

O utjecaju promjenjivog stanja atmosfere iznad požarišta na performanse helikoptera

On the influence of the changing state of the atmosphere above the fire site on performance of the helicopter

prof. dr. sc. Milan Vrdoljak
Danijel Vuković, dipl.ing.
Josip Rašić, dipl.ing.

SAŽETAK

U ovom radu je prikazan razvijeni matematički model atmosfere pod određenim pretpostavkama, kao i matematički model helikoptera koji se sastoji od modela njegovog nosećeg rotora. Glavni rezultat, kakav se i očekivao, pojednostavljenog modela atmosfere iznad požarišta je smanjenje gustoće s porastom temperaturne anomalije u odnosu na uvjete standardne atmosfere. Sa smanjenjem gustoće opada i pogonska sila na disku rotora, odnosno uzgonska sila, što može rezultirati ugrozom sigurnosti letenja helikoptera.

Ključne riječi: gašenje požara, matematičko modeliranje otvorenih požara, performanse helikoptera, taktika gašenja požara iz zraka

Summary

In this paper a developed mathematical model of the atmosphere with certain assumptions as well as mathematical model of the helicopter which comprise a model of its main rotor model. Main result of the simplified mathematical model of atmosphere above the wildfire, as it was expected, is decreasing of density with increasing of temperature anomaly in comparison with standard atmosphere conditions. With density decreasing driven force of the main rotor also decreases (i.e. lift force)

Keywords: open area wildfire firefighting, wildfire mathematical modeling, helicopter performances, aerial firefighting tactics with helicopter

UVOD

Introduction

Modeliranje šumskog požara i njegovog utjecaja na atmosferu predstavlja složenu zadaću zbog niza razloga kao što su složeni kemijski procesi, nelinearni odnosi utjecaja vatre na strujanje zraka, složena i nepotpuno poznata svojstva zračenja i procesa izgaranja, (Clark i dr., 1996; Grishin, 1992).

Interaktivni učinci vatre i atmosfere se značajno manifestiraju kroz vjetar čiji se parametri pod utjecajem vatre mogu značajno promijeniti ili pak sam vjetar može nastati u vatrenom području. Utjecaj sprege vatre i atmosfere nastaje na nekoliko desetaka metara od vatrene fronte, a osjeća se na mnogo širim područjima od ukupno požarom zahvaćene površine. Modeliranje izgaranja se može izvesti pod pretpostavkom brzine i načina širenja vatre i zahtijeva snažnu računalnu potporu i složeni postupak definiranja početnih uvjeta kao što su konfiguracija terena s opisom goriva koje izgara (šuma, grmlje, trava itd.).

U analizi utjecaja atmosfere iznad požarišta na helikopter u letu, poznavanje modela brzine i načina širenja vatre nije relevantno, već je bitno poznavati gustoću zraka i stanje vjetra kako bi se odredile aerodinamičke sile i momenti koje djeluju na helikopter. Stoga se u razvoju matematičkog modela razmatraju samo aspekti koji su bitni za određivanje aerodinamičkih sila i momenata te utjecaja na performanse letjelice.



Slika 1. Primjer gašenja požara otvorenog ravnog područja helikopterom – taktika gašenja podrazumijeva izbjegavanje ulaznja helikoptera u atmosferu iznad požara

Figure 1. An example of the extinguishing of the flat wide area wildfire – firefighting tactics implies no flying above the atmosphere region above the wildfire

Utjecaj atmosfere iznad požarišta na helikopter doveo je i do razvoja taktika gašenja požara u takvim uvjetima te se helikopter u pravilu uvodi iznad požarišta tangencijalno ili pak u samu zonu iznad požarišta (slike 1. i 2.).

Osnovni cilj članka je pokazati jedinstveni teoretski pristup u matematičkom modeliranju stanja atmosfere iznad požarišta. Rezultati razvijenoga modela zorno dijagramski prikazuju promjene dvaju najznačajnijih fizikalnih veličina s visinom - temperature i gustoće. Rezultat utjecaja potonjih na raspoloživu i potrebnu snagu helikoptera također je prikazan dijagramski kao izlazni rezultat sprengnutoga modela atmosfere i helikoptera.



