



**PROBLEMATYKA EMISJI PODCZERWIENI
PRZEZ ŚMIGŁOWIEC
W LOCIE I JEJ WPŁYWU NA
BEZPIECZEŃSTWO W TRAKCIE
WYKONYWANIA ZADAŃ BOJOWYCH**

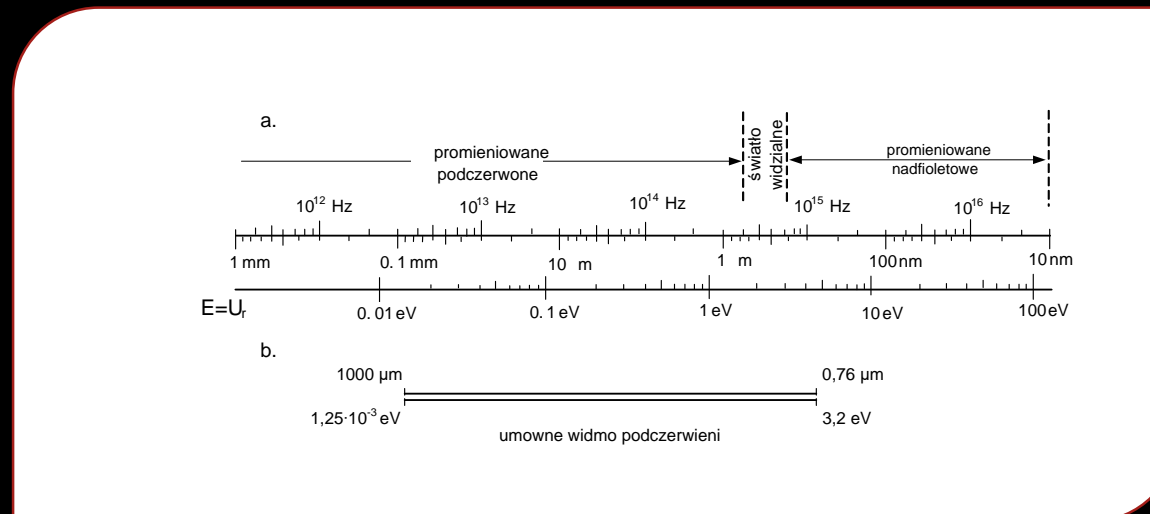
PODSTAWOWE CECHY PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Promieniowanie podczerwone jest niewidzialną częścią widma promieniowania optycznego i wykazuje wszystkie cechy tego promieniowania. Podczas promieniowania podczerwonego energia emitowana jest w postaci fali elektromagnetycznej, ale również jako produkt tej emisji – strumień fotonów. W technice optyki przyjmuje się następujący podział widma podczerwieni:

- podczerwień bliska 0,78 - 2,5μm,
- podczerwień średnia 2,5 – 50μm,
- podczerwień daleka 50 – 100μm.

W tabeli zestawiono procentowe udziały emisji promieniowania podczerwonego, widzialnego i ultrafioletowego w widmie promieniowania optycznego w odniesieniu do temperatury ciała doskonale czarnego.

Maksymalne temperatury występujące w technice śmigłowej nie przekraczają 2000°C, w związku z tym energia promieniowania w tym zakresie przenosi się prawie całkowicie przez promieniowanie podczerwone.



Widmo promieniowania optycznego a w tym podczerwonego i ultrafioletowego.
a – widmo fal optycznych, b – umowny zakres fal podczerwieni.

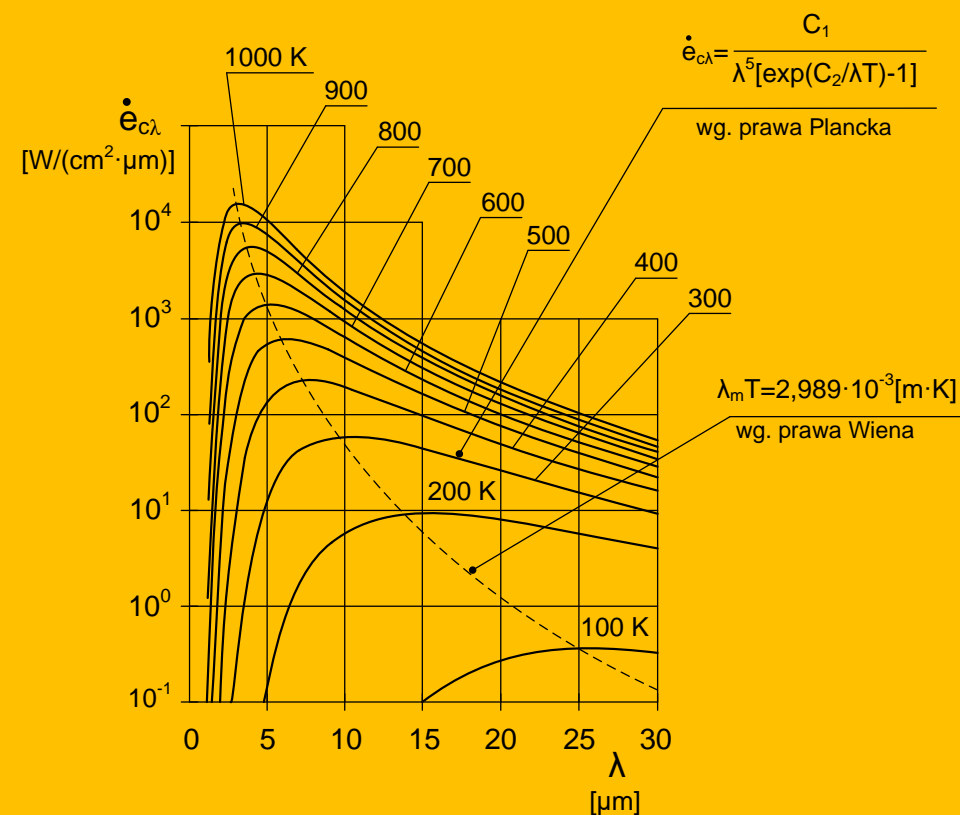
Temperatura ciała promieniującego T_c [°C]	Zakresy promieniowania optycznego [%]		
	podczerwon e	widzialne	nadfioletowe
poniżej 1200	100	-	-
2000	98	2	-
2500	95	5	-
4000	75	24	1
6000	45	43	12
10000	18	40	42

Procentowe udziały poszczególnych rodzajów promieniowania optycznego w promieniowaniu ciała doskonale czarnego.

PODSTAWOWE CECHY PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

W ujęciu fenomenologicznym wymiana ciepła przez promieniowanie polega na przekształcaniu energii wewnętrznej ciała w energię fal elektromagnetycznych promieniowania podczerwonego, które przechodzi przez ośrodek całkowicie lub częściowo przezroczysty do drugiego ciała gdzie energia promieniowania ulega ponownemu przekształceniu na energię wewnętrzną ale ciała drugiego. W ujęciu statystycznym wymiana ciepła przez promieniowanie traktowana jest jako przenoszenie energii przez fotony, które opuszczają wzbudzone atomy emitera i poruszają się aż do momentu pochłonięcia przez inne atomy absorbera.

Promieniowanie podczerwone odznacza się największymi efektami przenoszenia ciepła w widmie optycznym, idealnie rozchodzi się w próżni z odpowiednimi ograniczeniami w przestrzeni materialnej wypełnionej gazami.



Rozkład spektralnej gęstości emisji ciała doskonale czarnego zgodnie z prawem Plancka w skali półlogarytmicznej. Zakres temperatur 100-1000K jest charakterystyczny dla emisji pod-czerwieni przez spaliny śmigłowca w locie.



ŚMIGŁOWIEC W LOCIE JAKO ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Zgodnie z prawem Prevosta, każde ciało materialne o temperaturze wyższej od 0K emituje promieniowanie podczerwone, o spektralnej gęstości emisji własnej związanej z określoną długością fali i temperaturą bezwzględną (prawo Plancka). Ta cecha materii dotyczy również statków powietrznych, a w szczególności śmigłowców bojowych wykonujących zadanie bojowe.

Śmigłowce w odróżnieniu od współczesnych samolotów odznaczają się mniejszymi prędkościami lotu i wykonywanymi manewrów, co czyni je bardziej podatnymi na zwalczanie współczesnymi środkami bojowymi np. pociskami samonaprowadzającymi się na podczerwień, powietrze - powietrze, ziemia – powietrze.

Zaprojektowana w latach 80-tych, stale modernizowana konstrukcja śmigłowca PZL W3 Sokół, istnieje obecnie w wielu odmianach i wersjach rozwojowych. Wersje bojowe śmigłowca nie posiadają jednak dostatecznej ochrony w zakresie podczerwieni. Oczekuje się, że prowadzone prace badawcze pozwolą na uściślenie parametrów konstrukcyjnych projektowanego schładzacza spalin.

