

Indikatorji turbulence ob jasnem vremenu v višjih slojih troposfere v modelu ALADIN-SI

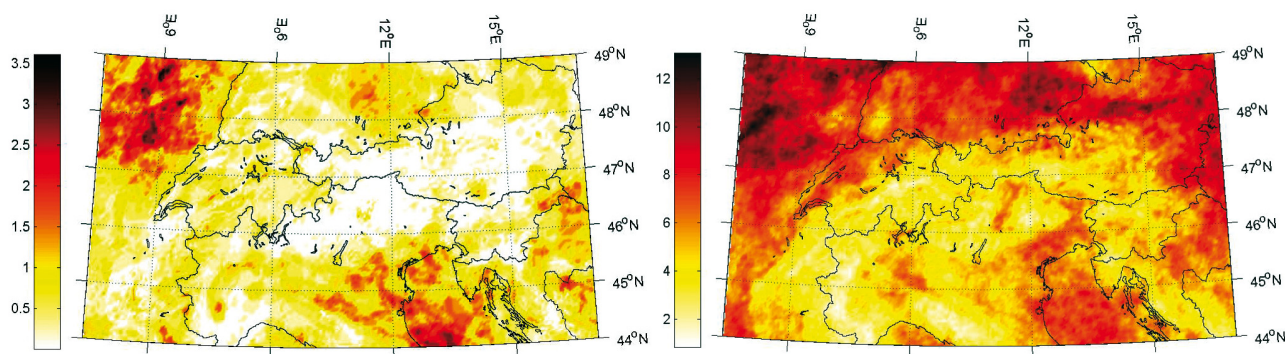
Manca Štrajhar

Turbulenca ob jasnem vremenu (CAT) ima pomemben vpliv na varnost v letalstvu. CAT je namreč pogosto vzrok za lažje in hujše poškodbe potnikov med letom, poškodbe na letalih in v ekstremnih primerih tudi vzrok za letalske nesreče. Vse naštetu pa vpliva tudi na finančne izgube letalskih družb. Napovedovanje CAT-a ima torej predvsem velik pomen za letalstvo. Zaradi dejstva, da imajo območja s CAT običajno vertikalno razsežnost do nekaj sto metrov, je ta pojav težko napovedovati. Problem pa je tudi v tem, da CAT-a ne moremo eksplicitno izračunati. Območja z CAT se zato običajno določa na podlagi računanja parametrov, ki so povezani s turbulenco. Eden najpogosteje uporabljenih takšnih CAT indikatorjev je Richardsonovo število.

V diplomskem delu sem na podlagi podatkov modela ALADIN-SI s horizontalno ločljivostjo 4.4 km naredila klimatologijo treh indikatorjev CAT-a za leto 2007, ločeno za zimske in poletne mesece, na širšem območju Alp. Negativne vrednosti kvadrata Brunt-Vaisallove frekvence (N^2) so indikator za hidrostatično nestabilnost. Majhne, vendar pozitivne vrednosti Richardsonovega števila (Ri) pa so indikator za Kelvin-Helmholtzovo nestabilnost. Tretji indikator, ki sem ga računala, je bil Scorerjev parameter. Ker interpretacija Scorerjevega parametra kot CAT indikatorja ni enostavna (potrebno ga je razlagati skupaj z orografijo, stabilnostjo in tokom v ozadju), sem računala le njegove povprečne vrednosti in nekatere statistične lastnosti. Rezultate statistike Brunt-Vaisallove

frekvence in Richardsonovega števila sem primerjala s 44-letno klimatologijo indikatorjev CAT-a, ki je bila narejena za področje celotne severne hemisfere na podlagi podatkov z veliko slabšo horizontalno ločljivostjo (Jaeger, Sprenger, 2007, J.Geophys.Res.). Klimatologija Brunt-Vaisallove frekvence in Richardsonovega števila za zimske mesece kaže ujemanje območij, ki jih indikatorja označujeta za možna območja s CAT. Minimum pojavljanja CAT-a oba indikatorja kažeta nad območjem najvišje orografije. Klimatologija Brunt-Vaisallove frekvence in Richardsonovega števila za poletne mesece kaže zmanjšanje vrednosti frekvenc v primerjavi s frekvencami za zimske mesece, kar kažejo tudi rezultati iz članka (Jaeger, Sprenger, 2007, J.Geophys.Res.).

