



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com



Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova  
te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke

- pročišćeni tekst -

- NN 75/09, NN 60/16 i 117/18 -

**SADRŽAJ:**

Članak 1 .....	4
Članak 1.a .....	4
Članak 2 .....	4
Članak 3 .....	4
Članak 4 .....	5
Članak 5 .....	5
Članak 6 .....	5
Članak 7 .....	5
Članak 8 .....	6
Članak 9 .....	7
Članak 10 .....	7
Članak 11 .....	7
Članak 12 .....	7
Članak 13 .....	8
Članak 14 .....	9
Članak 15 .....	9
Članak 16 .....	10
Članak 17 .....	10
Članak 18 .....	10
Članak 19 .....	11
Članak 20 .....	11
Članak 21 .....	11
Članak 22 .....	12
Članak 24 .....	14
Članak 25 .....	14
Članak 26 .....	15
Članak 27 .....	15
Članak 27. a .....	15
Članak 28 .....	15
Članak 29 .....	16
Članak 30 .....	16
Članak 31 .....	17
Članak 32 .....	17
Članak 33 .....	18
Članak 34 .....	18
PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE iz NN 60/16 .....	18
Članak 25 .....	18
Članak 26 .....	18

PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE iz NN 117/18.....	18
Članak 16. .....	18
Članak 17. .....	19
PRILOG I.....	19
INDIKATORI BUKE I POLOŽAJ OCJENSKIH TOČAKA.....	19
PRILOG II.....	21
METODE OCJENE ZA INDIKATORE BUKE .....	21
1. Uvod .....	21
2. Zajedničke metode ocjene buke .....	21
Dodatak A .....	116
ZAHTJEVI U POGLEDU PODATAKA.....	116
Dodatak B .....	122
IZRAČUNI PERFORMANSI LETA.....	122
Dodatak C .....	139
MODELIRANJE BOČNE RASPRŠENOSTI TLOCRTA PUTANJE.....	139
Dodatak D .....	142
PONOVNI IZRAČUN NPD PODATAKA ZA NEREFERENTNE UVJETE .....	142
Dodatak E .....	144
Dodatak F.....	148
BAZA PODATAKA ZA IZVORE BUKE CESTOVNOG PROMETA .....	148
Dodatak G .....	154
BAZA PODATAKA ZA IZVORE BUKE PRUŽNOG PROMETA .....	154
Prilog H .....	167
PRILOG III.....	210
PRILOG V.....	212
PODACI KOJI SE DOSTAVLJaju EUROPSKOJ KOMISIJI .....	212

## Članak 1.

Ovim Pravilnikom uređuje se način izrade i sadržaj karata buke i akcijskih planova te način izračuna dopuštenih indikatora buke.

### Članak 1.a

Ovim se Pravilnikom u pravni poredak Republike Hrvatske prenosi Direktiva 2002/49/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 25. lipnja 2002. godine o procjeni i upravljanju bukom okoliša i Izjava Komisije u Odboru za mirenje o Direktivi o procjeni i upravljanju bukom okoliša (SL 189, 18. 7. 2002.), Direktiva Komisije (EU) 2015/996 od 19. svibnja 2015. o uspostavi zajedničkih metoda ocjene buke u skladu s Direktivom 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća (SL 168/1, 1. 7. 2015.) i Ispravak Direktive Komisije (EU) 2015/996 od 19. svibnja 2015. o uspostavi zajedničkih metoda ocjene buke u skladu s Direktivom 2002/49/EZ Europskog parlamenta i Vijeća (Službeni list Europske unije L 168 od 1. srpnja 2015.) (SL 5, 10. 1. 2018.).

## Članak 2.

Za izradu strateških karata buke koristi se indikator buke za razdoblje »dan-večer-noć«  $L_{den}$  i indikator za razdoblje »noć«  $L_{night}$  izraženi u dB(A). Indikatori buke i položaj ocjenskih točaka indikatora određuju se sukladno Prilogu I. koji je otisnut uz ovaj Pravilnik i čini njegov sastavni dio.

Za akustičko planiranje i određivanje područja zaštite od buke pored indikatora buke navedenih u stavku 1. ovoga članka koristi se i indikator buke za razdoblje »dan«  $L_{day}$  i indikator buke za razdoblje »večer«  $L_{evening}$ .

## Članak 3.

Osim indikatora buke  $L_{den}$ ,  $L_{night}$ ,  $L_{day}$  i  $L_{evening}$  u cilju utvrđivanja posebnih uvjeta korištenja prostora, kao i posebnosti izvora buke koriste se posebni indikatori buke i s njima povezane granične vrijednosti i to:

- kada promatrani izvor buke djeluje samo kratko vrijeme (npr. manje od 20% vremena od ukupnih razdoblja »dan« jedne godine, ukupnih razdoblja »večer« jedne godine ili ukupnih razdoblja »noć« jedne godine)

- kada je prosječan broj događaja buke u jednom ili više razdoblja vrlo mali (npr. manje od jednog bučnog događaja na sat), pri čemu je događaj defi niran kao buka trajanja kraćeg od 5 minuta (npr. buka od prolaska vlaka ili preleta zrakoplova)
- kada se radi o buci koja sadrži istaknutu niskofrekvenčnu komponentu
- indikatori  $LA_{max}$  ili razina izloženosti zvuku  $L_E$  (SEL) pri razmatranju istaknutih pojedinačnih vršnih vrijednosti buke
- kada je potrebna posebna zaštita od buke vikendom ili u određenim dijelovima godine
- kada je potrebna posebna zaštita u razdoblju »dan«
- kada je potrebna posebna zaštita u razdoblju »večer«
- kada se ocjenjuje ukupna buka iz različitih izvora
- kada se radi o tihim područjima u prirodi i/ili izvan naseljenih područja
- kada se radi o buci koja sadrži istaknute tonove
- kada se radi o buci koja sadrži impulse.

#### Članak 4.

U postupku određivanja ocjenske vrijednosti indikatora buke izrađenih pomoću računalnih metoda navedenih u članku 6. ovoga Pravilnika razmatra se isključivo upadni zvuk.

#### Članak 5.

Vrijednosti indikatora buke  $L_{den}$  i indikatora buke  $L_{night}$  određuju se proračunom ili mjeranjem na mjestu ocjene.

Kod predviđanja vrijednosti indikatora buke primjenjuje se isključivo proračun računalnim metodama iz članka 6. ovoga Pravilnika.

#### Članak 6.

Računalne metode proračuna i ocjene buke okoliša jesu metode koje su navedene u Prilogu II. koji je u Dodatku ovoga Pravilnika i čini njegov sastavni dio.

