

Određivanje revidiranih standardnih masa za putnike u zrakoplovu

Polančec, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:830179>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ODREĐIVANJE REVIDIRANIH STANDARDNIH MASA ZA PUTNIKE U ZRAKOPLOVU

PROCEDURE FOR ESTABLISHING REVISED STANDARD MASS FOR PASSENGERS IN THE AIRCRAFT

Mentor: mr. sc. Davor Franjković

Student: Karlo Polančec

JMBAG: 0135261995

Zagreb, 2024.

Zagreb, 15. svibnja 2024.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Planiranje letenja i performanse I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7526

Pristupnik: **Karlo Polančec (0135261995)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Civilni pilot**

Zadatak: **Određivanje revidiranih standardnih masa za putnike u zrakoplovu**

Opis zadatka:

Opisati ukratko određivanje mase i pozicije težišta zrakoplova, prema relevantnoj regulativi. Objasniti korištenje standardnih masa za putnike i prtljagu u zrakoplovu. Objasniti potrebu i mogućnost revizije standardnih masa za putnike i prtljagu, u skladu s regulativom.

Provesti detaljnu statističku analizu potrebnu u postupku revizije standardnih masa, sa svim propisanim koracima, na temelju stvarnih ili generiranih podataka. Pri tome, postupak popratiti izradom kompletne propisane dokumentacije i izvještaja. Objasniti ključne statističke parametre i njihov učinak na rezultate postupka.

Izvesti i napisati zaključke.

Mentor:



mr. sc. Davor Franjković, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Sažetak

Izračun mase i pozicije težišta zrakoplova ključni je dio letne dokumentacije. Postoji više načina određivanja mase putnika i tereta od kojih su neki više, a neki manje precizni. Masa putnika i njihove prtljage ovisi o brojnim čimbenicima kao što su podneblje na aerodromu odlaska, godišnje doba te klima na destinaciji. Kako bi se točnije odredilo opterećenje zrakoplova i povećala sigurnost letenja poželjno je koristiti mase putnika što bliže realnim masama. U tu svrhu moguće je provesti studiju kojom se utvrđuju posebne revidirane standardne mase putnika. Ovaj rad temelji se na takvoj studiji.

Ključne riječi: masa putnika, pozicija težišta, letna dokumentacija, opterećenje zrakoplova, standardna masa

Summary

The calculation of mass and centre of gravity is the key part of flight documentation. There are more ways of determining passenger mass, some of which are more or less precise. Mass of passengers and their baggage depends on numerous factors such as climate at departure aerodrome, season and climate at the destination. In order to precisely determine load on the aircraft and increase the flight safety it is desirable to use such masses as close to the real masses. For this purpose it is possible to carry out a survey which will determine special revised standard passenger mass. This thesis is based on such survey.

Key words: passenger mass, centre of gravity, flight documentation, aircraft load, standard mass

SADRŽAJ

1. Uvod	5
2. Poblje o masi i balansu zrakoplova	6
3. Dokumenti vezani uz proceduru	10
4. Procedura određivanja revidiranih standardnih masa putnika u zrakoplovu	12
4.1. Općenito o proceduri.....	12
4.2. Izračun prosječne mase i standardne devijacije.....	12
4.3. Oprema i vremenski uvjeti pri vaganju.....	14
4.4. Određivanje potrebnog broja vaganih putnika i prosječne mase putnika	15
4.5. Procedura s 2% preciznosti.....	20
4.6. Analiza rezultata studije.....	21
5. Podnošenje zahtjeva za korištenje revidiranih masa putnika	22
6. Zaključak	23
Literatura	24
Popis slika, tablica i priloga	26

1. Uvod

Zrakoplovi omogućavaju transport putnika i tereta na učinkovit, brz i siguran način. Masa zrakoplova i pozicija centra težine vitalne su informacije potrebne prije izvršavanja svakog leta. Piloti moraju biti svjesni tih parametara jer oni izravno utječu na performanse zrakoplova. Raspodjela tereta utječe na položaj težišta, što na koncu utječe na upravljivost i stabilnost zrakoplova. Položaj težišta bliži nosu dat će veću stabilnost. S druge strane, položaj težišta bliži repu dat će veću upravljivost i smanjenu stabilnost.

Važnost pravilnog izračuna mase i pozicije težišta zrakoplova najviše dolazi do izražaja pri zrakoplovnim nesrećama. Primjer jedne takve nesreće jest Air Midwest let 5481 sa zrakoplovom Beechcraft 1900D iz 2003. godine. Piloti su pri izračunu dokumentacije o masi i balansu primijenili standardne mase za putnike i prtljagu. Istraga zrakoplovne nesreće ukazala je na to da je masa prosječnog putnika bila 9 kilograma veća od standardne te da je masa prtljage također bila veća od pretpostavljene. Također, nepravilna raspodjela tereta i putnika uzrokovala je položaj težišta iza stražnjega limita. Sve ovo zajedno s tehničkom greškom kormila dubine uzrokovalo je prevelik kut penjanja, aerodinamički slom uzgona te katastrofalan pad zrakoplova

Osim same mase zrakoplova mora se obratiti velika pažnja na balans zrakoplova i pravilno vezivanje tereta kako ne bi došlo do neželjene promjene pozicije težišta u letu.

Operateri mogu koristiti standardne mase putnika i prtljage no time je moguć gubitak na učinkovitosti i sigurnosti leta. Na primjer, na letovima između destinacija s toplom klimom može se očekivati manja masa putnika i prtljage za razliku od letova koji potječu ili idu prema destinaciji sa hladnijom klimom. Shodno tome, moguće je ponijeti nešto više tereta odnosno manje goriva na toplim podnebljima. S druge strane, u hladnijim podnebljima bolje je koristiti nešto veće mase putnika i prtljage radi sigurnosti leta kako ne bi došlo do prekoračenja maksimalnih propisanih masa.

Cilj završnog rada je odrediti revidirane standardne mase putnika u zrakoplovu koje operater može koristiti umjesto standardnih masa.

Procedura kojom se to postiže detaljno je opisana u dokumentu Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex IV Commercial air transport operations [Part-CAT] of Commission Regulation (EU) 965/2012 on air operations izdanog od EASA-e.

