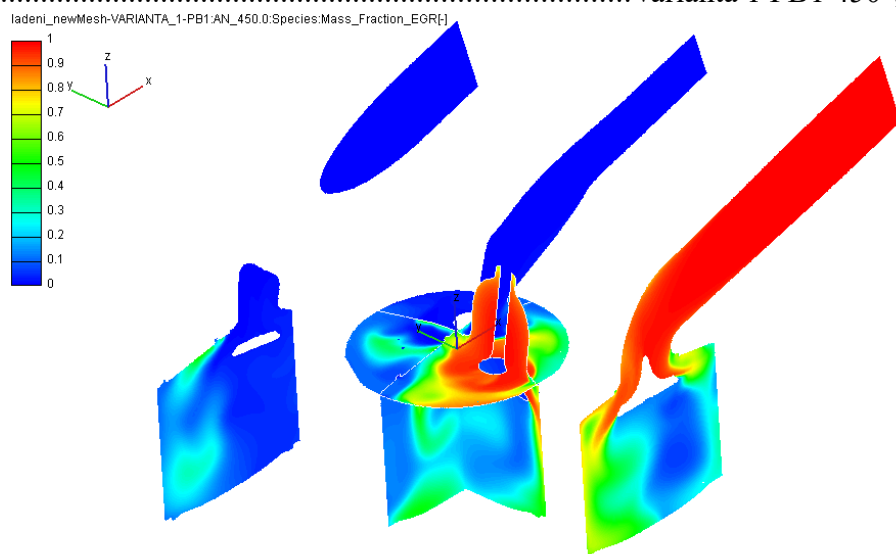
Příloha 22.....	Varianta 3 PB1 (EGR-AF-EGR) 710°, 720°
Příloha 23.....	Varianta 3 PB2 (AF-AF-EGR) 450°, 540°, 630°
Příloha 24.....	Varianta 3 PB2 (AF-AF-EGR) 690°, 700°
Příloha 25.....	Varianta 3 PB2 (AF-AF-EGR) 710°, 720°
Příloha 26.....	Varianta 3 PB2 (EGR-AF-EGR) 450°, 540°, 630°
Příloha 27.....	Varianta 3 PB2 (EGR-AF-EGR) 690°, 700°
Příloha 28.....	Varianta 3 PB2 (EGR-AF-EGR) 710°, 720°
Příloha 29.....	CD-ROM

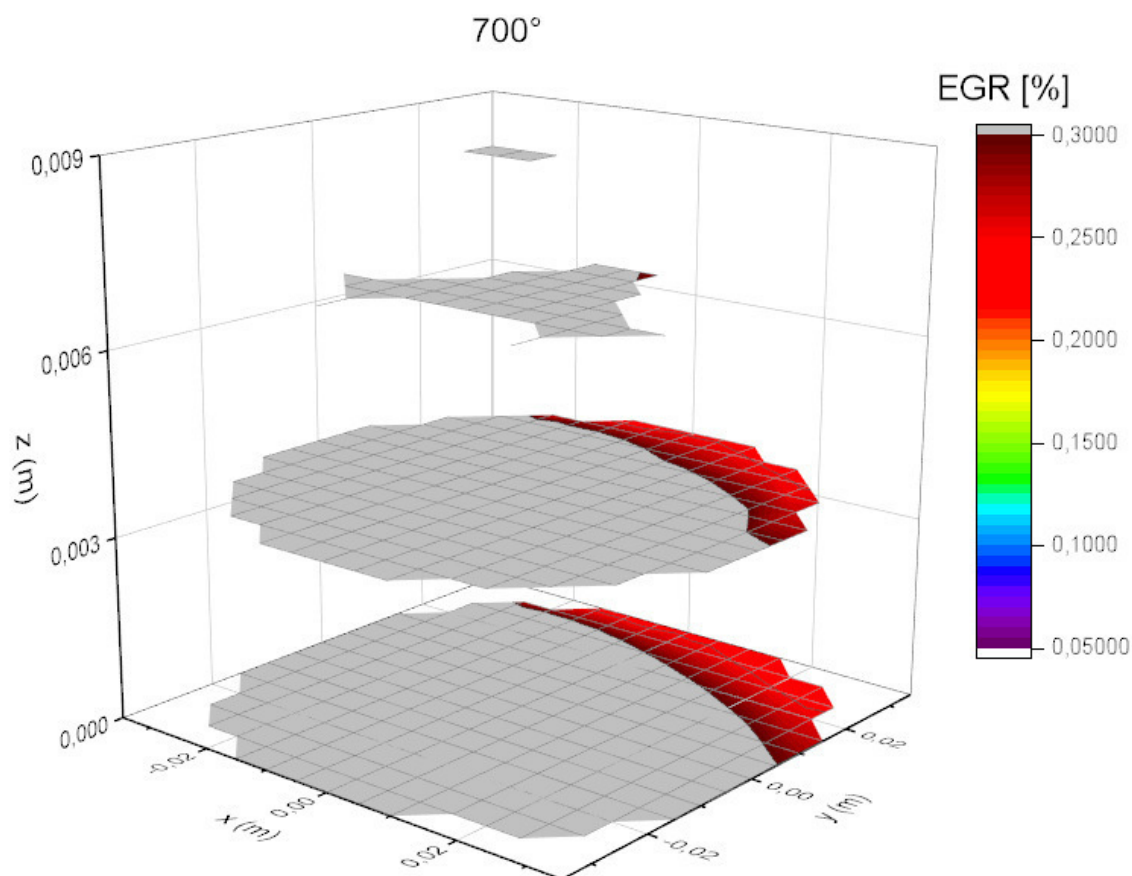
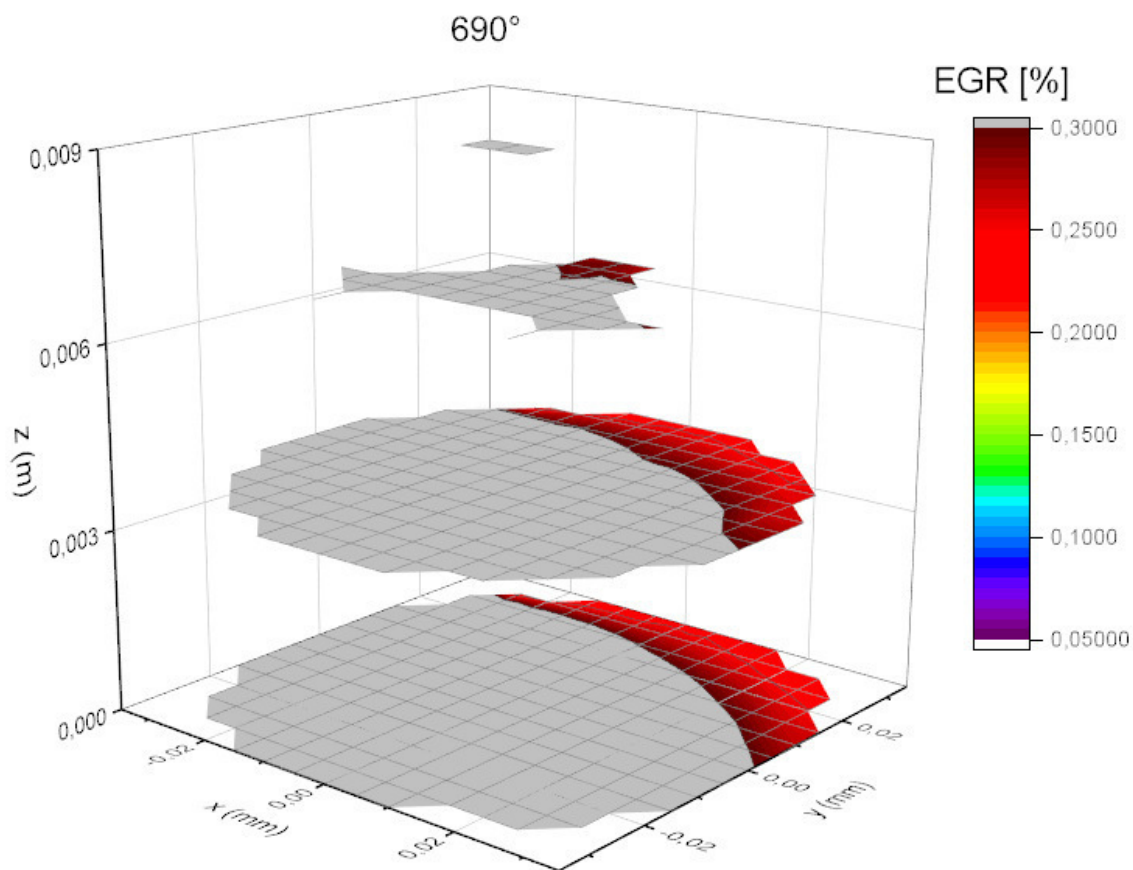


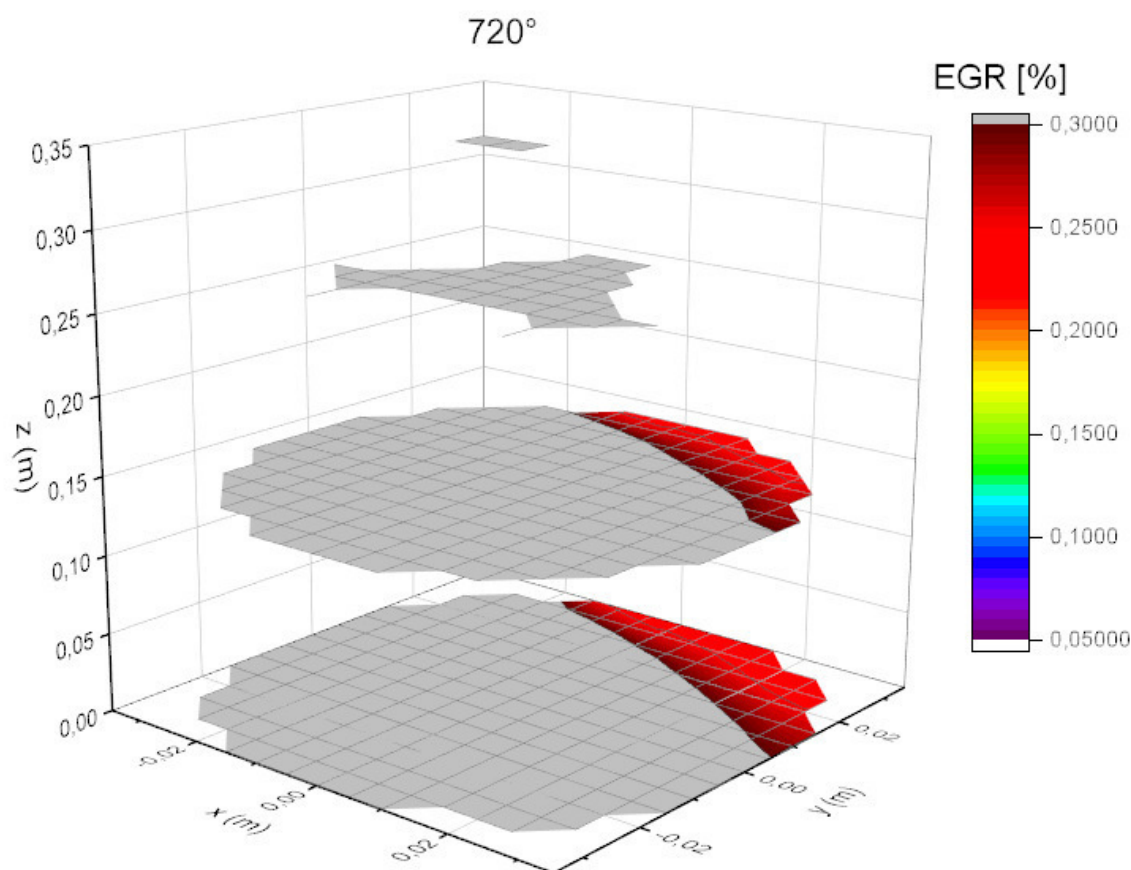
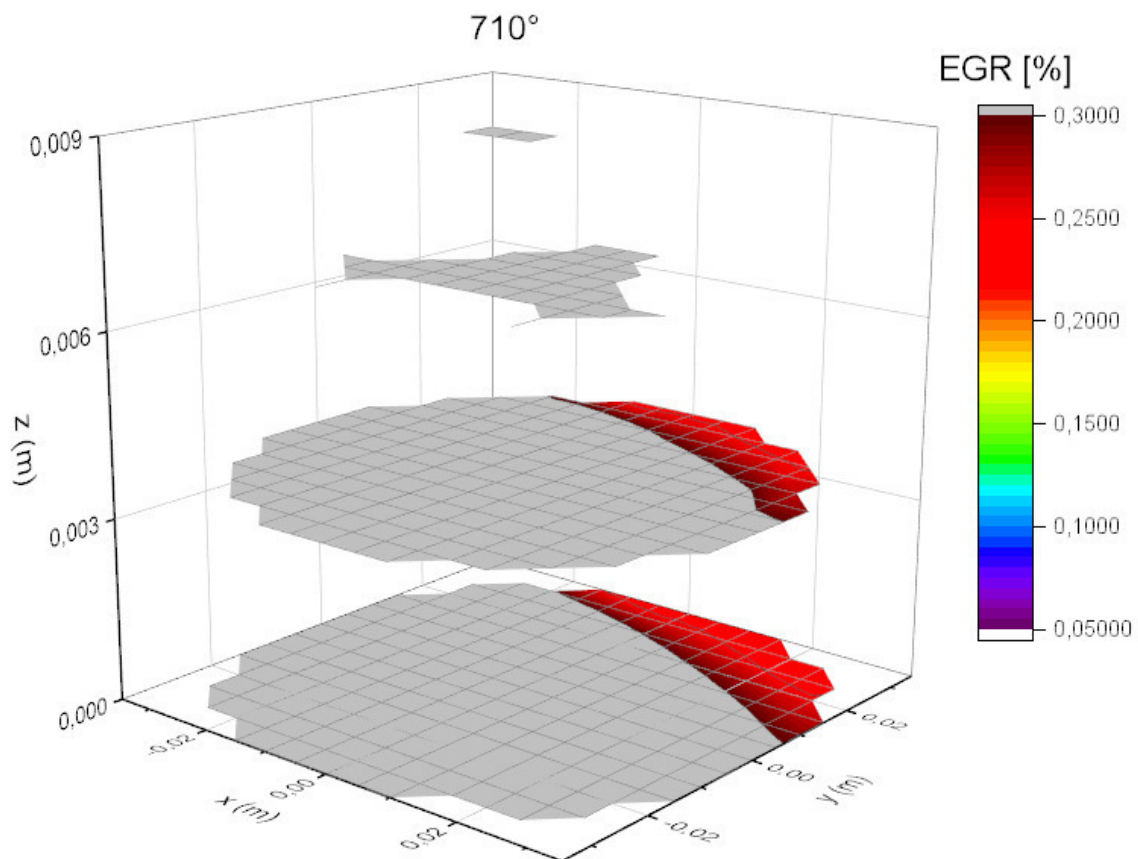