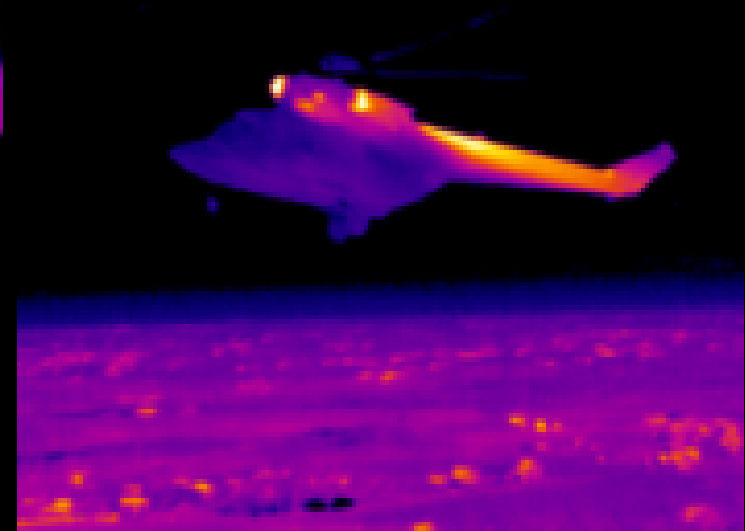
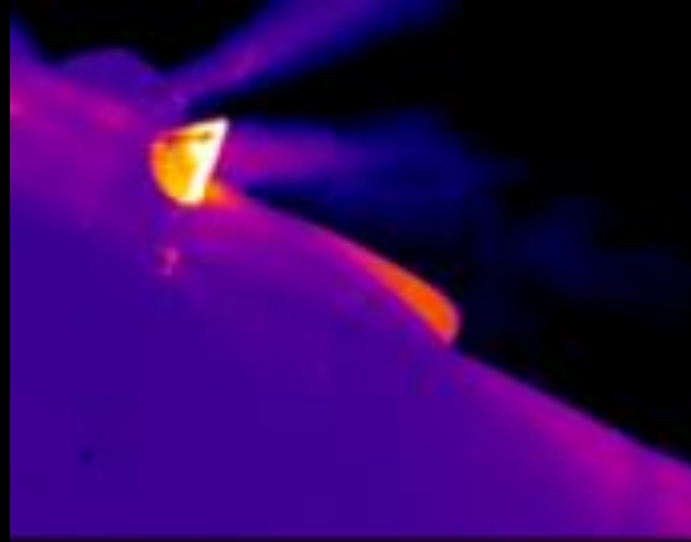


Śmigłowiec w wersji wsparcia bojowego W-3PL Głuszec



ŚMIGŁOWIEC W LOCIE JAKO ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

W związku z ograniczoną sprawnością cieplną silników spalinowych, znaczna ilość energii zawartej w paliwie, zostaje odprowadzona do otoczenia na sposób ciepła. Odpływ ciepła odbywa się na drodze konwekcji, a także promieniowania podczerwonego. Za emisję promieniowania podczerwonego emitowanego przez śmigłowiec w locie, odpowiedzialne są w pierwszym rzędzie procesy cieplne przebiegające w zespole silnika napędowego wraz z agregatami pomocniczymi oraz w zespole przekładni głównej i przekładni śmigła ogonowego. W przypadku spalin jest to emisja selektywna, generowana z całych objętości strumienia gazów.



Wybrane kadry z filmu nagranego w podczerwieni przedstawiające lot śmigłowca PZL W-3 Sokół.



ŚMIGŁOWIEC W LOCIE JAKO ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Podczerwień emitują również powierzchnie ciał stałych z jakich wykonane są poszczególne podzespoły śmigłowca, a szczególnie powierzchnie:

- powierzchnie zewnętrzne silników napędowych,
- powierzchnie osłon przedziałów silnikowych,
- układy wlotów powietrza przechwytywanego przez silniki napędowe,
- poszycie kadłuba śmigłowca (promieniowanie odbite od powierzchni kadłuba),
- nieosłonięte powierzchnie dyfuzorów wylotowych i ich przekroje wylotowe.



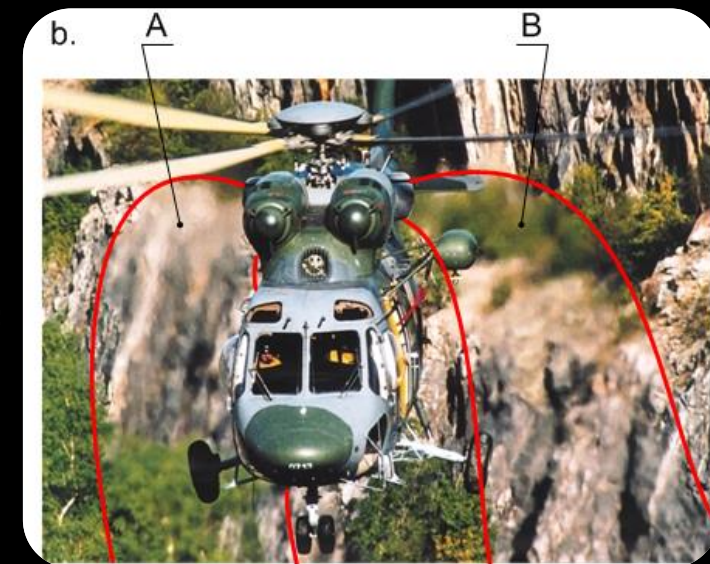
Charakterystyczne strefy emisji podczerwieni:

- 1 – strefa wlotów powietrza do silników,
- 2 – strefa strumieni spalin,
- 3 – strefa osłon gondol silnikowych wraz z dyfuzorami.



ŚMIGŁOWIEC W LOCIE JAKO ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Spaliny wypływające z kolektorów wylotowych silników napędowych śmigłowca charakteryzują się określonym składem chemicznym oraz stanem termicznym. Skład chemiczny i stan termiczny ściśle związane są z procesami wewnątrzkomorowymi zachodzącymi w silniku takimi jak: ciągłe rozplomienie, utrzymywanie strefy ognia w odpowiedniej odległości od ścianek, proces schładzania spalin dopływających do turbiny wytwornicowej, dopływ wtórnego strumienia powietrza do spalin odpływających ze strefy spalania oraz wnikanie do strumienia spalin, strumieni powietrza chłodzących podzespoły turbin.



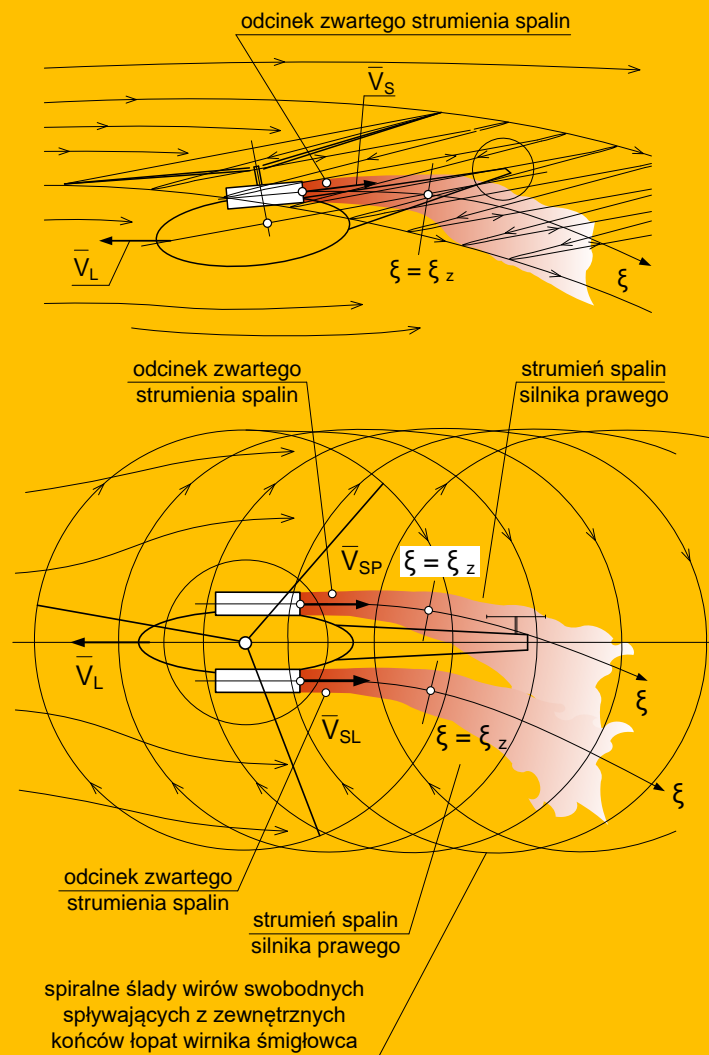
Fotografia lotu śmigłowca PZL W-3 Sokół w terenie górzystym z umiarkowaną prędkością postępową z uwidocznionymi stygnącymi środowiskami gazów spalinowych obydwu silników napędowych,
a – fotografia lotu śmigłowca, b – fotografia lotu z zaznaczeniem obrzeży środowisk gazów spalinowych.
A – środowisko gazów spalinowych silnika prawego (strona nawietrzna),
B – środowisko gazów spalinowych silnika lewego (strona zawietrzna)



ŚMIGŁOWIEC W LOCIE JAKO ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Początkowo poza przekrojami wylotowymi kanałów kolektorów strumienie spalin są zwarte, z wyraźnie zaznaczonymi stożkami przepływów potencjalnych. W dalszej odległości strumienie powiększają swoje wymiary poprzeczne i ulegają odchyleniu od osi wzdłużnych kolektorów. Następnie pod wpływem strumienia zawirnikowego i strug opływu śmigłowca rozpadają się w chmury gazowe. Zjawiska te istotnie zależą od temperatur początkowych spalin jak również od tempa ich ostygnięcia. Zarówno rozkłady temperatur i stężeń składników spalin jak i geometrie strumieni mają wpływ na intensywność emisji podczerwieni przez nie w otoczeniu.