2. Poblže o masi i balansu zrakoplova

Odgovornost za valjanu kontrolu mase i balansa zrakoplova započinje s inženjerima i dizajnerima zrakoplova. Oni određuju maksimalne strukturalne mase te pažljivo određuju idealnu poziciju težišta kao i maksimalne devijacije od položaja istog. Proizvođač zrakoplova pruža zrakoplovnom operatoru podatke o masi praznog zrakoplova i poziciji težišta pri toj masi. Certificirani mehaničari zaduženi su za ispravnost i poklapanje uknjiženih masa i težišta sa stvarnima. Nadalje, zapovjednik zrakoplova mora znati maksimalna propisana ograničenja mase i pozicije težišta te prije svakog leta provjeriti da su ti parametri unutar limita.

Ukoliko se prekorači maksimalna masa zrakoplova pri polijetanju javljaju se brojni negativni učinci:

- zrakoplovu je potrebna veća brzina pri polijetanju što povećava potrebnu duljinu za polijetanje,
- brzina penjanja i kut penjanja su smanjeni (lošije nadvisivanje prepreka),
- smanjen praktični plafon leta,
- smanjena brzina krstarenja,
- smanjen dolet ,
- smanjena upravljivost,
- veća duljina zaustavljanja zbog veće brzine u prilazu za slijetanje,
- preveliko opterećenje na strukturu zrakoplova, posebice na podvozje.

Pri popunjavanju dokumentacije mogu se koristiti realne (izmjerene) mase i standardne mase putnika. Ovisno o broju putničkih sjedala na zrakoplovu, vrijednost standardnih masa varira. Sljedeće dvije tablice su prikaz standardnih masa putnika ovisno o broju putničkih sjedala i vrsti leta. Obje tablice izdane su od strane EASA-e i nalaze se pod IV. aneksom regulacije Air Ops (Zračne operacije).

Tablica 1: Standardne mase putnika ovisno o broju putničkih sjedala i vrsti leta

Broj putničkih sjedala	20 i više		30 i više
	Muškarci	Žene	Svi odrasli
Svi letovi osim <i>holiday charter</i>	88 kg	70 kg	84 kg
<i>Holiday charter</i>	83 kg	69 kg	76 kg
Djeca	35 kg	35 kg	35 kg

Izvor: [2]

Iz prve tablice je vidljivo da se na zrakoplovima s kapacitetom sjedala manjim od 30 uzimaju posebne standardne mase za muškarce i žene dok se kod zrakoplova s kapacitetom putničkih sjedala 30 i više uzima univerzalna vrijednost neovisno o spolu. Za svu djecu na zasebnim sjedalima uzima se masa 35 kg. Masa prtljage računa se na sličan način. Ukoliko zrakoplov ima 20 i više putničkih sjedala uzimaju se vrijednosti prikazane u Tablici 2.


Tablica 2: Standardne mase za prtljagu na zrakoplovima s 20 i više putničkih sjedala

Vrsta leta	Standardna masa prtljage
Domaći	11 kg
Unutar Europske regije	13 kg
Interkontinentalni	15 kg
Svi ostali	13 kg

Izvor: [2]

Za domaće letove koristi se standardna masa od 11 kg, za letove unutar Europske regije 13 kg, za interkontinentalne letove 15 kg, a za sve ostale letove 13 kg.

Dokumentacija o masi i balansu može biti u fizičkom i elektroničkom obliku. Na slici ispod nalazi se primjer fizičkog oblika dokumentacije. U odgovarajuća polja unose se vrijednosti masa posade, putnika, tereta, goriva i balasta. Nakon što su sve komponente opterećenja unesene, dobivene mase moraju biti manje ili jednake maksimalnim propisanim masama koje su navedene u AFM-u zrakoplova. Nadalje, potrebno je odrediti poziciju težišta zrakoplova za masu natovarenog zrakoplova bez goriva te za masu pri polijetanju i slijetanju. Uz poznati indeks troška ulazi se u gornji dijagram. Ovisno o masi putnika, tereta i goriva u svakom odjeljku zrakoplova, u dijagramu se pomiče ulijevo/udesno. Na koncu, ulazi se u donji dijagram gdje se očitava pozicija težišta za svaku od navedenih masa kao postotak srednje aerodinamičke tetive. Svaka pozicija težišta mora biti unutar prednjeg i stražnjeg limita zbog sigurnosti izvršavanja leta.

 ATR 72	WEIGHT AND BALANCE MANUAL	1-70-03	
	LOAD AND TRIM SHEET 64 PAX 30"		p 001
			JUN 11

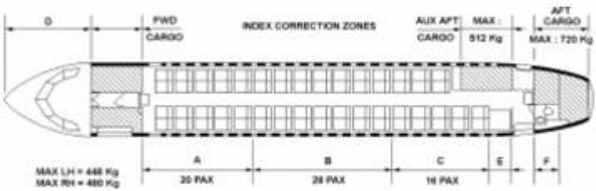
DRY OPER. WEIGHT CONDITIONS	
WEIGHT (kg)	% MAC
$I = \frac{W}{W_0} - 270 \times W_0 \text{ (kg)} \times 0.2303$	
1.000	
DRY OPER. WT. INDEX	

PASSENGER WEIGHT (kg)	
M	x85%
F	x75%
CH	x85%
I	x10%
TOTAL WEIGHT	

CARGO WEIGHT (kg)	
FWD	
AFT	
TOTAL WEIGHT	

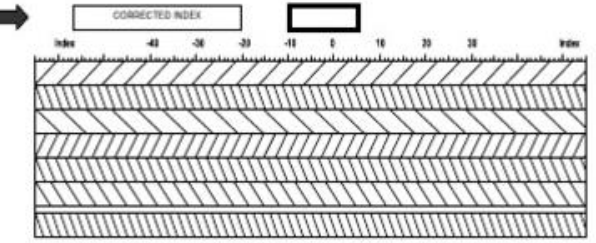
DRY OPERATING WEIGHT	
WEIGHT DEVIATION	
CORRECTED DRY OPER. WEIGHT	
TOTAL CARGO	
TOTAL PASSENGER	
ACTUAL ZERO FUEL WEIGHT	
TAKE OFF FUEL	
ACTUAL TAKE OFF WEIGHT	
TRIP FUEL	
ACTUAL LANDING WEIGHT	