#### Članak 7.

Za određivanje štetnog učinka na stanovništvo mora se upotrebljavati odnos doza-učinak buke.

Ocjena odnosa doza-učinak buke mora biti prikazana:

- odnosom između smetanja bukom i indikatora buke  $L_{den}$  za cestovni, željeznički, zračni promet i za buku industrijskih pogona i postrojenja

- odnosom između poremećaja sna izazvanog bukom i indikatora buke  $L_{night}$  za cestovni, željeznički, zračni promet i za buku industrije

Za detaljnije karte buke posebni odnosi doza-učinak buke predstavljaju se sa:

- brojem stambenih jedinica za stalno stanovanje s posebnom zvučnom izolacijom,
- brojem stambenih jedinica za stalno stanovanje s tihom fasadom,
- različitim meteorološkim prilikama,
- različitim socio-kulturološkim navikama,
- stanovništvom posebno osjetljivim na buku,
- tonalnom i impulsnom komponentom buke industrije.

### Članak 8.

Karta buke kao osnovni element sustava zaštite od buke jest podloga za međusobnu suradnju svih sudionika na provođenju zaštite od buke prilikom:

- izrade strateške procjene utjecaja na okoliš,
- izrade procjena o utjecaju na okoliš,
- izrade prostornih planova,
- određivanja lokacijskih uvjeta,
- određivanja posebnih uvjeta gradnje građevina u smislu zaštite od buke,
- određivanja granica tihih zona,
- utvrđivanja zona osjetljivosti na buku,
- određivanja broja stanovnika izloženih prekomjernim razinama buke,
- praćenja broja stambenih jedinica za stalno stanovanje izloženih prekomjernim razinama buke,
- praćenja broja stambenih jedinica za stalno stanovanje s posebnom zvučnom izolacijom,

- izrade akcijskih planova za područja na kojima je u karti buke utvrđeno prekomjerno izlaganje stanovništva određenim razinama buke.

### Članak 9.

Strateške karte buke su karte buke koje obuhvaćaju samo jedan određeni izvor buke tj. cestovni, željeznički, zračni promet i industrijskih pogona i postrojenja, uključujući i pomorski i riječni promet zajedno s pripadajućom infrastrukturom te objekte za šport i rekreativnu rekreaciju itd.

Strateška karta buke izrađuje se za vremenska razdoblja ‘noć’ i ‘dan-večer-noć’.

Karta buke izrađuje se za vremenska razdoblja ‘dan’, ‘večer’, ‘noć’ i ‘dan-večer-noć’.

### Članak 10.

Strateška karta buke odražava stanje razina buke u kalendarskoj godini koja prethodi godini izrade strateške karte buke.

Strateška karta buke i akcijski plan upravljanja bukom usklađuju se trajno s izmjenama u prostoru, a obvezno se izrađuju svakih 5 godina za kalendarske godine određene propisima kojima je uređeno područje zaštite od buke.

### Članak 11.

Strateška karta buke izrađuje se pomoću validiranih računalnih programa.

Računalni program iz stavka 1. ovoga članka mora omogućavati proračun razina buke pomoću računalnih metoda navedenih u Prilogu II. koji je u Dodatku ovoga Pravilnika i čini njegov sastavni dio i mora biti izrađen u skladu sa zahtjevima norme DIN 45687 »Akustika – Programska podrška za izračun širenja zvuka na otvorenom – Zahtjevi kvalitete i uvjeti ispitivanja« i/ili norme ISO 17534 »Akustika – Programska podrška za izračun širenja zvuka na otvorenom«.

### Članak 12.

Strateška karta buke upotrebljava se prvenstveno kao:

- izvor podataka koje treba slati nadležnom tijelu iz članka 28. ovoga Pravilnika,
- izvor podataka za informiranje javnosti,
- osnova za akcijske planove u skladu sa članka 30. ovoga Pravilnika.

Primjena strateške karte buke iz stavka 1. ovoga članka zahtijeva izradu različite vrste strateške karte buke.

U svrhu informiranja javnosti u skladu s člankom 26. ovoga Pravilnika i izradom akcijskih planova u skladu sa člankom 30. ovoga Pravilnika mora biti predočeno:

- grafički prikazi indikatora buke  $L_{night}$  odnosno  $L_{den}$ ,
- karte koje prikazuju područja s prekoračenjem dopuštenih vrijednosti za minimalno razdoblje »noć«,
- razlikovne karte u kojima je postojeće stanje uspoređeno s različitim mogućim budućim situacijama,
- karte koje prikazuju vrijednosti indikatora buke na visinama različitim od 4 metra, gdje je to prikladno.

### Članak 13.

Strateška karta buke sadrži najmanje:

- postojeće, prethodno ili predviđeno stanje buke izraženo indikatorom buke iz članka 2. ovoga Pravilnika,
- prekoračenje dopuštenih razina buke,
- procijenjeni broj stambenih jedinica za stalno stanovanje, škola, bolnica i zgrada sličnih namjena u nekom području koji su izloženi određenim vrijednostima indikatora buke,
- procijenjeni broj ljudi na nekom području izloženom buci.

Strateške karte buke prikazuju se javnosti na jedan ili više sljedećih načina u elektroničkom i/ili tiskanom obliku:

- grafički prikaz u obliku mrežnih GIS preglednika
- brojčani podaci u tablicama
- brojčani podaci u elektroničkom obliku.

## Članak 14.

U slučaju nepostojanja realnog podatka potrebnog za izradu strateške karte buke ili akcijskog plana, kao izvor zamjenskih podataka rabi se posljednje izdanje dokumenta Europske komisije »Radna skupina za ocjenu izloženosti buci – Polazne osnove – Vodič kroz dobru stručnu praksu izrade strateških karata buke i s njima povezanih podataka o izloženosti buci« (eng. »European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) – Position Paper – Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure«), dostupno na: [https://www.lfu.bayern.de/laerm/eg\\_umgebungslaermrichtlinie/doc/good\\_practice\\_guide\\_2007.pdf](https://www.lfu.bayern.de/laerm/eg_umgebungslaermrichtlinie/doc/good_practice_guide_2007.pdf).

Za primjenu Priloga II. ovoga Pravilnika potrebno je koristiti posljednje izdanje dokumenta Europske komisije »Zajedničke metode ocjene buke u Europi (CNOSSOS-EU)« (eng. »Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)«), dostupno na: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/common-noise-assessment-methods-europe-cnossos-eu>, kao i buduće dokumente Europske komisije o primjeni metode CNOSSOS-EU.

Za korištenje dokumenata iz stavaka 1. i 2. ovoga članka naručitelj izrade strateške karte buke ili akcijskog plana mora biti upoznat i suglasan s uvjetima uporabe zamjenskih podataka.