Po wypływie z kolektorów do otoczenia, spaliny tworzą charakterystyczne strumienie stygnących mieszanin gazowych (głównie azotu, tlenu, dwutlenku węgla, pary wodnej), przemieszczających się względem śmigłowca i otoczenia.

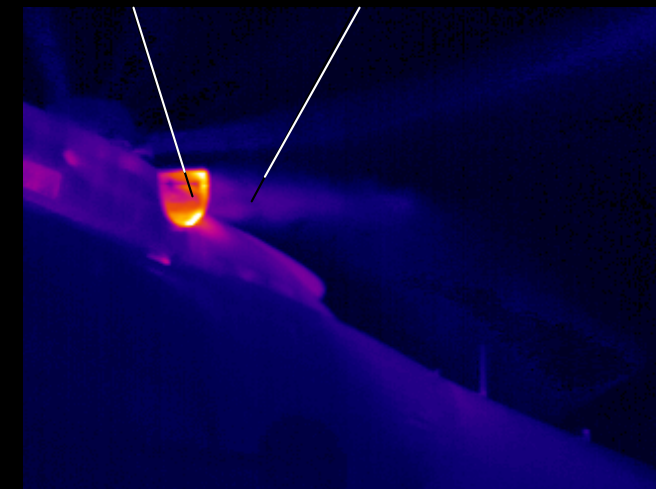
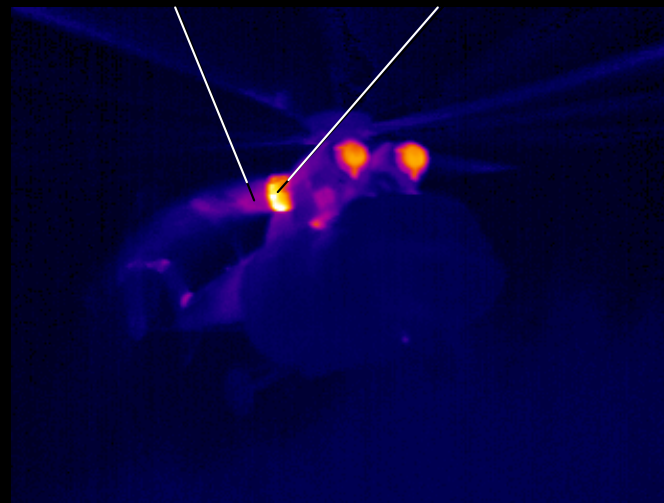


Hipotetyczny schemat bezpośredniego wpływu spalin z kolektorów silnikowych śmigłowca w strefę strumienia zawirnikowego i wynikającego z lotu, w poziomym locie śmigłowca, a- widok z boku, b- widok z góry.



ŚMIGŁOWIEC W LOCIE JAKO ŹRÓDŁO PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

Wraz z narastaniem odległości od przekrojów końcowych kolektorów następuje wzrost intensywności mieszania spalin z powietrzem atmosferycznym otaczającym śmigłowiec. Zjawisku temu towarzyszy intensywna wymiana ciepła między strumieniem spalin a powietrzem atmosferycznym oraz zmiana stężenia składników (CO_2 , H_2O) w strumieniach spalin, odpowiedzialnych za emisję podczerwieni. W skutek intensywnego chłodzenia, temperatury w strumieniu spalin maleją osiągając wartości zbliżone do temperatur powietrza otaczającego śmigłowiec.



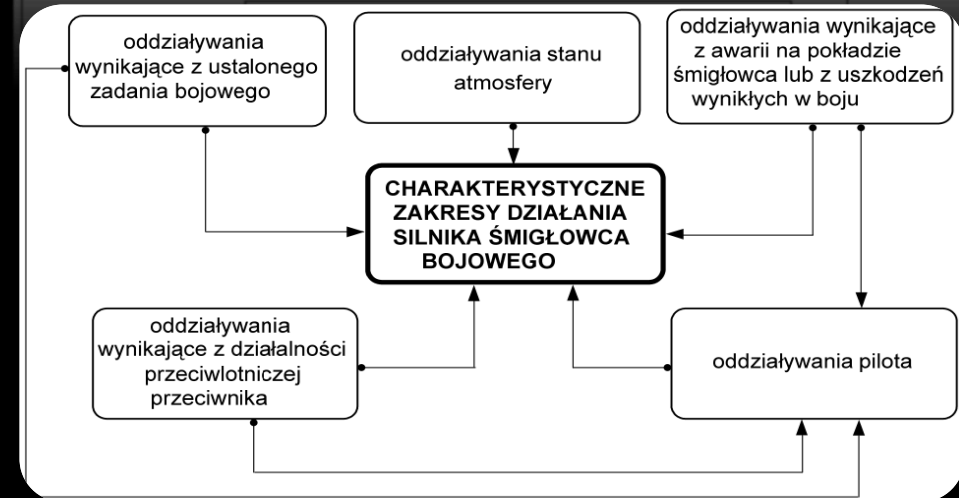
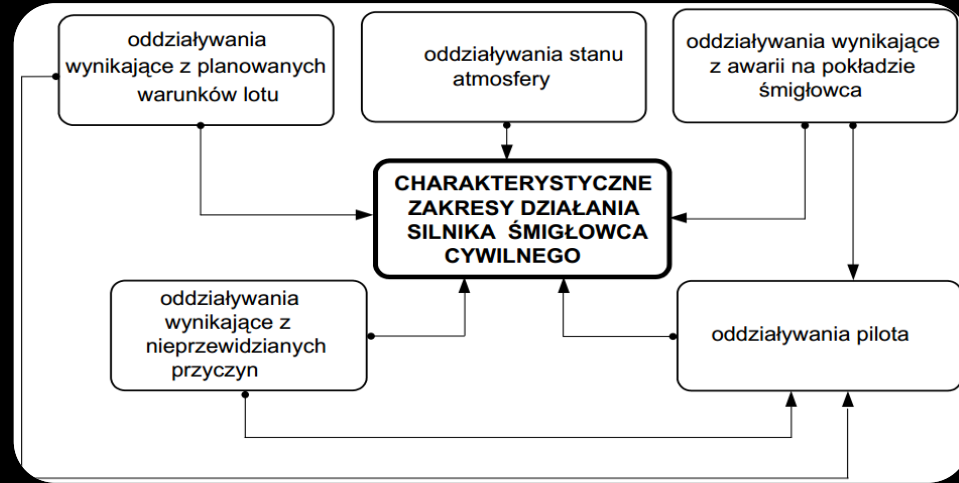
Fotografia w podczerwieni wypływu strumienia spalin z kolektora silnikowego w trakcie manewru śmigłowca PZL W-3 Sokół po gwałtownym wyrwaniu z zawisu, a – strumień silnika prawego (strona nawietrzna), b – strumień silnika lewego (strona zawietrzna), A – kolektor wylotu gazów spalinowych, B – strumień gazów spalinowych



CHARAKTERYSTYCZNE ZAKRESY DZIAŁANIA SILNIKÓW NAPĘDOWYCH ŚMIGŁOWCA

Zadania lotne śmigłowców zarówno cywilnych jak i bojowych składają się z określonych faz lotu, w zakresie których wykonywane są manewry przewidziane planem lotu, ale również mogą być wykonywane manewry nieprzewidziane – nadzwyczajne.

Parametry działania silników napędowych śmigłowca jak i innych silników cieplnych, zmieniają się w sposób ciągły. Każde oddziaływanie na silnik, przez zmieniające się obciążenia zewnętrzne lub w sposób wewnętrzny (zmiana strumienia paliwa podawanego do silnika), w istotnym stopniu wpływa na zakresy jego pracy. W przypadku śmigłowców bojowych (ze względu na ich przeznaczenie), poza oddziaływaniami wynikającymi z warunków lotu, awarii na pokładzie czy działań pilota, dodatkowy wpływ na przebieg parametrów lotu mają oddziaływania wynikające z działań na polu walki.



Schemat układu oddziaływań czynników na zmiany okresów działania silnika turbinowego w czasie lotu śmigłowca bojowego.