ZONES				THIRD CREW MEMBER
D	E	F		
WEIGHT (kg)				
DEVIATION				

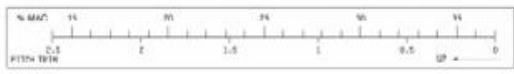
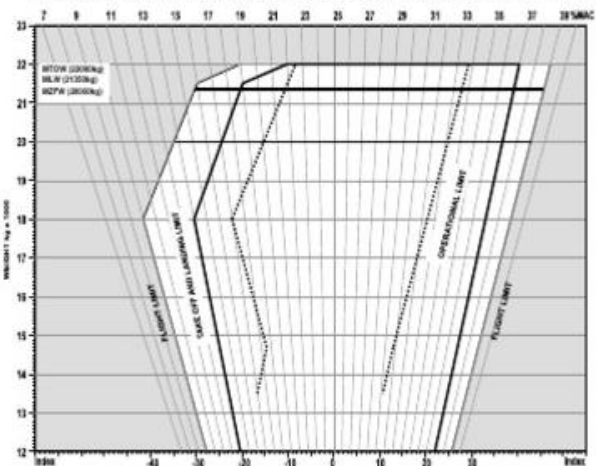


BASIC INDEX CORRECTION				THIRD CREW MEMBER INDEX
DRY OPER. WEIGHT DEVIATION	ZONES			
	D	E	F	
+ 10 kg	-0.52	+2.45	+0.81	-0.52
- 10 kg	+0.52	-0.48	-0.81	
INDEX CORRECTION				

ZONES	NP	WEIGHT (kg)	
CABIN A			20kg
CABIN B			20kg
CABIN C			20kg
FWD CARGO			55kg
AFT CARGO (with catering)			55kg
AFT CARGO (without catering)			55kg
FUEL			1005kg



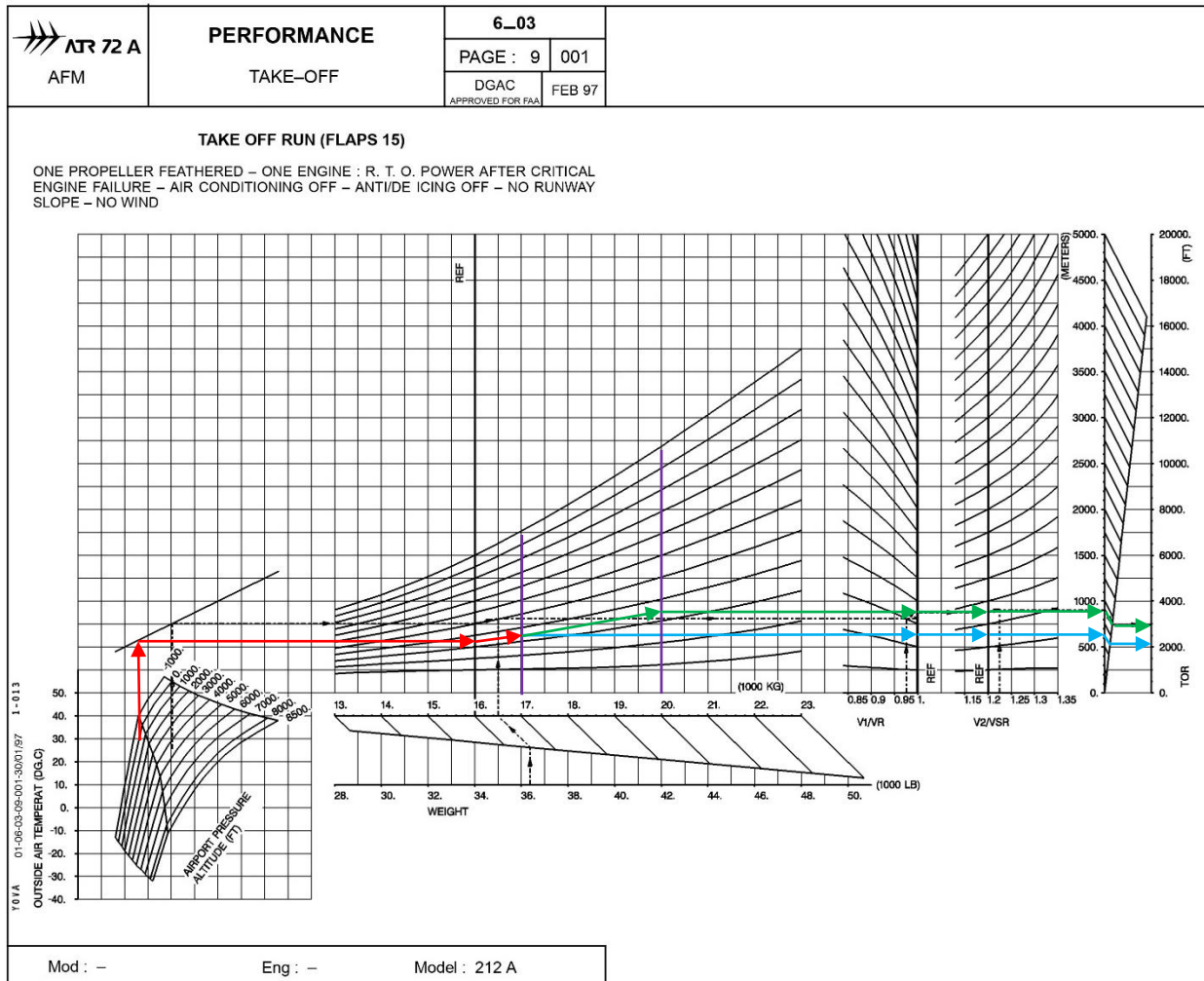
WEIGHT RECDSTR	
DATE	
FLT No:	
FROM	
TO	
PREPARED BY:	
APPROVED BY:	
LADY MINUTE CHANGE	
APPROVED BY:	



Slika 1: List opterećenja zrakoplova

Izvor: [7]

U sekciji 5 AFM-a se nalaze tablice ili dijagrami koji prikazuju pilotu letne performanse koje se mogu očekivati za zadanu masu.