Slika 2. Primjer gašenja požara otvorenog kosog područja helikopterom – taktika gašenja podrazumijeva i situacije zalebdenja helikoptera iznad atmosfere iznad požara

Figure 2. Figure 1. An example of the firefighting of the inclined wide area wildfire – firefighting tactics implies situations of hovering with helicopter in the atmosphere above the wildfire

MATERIJAL I METODE

Material and methods

Ovdje će se pokazati jedinstveni pristup autora u teoretskom razvoj jednostavnog matematičkog modela atmosfere iznad požarišta. U razvoju istog, polazi se od osnovnih jednadžbi mehanike fluida i termodinamike s definiranim i usvojenim pretpostavkama koje ograničavaju primjenu razvijenog modela. Jednadžbe kontinuiteta, količine gibanja, energetske jednadžbe i jednadžbe stanja plina (Hughes i Brighton, 1967).

Primijenjene su u Kartezijskom koordinatnom sustavu s osi z orijentiranoj prema gore, s konačnim ciljem dobivanja funkcijske ovisnosti promjene temperature i gustoće s visinom. Pritom se usvajaju i sljedeće pretpostavke:

- turbulencija je zanemarena,
- zrak je savršeni plin,
- jednodimenzionalno (vertikalno u smjeru z osi), stacionarno, neviskozno stlačivo strujanje.

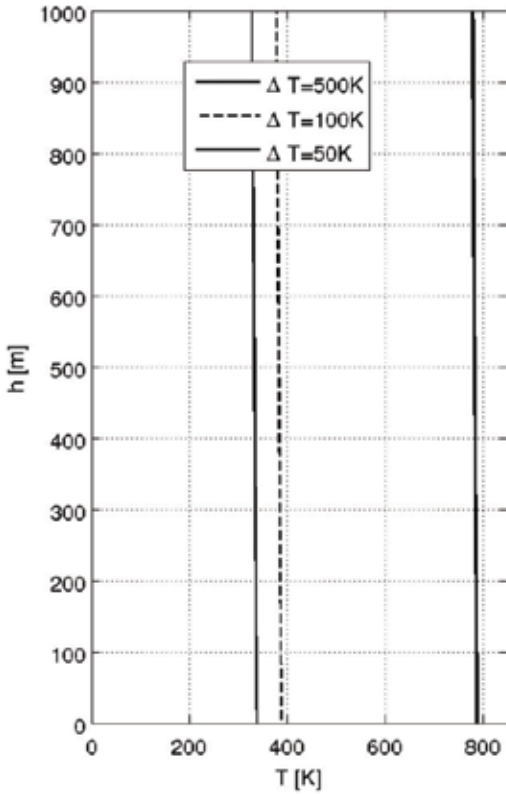
Uz navedene pretpostavke iz jednadžbe kontinuiteta, jednadžbe količine gibanja i energetske jednadžbe te jednadžbe stanja definiran je pojednostavljeni model atmosfere iznad požarišta:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dz} &= \rho \frac{g + RG}{w^2 - RT} \\ \frac{\lambda}{C} \frac{dG}{dz} &= -RT \frac{g + RG}{RT - w^2} - C_v G \\ \frac{dT}{dz} &= G \\ \rho w &= C \\ p &= \rho RT. \end{aligned} \quad (1)$$

Pri tome je definirana veza gustoće ρ i vertikalne brzine vjetra w preko parametra C :