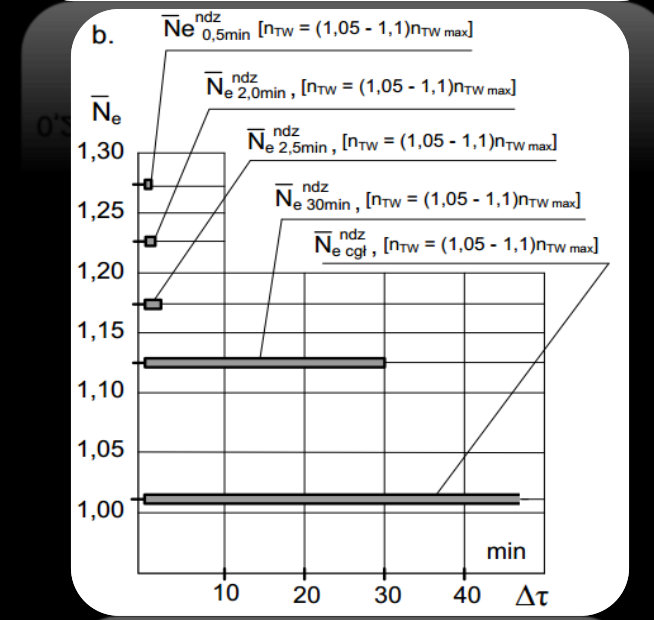
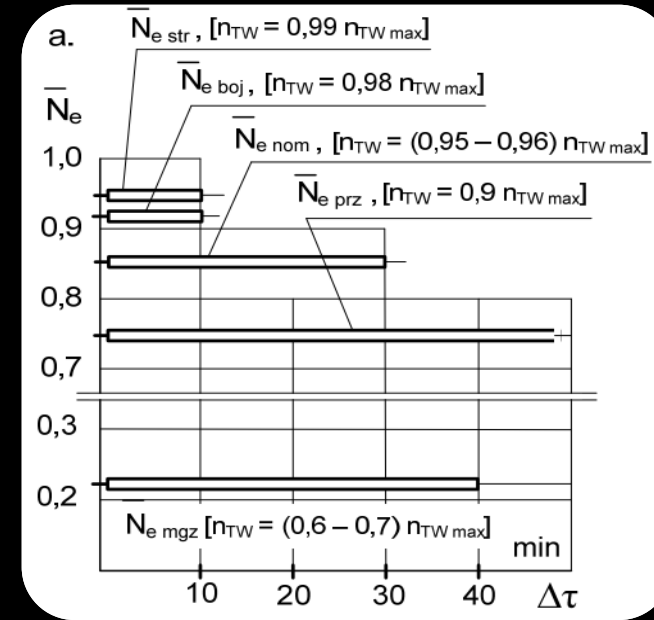
CHARAKTERYSTYCZNE ZAKRESY DZIAŁANIA SILNIKÓW NAPĘDOWYCH ŚMIGŁOWCA

W zależności od parametrów lotu i warunków w jakich znajduje się śmigłowiec, jego silniki napędowe mogą rozwijać:

- moc nominalną,
- moc startową,
- moc OEI 30 sekundowa,
- moc OEI 2,5 minutowa,
- moc OEI 30 minutowa.

Silniki napędowe współczesnych śmigłowców mogą pracować z mocą nominalną bez żadnego ograniczenia czasowego. Dla pozostałych zakresów mocy zawsze istnieje ograniczenie czasowe lub ograniczenie liczby jej użyci. Moc startowa, jest mocą jaką rozwija śmigłowiec w celu startu. Moce OEI dotyczą sytuacji awaryjnych, w których śmigłowiec wielosilnikowy kontynuuje lot z jednym wyłączonym silnikiem. Konsekwencją wielokrotnego użycia zakresu mocy OEI lub przekroczenia dopuszczalnego ograniczenia czasu pracy jest szczegółowy przegląd silnika. Użycie mocy 2,5 minutowej zawsze wiąże się z remontem układu napędowego śmigłowca i szczegółowym przeglądem silnika.

Spośród zakresów pracy silników napędowych śmigłowca, wyróżnić można dwa charakterystyczne okresy działania: zbliżonego do ustalonego oraz dynamicznego.



Charakterystyczne zakresy mocy rozwijanych przez silniki z oddzielnymi turbinami napędowymi w określonych przedziałach czasu a - normalne warunki eksploatacji, b- nadzwyczajne warunki eksploatacji

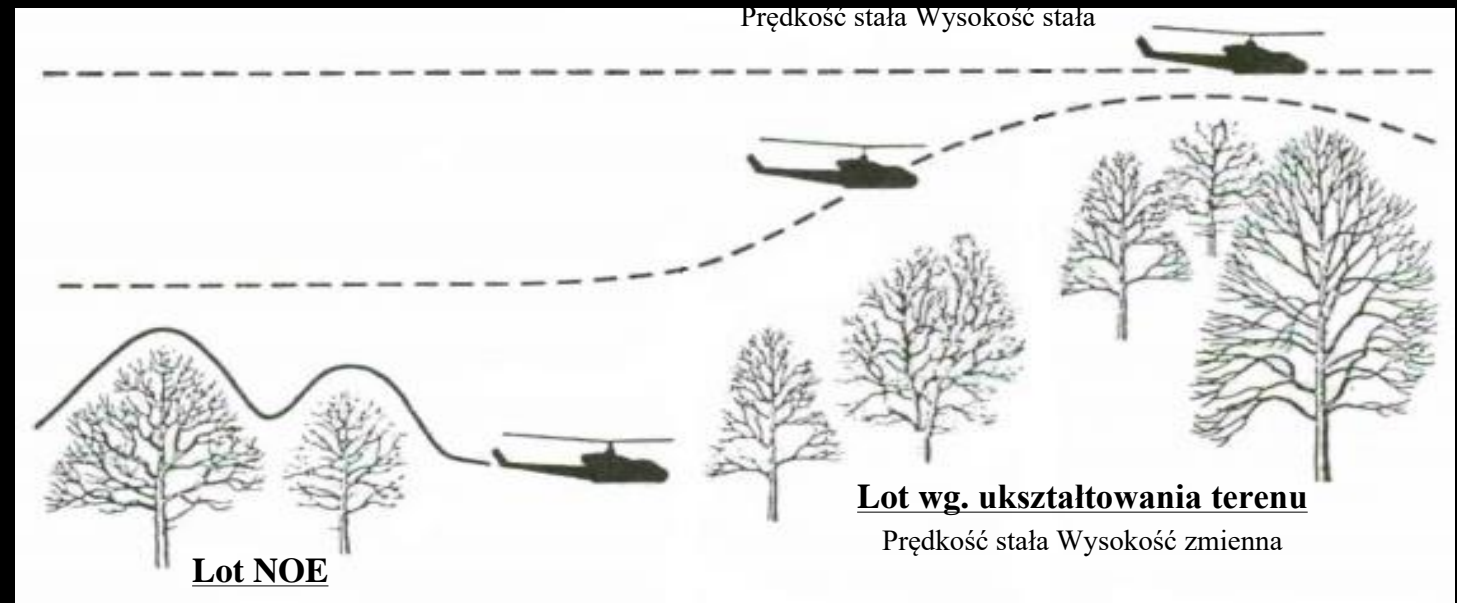


CHARAKTERYSTYCZNE ZAKRESY DZIAŁANIA SILNIKÓW NAPĘDOWYCH ŚMIGŁOWCA

Działanie silników w warunkach zbliżonych do ustalonych charakteryzuje się niewielkimi zmianami parametrów silnika względem parametrów średnich. Podczas pracy w warunkach quasi-statycznych, silnik nie jest narażony na ciągłe zmiany obciążeń, a co za tym idzie zarówno parametry mechaniczne jak i gazodynamiczne silnika pozostają w równowadze. Działanie silnika w warunkach zbliżonych do ustalonych ma miejsce podczas: ustalonego lotu poziomego, zawisu lub postoiu na ziemi z uruchomionymi silnikami.

Każdorazowe wytrącenie z równowagi zarówno mechanicznej jak i gazodynamicznej, powoduje zmianę parametrów gazodynamicznych w całym trakcie przepływowym silnika, a także wpływa na strumień masy spalin odprowadzanych do otoczenia. Podczas procesu przejściowego parametry silnika są niestabilne i szybko ulegają zmianom. Po przejściu zakresu przejściowego parametry stabilizują się i silnik powraca do ustalonego stanu pracy.

Zakłócenie ustalonej pracy silnika może być wywołane przez różne czynniki np.: nagłą zmianę położenia śmigłowca w przestrzeni lub zmianę zapotrzebowania na moc niezbędną do kontynuowania zadania lotnego.



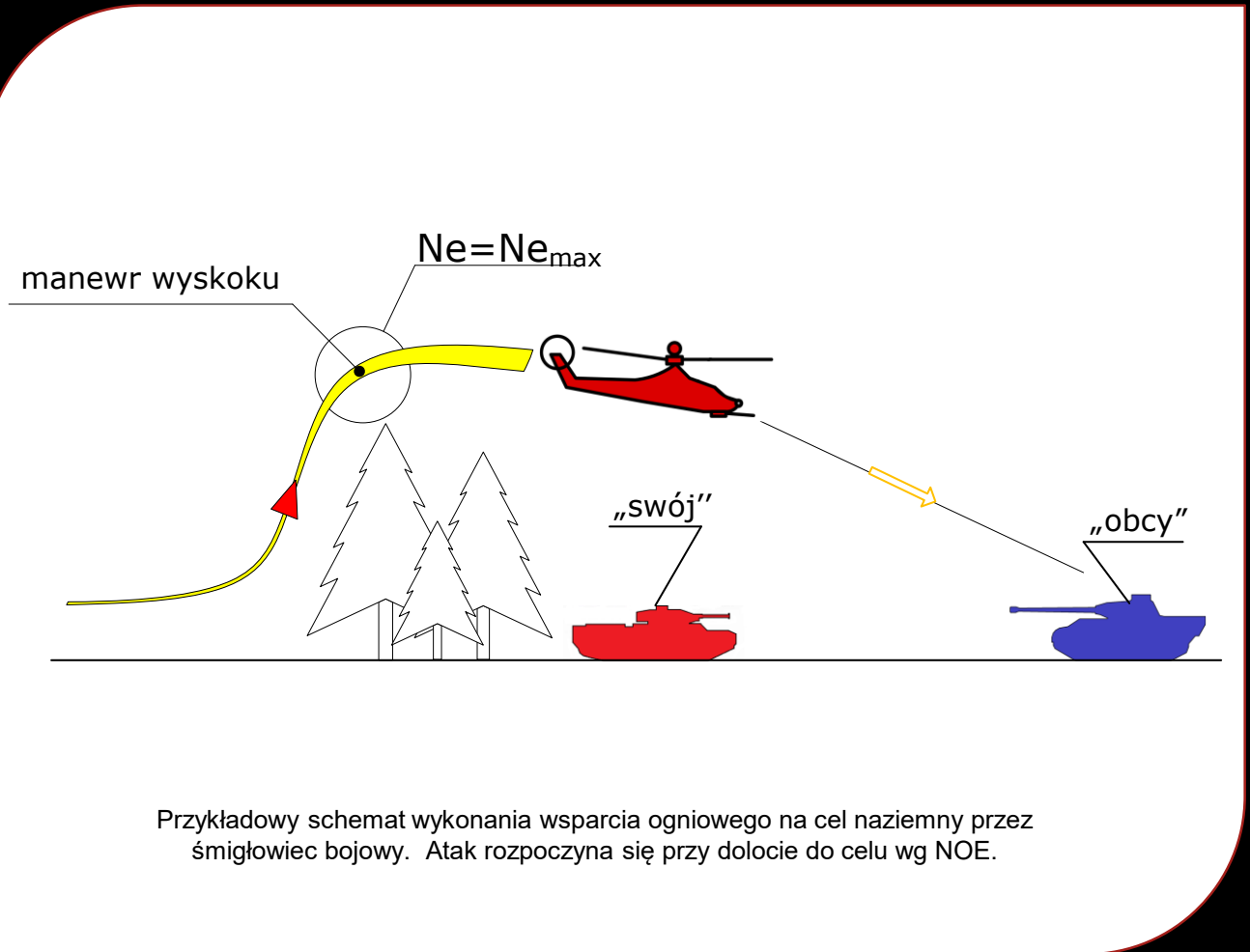
Schemat ilustrujący cechy niskich lotów bojowych.