Verifikacije podatkov z meritvami in opazovanji ni možno narediti, saj imamo na voljo le poročila pilotov potniških letal. Pomanjkljivost teh poročil je v tem, da so le z letalskih linij in zaradi tega imajo omejeno področje, druga pomanjkljivost pa je ta, da so ocene o turbulenci le subjektivne in velikokrat pomanjkljive. Zaradi horizontalno majhne razsežnosti CAT-a je ta pojav težko napovedovati z modeli kot je ALADIN-SI, saj je to predvsem model za napovedovanje vremena v spodnji troposferi in ima zaradi tega večje število modelskih nivojev pri tleh. Na višinah, kjer nastaja CAT, pa je vertikalnih modelskih nivojev malo. Za potrebe napovedovanja CAT-a bi bilo potrebno model razvijati tudi v smeri večje vertikalne ločljivosti v višji troposferi in na nivoju tropopavze.



Porazdelitve frekvenc (%) pojavljanja $N^2 < 0$ (levo) in $0 < Ri < 0.75$ (desno) za zimske mesece za leto 2007.

Primerjava disperzijskih modelov

Matic Ivančič

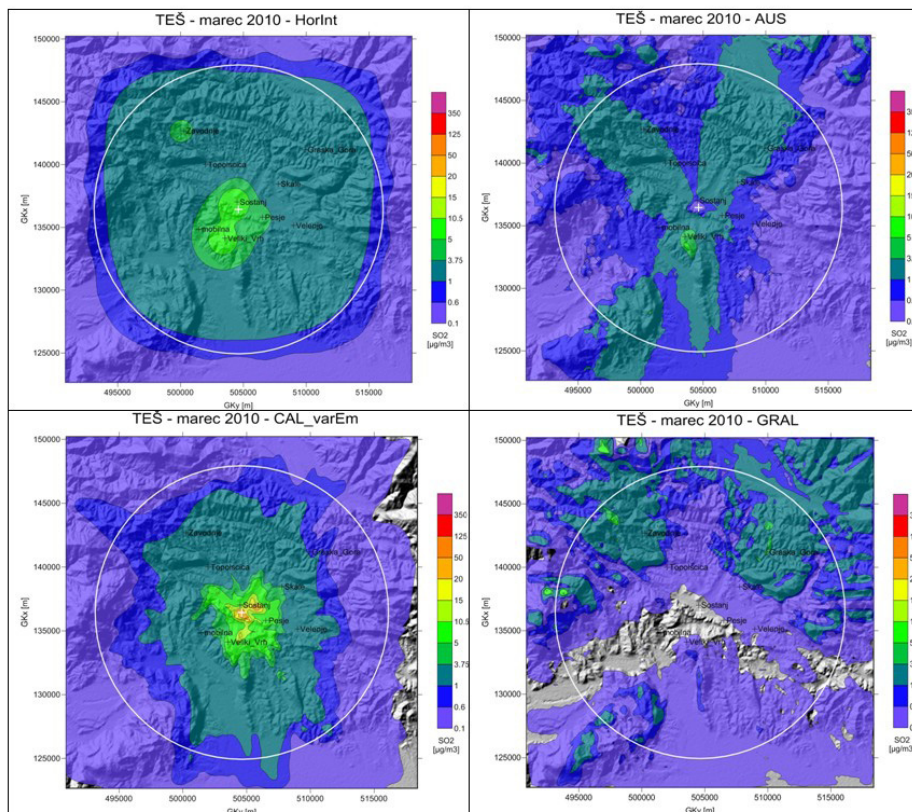
V diplomskem delu sem pripravil primerjavo rezultatov treh disperzijskih modelov. To so nemški model AUSTAL2000, avstrijski model GRAL in ameriški model CALPUFF.

Disperzija onesnaževal zunanjega zraka je vedno sestavljena iz dveh procesov: iz advekcije dima iz odvodnika s pomočjo vetra in iz razprševanja prečno na smer vetra. Zato vsak disperzijski model potrebuje tridimenzionalno vetrovno polje. Zgoraj navedeni modeli imajo vgrajene lastne vetrovne predprocesorje za izračun vetrovnih polj. AUSTAL2000 in CALPUFF imata vgrajene diagnostične vetrovne modele, TALdio in CALMET. GRAL pa vsebuje mezo-skalni meteorološki model GRAMM. Med modeli obstaja ogromna razlika v potrebnih vhodnih meteoroloških podatkih. Za zagon modelov AUSTAL2000 in GRAL zadostuje že podatek o vetru in stabilnosti ozračja na eni prizemni postaji, za zagon modela CALPUFF pa je potreben vsaj eden vertikalni profil vetrovnih in temperaturnih podatkov. Poleg tega lahko v model CALPUFF vključimo podatke o vetru iz več prizemnih postaj.