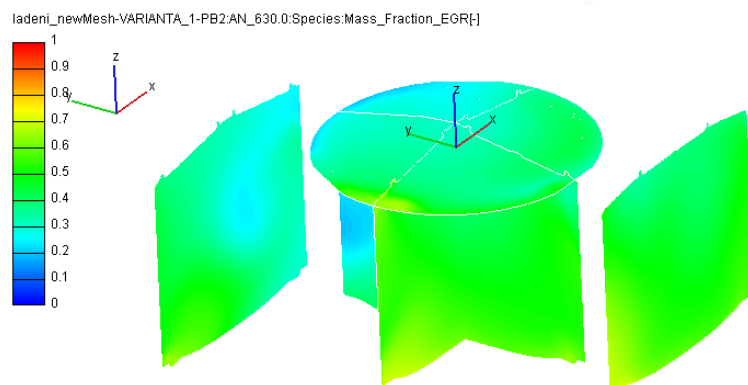
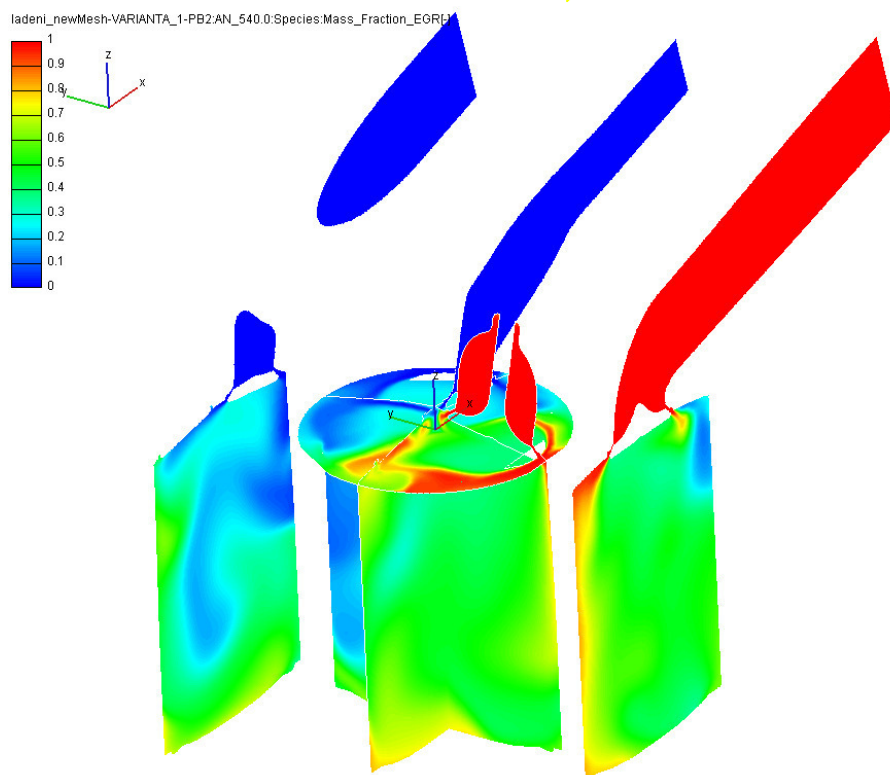
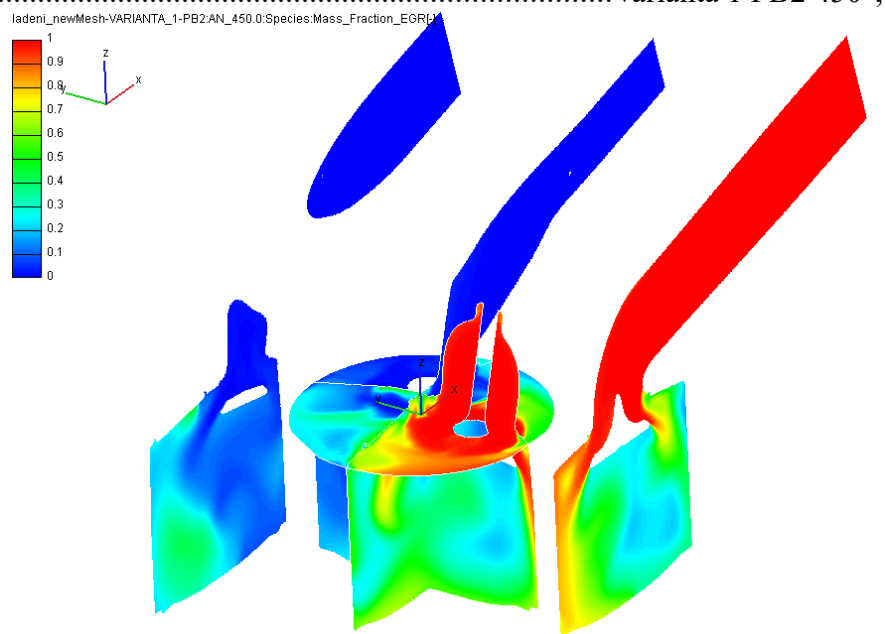


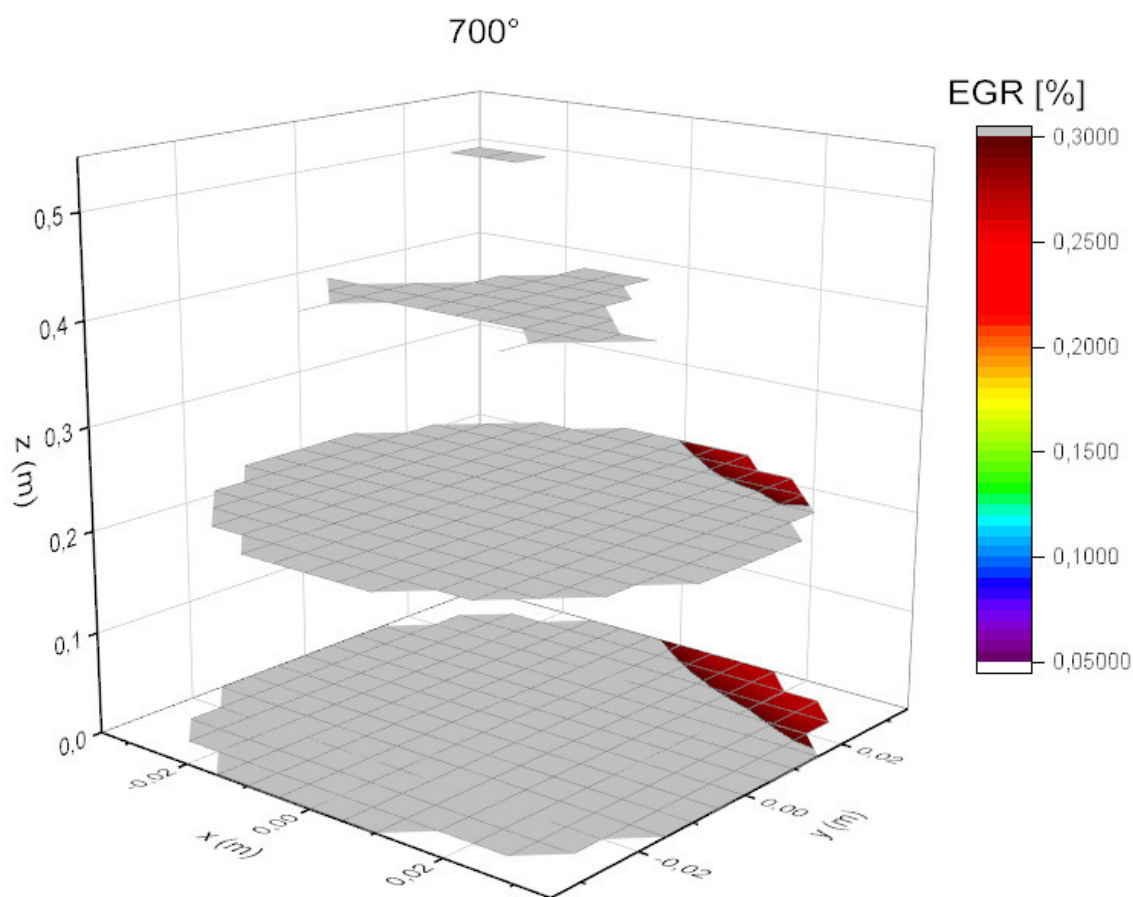
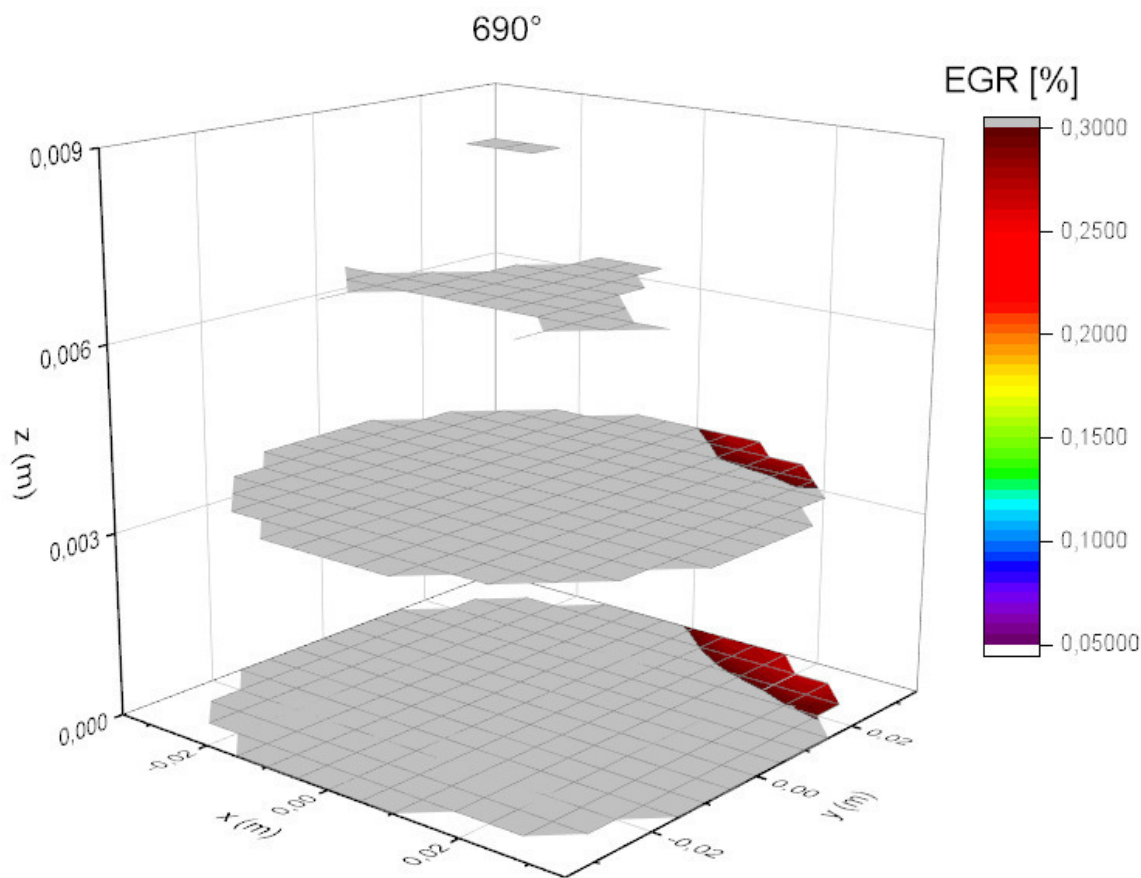