Korištenje dokumenata iz stavaka 1. i 2. ovoga članka mora biti evidentirano te se detaljne informacije o njihovom korištenju moraju dostaviti ministarstvu u okviru završnih elaborata strateške karte buke i/ili akcijskog plana upravljanja bukom.

## Članak 15.

Obveznici izrade karata buke osiguravaju trodimenzionalni digitalan model područja izrade karte buke.

Digitalan model područja izrade iz stavka 1. ovoga članka mora sadržavati:

- relativan međuodnos visinskih točaka s najvećom mogućom dostupnom točnošću, ali ne lošijom od 1,5 metara,
- prijelomnice, linije oblika i visinske točke,
- sve građevine i vrste pokrova terena.

Svi korišteni podaci za izradu digitalnoga modela područja karata buke navode se u tekstualnome dijelu karte buke s točnim navodom izvora podataka kao i godinom izrade podataka.

### Članak 16.

Strateška karta buka naseljenih područja mora obuhvatiti buku koju emitira:

- cestovni promet
- željeznički promet
- zračne luke
- industrijska područja, uključujući pomorski i riječni promet i luke.

### Članak 17.

Za potrebe izrade strateške karte buke cestovnog prometa naseljenih područja obuhvaćaju se najmanje sve ceste s više od 3.000.000 prolaza vozila godišnje, a koje uključuju javne (autoceste, državne, županijske i lokalne ceste) i nerazvrstane ceste.

Za izradu strateške karte buke cestovnog prometa naseljenih područja upotrebljavaju se službeni podaci pravnih osoba koje upravljaju javnim cestama.

Za potrebe izrade strateške karte buke željezničkog prometa upotrebljavaju se službeni podaci Hrvatskih željeznica.

Ako ne postoje službeni podaci o cestovnom prometu i/ili željezničkom prometu, upotrebljavaju se zamjenski podaci iz članka 14. ovoga Pravilnika.

### Članak 18.

Za potrebe izrade strateške karte buke zračnog prometa unutar naseljenih područja upotrebljavaju se službeni podaci trgovačkih društava koji upravljaju zračnom lukom s više od 50.000 operacija (uzlijetanja ili slijetanja) godišnje.

Strateška karta buke naseljenih područja sadrži najmanje karte buke industrijskih pogona i postrojenja za koje se prema posebnim propisima iz područja zaštite okoliša pribavlja rješenje

o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša i okolišnim dozvolama, odnosno rješenje o prihvatljivosti zahvata za okoliš.

### Članak 19.

Proračun indikatora buke provodi se u rasteru ne većem od  $10 \times 10$  metara na visini 4 metra iznad tla.

Proračun indikatora buke provodi se uz najmanje jednu refleksiju zvučnoga vala. U slučaju situacije »kanjonskog efekta« proračun se provodi uz primjenu odgovarajućeg broja refleksija zvučnoga vala.

Proračun indikatora buke provodi se uz korištenje dugoročne korekcije koje slijede iz relevantnih meteoroloških uvjeta promatranoga područja.

### Članak 20.

Strateška karta buke sastoji se od tekstualnoga i grafičkoga dijela.

### Članak 21.

Tekstualni dio strateške karte buke naseljenih područja sadrži najmanje:

1. sažet opis područja izrade karte buke (lokacija, veličina, broj stanovnika),
2. opis prethodno provedenih programa zaštite od buke i mjera koje su u tijeku,
3. računalne metode korištene za izradu strateške karte buke,
4. popis podataka s kojima je izrađen akustički model izvora buke,
5. popis meteoroloških podataka iz članka 19. stavka 3. ovoga Pravilnika,
6. procijenjeni broj ljudi (zaokruženo na najbližu stotinu) koji žive u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji su izloženi svakom od sljedećih razreda vrijednosti  $L_{den}$  u dB(A) proračunate na visinu 4 metra iznad tla: 55 – 59, 60 – 64, 65 – 69, 70 – 74, > 75, na najizloženijoj fasadi odvojeno za buku od cestovnoga, pružnoga i zračnoga prometa i od industrijskih izvora, uključujući pomorski i riječni promet i luke,
7. procijenjeni ukupni broj ljudi (zaokruženo na najbližu stotinu) koji žive u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji su izloženi svakom od sljedećih razreda vrijednosti  $L_{night}$  u dB(A) proračunate na visinu 4 metra iznad tla: 50 – 54, 55 – 59, 60 – 64, 65 – 69,

> 70, na najizloženijoj fasadi odvojeno za cestovni, pružni i zračni promet i od industrijskih izvora uključujući pomorski i riječni promet i luke.

Kada postoji dostupna informacija, potrebno je navesti koliko ljudi živi u stambenim jedinicama za stalno stanovanje u razredima indikatora buke  $L_{den}$  iz stavka 1. točke 6. ovoga članka i  $L_{night}$  iz stavka 1. točke 7. ovoga članka, koji imaju:

- posebnu zvučnu izolaciju, i/ili
- tihu fasadu.

Za podatke iz stavka 2. ovoga članka potrebno je navesti kolikom ukupnom broju ljudi pridonosi buka glavnih cesta, glavnih željezničkih pruga i glavnih zračnih luka.

Grafički dio strateške karte buke izrađuje se na preslikama odgovarajućih grafičkih dijelova prostornih planova.

U grafičkom dijelu prikazuju se indikatori buke u obliku krivulja istih razina buke i/ili razreda buke u koracima s međusobnim razmakom 5 dB označeni bojom navedenom u Prilogu III. Tablica 1. koji je otisnut uz ovaj Pravilnik i čini njegov sastavni dio.

Grafički dio strateške karte buke naseljenoga područja sadrži najmanje grafički prikaz razreda indikatora buke  $L_{den}$  55 – 59, 60 – 64, 65 – 69, 70 – 74, > 75 dB(A).

Grafički dio strateške karte buke naseljenoga područja sadrži najmanje grafički prikaz razreda indikatora buke  $L_{night}$  50 – 54, 55 – 59, 60 – 64, 65 – 69, > 70 dB(A).