CHARAKTERYSTYCZNE ZAKRESY DZIAŁANIA SILNIKÓW NAPĘDOWYCH ŚMIGŁOWCA

Działanie silników w warunkach dynamicznych zmian obciążeń wiąże się z dynamicznymi zmianami parametrów silnika względem parametrów średnich. Podczas pracy w takich warunkach, parametry mechaniczne jak i gazodynamiczne silnika ulegają ciągłym zmianom w czasie.

Śmigłowiec wykonujący zadanie lotne narażony jest na działanie zmiennych obciążeń układu napędowego wynikających głównie ze zmiennych stanów lotu. W czasie dynamicznych zmian obciążeń, prędkość obrotowa silnika ulega zwiększeniu lub zmniejszeniu. Czas potrzebny na przejście z jednego stanu ustalonego do drugiego jest miarą własności dynamicznych silnika i nosi nazwę czasu akceleracji lub deceleracji. Czas ten jest jednak ograniczony ze względu na dopuszczalne temperatury czynnika roboczego związane z wytrzymałością termiczną łopatek turbin, możliwością zgaśnięcia płomienia lub drganiami zespołu napędowego. W zakres procesów przejściowych działania silnika wchodzi: rozruch silnika (od zerowych obrotów do osiągnięcia biegu jałowego), akceleracja pełna (od biegu jałowego do osiągnięcia maksymalnych obrotów, częściowa deceleracja i akceleracja, akceleracja ponawiana (gwałtowne zwiększenie prędkości obrotowej po jej gwałtownym zmniejszeniu) oraz wybieg silnika.



Przykładowy schemat wykonania wsparcia ogniowego na cel naziemny przez śmigłowiec bojowy. Atak rozpoczyna się przy dolicie do celu wg NOE.

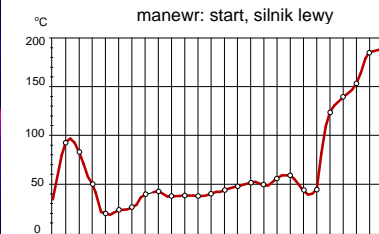
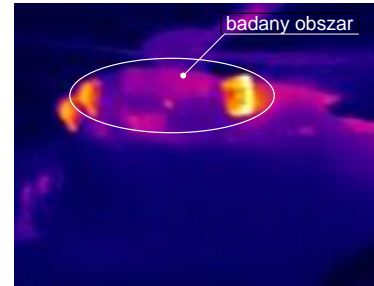


PRZYCZYNY EMISJI PODCZERWIENI PRZEZ ŚMIGŁOWIEC W LOCIE

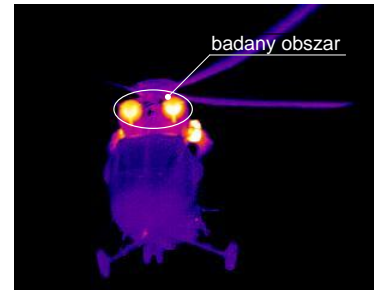
Przyczyny emisji podczerwieni przez podzespoły śmigłowca i ich sprzężeń z symptomami można podzielić na dwie grupy.

Pierwsza grupa przyczyn obejmuje przyczyny natury procesowej, związane z procesami termodynamiczno-przepływowymi i cieplnymi przebiegającymi głównie w silnikach napędowych i w mniejszym stopniu w przekładniach głównych śmigłowców. W wyniku działania tych układów na pokładzie śmigłowca pojawia się określona ilość niewykorzystanego ciepła, które należy odprowadzić do otoczenia w celu uniknięcia uszkodzenia podzespołów śmigłowca. Odpływ ciepła do otoczenia realizuje się na drodze promieniowania oraz konwekcji poprzez strumień powietrza chłodzącego.

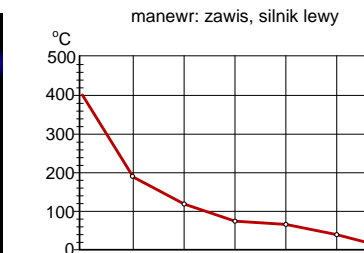
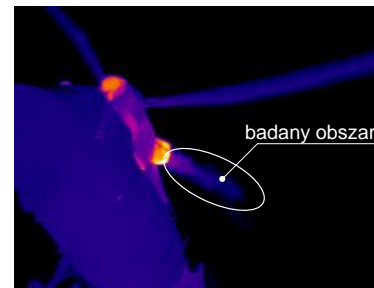
W skład drugiej grupy przyczyn wchodzi przyczyny natury materiałowej związane z fizycznymi właściwościami materiałów, jak również ze stanami warstw wierzchnich powierzchni, powstającymi w wyniku obróbki mechanicznej, „chemicznej”, powłokowej oraz w wyniku starzenia eksploatacyjnego.



położenia punktów sondowania temperatur na powierzchni



położenia punktów sondowania temperatur w strumieniu



położenia punktów sondowania temperatur w strumieniu

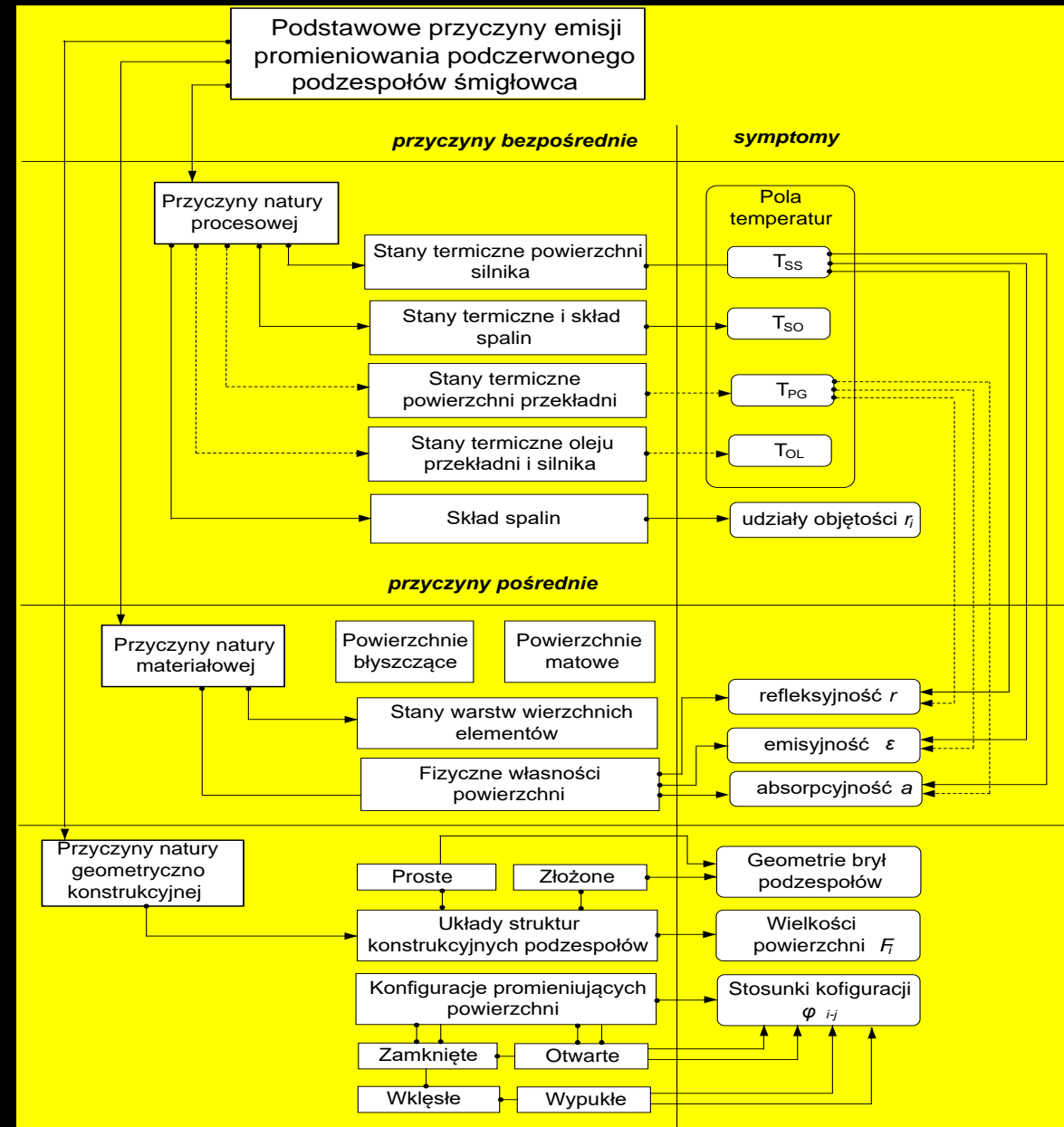
Rozkład temperatur w strumieniu spalin po współrzędnej naturalnej, zawisie VL=0 km/h, H=15m.