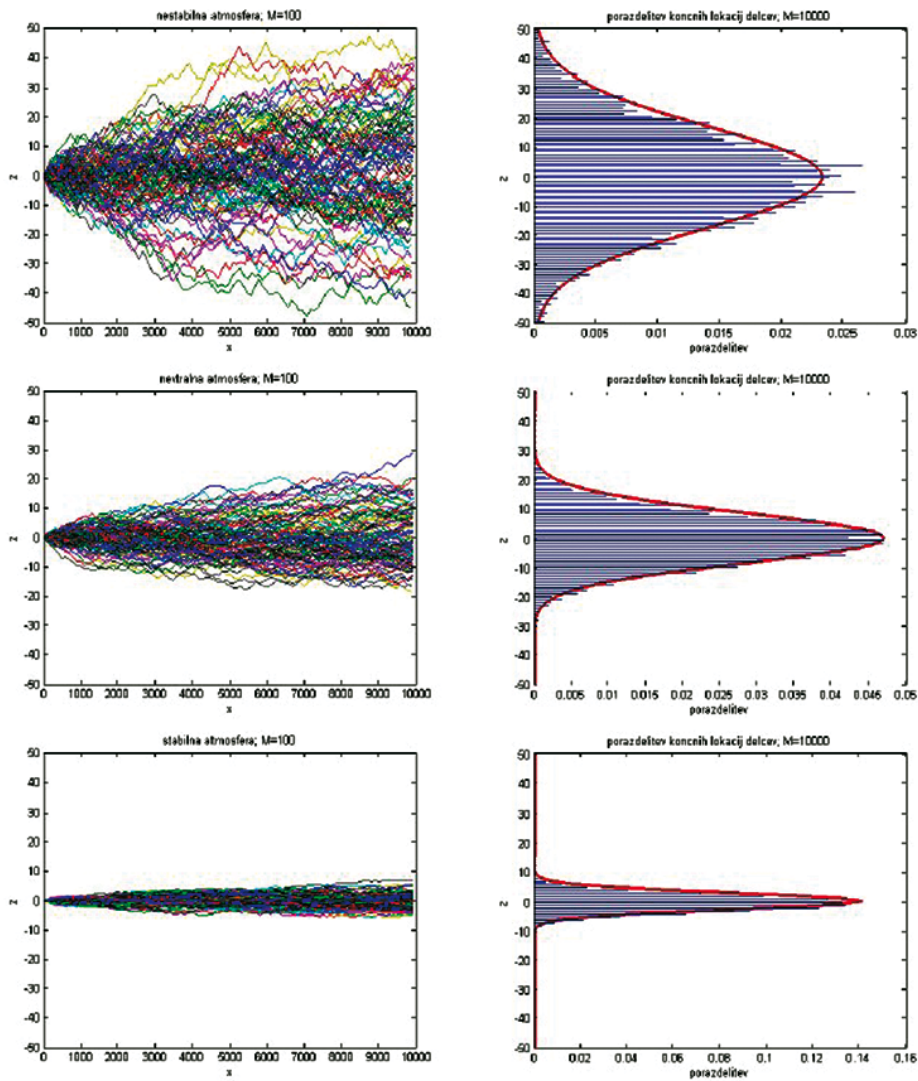
V prvem delu diplomske naloge sem raziskoval delovanje dveh različnih vrst disperzijskih modelov. Na sliki 2 je predstavljeno delovanje Lagrangejevega delčnega modela ("Lagrangian particle model") in odziv takšnega modela na različno stabilnost ozračja. Na sliki 3 sem prikazal delovanje Lagrangejevega paketnega modela ("Lagrangian puff model"). AUSTAL2000 in GRAL sta Lagrangejeva delčna modela, CALPUFF pa je Lagrangejev paketni model.

Primerjavo rezultatov modelov sem izvedel na območju Termoelektrarne Šoštanj (TEŠ). To območje sem izbral, ker v okolici TEŠ deluje okoljski informacijski sistem, sestavljen iz devetih postaj za merjenje kakovosti zunanjega zraka. Primerjava rezultatov različnih modelov v primerjavi z meritvami se nahaja na sliki 1. V izračun z modelom CALPUFF sem vključil spremenljivo emisijo, v ostala dva modela pa povprečno mesečno emisijo.