## Članak 22.

Tekstualni dio strateške karte buke glavnih cesta, glavnih željezničkih pruga i glavnih zračnih luka sadrži najmanje:

1. opći opis cesta, željeznica ili zračnih luka uključujući najmanje lokaciju, veličinu i podatke o prometu iz relevantne godine,
2. opis okoline naseljenih područja, uključujući podatke o namjeni prostora kao i druge glavne izvore buke,
3. opis prethodno provedenih programa zaštite od buke i mjera koje su u tijeku,

4. računalnu metodu korištenu za izradu strateške karte buke s opisom postavki proračuna za svaki promatrani izvor buke,
5. popis podataka s kojima je izrađen akustički model izvora buke,
6. popis meteoroloških podataka iz članka 19. stavka 3. ovoga Pravilnika,
7. procijenjeni broj ljudi koji žive u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji su izloženi svakom od sljedećih razreda vrijednosti indikatora  $L_{den}$  u dB(A) proračunate na visinu 4 metra iznad tla: 55 – 59, 60 – 64, 65 – 69, 70 – 74, > 75, u skladu s metodom iz Priloga II. ovoga Pravilnika,
8. procijenjeni ukupni broj ljudi koji žive u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji su izloženi svakom od sljedećih razreda vrijednosti indikatora  $L_{night}$  u dB(A) proračunate na visinu 4 metra iznad tla: 50 – 54, 55 – 59, 60 – 64, 65 – 69, > 70, u skladu s metodom iz Priloga II. ovoga Pravilnika,
9. ukupnu ploštinu izraženu u km<sup>2</sup> izloženu vrijednostima indikatora buke  $L_{den}$  55 – 64, 65 – 74, i višim od 75 dB(A) proračunatim na visinu 4 metra iznad tla uključujući procijenjeni ukupan broj stambenih jedinica za stalno stanovanje i procijenjeni ukupan broj stanovnika koji žive na svakoj od navedenih ploština,
10. krivulje jednakih razina indikatora buke  $L_{den}$  od 55 i 65 dB(A) s ucrtanim položajem granica naseljenih područja,
11. sažetak akcijskih planova koji sadrži podatke iz članka 31. ovoga Pravilnika.

Kada postoji dostupna informacija, potrebno je navesti koliko ljudi živi u stambenim jedinicama za stalno stanovanje u razredima indikatora buke  $L_{den}$  iz stavka 1. točke 7. ovoga članka i  $L_{night}$  iz stavka 1. točke 8. ovoga članka, koji imaju:

- posebnu zvučnu izolaciju, i/ili
- tihu fasadu.

Grafički dio strateške karte buke izrađuje se na preslikama odgovarajućih grafičkih dijelova prostornih planova.

U grafičkom dijelu prikazuju se indikatori buke u obliku krivulja istih razina buke i/ili razreda buke u koracima s međusobnim razmakom 5 dB označeni bojom navedenom u Prilogu III. Tablica 1. ovoga Pravilnika.

Grafički dio strateške karte buke glavnih cesta, glavnih željezničkih pruga i glavnih zračnih luka sadrži najmanje grafički prikaz krivulja jednakih razina razreda indikatora buke  $L_{den}$  55 – 59, 60 – 64, 65 – 69, 70 – 74, > 75 dB(A).

Grafički dio strateške karte buke glavnih cesta, glavnih željezničkih pruga i glavnih zračnih luka sadrži najmanje grafički prikaz krivulja jednakih razina razreda indikatora buke  $L_{night}$  50 – 54, 55 – 59, 60 – 64, 65 – 69, > 70 dB(A).

### Članak 24.

Za potrebe izrade prostorno-planske dokumentacije i za upravljanje bukom okoliša naseljenih područja, strateške karte buke nadograđuju se s kartama buke imisije od ostalih izvora buke smještenih na promatranome području kao što su parkirališta, obrti, manja industrijska postrojenja, športski sadržaji, ugostiteljski objekti, sadržaji namijenjeni za rekreaciju i slobodno vrijeme i sl.

Visina ocjenske točke indikatora buke prilagođava se namjeni izrade karte buke imisije.

Karte buke imisije iz stavka 1. ovoga članka moraju minimalno sadržavati grafički prikaz odgovarajućega indikatora buke u razredima 40 – 44, 45 – 49, 50 – 54, 55 – 59, 60 – 64, 65 – 69, > 70 dB(A).

### Članak 25.

Konfliktna karta buke jest razlikovna karta buke koja se izrađuje na temelju izrađene strateške karte buke, a iz koje je vidljiva razlika između postojećeg i/ili predviđenog stanja imisije buke i dopuštenih razina buke.

Konfliktna karta buke izrađuje se računalnim metodama, pri čemu se od razina postojećega i/ili predviđenoga stanja imisije buke oduzimaju dopuštene razine buke.

Razlike vrijednosti razina buke prikazuju se u obliku krivulja istih razina buke i/ili razreda buke u koracima s međusobnim razmakom 3 dB označeni bojama navedenim u Prilogu III., Tablica 2. koji je otisnut uz ovaj Pravilnik i čini njegov sastavni dio.

### Članak 26.

Strateške karte buke i akcijski planovi u potpunosti moraju biti dostupni javnosti sukladno posebnim propisima koji uređuju informiranje i sudjelovanje javnosti i zainteresirane javnosti u pitanjima zaštite okoliša.

### Članak 27.

Obveznici izrade strateške karte buke i akcijskog plana obvezni su provesti savjetovanje s javnošću i podatke iz strateške karte buke i akcijskog plana predstaviti javnosti raspoloživim metodama informiranja na jasan i razumljiv način.

U cilju razvoja akcijskih planova javnost mora imati mogućnost uvida u konfliktne karte buke.

### Članak 27. a

Strateška karta buke i podaci iz strateške karte buke predstavljaju se javnosti na način da obveznik izrade i ovlaštena pravna osoba koja je izradila stratešku kartu buke informira javnost o rezultatima kao i obrazloženju rješenja, smjernica i predviđenih mjera upravljanja bukom.

Konfliktna karta buke i podaci iz konfliktne karte buke iz članka 27. stavka 2. ovoga Pravilnika predstavlja se javnosti na način da obveznik izrade i ovlaštena pravna osoba koja je izradila konfliktnu kartu buke informira javnost o dobivenim rezultatima konfliktne karte buke.

Prijedlog akcijskog plana predstavlja se javnosti na način da obveznik izrade i ovlaštena pravna osoba koja je izradila prijedlog scenarija akcijskog plana upravljanja bukom provede jedno ili više javnih izlaganja radi informiranja javnosti i mogućnosti uvida kao i davanja prijedloga i primjedbi na prijedlog scenarija akcijskog plana. O završnoj verziji akcijskog plana javnost se obavještava.

### Članak 28.

Obveznici izrade strateških karata buke i akcijskih planova dostavljaju ministarstvu nadležnom za zdravlje (u dalnjem tekstu: ministarstvo) izrađene strateške karte buke i akcijske planove s pripadajućim rezultatima u elektroničkom obliku koristeći obrasce dostupne na službenim mrežnim stranicama Europske agencije za zaštitu okoliša (EEA).