PRZYCZYNY EMISJI PODCZERWIENI PRZEZ ŚMIGŁOWIEC W LOCIE

Schemat systemowego ujęcia przyczyn promieniowania podczerwonego podzespołów śmigłowca i ich powiązań z odpowiadającymi im symptomami.

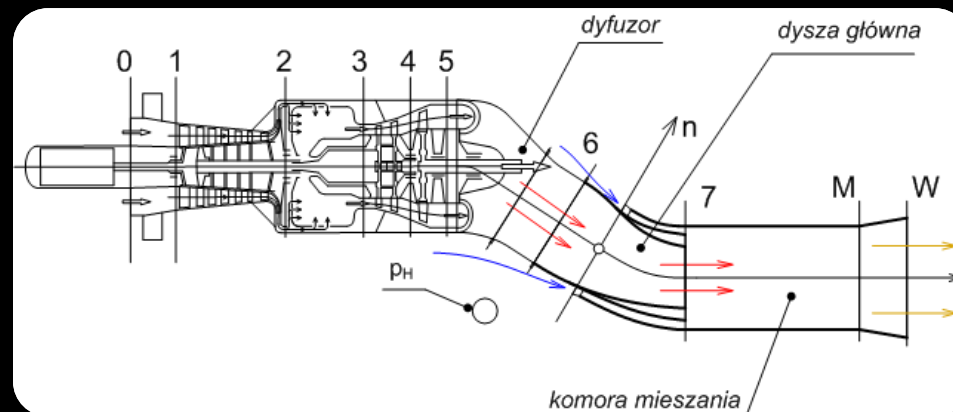
T_{SS} – temperatura powierzchni silnika,
 T_{PG} – temperatura powierzchni przekładni,
 T_{OL} - temperatura oleju przekładni,
 T_{DB}, T_{DW} - temperatury kolektora wylotowego,
 T_{SO} - temperatura spalin.



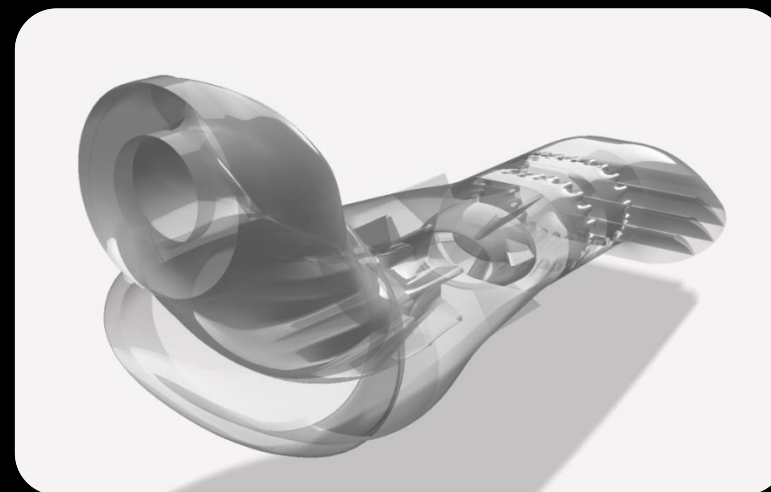
OGÓLNE CECHY EŻEKCYJNYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA

Obecnie w lotniczej technice śmigłowej schładzanie spalin realizowane jest z reguły w eżekcyjnych schładzaczach bezprzeponowych (mieszalnikowych), integralnie związanych z konstrukcją śmigłowca lub dobudowanych do konstrukcji śmigłowców już istniejących, nieposiadających uprzednio układów schładzania. Schładzacz eżekcyjny jest układem o działaniu samoczynnym, nadążającym za działaniem silnika we wszystkich fazach lotu, co oznacza sprzężenie intensywności schładzania z wyłączeniem działania silnika. Cecha ta stanowi podstawową zaletę tego typu schładzacza.

0 – 6 trakt przepływowy silnika
6 – W trakt przepływowy schładzacza



Struktura układu silnik - schładzacz spalin śmigłowca PZL W-3 Sokół



Prototypowy schładzacz spalin dostosowany do zamontowania na pokładzie śmigłowca PZL W3 Sokół.

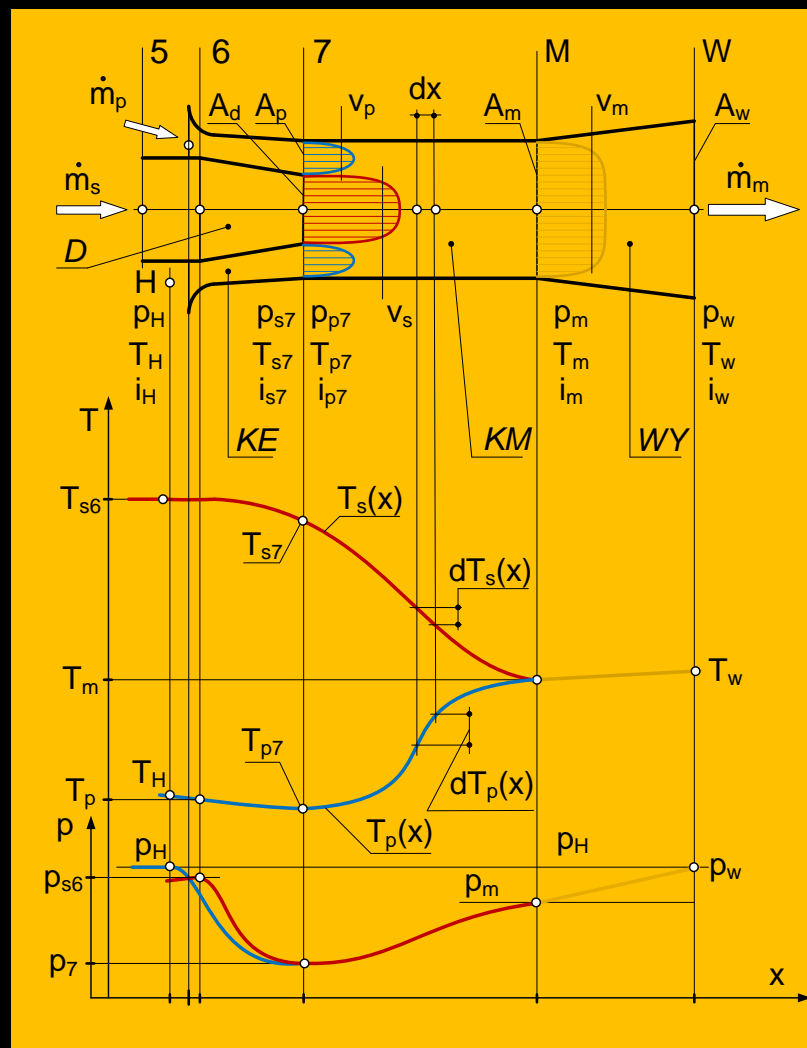


OGÓLNE CECHY EŻEKCYJNYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA

W eżekcyjnych wymiennikach ciepła wymiana ciepła zachodzi w skutek mieszania się czynnika chłodnego z czynnikiem gorącym - w przypadku schładzacza śmigłowca chłodnego powietrza czerpanego na zasadzie eżekcji z gorącymi spalinami. Mieszające się gazy wymieniają pomiędzy sobą energię między innymi na sposób ciepła, zmieniając swoje entalpie statyczne i całkowite. Zaletą tej grupy wymienników jest wysoka intensywność przekazywania ciepła, co umożliwia obniżenie ich masy i zmniejszanie rozmiarów gabarytowych.

W wymiennikach eżekcyjnych jeden z czynników (najczęściej chłodzący) wprowadzany jest do komory mieszania wprowadzany jest wskutek zjawiska eżekcji, wywołanego rozprężaniem przepływającego czynnika drugiego, nazywanego czynnikiem roboczym.

W wymiennikach takich zachodzi intensywna wymiana pędu, a także intensywna wymiana ciepła pomiędzy mieszającymi się czynnikami, co skutkuje obniżeniem temperatury czynnika chłodzonego. Zmienia się również skład czynnika (mieszanki) opuszczającego taki wymiennik.