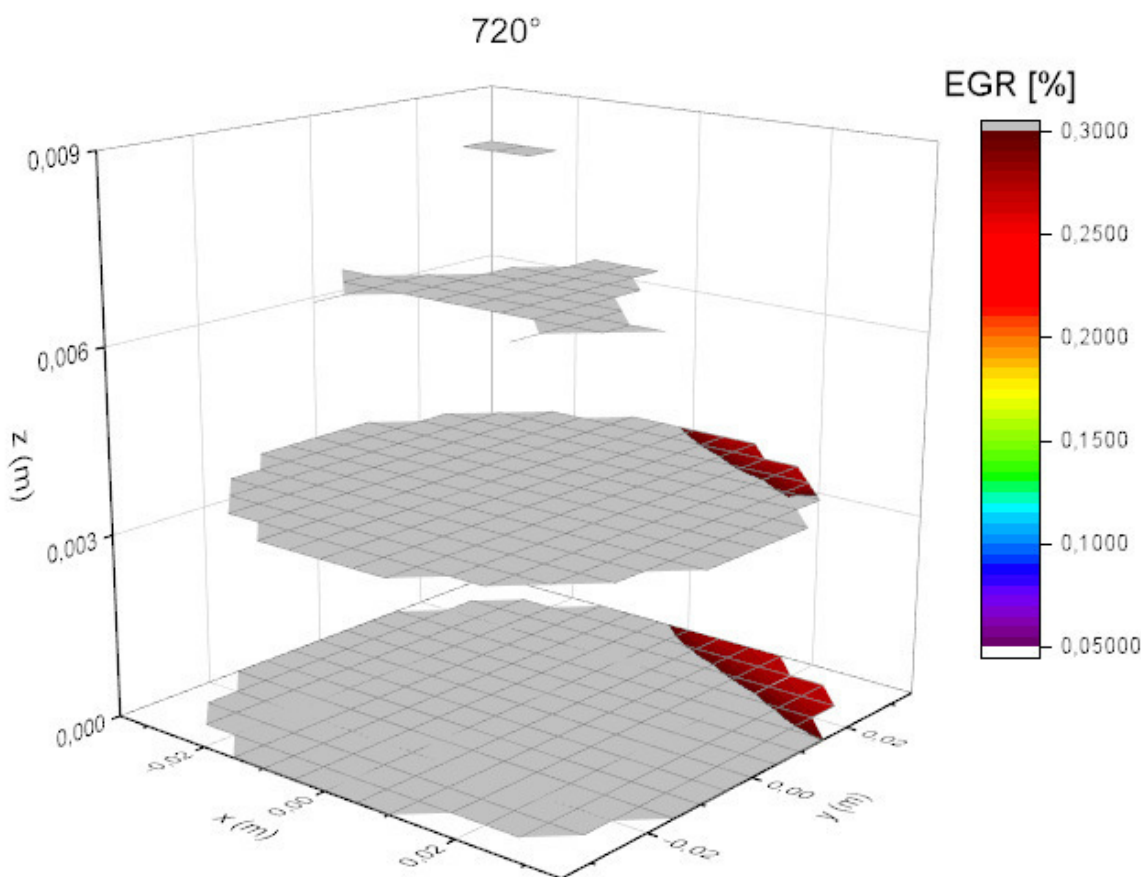
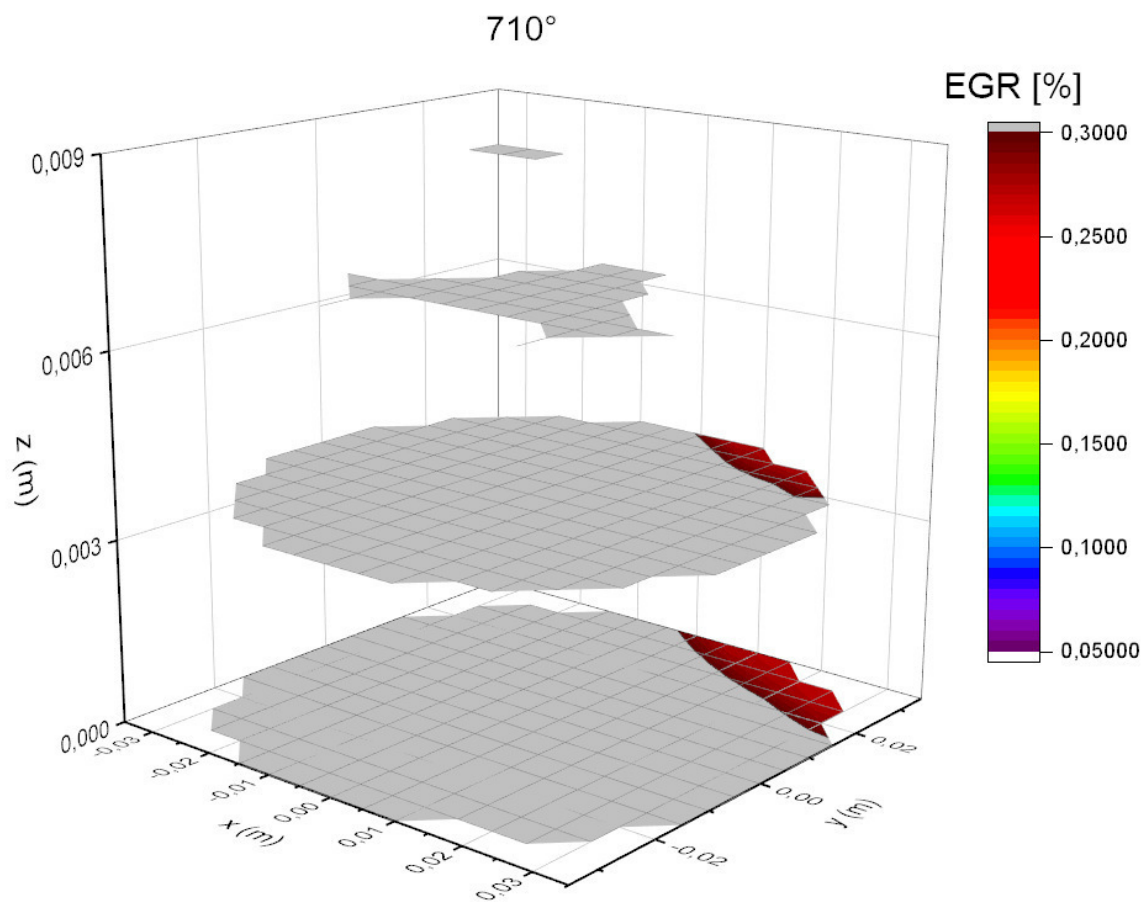




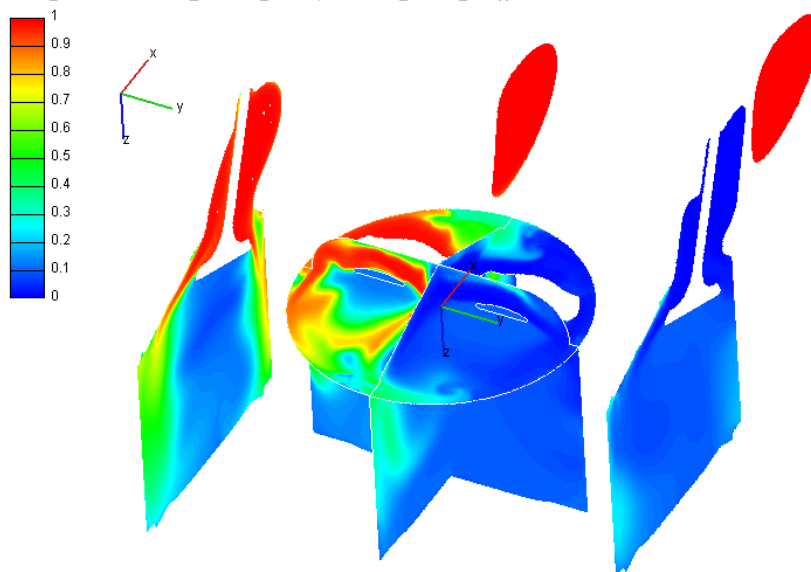




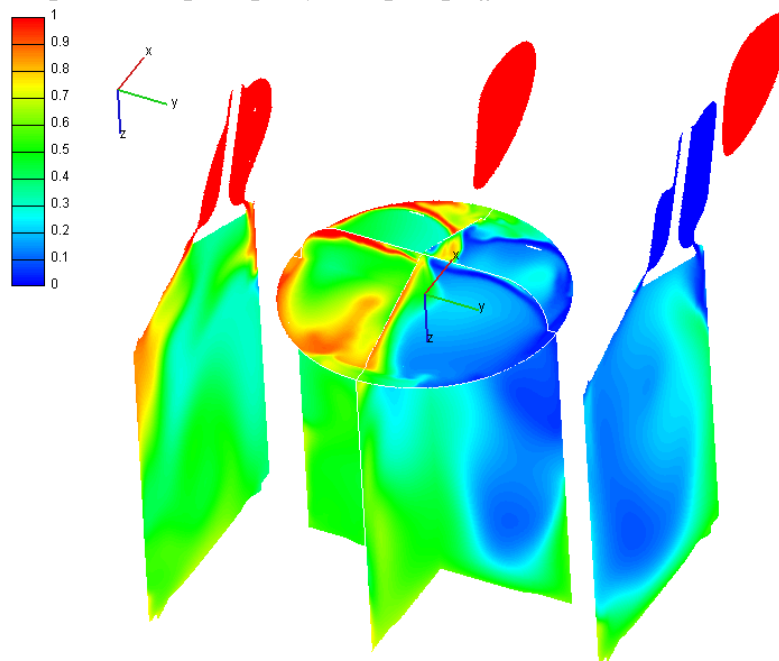




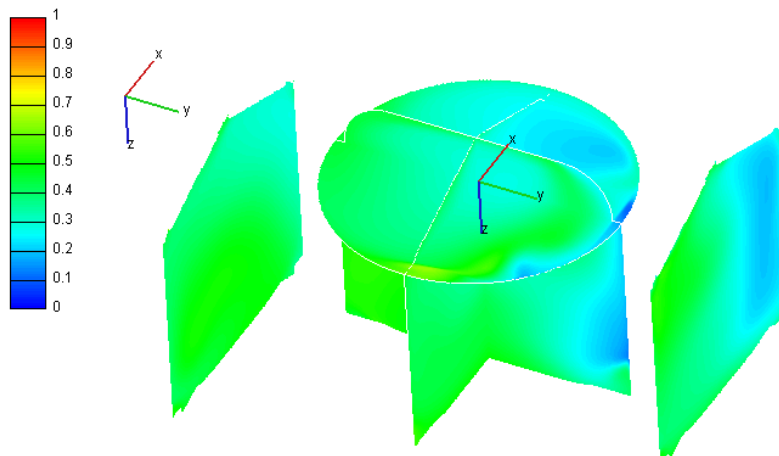
ladeni_newMesh-VARIANTA_2-PB1:AN_450.0:Species:Mass_Fraction_EGR[]