Obveznici izrade strateških karata buke i akcijskih planova dostavljaju ministarstvu rezultate proračuna strateške karte buke za indikatore  $L_{den}$  i  $L_{night}$  u izvornom ASCII rasterskom formatu u obliku jedinstvenog georeferenciranog sloja za svaki indikator buke.

Tehničke specifikacije Geografskog informacijskog sustava (GIS) kompatibilnih rezultata strateških karata buke i/ili akcijskih planova objaviti će se na mrežnom poslužitelju ministarstva.

Ministarstvo dostavlja Europskoj komisiji podatke korištene za izradu strateških karata buke i sažetke akcijskih planova s pripadajućim rezultatima sukladno prijavnom mehanizmu propisanom od strane Europske agencije za zaštitu okoliša te prema prilogu V. koji se nalazi u Dodatku ovoga Pravilnika i čini njegov sastavni dio.

Ministarstvo vodi evidenciju o izrađenim strateškim kartama buke i akcijskim planovima za provedbu izješćivanja Europske komisije.

### Članak 29.

Akcijski plan izrađuje se na temelju izrađene strateške karte buke odnosno konfliktne karte buke.

### Članak 30.

Osnove za izradu akcijskih planova zaštite od buke odnosno upravljanja bukom jesu:

- plan mjera zaštite od buke za snižavanje razina buke okoliša (planiranje prometa, planiranje namjene prostora, tehničke mjere na izvorima buke, izbor izvora buke s nižim emisijskim vrijednostima, mjere za smanjenje na putu širenja buke, regulativne i/ili gospodarstvene mjere i sl.),
- strategija provođenja mjera zaštite od buke za snižavanje razina buke okoliša,
- procjena troškova za smanjenje buke promatranoga područja,
- procjena učinaka za smanjenje buke promatranoga područja,
- popis obveznika podmirenja troškova mjera zaštite od buke za snižavanje razina buke okoliša,
- vremenski plan izvršenja pojedinih aktivnosti tijekom provedbe mjera zaštite od buke.

## Članak 31.

Akcijski plan sadrži najmanje:

- naziv s definiranim sadržajem,
- opis naseljenoga područja, cesta, pruga, zračnih luka i drugih izvora buke koji su uzeti u obzir prilikom razmatranja,
- podatke o naručitelju izrade akcijskoga plana i ovlaštenoga subjekta za izradu akcijskoga plana,
- pravnu osnovu za provedbu akcijskoga plana,
- važeće dopuštene razine buke,
- pregled rezultata izrađene strateške karte buke,
- ocjenu stanja buke na temelju procijenjenoga broja ljudi izloženih određenim razinama buke, prepoznavanje problema i situacija koje treba poboljšati,
- sažetak rezultata javne rasprave,
- postojeće i do sada predviđene mjere zaštite od buke,
- aktivnosti koje naručitelj izrade akcijskoga plana namjerava poduzeti u sljedećih pet godina, uključujući sve mjere za očuvanje tihih područja,
- dugoročnu strategiju zaštite od buke,
- elemente vrednovanja provedbe akcijskoga plana,
- procjenu smanjenja broja ljudi na koje djeluje buka preko dopuštenih razina.

Ako postoje dostupne finansijske informacije, akcijski plan treba sadržavati finansijske proračune, procjene isplativosti, procjene troškova i koristi.

## Članak 32.

Strateške karte buke i akcijski planovi izrađeni na temelju Zakona o zaštiti od buke (»Narodne novine« broj 20/03) i Pravilnika o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova (»Narodne novine« broj 5/07) ostaju na snazi te se usklađuju trajno s izmjenama u prostoru, a obvezno se obnavljaju svakih pet godina od dana izrade, odnosno od dana odobravanja.

### Članak 33.

Danom stupanja na snagu ovoga Pravilnika prestaje važiti Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova (»Narodne novine«, broj 5/07).

### Članak 34.

Ovaj Pravilnik stupa na snagu osmoga dana od dana objave u »Narodnim novinama«, osim odredbe članka 28. stavka 3. koji stupa na snagu danom pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji.

Klasa: 011-02/09-04/17

Urbroj: 534-07-09-1

Zagreb, 17. lipnja 2009.

## PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE iz NN 60/16

### Članak 25.

Obveznici izrade strateških karata buke i akcijskih planova koji su započeli s izradom strateških karata buke i akcijskih planova u skladu s odredbama Pravilnika o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke (»Narodne novine«, broj 75/09), i iste nisu izradili, obvezni su strateške karte buke i akcijske planove dovršiti i uskladiti s odredbama ovoga Pravilnika.

### Članak 26.

Ovaj Pravilnik stupa na snagu osmoga dana od dana objave u »Narodnim novinama«.

Klasa: 011-02/16-02/65

Urbroj: 534-02-1-1/8-16-1

Zagreb, 23. lipnja 2016.

## PRIJELAZNE I ZAVRŠNE ODREDBE iz NN 117/18

### Članak 16.

Strateške karte buke izrađene i dostavljene ministarstvu do 30. prosinca 2018. godine izrađuju se prema Prilogu II. Pravilnika o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke (»Narodne novine«, br. 75/09 i 60/16).

Strateške karte buke koje nisu izrađene i dostavljene ministarstvu do 30. prosinca 2018. godine izrađuju se prema Prilogu II. ovoga Pravilnika.

Obveznici izrade strateške karte buke i akcijskog plana, uz podatke navedene u člancima 21., 22. i 31. ovoga Pravilnika, obvezni su dostaviti i izjavu ovlaštene pravne osobe koja je izradila stratešku kartu buke odnosno akcijski plan, kojom se potvrđuje usklađenost izrade strateške karte buke i akcijskog plana s propisima iz članka 1.a ovoga Pravilnika.

### Članak 17.

Ovaj Pravilnik objavljuje se u »Narodnim novinama«, a stupa na snagu 31. prosinca 2018. godine.

Klasa: 011-02/18-02/195

Urbroj: 534-02-1-1/5-18-14

Zagreb, 12. prosinca 2018.

## PRILOG I.

### INDIKATORI BUKE I POLOŽAJ OCJENSKIH TOČAKA

Indikator buke razdoblja »dan-večer-noć«  $L_{den}$  u dB(A) određuje se prema sljedećoj formuli:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

gdje su:

$L_{day}$  – A-vrednovana ekvivalentna razina buke definirana u ISO 1996-2 utvrđivana svakog dana tijekom jedne godine,

$L_{evening}$  – A-vrednovana ekvivalentna razina buke definirana u ISO 1996-2 utvrđivana svake večeri tijekom jedne godine,

$L_{night}$  – A-vrednovana ekvivalentna razina buke definirana u ISO 1996-2 utvrđivana svake noći tijekom jedne godine.