Slika 2: Dijagram potrebne duljine za zalet pri polijetanju za zrakoplov ATR-72

Izvor: [8]

U svrhu demonstracije povećanja potrebne duljine za zalet pri polijetanju pretpostavka je da se aerodrom nalazi na 0 stopa nadmorske visine te da je temperatura zraka 30 °C. Omjer $V1/VR$ iznosi 1, a omjer $V2/VSR$ iznosi 1.2. Prva masa zrakoplova iznosi 17 tona, a druga 20 tona. U dijagram se ulazi na presjecištu linija temperature od 30 °C te nadmorske visine od 0 stopa. Povlači se vertikalna linija do gornje dijagonalne linije, a zatim horizontalna linija do referentne linije. Od referentne linije se nadalje povlače linije do presjecišta s linijama odgovarajućih masa zrakoplova. Iz tih točaka povlače se horizontalne linije do odgovarajućih potrebnih duljina za zalet pri polijetanju (referentne linije na putu nemaju utjecaj budući da su jednake vrijednostima omjera navedenih iznad).

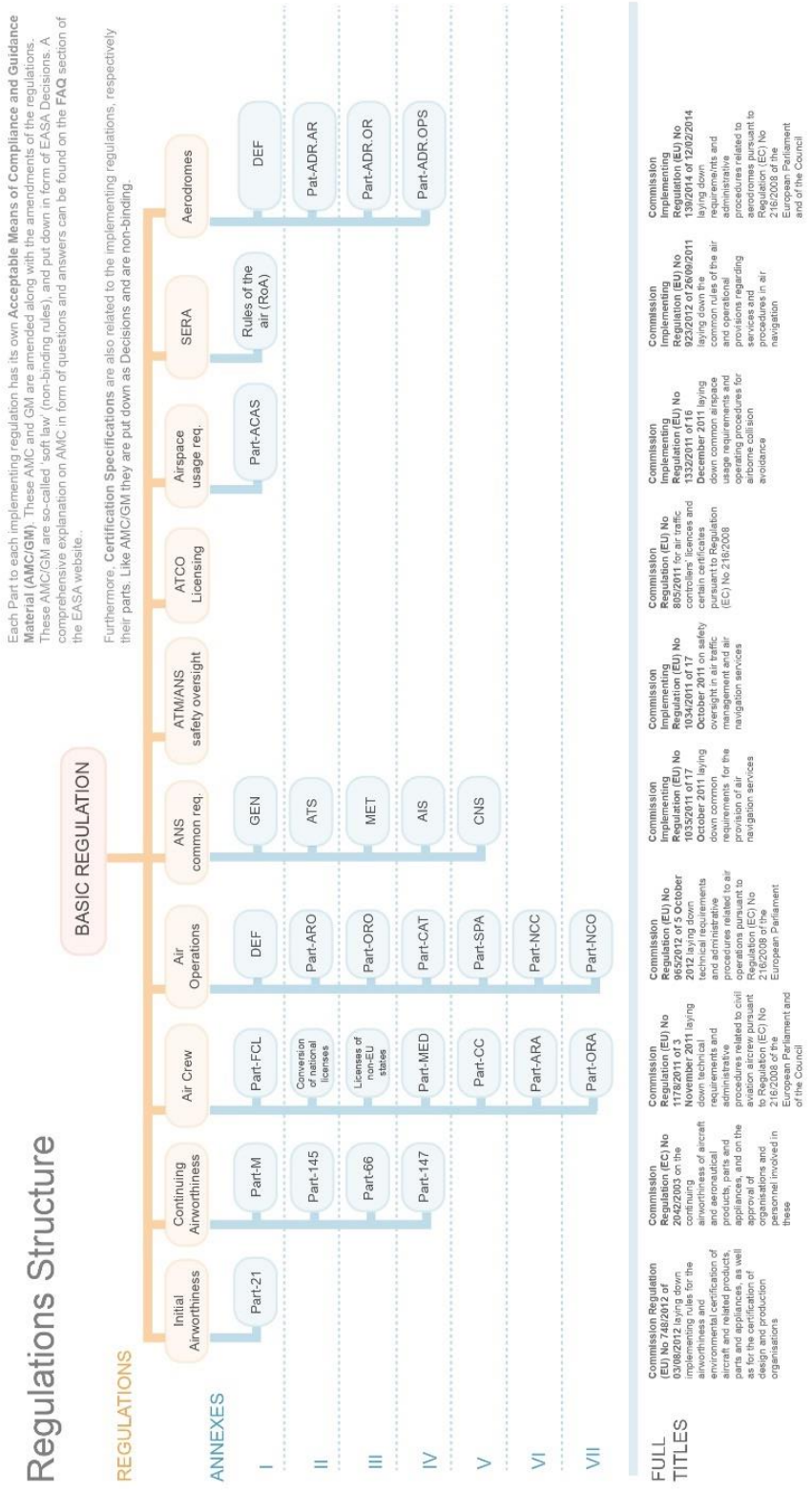
Iz priloženog dijagrama vidljivo je da što je veća masa to će biti veća potrebna duljina za zalet.

3. Dokumenti vezani uz proceduru

EASA izdaje regulacije koje svaka država članica odnosno njezina zrakoplovna vlast mora provoditi. Jedna od tih regulacija je „*Air Operations*“ odnosno Zračne Operacije. IV. aneks navedene regulacije jest „*Part CAT*“ koji je vezan uz komercijalni zračni promet. Svaki aneks ima svoje vlastite prihvatljive načine usklađenosti i smjernice (engl. *Acceptable Means of Compliance and Guidance Material*). Na slici ispod nalazi se vizualizacija strukture regulacija.

Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex IV Commercial air transport operations [Part-CAT] dokument je na kojemu se ovaj završni rad temelji.

U poglavlju *AMC2 CAT.POL.MAB.100(e)* je detaljno opisana procedura za određivanje revidiranih standardnih masa za putnike u zrakoplovu.