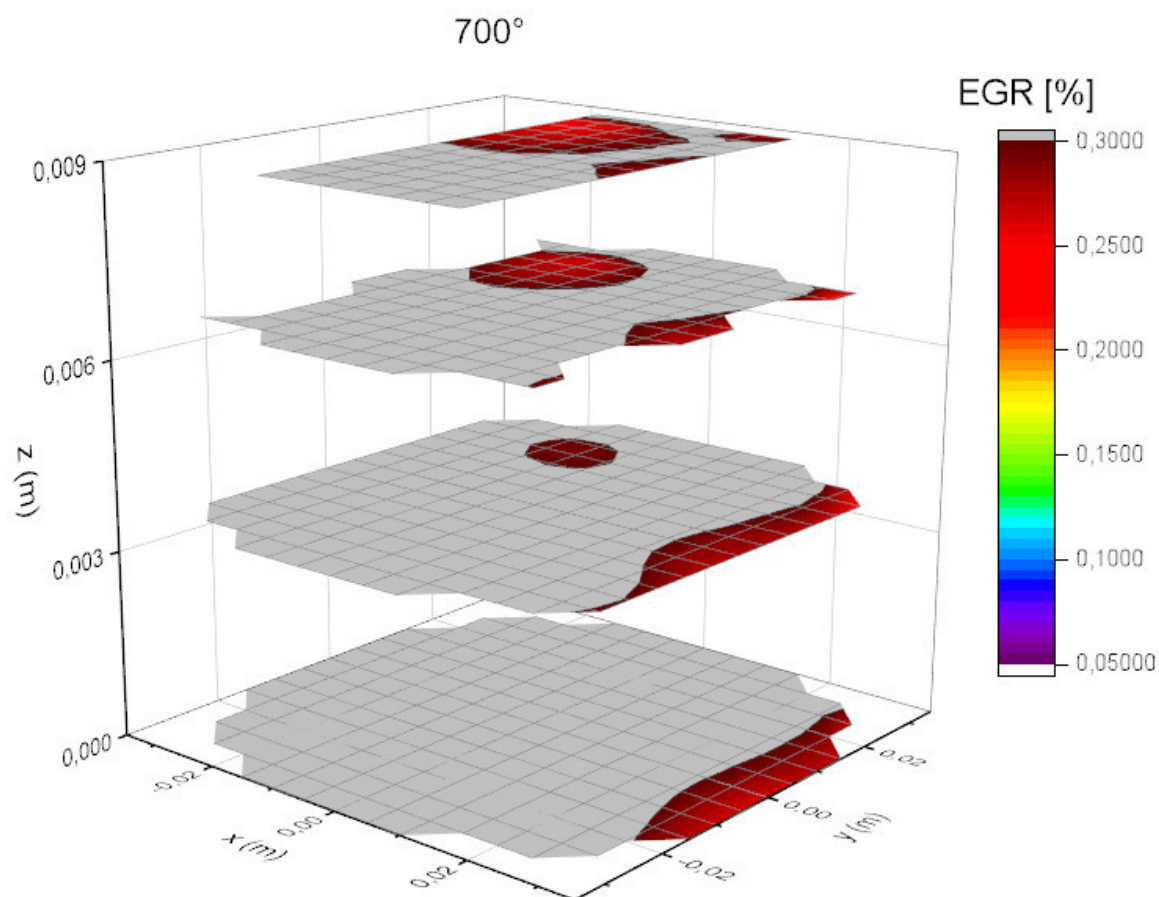
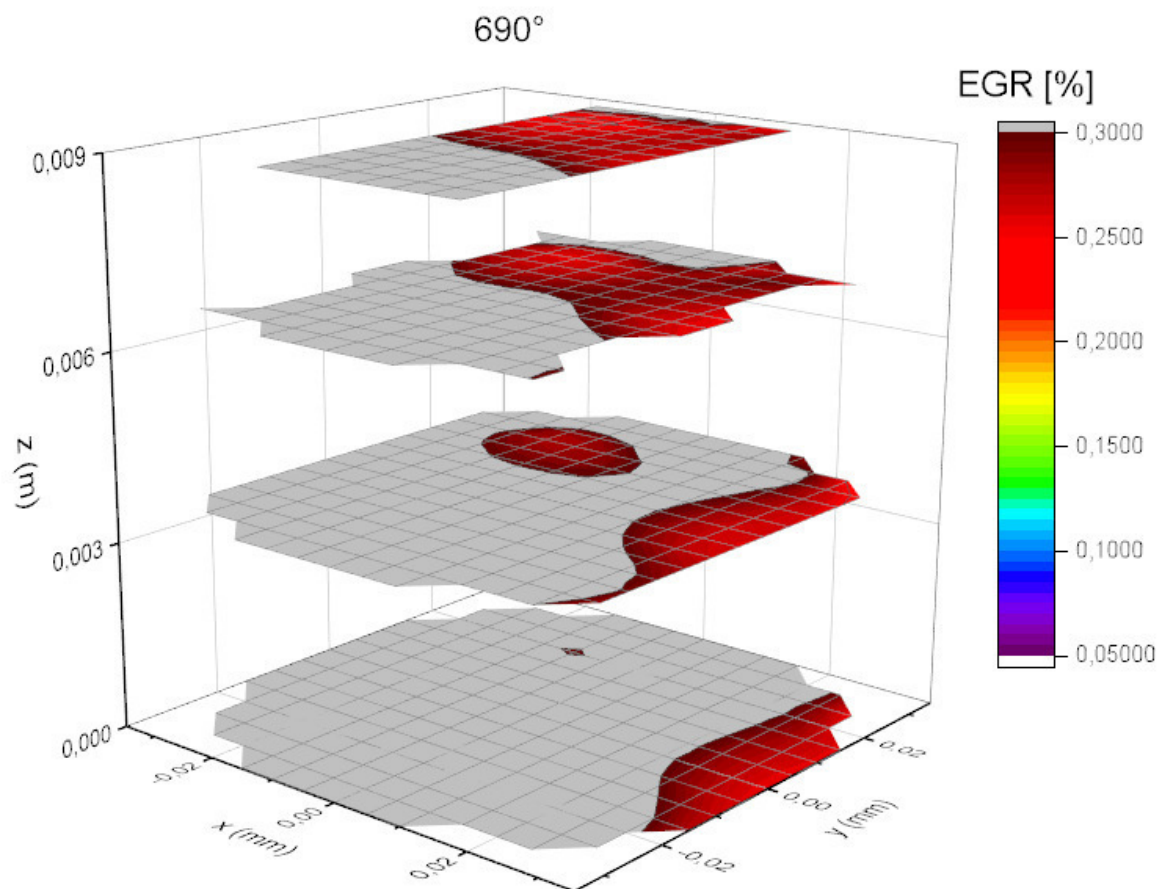


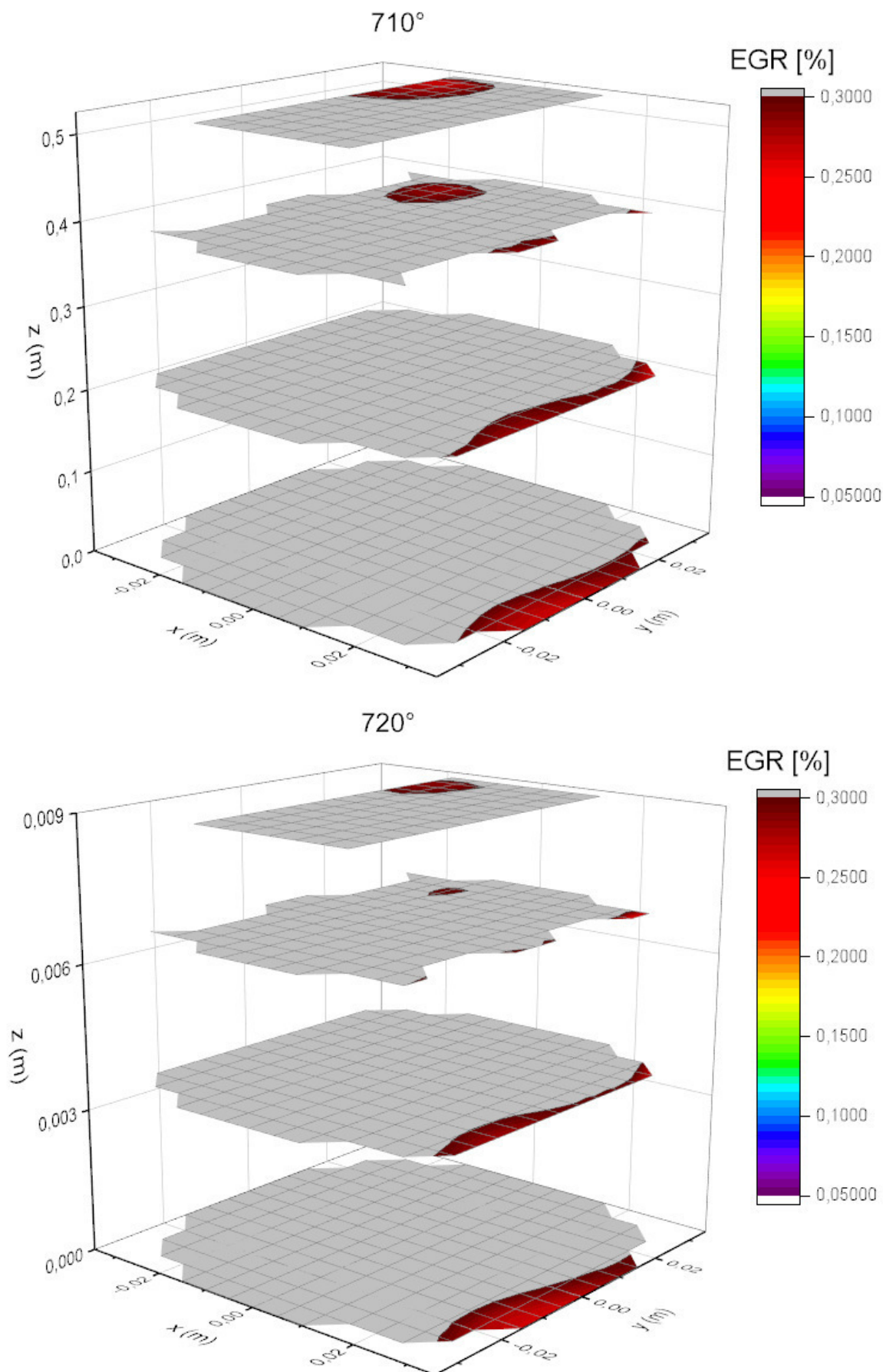
ladeni_newMesh-VARIANTA_2-PB1:AN_540.0:Species:Mass_Fraction_EGR[]