Trajanje dana, večeri i noći mora biti jednako za sve promatrane izvore buke.

Položaj ocjenske točke indikatora buke  $L_{den}$  ovisi o namjeni.

Položaj ocjenske točke indikatora buke  $L_{night}$  jednaka je kao i položaj ocjenske točke indikatora buke  $L_{den}$ .

U svrhu izrade strateške karte buke visina ocjenske točke indikatora buke za razdoblje »dan-večer-noć«  $L_{den}$ , koja se određuje računalnim metodama navedenim u članku 6. ovoga Pravilnika, a kojom se određuje izloženost buci unutar i u blizini građevinskih zgrada, mora biti na visini ( $4,0 \pm 0,2$ ) metara iznad tla na najizloženijoj fasadi objekta. U ovome slučaju najizloženija fasada je vanjski zid usmjeren prema najbližem promatranome izvoru buke. Za ostale namjene visina ocjenske točke indikatora buke za razdoblje »dan-večer-noć«  $L_{den}$  može biti proizvoljna.

U svrhu izrade strateške karte buke visina ocjenske točke indikatora buke za razdoblje »dan-večer-noć«  $L_{den}$ , koja se određuje mjerjenjem, a kojom se određuje izloženost buci unutar i u blizini građevinskih zgrada, mora biti na visini ( $4,0 \pm 0,2$ ) metara iznad tla.

U svrhu provedbe akustičkog planiranja i određivanja zona buke mogu se odabrati druge visine ocjenske točke indikatora buke  $L_{den}$  za razdoblje »dan-večer-noć«, ali visina nikada ne smije biti niža od 1,5 metara iznad tla, npr. za:

- ruralna područja s prizemnim kućama,
- izradu lokalnih mjera zaštita od buke namijenjenih smanjenju utjecaja buke na određene stanove,
- izradu detaljne karte buke određenog područja koja pokazuju izloženost buci pojedinačnih stanova, itd.

## PRILOG II.

### METODE OCJENE ZA INDIKATORE BUKE

#### 1. Uvod

Vrijednosti  $L_{den}$  i  $L_{night}$  utvrđuju se na položajima za ocjenjivanje izračunom u skladu s metodom utvrđenom u 2. poglavlju i podacima opisanim u 3. poglavlju. Mjerenja se mogu obaviti u skladu s poglavljem 4.

#### 2. Zajedničke metode ocjene buke

##### 2.1. Opće odredbe – Buka cestovnog prometa, buka pružnog prometa i buka industrijskih pogona i postrojenja

###### 2.1.1. Indikatori, frekvencijski raspon i definicije pojaseva

Izračuni buke definiraju se u frekvencijskom rasponu oktavnog pojasa od 63 Hz do 8 kHz. Rezultati frekvencijskih pojaseva daju se za odgovarajući frekvencijski interval.

Izračuni se rade u pojasevima širine jedne oktave (oktavni pojasevi) za buku cestovnog prometa, buku pružnog prometa i buku industrijskih pogona i postrojenja, osim za zvučnu snagu izvora buke pružnog prometa za koju se upotrebljavaju pojasevi širine 1/3 oktave (tercni pojasevi). Na temelju tih rezultata oktavnih pojaseva za buku cestovnog prometa, buku pružnog prometa i buku industrijskih pogona i postrojenja izračunava se A-vrednovana dugotrajna prosječna razina zvučnog tlaka za razdoblje dana, večeri i noći, kako je definirano u Prilogu I. i na što se upućuje u članku 2. ovoga Pravilnika, zbrajanjem u svim frekvencijama:

$$L_{Aeq,T} = 10 \times \lg \sum_{i=1}^{10} 10^{\frac{(L_{Aeq,T,i} + A_i)}{10}}$$

(2.1.1.)

pri čemu:

$A_i$  označava A-vrednovanu korekciju u skladu s normom IEC 61672-1,

$i$  = indeks frekvencijskog pojasa

i  $T$  je vremensko razdoblje koje odgovara danu, večeri ili noći.

Akustički parametri buke:

$L_p$	Trenutačna razina zvučnog tlaka	[dB] (ref. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa)
$L_{Aeq,LT}$	Globalna dugotrajna razina zvuka $L_{Aeq}$ uzrokovana svim izvorima i zrcalnim izvorima na točki R	[dB] (ref. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa)
$L_w$	Razina zvučne snage točkastog izvora (pokretnog ili nepomičnog) na lokaciji	[dB] (ref. $10^{-12}$ W)

$L_{W,i,dir}$	Razina usmjerene zvučne snage za $i$ -ti frekvencijski pojas na lokaciji	[dB] (ref. $10^{-12}$ W)
$L_W$	Prosječna razina zvučne snage po metru linijskog izvora na lokaciji	[dB/m] (ref. $10^{-12}$ W)

Drugi fizički parametri:

$p$	efektivna vrijednost trenutačnog zvučnog tlaka	[Pa]
$p_0$	Referentni zvučni tlak = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa	[Pa]
$W_0$	Referentna zvučna snaga = $10^{-12}$ W	[watt]

### 2.1.2. Kvalitativni okvir

#### Točnost ulaznih vrijednosti

Sve ulazne vrijednosti koje utječu na razinu emisije izvora određuju se barem s točnosti koja odgovara nesigurnosti od  $\pm 2$  dB(A) u razini emisije izvora (pri čemu se nijedan drugi parametar ne mijenja).

#### Upotreba unaprijed zadanih vrijednosti

Pri primjeni metode ulazni podaci moraju odražavati stvarno korištenje. Općenito se ne smije oslanjati na unaprijed zadane ulazne vrijednosti ili prepostavke. Upotreba unaprijed zadanih vrijednosti i prepostavki prihvatljiva je ako je prikupljanje stvarnih podataka povezano s nerazmjerne visokim troškovima.

#### Kvaliteta softvera koji se koristi za izračune

Softver koji se koristi za izračune mora biti dokazano sukladan s ovdje opisanim metodama, a to se dokazuje usporedbom rezultata s probnim slučajevima.

## 2.2. Buka cestovnog prometa

### 2.2.1. Opis izvora

#### Klasifikacija vozila

Izvor buke cestovnog prometa utvrđuje se spajanjem emisija buke svih pojedinih vozila od kojih je sastavljen protok prometa. Ta su vozila grupirana u pet odvojenih kategorija na temelju svojstava svojih emisija buke:

Kategorija 1: Laka vozila

Kategorija 2: Srednje teška vozila

Kategorija 3: Teška vozila

Kategorija 4: Motorna vozila na dva kotača

Kategorija 5: Otvorena kategorija

Kod motornih se vozila na dva kotača definiraju dvije potkategorije, za mopede i za snažnije motocikle, budući da među njima postoje znatne razlike u načinu vožnje i u brojnosti.