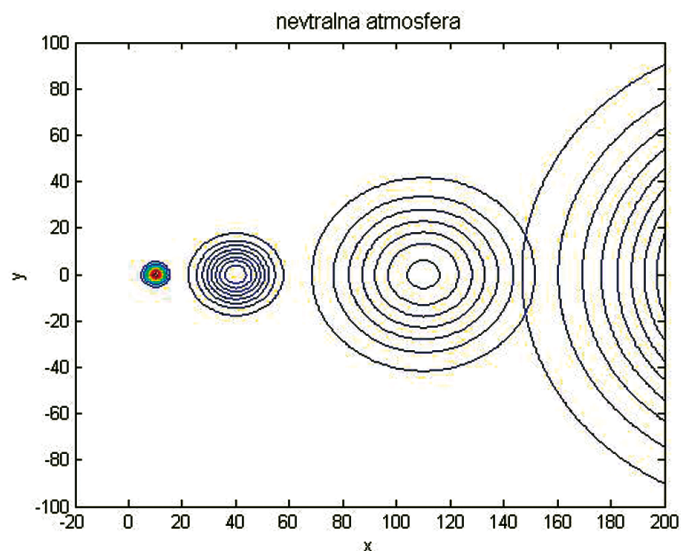
Na podlagi rezultatov lahko sklepam, da modela AUSTAL2000 in GRAL podcenjujeta koncentracije, model CALPUFF pa koncentracije precenjuje.



Slika 1. Povprečne mesečne koncentracije SO_2 na območju TEŠ. Zgoraj levo je predstavljena horizontalna interpolacija meritev, zgoraj desno je rezultat modela AUSTAL2000. Spodaj levo je rezultat modela CALPUFF, spodaj desno pa rezultat modela GRAL.



Slika 2. Princip delovanja Lagrangejevega delčnega modela. Na levi strani slike je prikazan odziv modela na različne stabilnosti ozračja (nestabilno, nevtrarno, stabilno), na desni strani slike pa je prikazana porazdelitev končnih leg delcev po višini glede na stabilnost ozračja.



Slika 3. Delovanje Lagrangejevega paketnega modela. Paket se advektira v smeri vetra (iz leve proti desni) in se razširja v okolico.

Vetrovni profili v planetarni mejni plasti nad odprtim morjem

Miha Veršnjak

Obravnaval sem nize meritev s treh meteoroloških merilnih boj v Severnem morju in Atlantskem oceanu ter meritve z raziskovalnega stolpa FINO v letu 2004 in pripadajoče modelske simulacije vetra na spodnjih modelskih nivojih do višine 172,2 m za tri različne konfiguracije modela WRF 3.1. Konfiguracije se razlikujejo glede na vertikalno ločljivost in geografski položaj računskih območij.

Najprej sem vse modelsko izračunane hitrosti vetra primerjal s hitrostmi, izmerjenimi na FINO stolpu na različnih višinah do 100 m. Izmerjeni hitrostni profili in modelski profili so se dobro ujemali med seboj, ujemanje je poleg konfiguracije modela odvisno predvsem od smeri vetra.

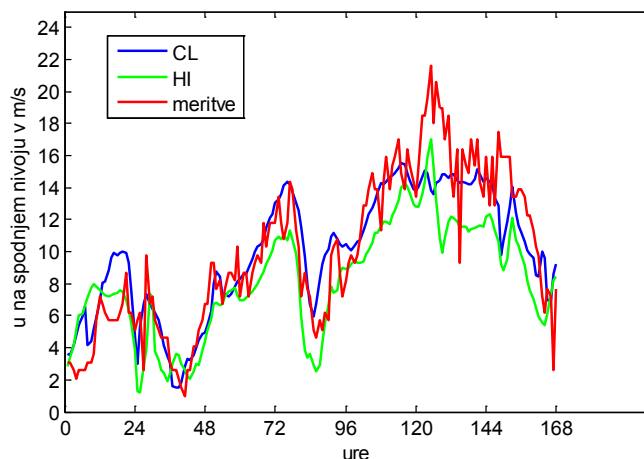
V drugem delu sem meritve z boj in modelske simulacije razdelil glede na stabilnost v atmosferi na nevtralne, stabilne in nestabilne profile ter izračunal parametre za ekstrapolacijo vetra (torno hitrost, Monin-Obukhovo dolžino, parameter hrapavosti) na različne načine. Po znanih enačbah za prizemno plast sem ekstrapoliral hitrost vetra na podlagi meritev z boj in jo primerjal s hitrostjo na posameznih modelskih nivojih iz dveh modelskih simulacij z različno vertikalno ločljivostjo. V nevtralnih razmerah je bilo ujemanje ne glede na način izračuna torne hitrosti dobro, v nestabilnih in stabilnih pa so se pokazala določena odstopanja. Ta so bila največja pri primerjavi ekstrapoliranega vetra in rezultatov simulacij konfiguracije z manj računskimi nivoji v stabilnih razmerah. Zopet se je kot natančnejša izkazala konfiguracija z boljšo vertikalno ločljivostjo.