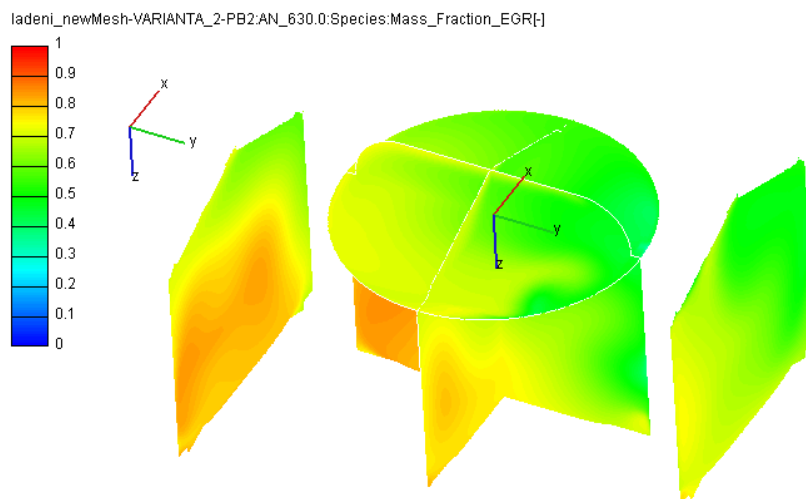
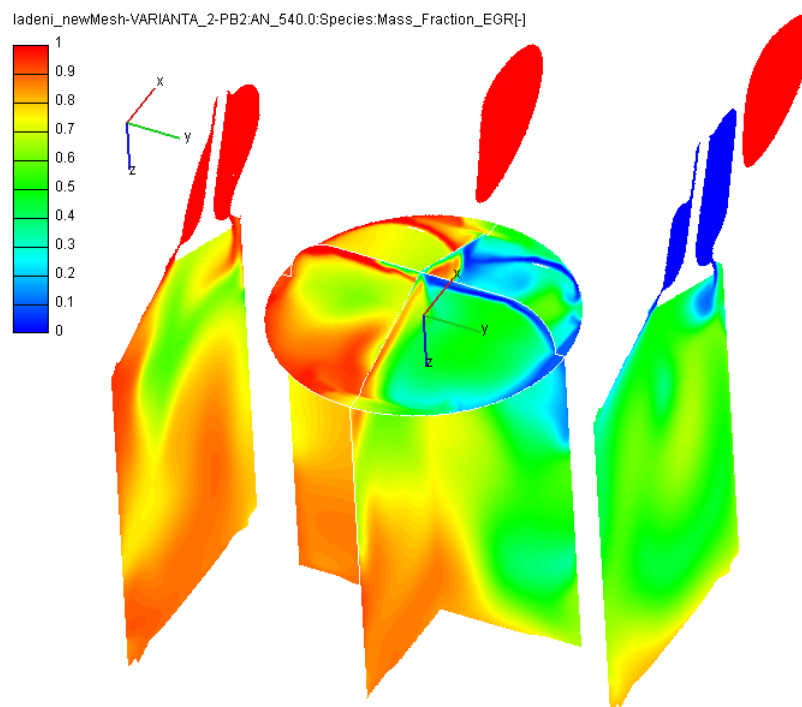
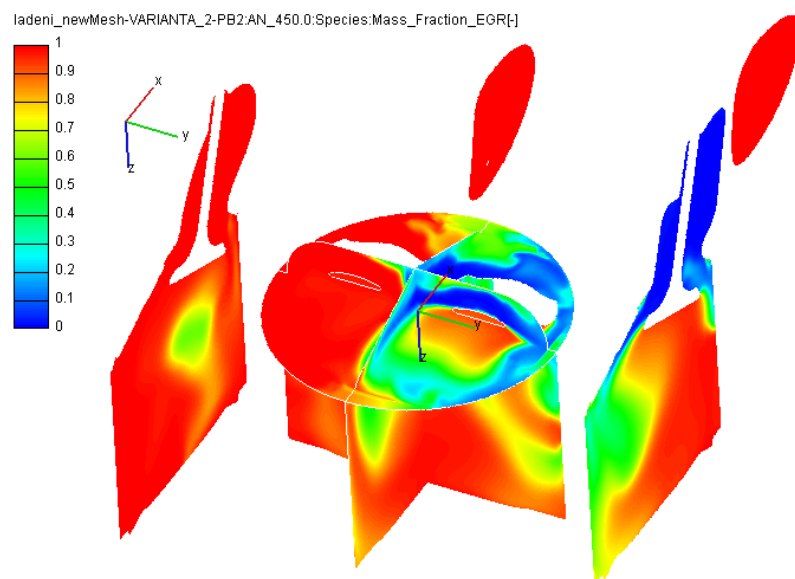


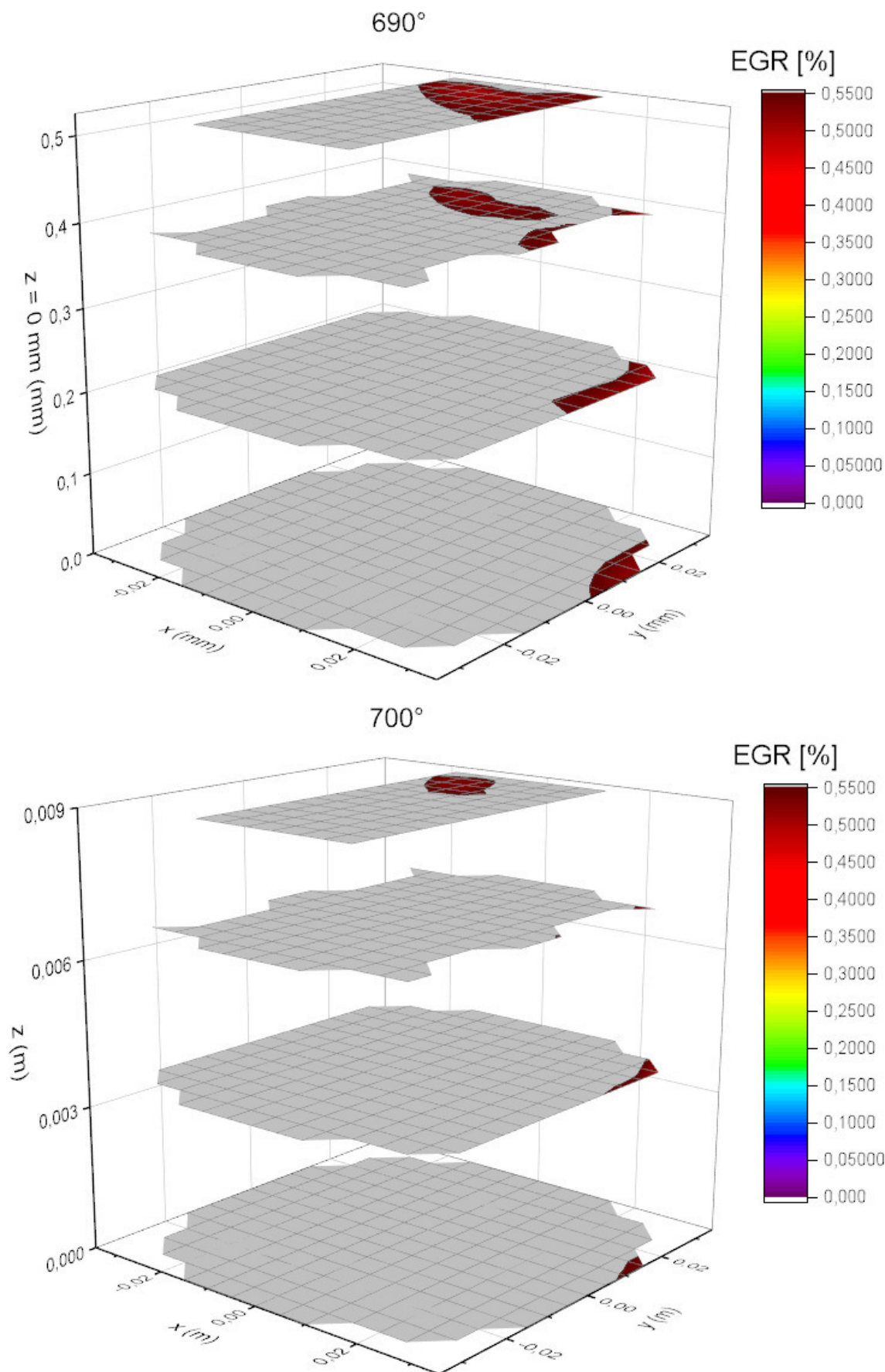
ladeni_newMesh-VARIANTA_2-PB1:AN_630.0:Species:Mass_Fraction_EGR[]

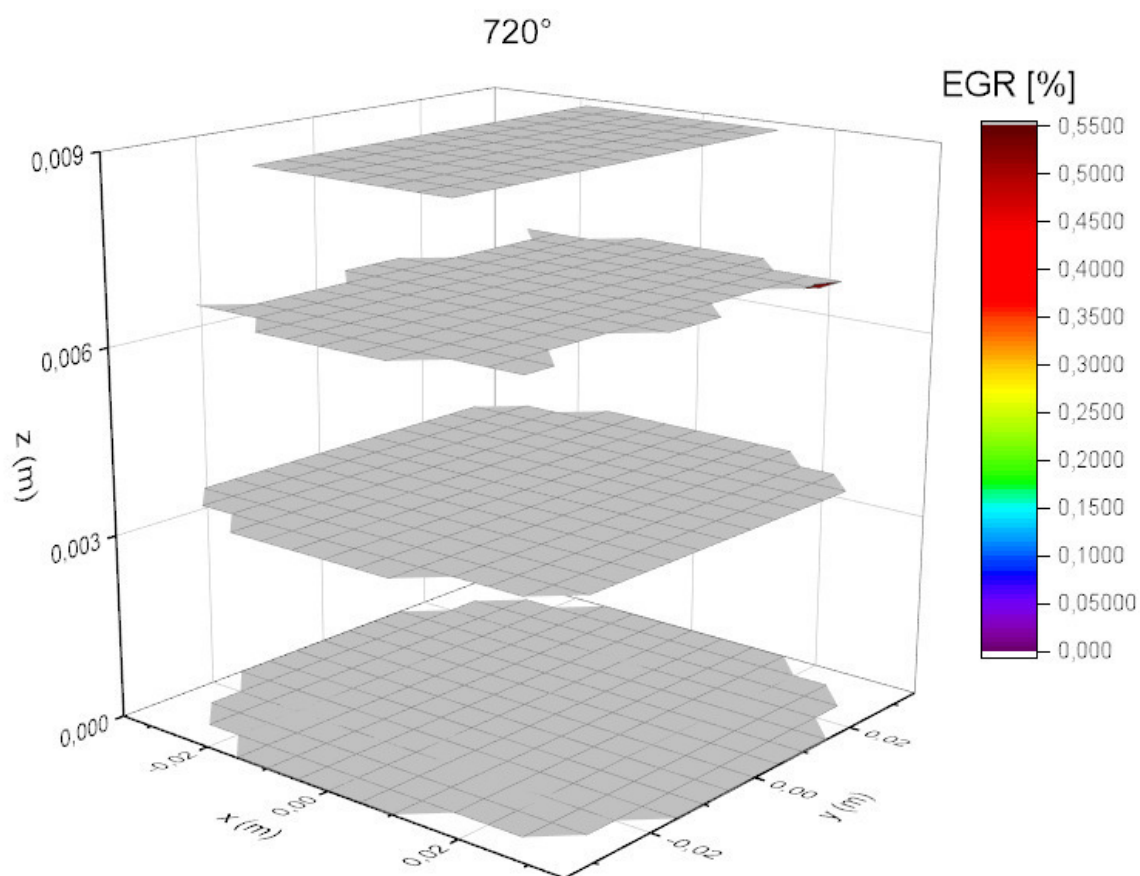
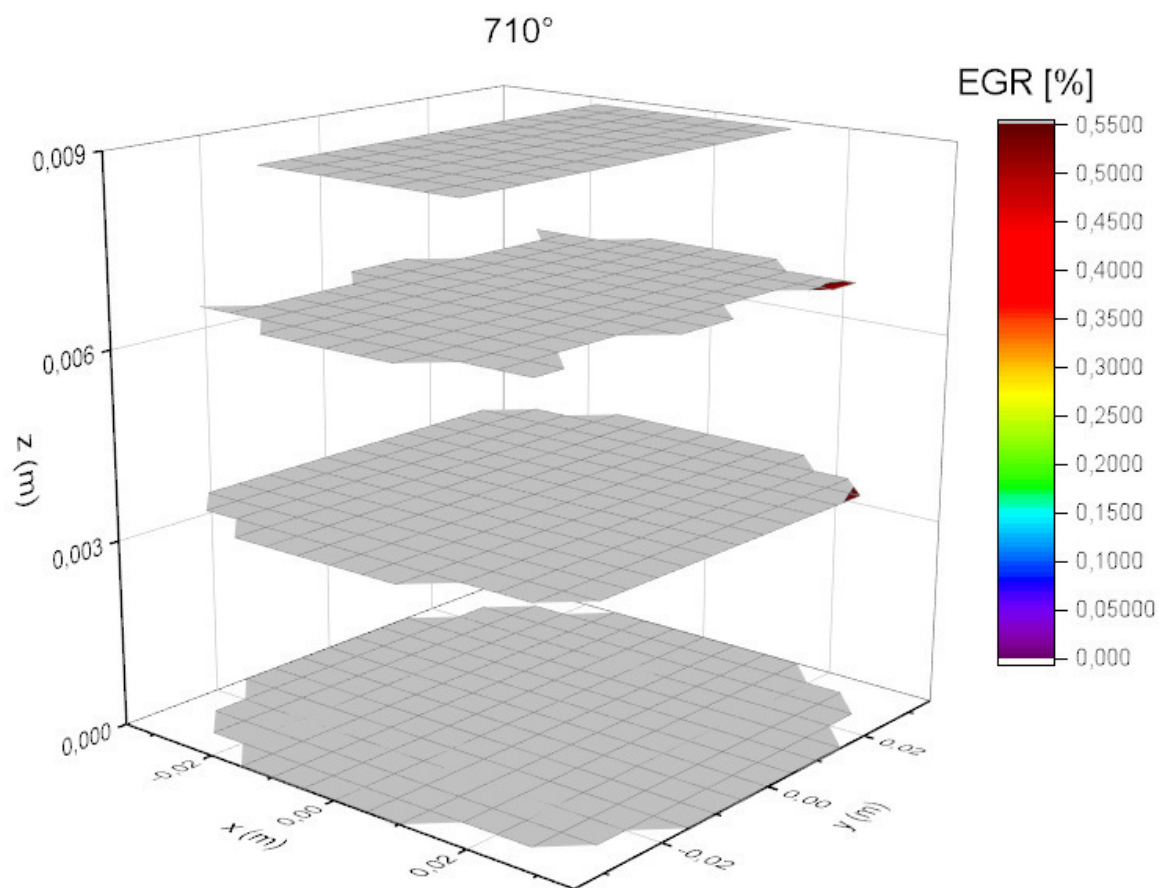