Prve se četiri kategorije moraju upotrebljavati, a peta je opcionalna. Predviđa se da se u budućnosti možda razviju nova vozila koja će se dovoljno razlikovati od postojećih u pogledu emisije buke da bi zahtijevala definiranje dodatne kategorije. Ta bi kategorija mogla obuhvatiti, na primjer, električna ili hibridna vozila ili bilo koje vozilo koje se u budućnosti razvije i bude suštinski različito od onih u kategorijama od 1 do 4.

Detalji o različitim razredima vozila nalaze se u tablici [2.2.a].

*Tablica [2.2.a]: Razredi vozila*

Kategorija	Naziv	Opis		Kategorija vozila u EZ-u Homologacija tipa vozila kao cjeline <sup>1</sup>
1	Laka motorna vozila	Osobni automobili, kombiji za dostavu $\leq$ 3,5 tona, sportska terenska vozila (SPV-ovi) <sup>2</sup> , višenamjenska vozila (MPV-ovi) <sup>3</sup> uključujući prikolice i kamp-kućice		M1 i N1
2	Srednje teška vozila	Srednje teška vozila, kombiji za dostavu $>$ 3,5 tona, autobusi, kamperi itd. s dvije osovine i dvostrukim gumama na stražnjoj osovini		M2, M3 i N2, N3
3	Teška vozila	Vozila za zahtjevne poslove, turistička vozila, autobusi, s tri ili više osovine		M2 i N2 s prikolicom, M3 i N3
4	Motorna vozila na dva kotača	4a	Mopedi s dva, tri i četiri kotača	L1, L2, L6
		4b	Motocikli s ili bez bočne prikolice, motocikli s tri i četiri kotača	L3, L4, L5, L7
5	Otvorena kategorija	Definirat će se u skladu s budućim potrebama.		nije primjenjivo

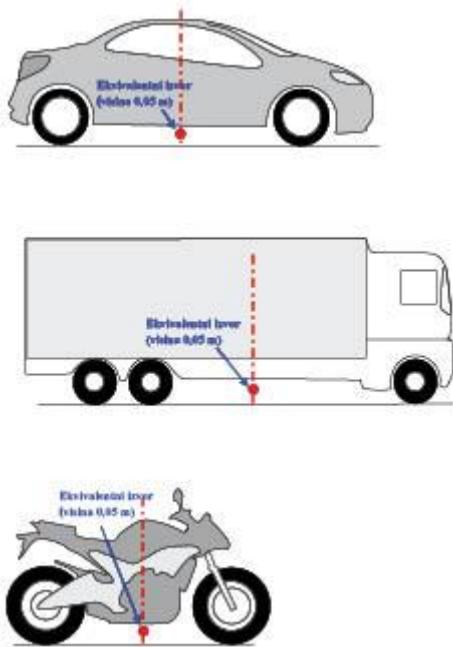
<sup>1</sup> Pravilnik o EU homologaciji i pojedinačnom odobravanju motornih vozila (Izdanje 00) (»Narodne novine«, broj 9/10)

<sup>2</sup> Sportska terenska vozila

<sup>3</sup> Višenamjenska vozila

#### *Broj i položaj ekvivalentnih izvora zvuka*

U ovoj je metodi svako vozilo (kategorije 1, 2, 3, 4 i 5) prikazano jednim točkastim izvorom iz kojeg zvuk ravnomjerno zrači u poluprostoru od  $2\pi$  iznad tla. Prva se refleksija od površine ceste uzima implicitno. Taj je točasti izvor smješten 0,05 m iznad površine ceste, što je prikazano na slici [2.2.a].



*Slika [2.2.a]*

Položaj ekvivalentnog točkastog izvora na lakim vozilima (kategorija 1), teškim vozilima (kategorije 2 i 3) i vozilima s dva kotača (kategorija 4)

Protok prometa prikazuje se linijskim izvorom. Pri modeliranju ceste s više traka idealno bi bilo prikazati svaku traku linijskim izvorom smještenim u središte svake trake. Međutim, prihvatljivo je i modeliranje jednog linijskog izvora u sredini dvosmjerne ceste ili jednog linijskog izvora po kolničkoj traci u vanjskoj prometnoj traci cesta s više traka.

#### *Emisija zvučne snage*

#### *Opća razmatranja*

Zvučna snaga izvora definira se kao »poluslobodno zvučno polje« pa tako zvučna snaga uključuje učinak refleksije od tla neposredno ispod modeliranog izvora ako ne postoje prepreke u neposrednom okruženju, uz iznimku za refleksiju od površine ceste koja nije neposredno ispod modeliranog izvora.

#### *Protok prometa*

Emisija buke protoka prometa predstavlja se linijskim izvorom koji je opisan usmjerenom zvučnom snagom po metru po frekvenciji. To odgovara zbroju emisija zvuka pojedinih vozila u protoku prometa, pri čemu se uzima u obzir vrijeme koje vozila provedu na razmatranoj dionici ceste. Uvođenje pojedinih vozila u protok zahtijeva primjenu modela protoka prometa.

Ako se prepostavi stabilan protok prometa  $Q_m$  vozila kategorije m po satu uz prosječnu brzinu  $v_m$  (u km/h), usmjerena zvučna snaga po metru u frekvencijskom pojasu i linijskog izvora  $L_{W', eq, line, i, m}$  definira se jednadžbom:

$$L_{W',eq,brz,i,m} = L_{W,i,m} + 10 \times \lg \left( \frac{Q_m}{1000 \times v_m} \right)$$

(2.2.1.)

pri čemu je  $L_{W,i,m}$  usmjerena zvučna snaga jednog vozila.  $L_{W',m}$  izražava se u dB (referentna razina zvučnog intenziteta  $10^{-12}$  W/m). Te razine zvučne snage izračunavaju se za svaki oktavni pojas  $i$  od 63 Hz do 8 kHz.

Podaci o protoku prometa  $Q_m$  izražavaju se kao godišnji prosjek po satu, po vremenskom razdoblju (dan-večer-noć), po razredu vozila i po linijskom izvoru. Za sve se kategorije upotrebljavaju ulazni podaci o protoku prometa dobiveni iz brojanja prometa ili iz korištenih modela prometa.