- \dot{m}_s – strumień spalin
- \dot{m}_p – strumień powietrza
- \dot{m}_m – strumień mieszanki powietrze - spaliny
- KE – strefa eżekcji
- KM – strefa intensywnego mieszania
- WY – układ wylotowy

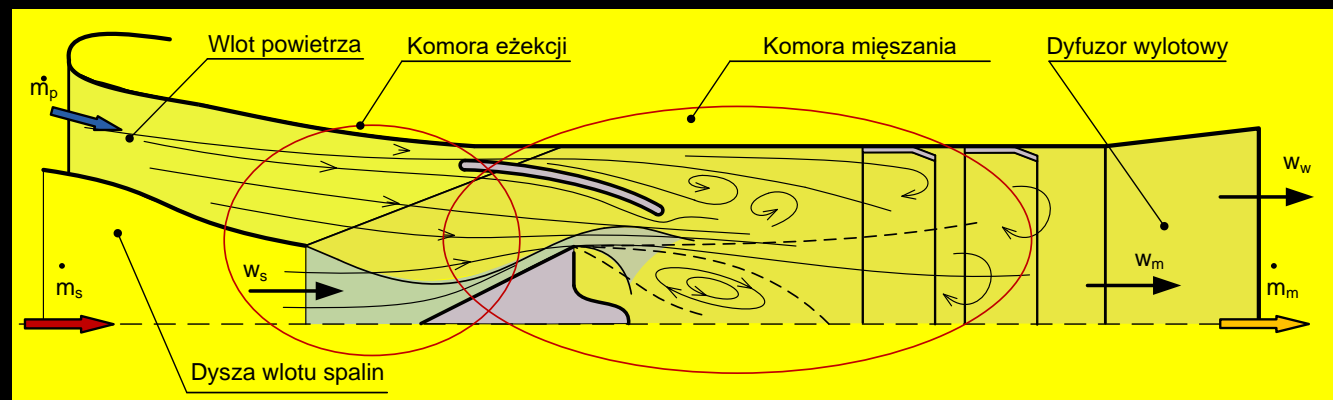
Rozkład temperatur w strumieniu spalin po współrzędnej naturalnej, w zależności od $V_L=0$ km/h, $H=15$ m.



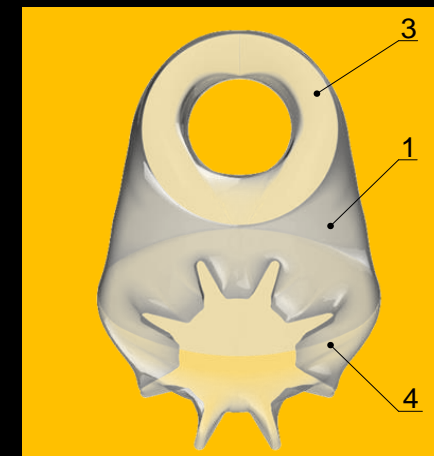
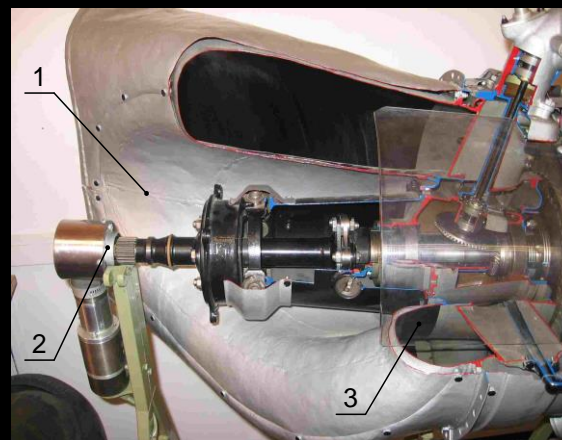
OGÓLNE CECHY EŻEKCYJNYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA

Strukturę eżekcyjnego schładzacza spalin śmigłowca tworzą:

- dysza wylotu spalin - stanowi zakończenie kanału kolektora wylotu spalin z silnika turbinowego, jej zadaniem jest rozprężenie spalin odpływających z turbiny napędowej do ciśnienia niższego od ciśnienia w otoczeniu śmigłowca, w celu wywołania zjawiska eżekcji chłodnego powietrza,
- kanał wlotu chłodnego powietrza - kanałem dopływa, podchwytywane z otoczenia śmigłowca, chłodne powietrze do komory eżekcji schładzacza,
- komora eżekcji - uczestniczy w podchwytywaniu chłodnego powietrza z otoczenia, powietrze zasysane jest z otoczenia pod wpływem różnicy ciśnień w otoczeniu i w komorze eżekcji,
- komora mieszania - jest przestrzenią, w której odbywa się turbulентne mieszanie spalin i powietrza,
- dyfuzor wylotowy - stanowi zakończenie traktu przepływowego schładzacza, jego zadaniem jest zapewnienie swobodnego wypływu mieszaniny gazowej, przez zwiększenie jej ciśnienia statycznego do poziomu wyższego od ciśnienia w otoczeniu, przy jednoczesnym obniżeniu prędkości strumienia mieszaniny.



Schemat rozmieszczenia poszczególnych, charakterystycznych przestrzeni w eżekcyjnym schładzaczach spalin, \dot{m}_s - strumień masy spalin, \dot{m}_p - strumień masy powietrza, \dot{m}_m - strumień masy mieszaniny.



Układ wydechowy silnika PZL 10W, klasyczny (strona lewa) oraz zmodyfikowany (strona prawa). 1-dyfuzor, 2-układ przenoszenia napędu do przekładni głównej, 3-wlot spalin do dyfuzora

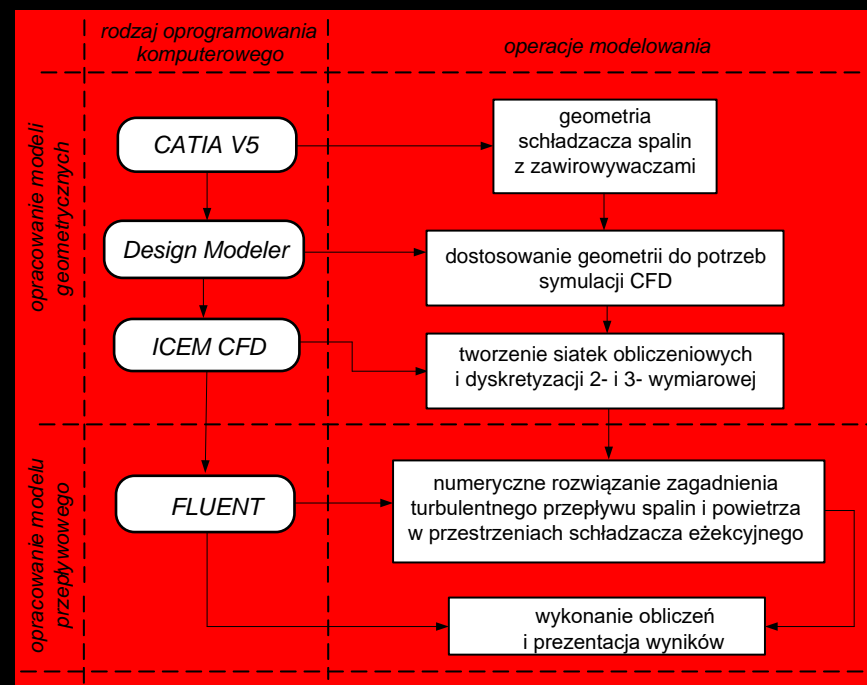


PROJEKTOWANIE SCHŁADZACZA SPALIN

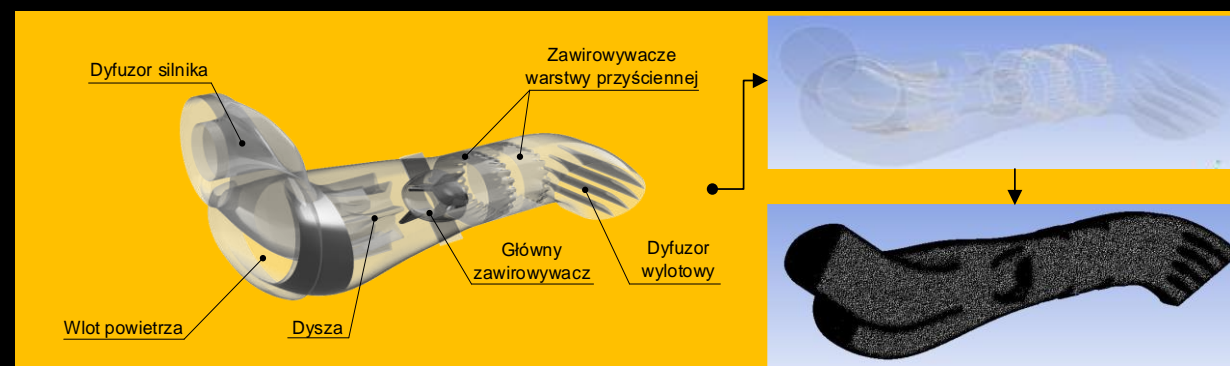
Matematyczne rozwiązanie zagadnienia mieszania spalin z powietrzem w schładzaczach eżekcyjnych wymaga sformułowania równań zagadnienia brzegowego przepływu i mieszania sturbulizowanych strumieni spalin i powietrza w przestrzeniach zamkniętych kanałów schładzacza, połączonego z eżekcją powietrza do wnętrza schładzacza. Zamknięty układ równań opisujących proces obniżenia temperatury w takim wymienniku jest następujący:

- równania ciągłości przepływu z uwzględnieniem mieszania mas obydwu czynników,
- równanie eżekcji,
- równania energii z uwzględnieniem energii termicznych i energii kinetycznych obydwu czynników,
- równania zachowania pędu przed i po zmieszaniu czynników,
- uzupełniających równań własności fizycznych czynników przed zmieszaniem i po zmieszaniu w mieszaniu oraz równania związków fizycznych.