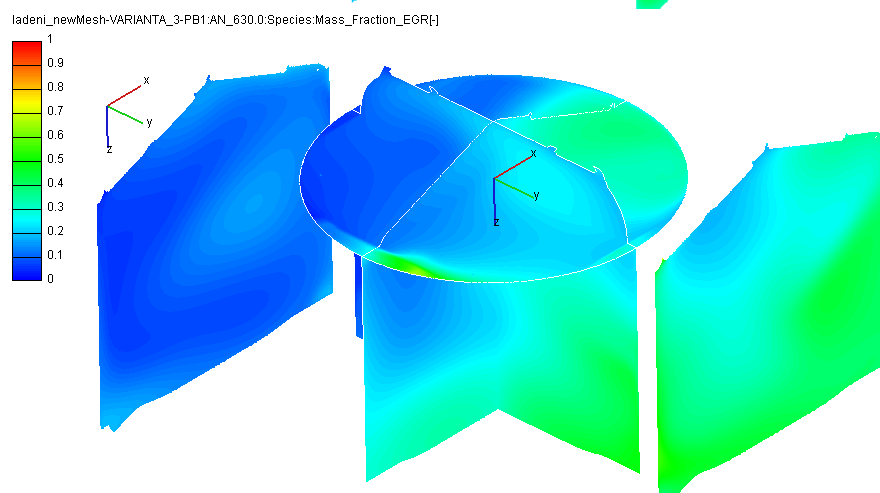
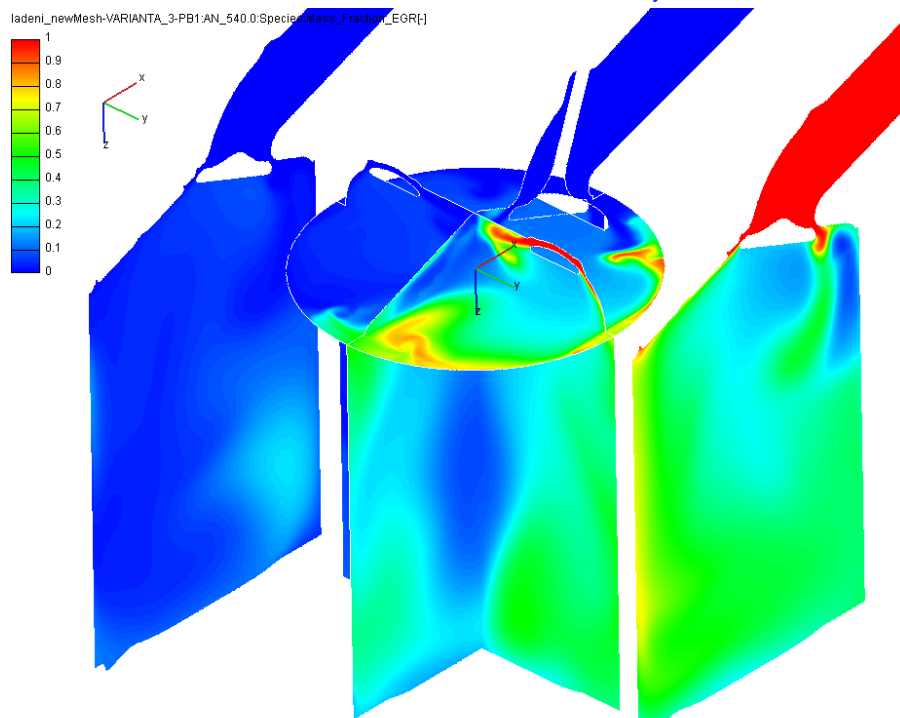
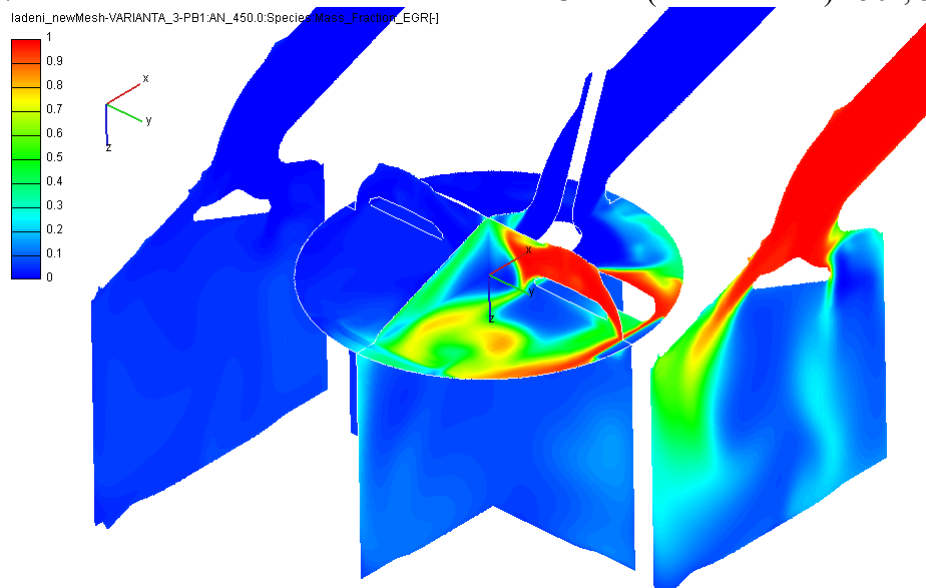


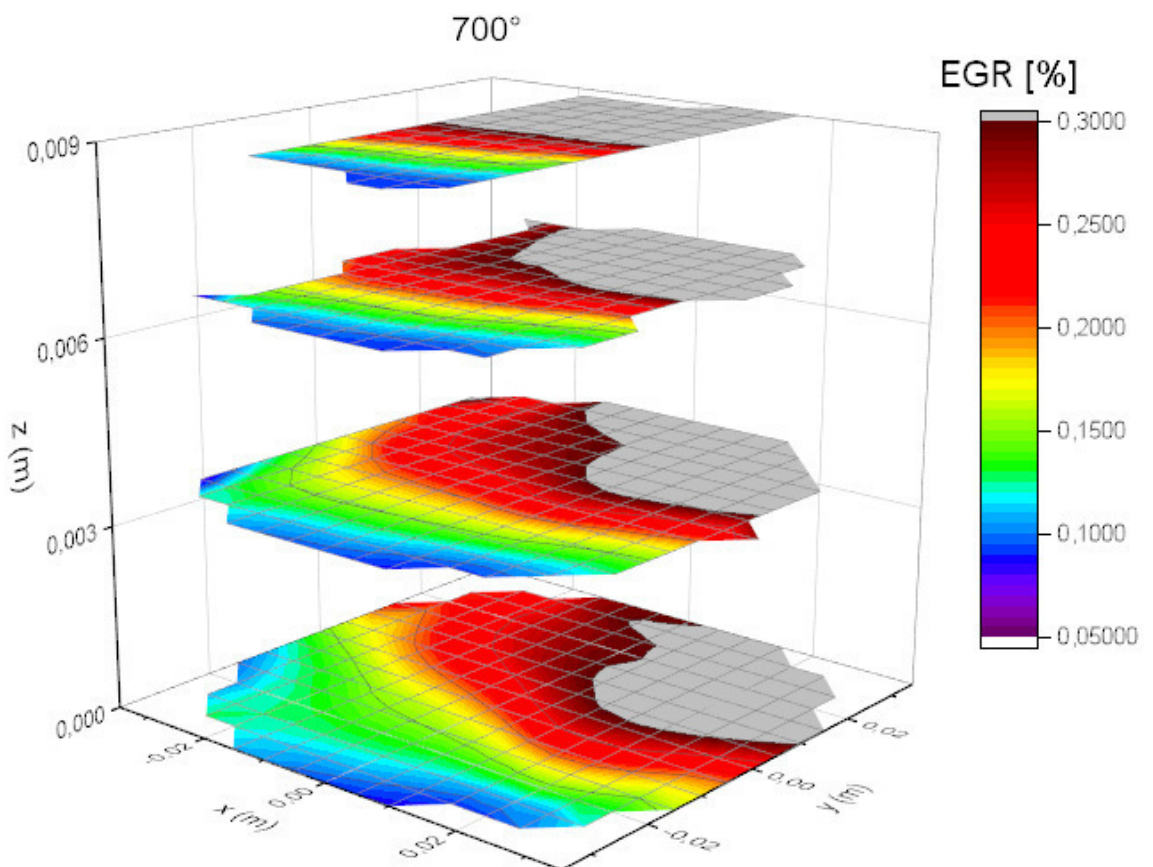
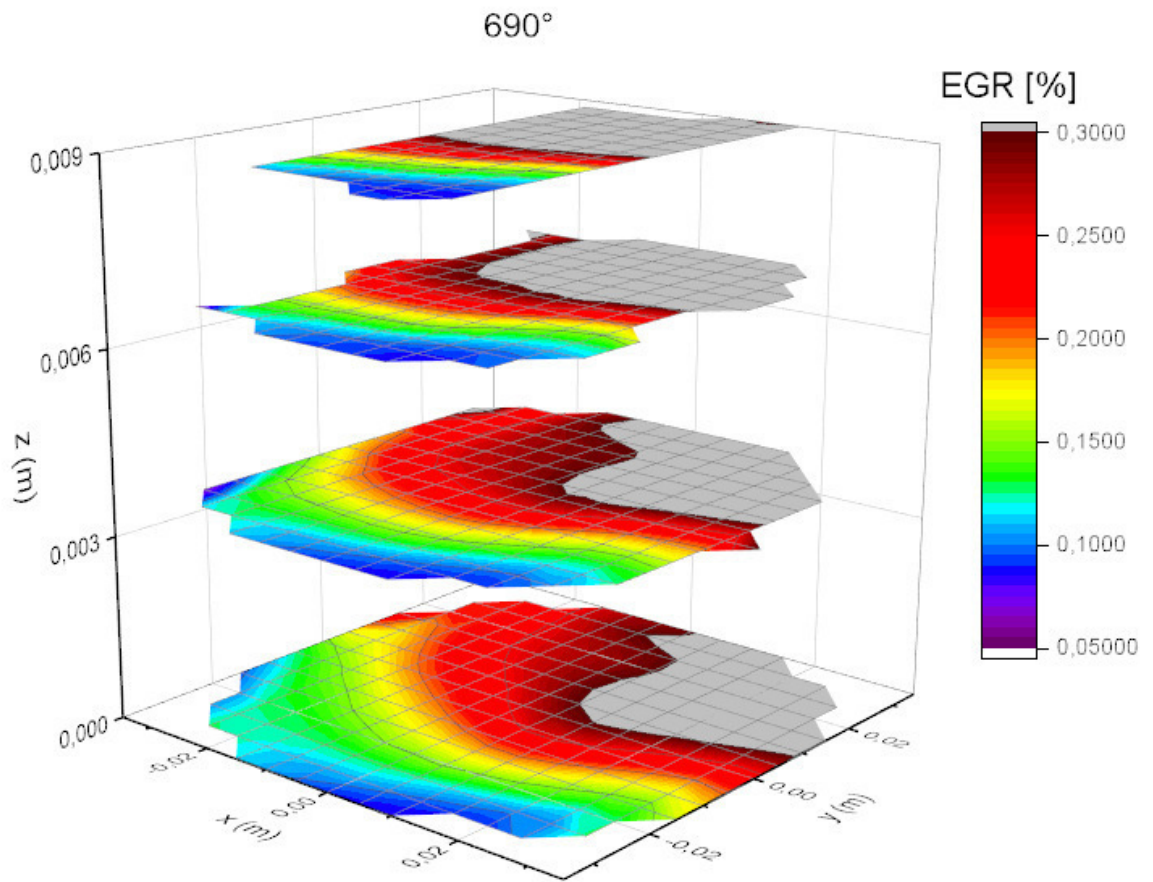