Each Part to each implementing regulation has its own **Acceptable Means of Compliance and Guidance Material (AMC/GM)**. These AMC and GM are amended along with the amendments of the regulations. These AMC/GM are so-called 'soft law' (non-binding rules), and put down in form of EASA Decisions. A comprehensive explanation on AMC in form of questions and answers can be found on the **FAQ** section of the EASA website.

Furthermore, **Certification Specifications** are also related to the implementing regulations, respectively their parts. Like AMC/GM they are put down as Decisions and are non-binding.

Slika 3: Struktura regulacija

4. Procedura određivanja revidiranih standardnih masa putnika u zrakoplovu

4.1. Općenito o proceduri

Za računanje potrebnog broja vaganih ljudi potrebno je odrediti procjenu standardne devijacije temeljenu na ranijim mjerenjima ili mjerenjima na sličnoj populaciji. Preciznost uzorka vaganja procjenjuje se sa 95 % vjerojatnošću da masa putnika potpada u vrijednosni interval oko pretpostavljene najčešće mase.

Sljedećom formulom računa se potreban broj uzoraka za masu putnika:

$$n \geq \frac{(1,96 * \sigma' * 100)^2}{(e_r' * \mu')^2}$$

Gdje su:

n = potreban broj vaganih putnika

μ, σ = prave vrijednosti prosječne mase putnika i standardne devijacije koje su nepoznate, a do kojih se dolazi putem vaganja

μ', σ' = 'a priori' vrijednosti prosječne mase putnika i standardne devijacije dobivene od ranijeg mjerenja, koje su potrebne za određivanje potrebnog broja vaganih putnika

\bar{x}, s = srednja masa putnika i standardna devijacija e_r' ja, izračunate iz uzorka

e_r' = dozvoljena preciznost za μ uvjetovanu s \bar{x} . Ukoliko se na primjer želi utvrditi vrijednost prosječne mase s preciznosti ± 1 % tada se uzima da je $e_r' = 1$.

1,96 = vrijednost iz Gaussove distribucije za 95 % nivoa značajnosti rezultatnog intervala mase

4.2 Izračun prosječne mase i standardne devijacije

Ukoliko je uzorak vaganih putnika uzet nasumično, tada je \bar{x} jednak μ .

(1) Prosječna masa putnika dobiva se formulom:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

x_j ... masa pojedinog putnika

(2) Standardna devijacija dobiva se formulom:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$x_j - \bar{x}$... devijacija individualne vrijednosti mase od srednje vrijednosti

(3) Provjera preciznosti vrijednosti srednje mase uzorka. Preciznost vrijednosti srednje mase uzorka kao indikator stvarne vrijednosti srednje mase je funkcija standardne devijacije uzorka koja se mora provjeriti nakon evaluacije uzorka. To se radi sljedećom formulom:

$$e_r = \frac{1,96 * S * 100}{\sqrt{n} * \bar{x}} (\%)$$

Gdje e_r' ne bi trebao prijeći 1 % za sve prosječne mase odraslih putnika te 2 % za prosječne mase muških ili ženskih putnika. Rezultat ove kalkulacije daje relativnu preciznost pretpostavljene vrijednosti μ pri 95 %-tnom nivou značajnosti. Ovo znači da je 95 % vjerojatno da masa izvagane osobe leži u izračunatom intervalu:

$$\bar{x} \pm \frac{1,96 * S}{\sqrt{n}}$$

4.3 Oprema i vremenski uvjeti pri vaganju

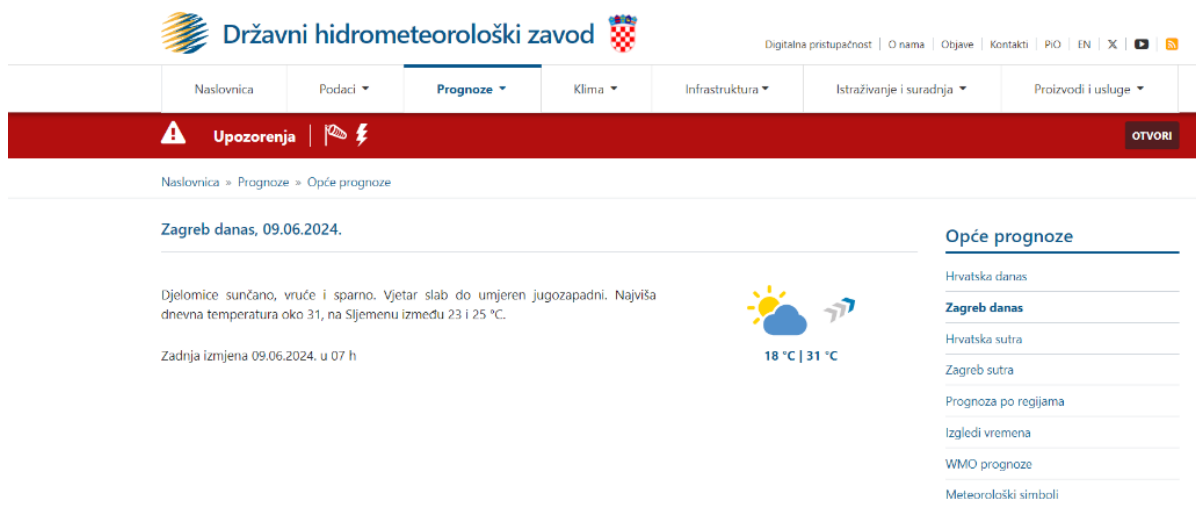
Sva mjerenja mase putnika izvršena su s dijagnostičkom vagom „Beurer BF 195 Limited Edition“. Kapacitet vage je 180 kg, a razlučivost 100 g.



Slika 4: Vaga beurer BF 195 Limited Edition

Izvor: [9]

Vaganje je odrađeno 09. 06. 2024. u 12h na području Novog Zagreba (Travno).



Slika 5: Vremenska prognoza za Zagreb 09. 06. 2024

Izvor: [10]

Iz dostupnih meteoroloških podataka evidentna je relativno visoka temperatura zraka i vremenski uvjeti bez padalina. Vagani ljudi bili su lagano obučeni.