Torno hitrost (u_*) sem računal na tri različne načine:

- eksplicitno iz modelskih rezultatov na različnih modelskih nivojih,
- iterativno iz rezultata z enega modelskega nivoja in
- iterativno iz izmerjene hitrosti vetra na boji.

Zadnji način izračuna ni bil možen v stabilnih pogojih. Med vrednostmi, izračunanimi na različne načine, je bilo precej razlik. V nevtralnih razmerah so vsi različni načini izračuna zadovoljivi in med seboj primerljivi, nekoliko razpršene so le eksplicitno določene u_* , dobimo pa z vsemi tremi u_* zadovoljiv rezultat ekstrapolacije. Vrednosti eksplicitno določenih u_* so dosti bolj razpršene v stabilnih in še bolj v nestabilnih razmerah. Tu dobimo tudi vrednosti od -300 do +500 m/s, ki zagotovo niso realne. Na vseh bojah opazimo še, da dobimo v stabilnih pogojih pri nižjih hitrostih na spodnjem modelskem nivoju (oz. na boji) višje eksplicitno določene u_* od iterativno izračunanih, pri višjih hitrostih pa nižje. Obratno je v nestabilnih pogojih – pri nižjih hitrostih na spodnjem nivoju so eksplicitno določene u_* nižje od iterativno določenih, pri višjih pa višje. Tudi iterativno izračunane u_* so v nenevtralnih razmerah nekoliko razpršene, kar je posledica različnih Monin-Obukhových dolžin pri istih hitrostih. V vseh treh primerih je u_* približno enako odvisna od hitrosti na spodnjem nivoju, narašča skoraj linearno.

Po analizi rezultatov povprečnih vetrovnih profilov, njihovih povprečnih napak in napak RMSE vidimo, da je ekstrapolacija mnogo bolj zanesljiva, če v enačbah uporabljamo iterativno določeno u_* in ne eksplicitno



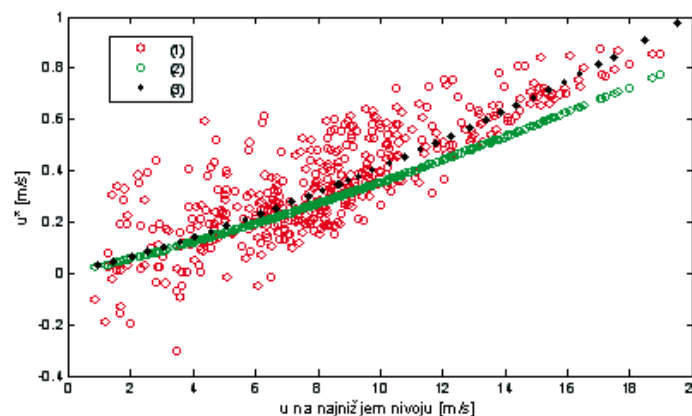
Potek hitrosti vetra na boji Channel ship od 3. do 10.1.2004. Prikazane so meritve in rezultati konfiguracij CL in HI.

določene, bistvenih razlik ne opazimo samo v nevtralnih razmerah. Pri ekstrapolaciji na podlagi u_* , določeni iterativno iz modela, se z višino vrednost povprečne napake dostikrat manjša (u_* smo namreč določili iz modelskega podatka in se tako hitrost mora vedno bolj približevati modelski vrednosti), pri ostalih pa se z višino veča.