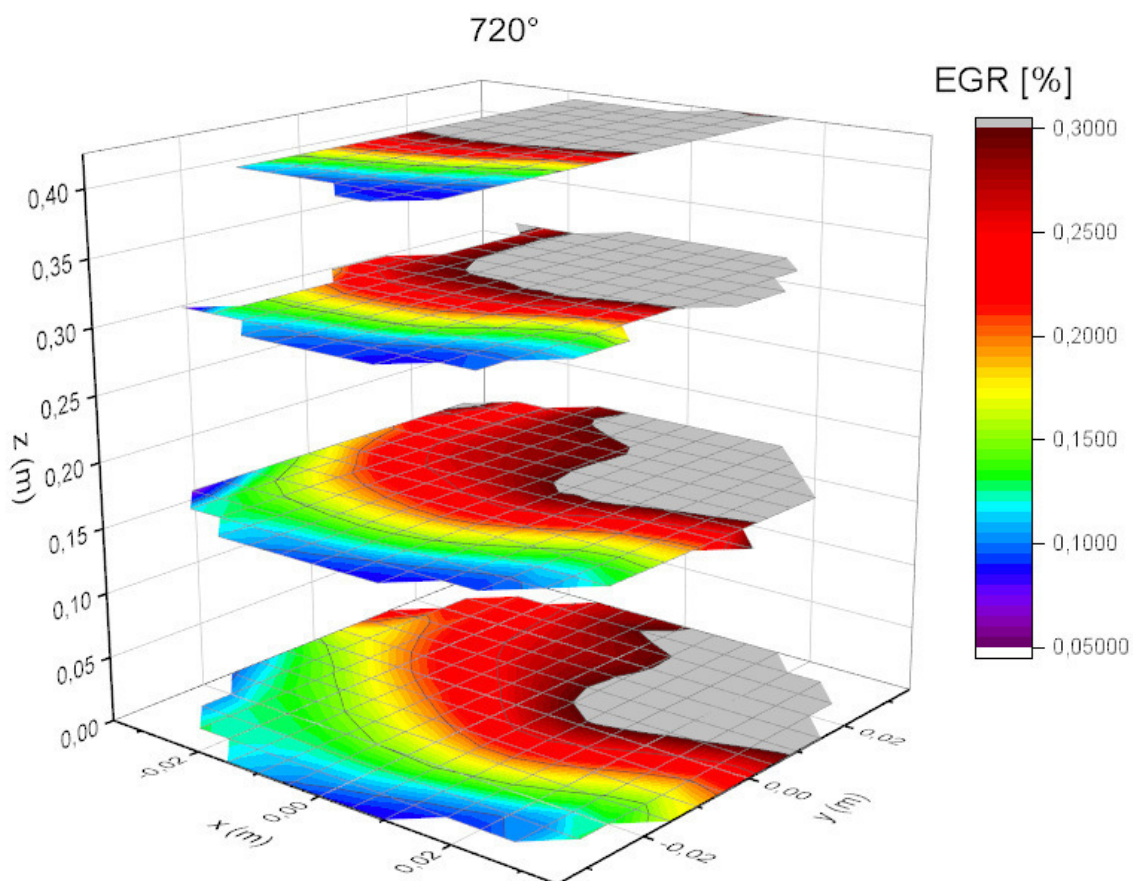
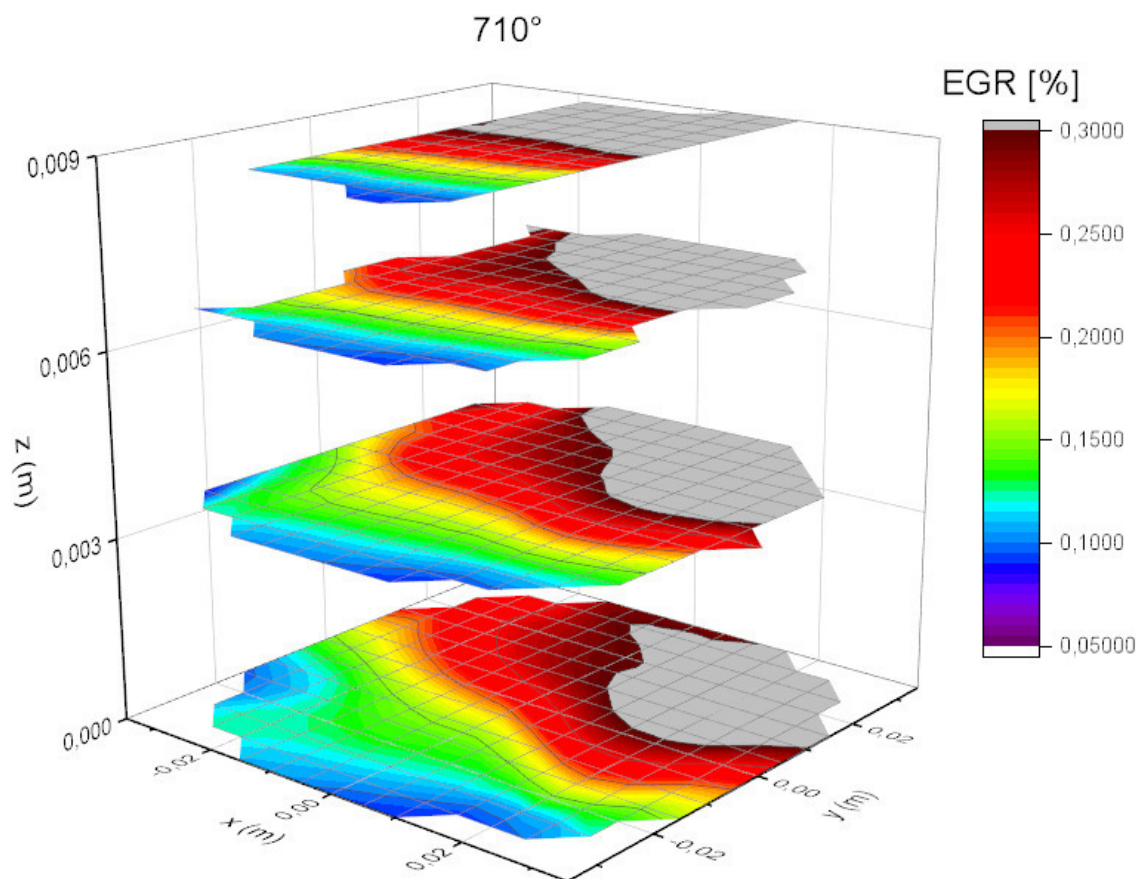




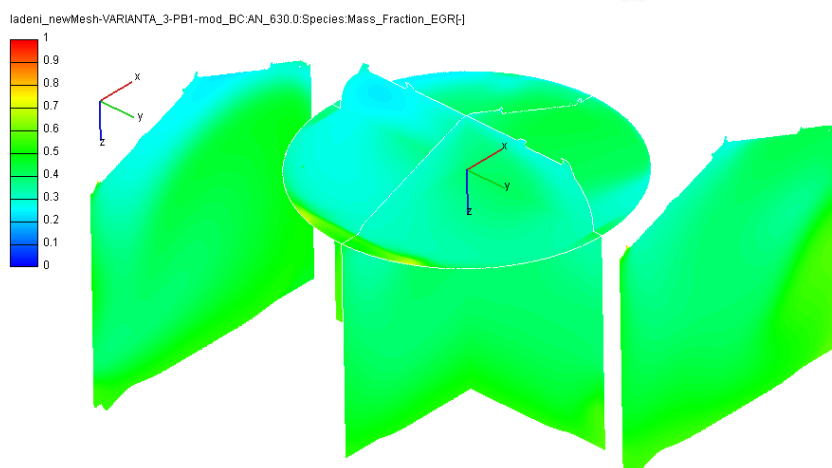
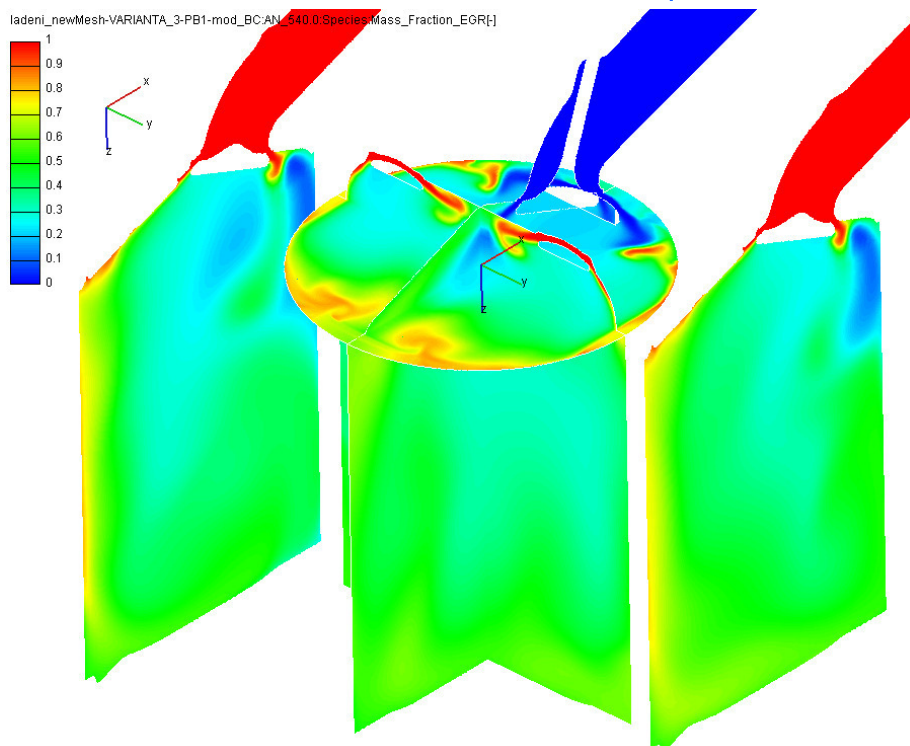
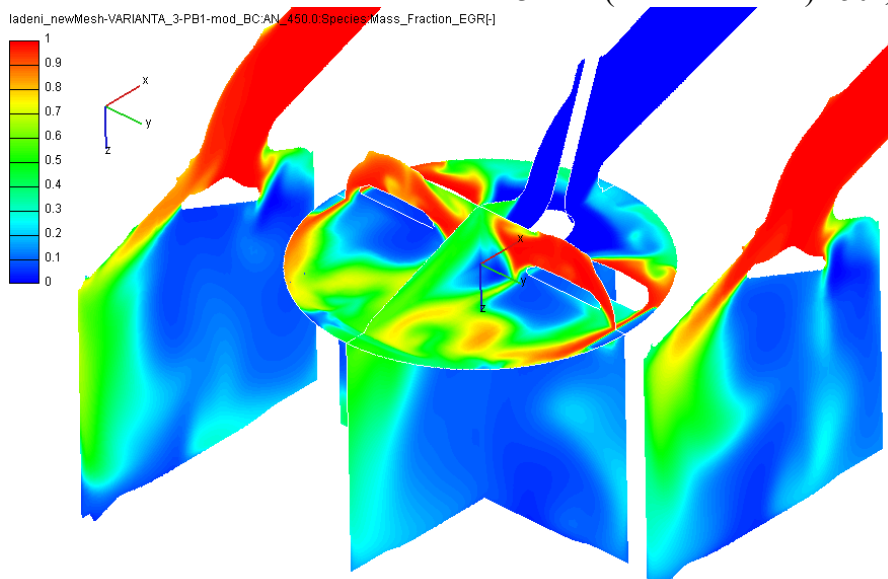
Příloha 17.....Varianta 3 PB1 (AF-AF-EGR) 450°, 540°, 630°