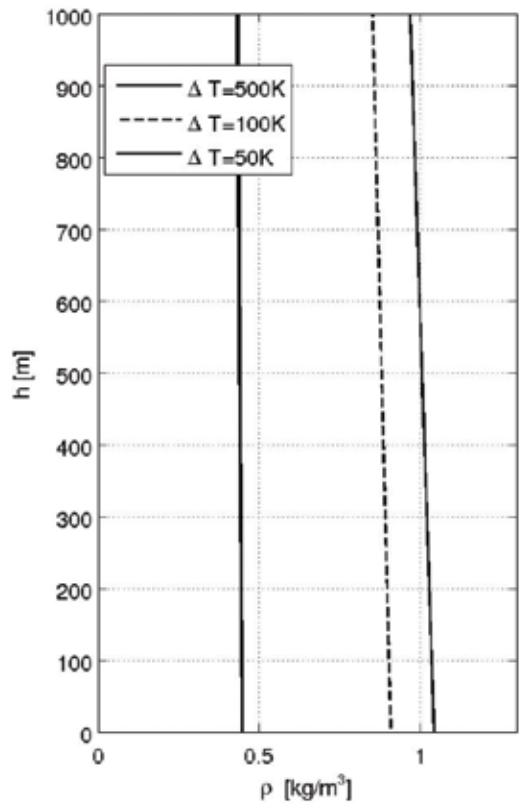
$\rho w = C$; nova varijabla $G = \frac{dT}{dz}$ kao derivacije temperature po visini; te za dane specifične toplinske kapacitete pri konstantnom tlaku C_p i volumenu C_v : $C_p - C_v = R$. Navedeni sustav (1) tri diferencijalne i dvije algebarske jednadžbe određuje funkcijsku ovisnost tlaka p , gustoće ρ , vertikalnog vjetra w , temperature T te gradijenta temperature G o visini z . Plinska konstanta vlažnog zraka označena s R koristi se u mehanici leta (Župan i Vrdoljak, 2009), λ je koeficijent toplinske provodljivosti, a g ubrzanje sile Zemljine teže. Detaljniji opis modela prezentiran je u Vuković, 2010.

Očekivani rezultati pojednostavljenog modela atmosfere iznad požarišta prikazani su na dijagramima sa slika 3. i 4.



Slika 3. Ovisnost promjene temperature T s visinom z za različite vrijednosti temperaturne anomalije ΔT

Figure 3. Dependence of the change of the temperature T with height z for the various values of the temperature anomaly ΔT



Slika 4. Ovisnost promjene gustoće ρ s visinom z za različite vrijednosti temperaturne anomalije ΔT

Figure 4. Dependence of the change of the ρ density with height z for the various values of the temperature anomaly ΔT

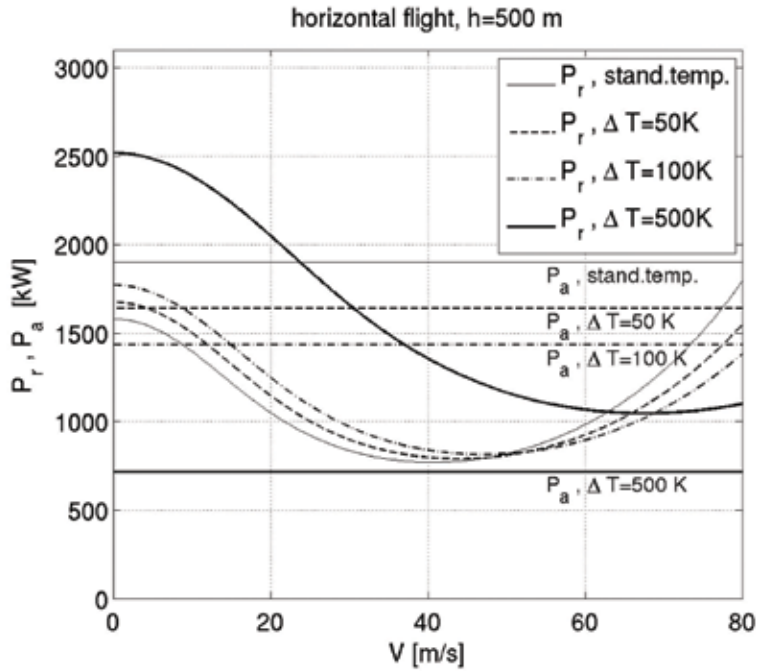
Na slici 4. vidljivo je kako visoka temperatura u velikoj mjeri utječe na gustoću - veća temperaturna anomalija izaziva manje vrijednosti gustoće. Smanjenje gustoće s visinom je malo, kako i smanjenje temperature (slika 3.). Za zadane početne uvjete promjena tlaka s visinom je gotovo identična promjeni u uvjetima standardne atmosfere. Na temelju ovog pojednostavljenog modela nije moguće odrediti vertikalni vjetar w koji je prisutan prema rezultatima složenog, trodimenzionalnog, nestacionarnog spregnutog modela požarišta i atmosfere Clark i dr. (1996): i do 20m/s na visinama do 1000 m.