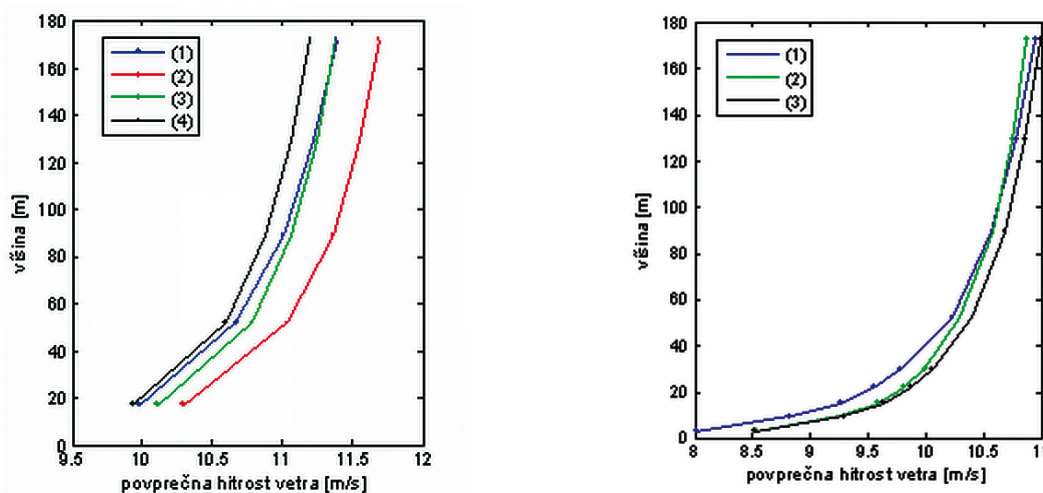
V nevtralnih razmerah je primerjava ekstrapoliranega vetra in modelskih rezultatov zadovoljiva ne glede na uporabljeno u_* , a vseeno dobimo manjše napake, če uporabimo iterativno določeno u_* .

V nestabilnih razmerah sem Monin-Obukhovo dolžino določil s pomočjo Richardsonovega števila in nato izračunal u_* . Rezultati, dobljeni iz eksplicitno izračunane u_* , so bili mnogo slabši (tako povprečen profil kot RMSE) od ostalih dveh načinov računanja, kar je posledica velike razpršenosti in velikega števila nerealnih vrednosti eksplicitno izračunanih u_* .

V stabilnih pogojih so ne glede na uporabljeno u_* rezultati iz CL konfiguracije (konfiguracija z manj vertikalnimi nivoji) izjemno slabi. Po podrobnejšem pregledu rezultatov sem opazil, da razlog za tako slabo ujemanje in velike vrednosti napak niso konstanta odstopanja ekstrapoliranega vetra od modelskih vrednosti, ampak posamezna ekstremna odstopanja, ki hitro povečajo napako in pokvarijo povprečen profil (npr. vrednosti ekstrapoliranega vetra 500 m/s in več). Če bi take vrednosti, ki jih je bilo na posamezni boji približno 50, odstranili iz analiz, bi bile te bistveno boljše. Boljši povprečen profil dobimo z uporabo HI konfiguracije (konfiguracija z večjim številom vertikalnih nivojev v prizemni plasti), napake RMSE med posameznimi profili ekstrapoliranega vetra in modelskimi rezultati pa so še vedno prevelike, da bi lahko bili zadovoljni (na spodnjem nivoju med 5 in 10 m/s, z višino pa hitro naraščajo do še mnogo večjih vrednosti).



Odvisnost torne hitrosti od hitrosti na najnižjem modelskem nivoju v konfiguraciji modela CL v stabilnih razmerah. Rdeča barva: eksplicitno izračunana torna hitrost. Črna barva: torna hitrost, določena na podlagi iterativnega izračuna iz izmerjenega podatka z boje. Zelena barva: torna hitrost, določena na podlagi iterativnega izračuna iz najnižjega modelskega nivoja.



Povprečen vetrovni profil za nestabilne razmere na boji 64046. Levo: konfiguracija CL. Desno: konfiguracija HI. Modra barva: povprečje vseh obravnavanih modelskih profilov. Rdeča barva: povprečje iz meritve ekstrapoliranih profilov na podlagi eksplicitno določene torne hitrosti. Zelena barva: povprečje iz meritve ekstrapoliranih profilov na podlagi torne hitrosti, določene iterativno iz najnižjega modelskega nivoja. Črna barva: povprečje iz meritve ekstrapoliranih profilov na podlagi torne hitrosti, določene iterativno iz izmerjene hitrosti na boji.