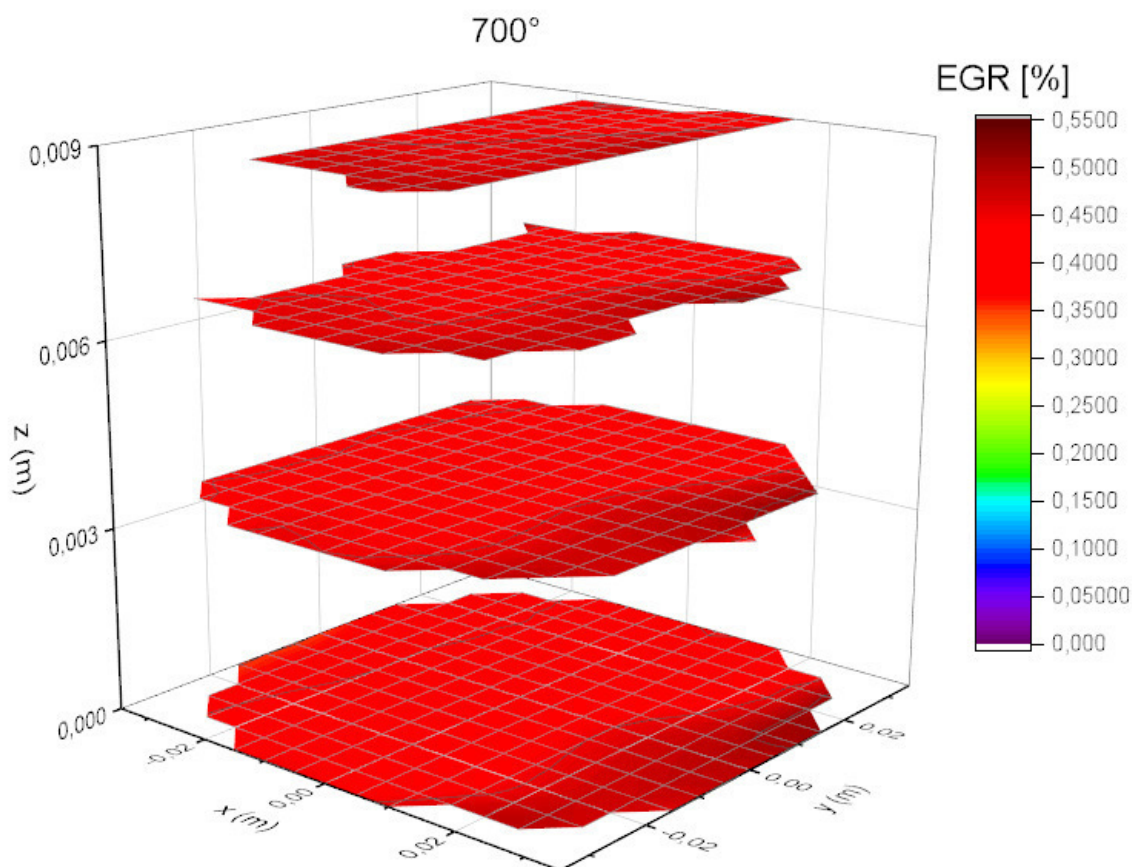
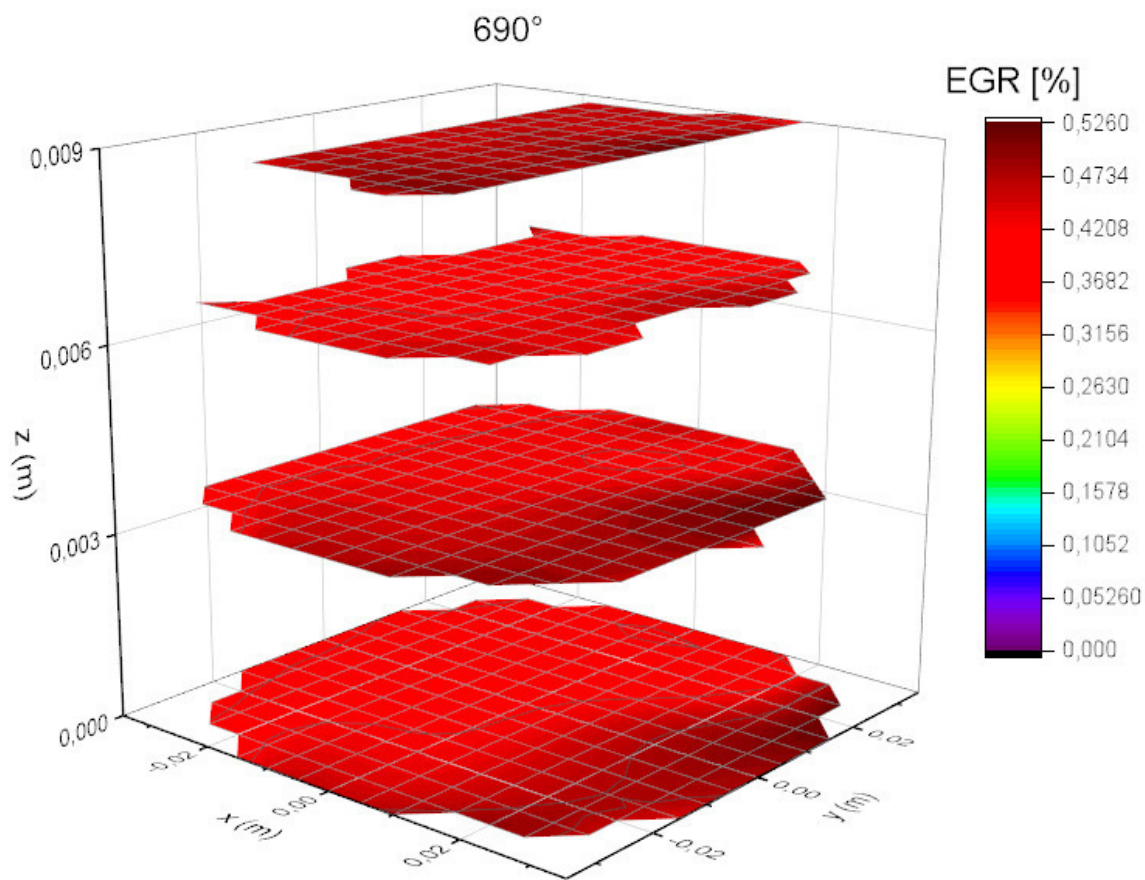


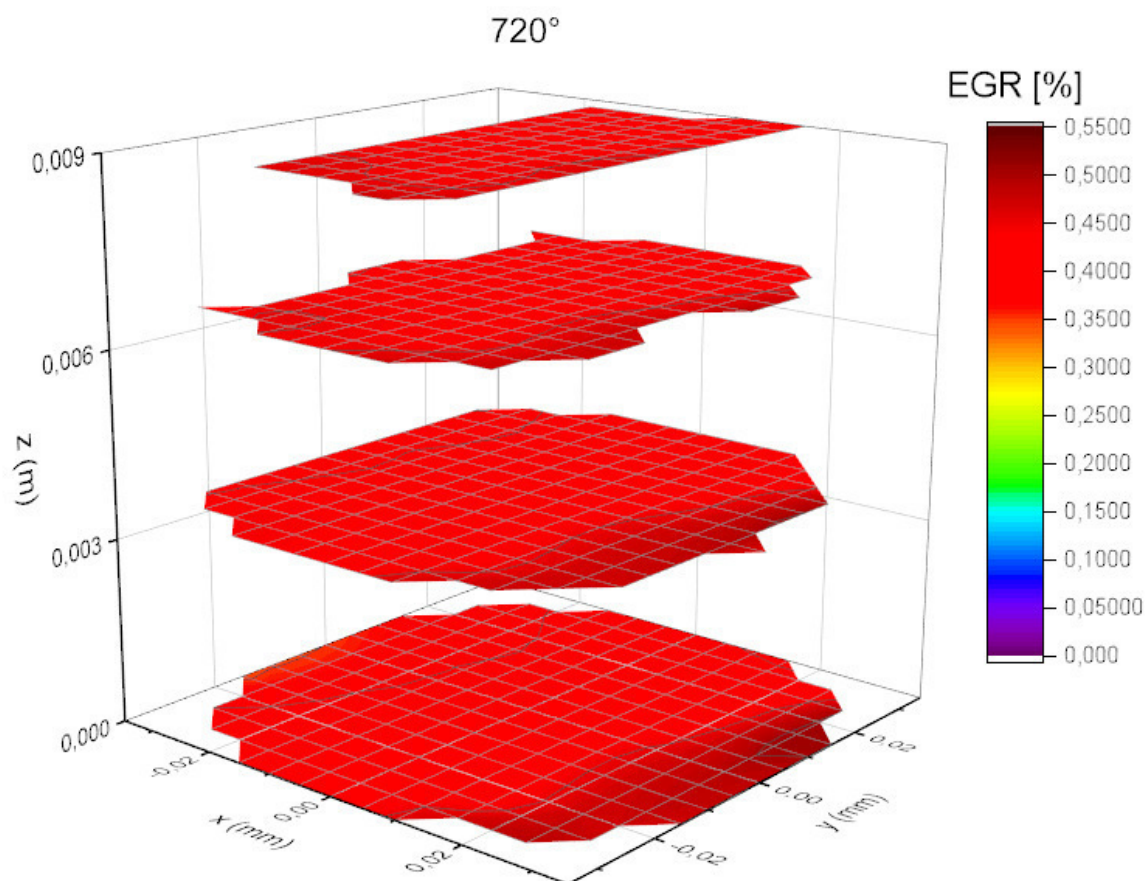
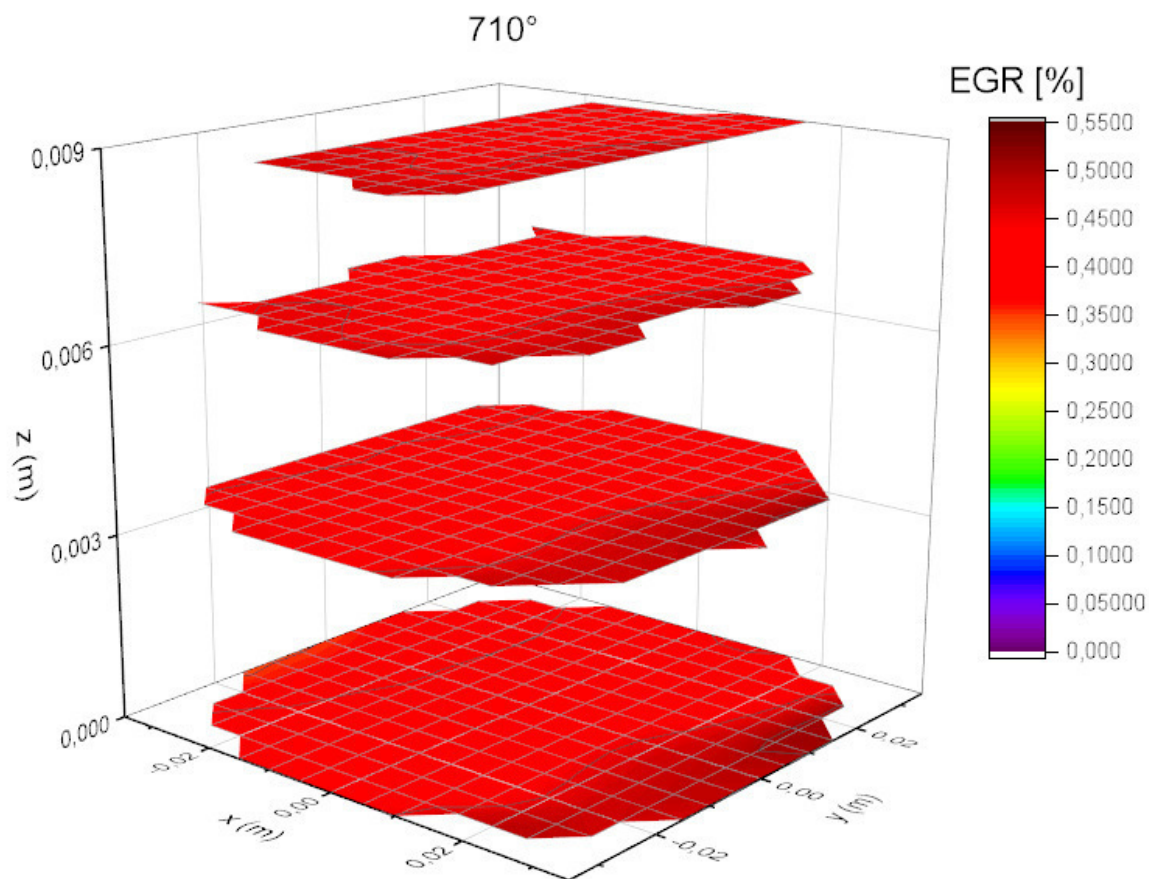




Příloha 20.....Varianta 3 PB1 (EGR-AF-EGR) 450°, 540°, 630°







Příloha 23.....Varianta 3 PB2 (AF-AF-EGR) 450°, 540°, 630°