UTJECAJ ATMOSFERE IZNAD POŽARIŠTA NA HELIKOPTER – *The influence of the atmosphere over the wildfire on helicopter*

Primarni utjecaj modela atmosfere iznad požarišta na helikopter ima iznos gustoće. Smanjenje vrijednosti gustoće ima direktne posljedice na sve aerodinamičke sile i momente koje djeluju na helikopter. Također, smanjenje gustoće značajno utječe na performanse motora. Budući da je prezentirani jednodimenzionalni model atmosfere vremenski neovisan, bit će primijenjen na analizu njezinog utjecaja na helikopter u stacionarnom režimu leta.

Rezultati dobiveni pojednostavljenim modelom atmosfere iznad požarišta implementirani su u aerodinamički model nosećeg rotora helikoptera temeljen na teoriji elementarnog kraka (Župan i Vrdoljak, 2009). U analizi je promatran utjecaj parametra temperaturne anomalije ΔT na noseći rotor helikoptera generičkog transportnog helikoptera u ravnotežnom letu pri različitim brzinama leta. Izračun koeficijenta pogonske sile C_T i pogonske snage C_P , detaljnije prikazan u Vuković i dr., 2010., pokazao je njihovo smanjivanje s porastom temperaturne anomalije za sve brzine leta. Pogonska sila i okretni moment rotora osjetno se smanjuju s povećanjem temperaturne anomalije, što je uvjetovano smanjenjem koeficijentata C_T i C_P , ali u puno većoj mjeri smanjenjem gustoće. Pogonska sila na helikopteru u ravnotežnom letu, između ostalog, predstavlja uzgonsku silu kojom se uravnotežuje težina letjelice. Njeno smanjenje uzrokuje gubitak vertikalne ravnoteže, dakle gubitak visine helikoptera, odnosno za zadržavanje visine leta potrebna je korekcija ravnotežnih vrijednosti upravljačkih veličina, ponajprije kolektivnog postavnog kuta.

Za analizu performansi helikoptera nužno je promatrati potrebnu i raspoloživu snagu, koja je ovdje razmatrana za uvjete horizontalnog leta na visini $z = 500$ m. U analizi je pretpostavljen uniformni protok zraka kroz noseći rotor i empirijska korekcija za induciranu snagu i snagu za svladavanje otpora profila (Leishman, 2006; Seddon, 1990). Potrebna snaga P_r za horizontalni let cijelog helikoptera u ovisnosti o brzini leta prikazana je na slici 5. za različite vrijednosti temperaturne anomalije ΔT . Uz to je prikazana i raspoloživa snaga dva turbovratilna motora razmatranog helikoptera za koju je pretpostavljeno da je funkcija tlaka i temperature te ne ovisi o brzini leta (Leishman, 2006).



Slika 5. Potrebna P_r i raspoloživa snaga P_a helikoptera u funkciji brzine leta V i temperaturne anomalije ΔT

Figure 5. Required P_r and available power P_a of the helicopter in function of the flight speed V and temperature anomaly ΔT

Sa slike 5. uočljivo je da za lebdenje i manje brzine leta potrebna snaga raste s povećanjem temperaturne anomalije, što je posljedica povećanja inducirane snage potrebne za održavanje horizontalnog leta pri većim iznosima temperaturne anomalije. Za velike brzine leta primjetno je smanjenje potrebne snage s porastom iznosa temperaturne anomalije, što je posljedica smanjenja aerodinamičke sile otpora letjelice uzrokovane smanjenjem gustoće. Rast temperaturne anomalije i smanjenje gustoće sukladno rezultatima pojednostavljenog modela atmosfere iznad požarišta, rezultira u padu raspoložive snage motora. Međusobnom usporedbom iznosa potrebne i raspoložive snage sa slike 5. uočljivo je smanjenje viška snage helikoptera u horizontalnom letu, odnosno dodatna ograničenja ovojnice uporabe helikoptera. Tako npr. za iznos temperaturne anomalije od 100K nije moguće lebdenje niti let s brzinama manjim od 15 m/s, a pri $\Delta T = 500$ K horizontalni let uopće nije moguć.

Rezultatima analiziranog modela utjecaja atmosfere

RASPRAVA

Discussion

iznad požarišta na dinamiku leta helikoptera nastojalo se, s gledišta mehanike leta, ukazati na postojanje rizičnih situacija kroz promjene relevantnih parametara.