Rozwiązanie tak postawionego problemu na gruncie klasycznej analizy matematycznej jest bardzo trudne lub wręcz niemożliwe. Stąd wynika potrzeba zastosowania w analizie problemu eżekcyjnego schładzania spalin podejścia numerycznego z wykorzystaniem odpowiednich, obliczeniowych programów.



Schemat struktury modelu numerycznego sformułowanego w celu symulacji zjawisk zachodzących w eżekcyjnym schładzaczach spalin podczas określonych manewrów śmigłowca.



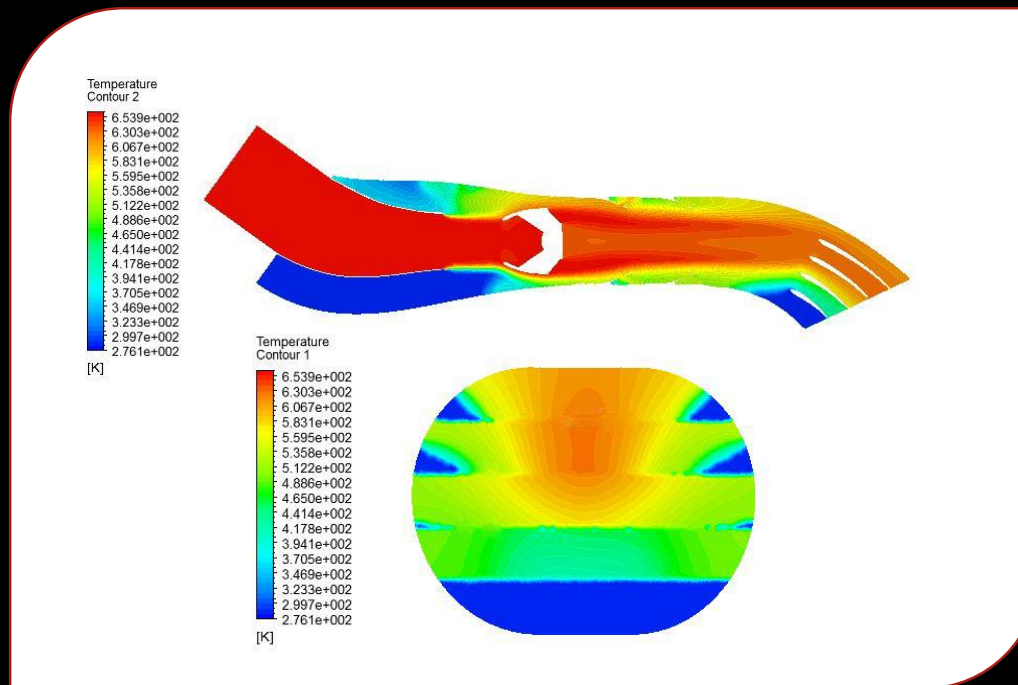
Struktura geometryczna 3D schładzacza spalin przeznaczonego do śmigłowca PZL W3 Sokół oraz siatka obliczeniowa obszaru traktu przepływowego schładzacza.



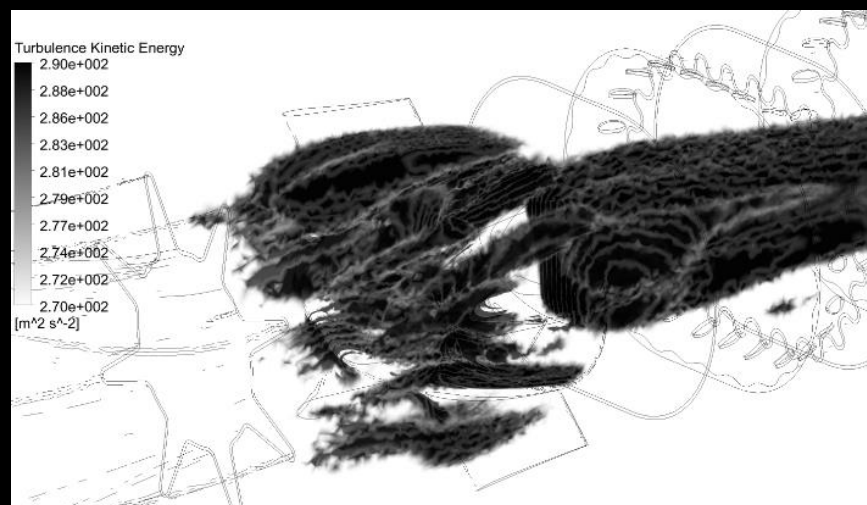
Przyjęta do symulacji numerycznych, wstępna konstrukcja schładzacza spalin wskazuje na możliwość skutecznego obniżenia temperatury spalin szzględem klasycznego kolektora wydechowego.

Zmiany temperatury w schładzaczu, zwłaszcza w przekroju wylotowym, wskazują na znaczny proces schładzania, który pozwala na obniżenie temperatury wypływającej mieszaniny gazów nawet o 32%.

W kanale przepływowym schładzacza widoczne są obszary o mniejszej intensywności mieszania. Obserwacja ta ułatwi wprowadzenie w przyszłości odpowiednich zmian w budowie geometrycznej generatorów wirów, mających na celu poprawę warunków mieszania w tych obszarach.



Promieniowy rozkład temperatur statycznych mieszaniny powietrze - spaliny w przekroju wylotowym schładzacza oraz w przekroju poprzecznym



Rozkład intensywności turbulencji w otoczeniu głównego zawirowywacza spalin



1. Antas S.: The Methods Of Modifications Of Turboprop and Turboshaft Civil and Military Engines. Prace Instytutu Lotnictwa 165-166, Warszawa 2001
2. Dzierżanowski P. i inni: Turbinowe silniki śmigłowe i śmigłowcowe. WKŁ, Warszawa 1985
3. Edwards D.K., Balakrishnan A.: Thermal radiation by combustion gases. J. Heat Mass Transfer. Vol. 16, pp. 25-40, Pergamon Press 1973. Printed in Great Britain
4. Elsner W. J.: Turbulencja przepływów. PWN, Warszawa, 1987.
5. Fijałkowski S., Wójcik P.: Model działania schładzacza spalin silnika turbinowego w ekstremalnych lotach śmigłowca. Część 2. Symulacja działania schładzacza spalin w ekstremalnych warunkach lotu śmigłowca. Prace Instytutu Lotnictwa 194-195, Warszawa 2008r
6. Fijałkowski S.: Analiza emisji podczerwieni przez śmigłowiec w locie na podstawie badań eksperymentalnych. Prace Instytutu Lotnictwa. Warszawa 2011
7. Fijałkowski S., J. Dudziak: Identyfikacja współdziałania silnika turbinowego śmigłowca ze schładzaczem spalin na zakresach przejściowych. Prace Instytutu Lotnictwa, Warszawa 2014
8. Fijałkowski S.: Wpływ zmiany geometrii kolektora wylotu spalin na działanie turbinowego silnika śmigłowca. Prace Instytutu Lotnictwa Z. 219, Warszawa 2011
9. Gainer A. C., Sullivan J. D.: Aircrew training requirements for Nap-Of-the-Earth flight. U. S.Army, Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Monterey 1976
10. Kostkowski E.: Promieniowanie ciepłe, PWN, Warszawa 1993
11. Łucjanek W.: Dynamika lotu śmigłowca 1. Wykłady, Politechnika Lubelska 2010
12. Materiały dotyczące badań śmigłowca PZL W-3A Sokół w lotach NOE. Opracowanie PZL Świdnik S.A.
13. Muszyński M., Orkisz M.: Modelowanie turbinowych silników odrzutowych. Biblioteka naukowa instytutu lotnictwa, Warszawa 1997
14. Szczeciński S. i inni: Turbinowe silniki śmigłowe i śmigłowcowe. WKŁ, Warszawa 1985
15. Szumański K.: Badania śmigłowców w zadaniach ekstremalnych. Prace Instytutu Lotnictwa 165-166, Warszawa 2001
16. Walczak J.: Inżynierska Mechanika Płynów. WPP, Poznań 2012.
17. Witkowski S.: Wprowadzenie do wiedzy o śmigłowcach. Biblioteka naukowa instytutu lotnictwa, Warszawa 2003
18. Żurek J. i inni: Żywotność śmigłowców. ITWL, Warszawa 2006



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

*Problematyka emisji podczerwieni przez śmigłowiec
w locie i jej wpływu na bezpieczeństwo w trakcie wykonywania
zadań bojowych*

POLITECHNIKA LUBELSKA
Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów
i Napędów Lotniczych
dr inż. Grzegorz Barański
mgr inż. Mateusz Paszko

Projekt „ Politechnika Lubelska – Regionalna Inicjatywa Doskonałości”
– finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo
Nauki
i Szkolnictwa
Wyższego