Ukupno je izvagano 100 ljudi, od kojih je 80 muškaraca i 20 žena jer procedura opisana u AMC2 CAT.POL.MAB.100(e) tako nalaže.

Pretpostavka prije proračuna revidiranih standardnih masa jest da će one iznositi nešto manje od propisanih zbog toplih vremenskih uvjeta.

4.4 Određivanje potrebnog broja vaganih putnika i prosječne mase putnika

Za računanje potrebnog broja vaganih putnika potrebne su pretpostavljene vrijednosti prosječnih masa putnika i standardne devijacije. 'A priori' vrijednosti od ranijih istraživanja mogu se koristiti za ovu svrhu. Ukoliko 'a priori' vrijednosti nisu dostupne, može se uzeti mali uzorak od 100 putnika te se mogu izračunati potrebni parametri. Potonje će se koristiti u ovoj studiji.

Tablica 3: Određivanje prosječne mase putnika vaganjem putnika

n	x_j (kg)
1	84,9
2	60,5
3	69,0
4	52,3
5	79,0
6	69,2
7	84,2
8	55,9
9	95,1
10	85,2
11	62,4
12	62,1
13	58,3
14	56,2
15	94,0
16	50,9
17	72,2
18	95,2
19	100,1
20	73,2
21	96,3
22	82,8
23	73,5
24	69,4
25	105,3
26	71,8
27	79,2
28	116,5
29	83,5
30	57,1
31	97,6
32	77,0
33	94,5
34	61,5

n	x_j (kg)
35	93,1
36	77,1
37	98,5
38	66,2
39	88,9
40	56,6
41	94,7
42	74,5
43	88,4
44	99,9
45	81,8
46	115,2
47	94,6
48	80,1
49	109,3
50	85,8
51	73
52	90,4
53	92,7
54	101,2
55	93,1
56	97,5
57	91,8
58	137,1
59	95,0
60	66,6
61	121,2
62	119,5
63	91,6
64	92,9
65	78,3
66	101,5
67	98,1
68	82,0

69	78,0
70	102,6
71	106,0
72	88,2
73	95,7
74	86,5
75	81,2
76	83,0
77	97,8
78	102,2
79	96,7
80	98,1
81	78,9
82	81,3
83	77,4
84	92,7
85	101,0
86	100,4
87	83,4
88	86,4
89	75,6
90	95,1
91	78,9
92	95,4
93	96,7
94	84,0
95	89,6
96	76,9
97	78,4
98	97,0
99	76,1
100	75,8
$\sum_{j=1}^{100}$	8582,1

Korak 1: Određivanje prosječne mase putnika

$$\mu' = \bar{x} = \frac{\sum x_j}{n} = \frac{8582,1}{100} = 85,82 \text{ kg}$$

Tablica 4: Pretpostavljena standardna devijacija

n	x_j	$(x_j - \bar{x})$	$(x_j - \bar{x})^2$
1	84,9	-0,92	0,85
2	60,5	-25,32	641,1
3	69,0	-16,82	282,91
4	52,3	-33,52	1123,59
5	79,0	-6,82	46,51
6	69,2	-16,62	276,22
7	84,2	-1,62	2,62
8	55,9	-29,92	895,21
9	95,1	+9,28	86,12
10	85,2	-0,62	0,38
11	62,4	-23,42	548,50
12	62,1	-23,72	562,64
13	58,3	-27,52	757,35
14	56,2	-29,62	877,34
15	94,0	+8,18	66,91
16	50,9	-34,92	1219,41
17	72,2	-13,62	185,50
18	95,2	+9,38	87,98
19	100,1	+14,28	203,92
20	73,2	-12,62	159,26
21	96,3	+10,48	109,83
22	82,8	-3,02	9,12
23	73,5	-12,32	151,78
24	69,4	-16,42	269,92
25	105,3	+19,48	379,47
26	71,8	-14,02	196,56
27	79,2	-6,62	43,82
28	116,5	+30,68	941,26
29	83,5	-2,32	5,38
30	57,1	-28,72	824,84
31	97,6	+11,78	138,77
32	77,0	-18,82	354,19
33	94,5	+8,68	75,34

n	x_j	$(x_j - \bar{x})$	$(x_j - \bar{x})^2$
34	61,5	-24,32	591,46
35	93,1	+7,28	53,00
36	77,1	-8,72	76,04
37	98,5	+12,68	160,78
38	66,2	-19,62	384,94
39	88,9	+3,08	9,49
40	56,6	-29,22	853,81
41	94,7	+8,88	78,85
42	74,5	-11,32	128,14
43	88,4	+2,58	6,66
44	99,9	+14,08	198,25
45	81,8	-4,02	16,16
46	115,2	+29,38	863,18
47	94,6	+8,78	77,09
48	80,1	-5,72	32,72
49	109,3	+23,48	551,31
50	85,8	-0,02	0
51	73	-12,82	164,35
52	90,4	+4,58	20,98
53	92,7	+6,88	47,33
54	101,2	+15,38	236,54
55	93,1	+7,28	53,00
56	97,5	+11,68	136,42
57	91,8	+5,98	35,76
58	137,1	+41,28	1704,04
59	95,0	-9,18	84,27
60	66,6	-19,22	369,41
61	121,2	+35,38	1251,74
62	119,5	+33,68	1134,34
63	91,6	+5,78	3,41
64	92,9	+7,08	50,13
65	78,3	-7,52	56,55
66	101,5	+15,68	245,86

67	98,1	+12,28	150,80
68	82,0	-3,82	14,59
69	78,0	-7,82	61,15
70	102,6	+16,78	281,57
71	106,0	+20,18	407,23
72	88,2	+2,38	5,66
73	95,7	+9,88	97,61
74	86,5	+0,68	0,46
75	81,2	-4,62	21,34
76	83,0	-2,82	7,95
77	97,8	+11,98	143,52
78	102,2	+16,38	268,30
79	96,7	+10,88	118,37
80	98,1	+12,28	150,80
81	78,9	-6,92	46,51
82	81,3	-4,52	20,43
83	77,4	-8,42	70,90
84	92,7	+6,88	47,33