Dobiveni rezultati za potrebnu i raspoloživu snagu helikoptera u horizontalnom letu mogu se opisati kao efekt visine po gustoći: porast temperature na tlu, odnosno porast temperaturne anomalije popraćen je povećanjem visine po gustoći. Pilotu helikoptera koji se u horizontalnom letu približava zoni požara (gašenje požara podvjesnim vjedrom, slijetanje u zone požara poradi premještanja i evakuacije protupožarnih postrojbi, dostave vode i opreme te izvlačenja unesrećenih) temeljem prezentiranih rezultata mogu se dati sljedeće preporuke:

- u zonu požara, za odabranu visinu leta, sigurnije je ulaziti s većom brzinom leta budući da se optimalni režim minimalne potrebne snage s povećanjem temperature tla, odnosno temperaturne anomalije, pomjera na veće brzine leta.
- čak i na umjerenim visinama iznad požarišta zalebdenje vjerojatno neće biti ostvarivo.
- pri ulasku u zonu iznad požarišta treba biti spreman na povećavanje kolektivne komande postavnog kuta radi održavanja horizontalnog ravnotežnog leta.

U smislu obuke i pripreme pilota na ovakve izvanredne situacije predočeni model može poslužiti i kao osnova u primjeni prilikom izrade matematičkog modela simulatora leta helikoptera (ili aviona), čijom bi se uporabom postigle velike uštede i značajno doprinijelo osposobljenosti letačkih posada u letu u okruženju atmosfere u zoni požara. Za provedbu prezentiranog modela potrebne su temperature tla, odnosno temperaturna anomalija požarišta.

ZAKLJUČAK

Conclusion

Glavni rezultat, kakav se i očekivao, pojednostavljenog modela atmosfere iznad požarišta je smanjenje gustoće s porastom temperaturne anomalije u odnosu na uvjete standardne atmosfere. Sa smanjenjem gustoće opada i pogonska sila na disku rotora, odnosno uzgonska sila, što može rezultirati ugrozom sigurnosti letenja helikoptera.

Glavni nedostatak predstavljenog modela je nemogućnost realne estimacije vertikalne brzine vjetrova iznad požarišta. Njen utjecaj na dinamiku leta helikoptera može biti značajan te bi ga se moglo obuhvatiti složenijim modelom

atmosfere iznad požarišta, poput spregnutog nestacionarnog modela požara i atmosfere prema Clark i dr. (1996) ili prema Grishin (1992). No treba imati na umu, ukoliko bi takav model bio i dostupan, za njegovu primjenu potrebni su realni podaci o geometriji terena i raslinju.

ZAHVALA

Acknowledgment

Prilikom izrade ovog rada nesebičnu stručnu pomoć dobili smo od prof. dr. sc. Slobodana Jankovića, na čemu mu se iskreno zahvaljujemo!

LITERATURA

References

1. *Clarck, T.L., Jenkins, M.J., Coen, J., Packhan, D. (1996): A Coupled Atmosphere - Fire Model: Convective Feedback on Fire-Line Dynamics, Journal of American Meteorological Society, pp.875-901.*
2. *Grishin, A. M. (1992): Matematicheskoye Modelirovaniye Lesnykh Pozharov i Novyye Sposoby Bor'by s Nimi (Mathematical Modelling of Forest Fires and New Methods of Fighting Them). Nauka Publishers, Novosibirsk, pp.408.*
3. *Hughes, W.F., Brighton, J.A. (1967): Fluid Dynamics, Schaum's Outline Series, Mc-Graw Book Company*
4. *Vuković, D., Slamić, M., Janković, S., Vrdoljak, M. (2010): About the influence of the atmosphere over the wildfire on the flight dynamics for helicopter simulator application, Proceedings of 36th European Rotorcraft Forum.*
5. *Župan, J. i Vrdoljak, M. (2009): About the Estimation of the Required Power for a Helicopter in Forward Flight, In Proceedings of International Symposium on Coupled Methods in Numerical Dynamics, CMND2009, Faculty of Mechanical Eng. And Naval Arch., Zagreb, pp. 335-344.*
6. *Leishman, J. G. (2006): Principles of Helicopter Aerodynamics, Cambridge University Press*
7. *Seddon, J. (1990): Basic Helicopter Aerodynamics. AIAA, Washington*