85	101,0	+15,18	230,43
86	100,4	+14,58	212,58
87	83,4	-2,42	5,86
88	86,4	+0,58	0,34
89	75,6	-10,22	104,45
90	95,1	+9,28	86,12
91	78,9	-6,92	47,89
92	95,4	+9,58	91,78
93	96,7	+10,88	118,37
94	84,0	-1,82	3,31
95	89,6	+3,78	14,29
96	76,9	-8,92	79,57
97	78,4	-7,42	50,06
98	97,0	+11,18	125,00
99	76,1	-9,82	96,43
100	75,8	-10,02	100,4
	8582,1		24482,01

Korak 2: Izračun pretpostavljene standardne devijacije

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum(x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma' = \sqrt{\frac{24482,01}{100 - 1}}$$

$$\sigma' = 15,72 \text{ kg}$$

Korak 3: Izračun potrebnog broja vaganih putnika

Potreban broj vaganih putnika mora biti takav da raspon unutar kojeg su mase putnika, e_r' ne premašuje 1 %.

$$n \geq \frac{(1,96 * \sigma' * 100)^2}{(e_r' * \mu')^2}$$

$$n \geq \frac{(1,96 * 15,72 * 100)^2}{(1 * 85,82)^2}$$

$$n \geq 1289$$

Rezultat pokazuje da je potrebno izvagati barem 1289 ljudi kako bi se ostvarila tražena preciznost. Ukoliko se odabere e_r' od 2 % rezultat bi bio $n \geq 323$.

(2) Određivanje prosječne mase putnika

Korak 1: Nakon dobivanja potrebnog broja vaganih ljudi, može se izračunati prosječna masa putnika. Za svrhu ove studije, koristit će se vrijednosti mase dobivene generiranjem nasumičnih vrijednosti brojeva iz intervala $\bar{x} \pm \sigma'$ koji odgovara pretpostavljenoj srednjoj masi putnika \pm pretpostavljena standardna devijacija (68,1 – 101,54 kg). Ukupna masa nasumično generiranih masa putnika iznosi 110447,6 kg.

$$n = 1289$$

$$\sum_{j=1}^{1289} x_j = 110447,6 \text{ kg}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_j}{n} = \frac{110447,6}{1289}$$

$$\bar{x} = 85,7 \text{ kg}$$

Korak 2: Izračun standardne devijacije

$$\sum (x_j - \bar{x})^2 = 114106,3$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{114106,3}{1288}}$$

$$s = 9,41 \text{ kg}$$

Korak 3: Izračun preciznosti uzorka

$$e_r = \frac{1,96 * s * 100}{\sqrt{n} * \bar{x}} \%$$

$$e_r = \frac{1,96 * 9,41 * 100}{\sqrt{1289} * 85,7} \%$$

$$e_r = 0,6 \%$$

Korak 4: Izračun raspona točnosti uzorka

$$\bar{x} \pm \frac{1,96 * s}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x} \pm \frac{1,96 * 9,41}{\sqrt{1289}} \text{ kg}$$

$$85,7 \pm 0,5 \text{ kg}$$

Rješenje izračuna pokazuje da postoji 95 % vjerojatnost da prosječna masa putnika potpada u interval između 85,2 i 86,2 kg.

4.5. Procedura s 2% preciznosti

Kao što je navedeno ranije, ukoliko se želi odraditi studija sa 2 % preciznosti, potreban je manji broj vaganih putnika ($n \geq 323$).

Korak 1: Određivanje prosječne mase putnika

Potrebno je odrediti prosječnu masu putnika. Vrijednosti masa putnika ponovno će biti generirane nasumično iz intervala $\bar{x} \pm \sigma'$ koji odgovara pretpostavljenoj srednjoj masi putnika \pm pretpostavljena standardna devijacija (68,1 – 101,54 kg). Suma generiranih masa jest 27458,5 kg.

$n \geq 323$

$$\sum_{j=1}^{323} x_j = 27458,5 \text{ kg}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_j}{n} = \frac{27458,5}{323}$$

$$\bar{x} = 85 \text{ kg}$$

Korak 2: Izračun standardne devijacije

$$\sum (x_j - \bar{x})^2 = 28103,77$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{28103,77}{322}}$$

$$s = 9,34 \text{ kg}$$

Korak 3: izračun preciznosti uzorka

$$e_r = \frac{1,96 * s * 100}{\sqrt{n} * \bar{x}} \%$$

$$e_r = \frac{1,96 * 9,34 * 100}{\sqrt{323} * 85} \%$$

$$e_r = 1,2 \%$$

Korak 4: Izračun raspona točnosti uzorka

$$\bar{x} \pm \frac{1,96 * s}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x} \pm \frac{1,96 * 9,34}{\sqrt{323}} kg$$

$$85 \pm 1 kg$$

Rješenje izračuna pokazuje da postoji 95 % vjerojatnost da prosječna masa putnika potpada u interval između 84 i 86 kg.

4.6. Analiza rezultata studije

Rezultati obje procedure ukazuju na povećanu vrijednost standardnih masa putnika. To opovrgava početnu pretpostavku da će zbog toplih vremenskih uvjeta standardne mase putnika biti manje. Ovo nije nužno loša stvar jer se korištenjem dobivenih revidiranih masa povećava sigurnost leta. Zračni prijevoznici raspolažu daleko većim kapacitetom mjerenja masa putnika te bi studija s mogućnostima jedne avio kompanije bila dodatno precizna.

5. Podnošenje zahtjeva za korištenje revidiranih masa putnika

Operator mora utvrditi detaljan plan mjerenja mase putnika i podnijeti zahtjev zrakoplovnoj vlasti države za korištenje revidiranih masa putnika. Takav plan mjerenja mora sadržavati podatke o lokaciji, datumu i broju leta kako bi se što bolje opisali uvjeti u kojima su mjerenja izvršena. Putnici zajedno s njihovim stvarima moraju biti vagani što bliže mjestu ukrcaja u zrakoplov te mora biti zabilježen podatak o kategoriji putnika (muškarac/žena/dijete). Značajnija odstupanja u mjerenjima moraju biti objašnjena kao i njihov utjecaj na rezultate. Prosječne mase muškaraca i žena razlikuju se za 15 kg ili više. Standardne mase za odrasle putnike moraju biti računane po referentnom omjeru muškaraca i žena 80/20 osim za „*holiday charter*“ letove kada se uzima omjer 50/50. Operator predaje izvještaj o vaganju zrakoplovnoj vlasti u sljedećem obliku:

Prilog 1: Izvještaj o vaganju

1. UVOD

Zadatak i ukratko objašnjenje .

2. PLAN ISTRAŽIVANJA VAGANJA

Rasprava o odabiru broja leta, aerodromima, datumima itd.

Određivanje minimalnog broja vaganih putnika.

Plan istraživanja.

3. ANALIZA I DISKUSIJA REZULTATA

Značajna odstupanja u mjerenjima (ukoliko ih ima).

Standardna devijacija.

4. SAŽETAK REZULTATA I ZAKLJUČAK

Glavni rezultati i zaključci.

Zahtijevane devijacije od objavljenih standardnih masa.

Privitak 1

Primjenjivi ljetni i/ili zimski rasporedi ili letni programi.

Privitak 2

Rezultati vaganja po letu (koji pokazuju individualnu masu svakog putnika i spol), srednja vrijednost i standardna devijacija po letu, po ruti i za sve letove zajedno.

Izvor: [2]

6. Zaključak

Standardne mase putnika u zrakoplovu praktične su za korištenje. Propisane su za zrakoplove s obzirom na kapacitet putničkih sjedala. Pri određivanju standardnih masa korištena je margina sigurnosti koja osigurava da vjerojatno neće doći do prekoračenja maksimalnih propisanih masa za zrakoplov.

Dok s jedne strane olakšavaju i ubrzavaju izračune masa i balansa zrakoplova s druge strane postoji vjerojatnost njihove nepouzdanosti. Ta nepouzdanost može uzrokovati kompanijama novčane gubitke uslijed neoptimalnog opterećenja zrakoplova, a ekstremnom slučaju ozbiljne probleme sa sigurnošću leta. Ova studija pokazala je da unatoč očekivanoj manjoj revidiranoj masi putnika zbog toplih vremenskih prilika može doći do neočekivanih rezultata.

Bilo bi poželjno da zračni prijevoznici izrađuju studije revidiranih putničkih masa ovisno o podneblju aerodroma polijetanja i slijetanja, dobu godine i vrsti leta. Na taj način povećala bi se sigurnost i učinkovitost letenja što uvelike doprinosi zračnim prijevoznicima s ekonomske strane i ugleda.

Literatura

- [1] EU. Commission Regulation (EU) No 965/2012 of 5 October 2012 laying down technical requirements and administrative procedures related to air operations pursuant to Regulation (EC) No 216/2008 of the European Parliament and of the Council. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32012R0965&qid=1649401475582> [Pristupljeno 10. srpnja 2024.]
- [2] EASA. Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex IV Commercial air transport operations [Part-CAT] of Commission Regulation (EU) 965/2012 on air operations. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials/amc-and-gm-annex-iv-part-cat> [Pristupljeno 10. srpnja 2024.]
- [3] Skybrary . Centre of Gravity(CG). Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/centre-gravitycg> [Pristupljeno 11. Srpnja 2024.]
- [4] NTSB. Loss of Pitch Control During Takeoff Air Midwest Flight 5481 Raytheon (Beechcraft) 1900D, N233YV Charlotte, North Carolina January 8, 2003. Preuzeto s: <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR0401.pdf> [Pristupljeno 14. srpnja 2024.]
- [5] FAA. Weight and balance handbook. Preuzeto s: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2023-09/Weight_Balance_Handbook.pdf [Pristupljeno 17. srpnja 2024.]
- [6] EASA. Regulations Structure. Preuzeto s: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/regulations_structure-18032014.pdf [Pristupljeno 17. srpnja 2024.]
- [7] ATR. Weight and Balance Manual. Preuzeto s: <https://www.scribd.com/document/468787525/ATR-Weiht-And-Ballance-Load-Sheet> [Pristupljeno: 17. srpnja 2024.]
- [8] ATR. ATR 72 Airplane Flight Manual. Preuzeto s: <https://www.scribd.com/document/354502304/AFM-FCOM-ATR-72-212-Jul-16> [Pristupljeno 17. srpnja 2024.]
- [9] Beurer. BF 195. Preuzeto s: <https://www.beurer.com/de/p/74816/> [Pristupljeno 09. lipnja 2024.]
- [10] DHMZ. Zagreb danas, 09. lipnja 2024. Preuzeto s: https://meteo.hr/prognoze.php?section=prognoze_metp¶m=zgdanas [Pristupljeno 09. lipnja 2024.]

[11] National Geographic. This airline is now weighing passengers — but why? Preuzeto s: <https://www.nationalgeographic.com/travel/article/should-airlines-be-weighing-passengers> [Pristupljeno 25. Srpnja 2024.]

[12] CNN. Airline starts weighing passengers at the gate. Preuzeto s: <https://edition.cnn.com/travel/article/finnair-passenger-weight-trial/index.html> [Pristupljeno 26. Srpnja 2024.]

Popis slika, tablica i priloga

Slika 1: List opterećenja zrakoplova	8
Slika 2: Dijagram potrebne duljine za zalet pri polijetanju za zrakoplov ATR-72	9
Slika 3: Struktura regulacija	11
Slika 4: Vaga beurer BF 195 Limited Edition	14
Slika 5: Vremenska prognoza za Zagreb 09. 06. 2024.....	14
Tablica 1: Standardne mase putnika ovisno o broju putničkih sjedala i vrsti leta	6
Tablica 2: Standardne mase za prtljagu na zrakoplovima s 20 i više putničkih sjedala.....	7
Tablica 3: Određivanje prosječne mase putnika vaganjem putnika	15
Tablica 4: Pretpostavljena standardna devijacija	16
Prilog 1: Izvještaj o vaganju	22

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Određivanje revidiranih standardnih masa za putnike u zrakoplovu, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 03. 09. 2024.

Karlo Polančec 
(ime i prezime, *potpis*)