Brzina  $v_m$  reprezentativna je brzina po kategoriji vozila; u većini je slučajeva to manja brzina od najveće zakonski dopuštene brzine za dionicu i najveće zakonski dopuštene brzine za kategoriju vozila. Ako nisu dostupni lokalno izmjereni podaci, upotrebljava se najveća zakonski dopuštena brzina za kategoriju vozila.

#### Pojedino vozilo

Pretpostavlja se da se u protoku prometa sva vozila kategorije m kreću istom brzinom, tj.  $v_m$ , prosječnom brzinom protoka vozila te kategorije.

Cestovno se vozilo modelira skupom matematičkih jednadžbi kojim se prikazuju dva glavna izvora buke:

1. buka kotrljanja uzrokovana interakcijom gume i ceste;
2. buka pogona koja nastaje u pogonskom sustavu (motor, ispuh itd.) vozila.

Aerodinamička buka sastavni je dio izvora buke kotrljanja.

Za laka, srednja i teška motorna vozila (kategorije 1, 2 i 3) ukupna zvučna snaga odgovara energetskom zbroju buke kotrljanja i buke pogona. Stoga se ukupna razina zvučne snage linijskih izvora  $m = 1, 2$  ili  $3$  definira jednadžbom:

$$L_{W,i,m}(v_m) = 10 \times \lg (10^{L_{WR,i,m}(v_m)/10} + 10^{L_{WP,i,m}(v_m)/10})$$

(2.2.2.)

pri čemu je  $L_{WR,i,m}$  razina zvučne snage buke kotrljanja, a  $L_{WP,i,m}$  razina zvučne snage buke pogona. To se odnosi na sve raspone brzine. Pri brzinama manjima od 20 km/h razina zvučne snage je ona koja se dobije formulom za  $v_m = 20$  km/h.

Za vozila s dva kotača (kategorija 4) kao izvor se uzima samo buka pogona:

$$L_{W,i,m=4}(v_{m=4}) = L_{WP,i,m=4}(v_{m=4})$$

(2.2.3.)

To se odnosi na sve raspone brzine. Pri brzinama manjima od 20 km/h razina zvučne snage je ona koja se dobije formulom za  $v_m = 20$  km.

#### 2.2.2. Referentni uvjeti

Jednadžbe i koeficijenti izvora vrijede za referentne uvjete u nastavku:

- konstantna brzina vozila,

- vodoravna cesta,
- temperatura zraka  $\tau_{ref} = 20^\circ C$ ,
- virtualna referentna površina ceste koja se sastoji od prosječnog gustog betonskog asfalta 0/11 i splitmastiks asfalta 0/11, stare od 2 do 7 godina i u reprezentativnom stanju održavanja,
- suha površine ceste,
- bez guma čavlerica.

### 2.2.3. Buka kotrljanja

#### Opća jednadžba

Razina zvučne snage buke kotrljanja u frekvencijskom pojasu  $i$  za vozilo razreda  $m = 1, 2$  ili  $3$  definira se jednadžbom:

$$L_{WR,i,m} = A_{R,i,m} + B_{R,i,m} \times \lg\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right) + \Delta L_{WR,i,m}$$

(2.2.4.)

Koeficijenti  $A_{R,i,m}$  i  $B_{R,i,m}$  zadani su po oktavnim pojasevima za svaku kategoriju vozila i za referentnu brzinu  $v_{ref} = 70$  km/h.  $\Delta L_{WR,i,m}$  jednak je zbroju korekcijskih koeficijenata koje treba primjeniti na emisiju buke kotrljanja za posebne uvjete ceste ili vozila koji se razlikuju od referentnih uvjeta:

$$\Delta L_{WR,i,m} = \Delta L_{WR,road,i,m} + \Delta L_{studded tyres,i,m} + \Delta L_{WR,acc,i,m} + \Delta L_{W,temp}$$

(2.2.5.)

$\Delta L_{WR,road,i,m}$  je utjecaj na buku kotrljanja koji nastaje zbog površine ceste čija se akustička svojstva razlikuju od onih virtualne referentne površine definirane u poglavlju 2.2.2. Ovaj koeficijent obuhvaća utjecaj na širenje i stvaranje buke.

$\Delta L_{studded tyres,i,m}$  je korekcijski koeficijent za povećanu buku kotrljanja lakih vozila opremljenih gumama čavlericama.

$\Delta L_{WR,acc,i,m}$  je utjecaj na buku kotrljanja koji nastaje zbog raskrižja sa semaforom ili kružnog toka. U njemu je integriran učinak na buku zbog promjene brzine.

$\Delta L_{W,temp}$  je korekcijski član za prosječnu temperaturu  $\tau$  koja se razlikuje od referentne temperature  $\tau_{ref} = 20^\circ C$ .

#### Korekcija za gume čavlerice

U situacijama kad znatan broj lakih vozila u protoku prometa upotrebljava gume čavlerice nekoliko mjeseci svake godine potrebno je uzeti u obzir proizašli učinak na buku kotrljanja. Za svako vozilo kategorije  $m = 1$  opremljeno gumama čavlericama povećanje emisije buke kotrljanja ovisno o brzini vrednuje se jednadžbom:

$$\Delta_{wind,i}(v) = \begin{cases} a_i + b_i \times \lg(50/70) & \text{za } v < 50 \text{ km/h} \\ a_i + b_i \times \lg(v/70) & \text{za } 50 \leq v \leq 90 \text{ km/h} \\ a_i + b_i \times \lg(90/70) & \text{za } v > 90 \text{ km/h} \end{cases}$$

(2.2.6.)

pri čemu su koeficijenti  $a_i$  i  $b_i$  zadani za svaki oktavni pojas.

Povećanje emisije buke kotrljanja pripisuje se samo u skladu s udjelom lakih vozila s gumama čavlericama i u ograničenom razdoblju  $T_s$  (u mjesecima) tijekom godine. Ako je  $Q_{stud,ratio}$  prosječni omjer lakih vozila s gumama čavlericama u ukupnom broju po satu u razdoblju  $T_s$  (u mjesecima), tada se godišnji udio vozila s gumama čavlericama  $p_s$  izražava jednadžbom:

$$p_s = Q_{stud,ratio} \times \frac{T_s}{12}$$

(2.2.7.)

Dobivena korekcija koju treba primijeniti na emisiju zvučne snage kotrljanja zbog upotrebe guma čavlerica na vozilima kategorije  $m = 1$  u frekvencijskom pojasu  $i$  iznosi:

$$\Delta L_{stud,čavleric,i,m} = 10 \times \lg \left[ (1 - p_s) + p_s 10^{\frac{\Delta_{stud,ratio}}{10}} \right]$$

(2.2.8.)

Za vozila svih ostalih kategorija ne primjenjuje se nikakva korekcija:

$$\Delta L_{stud,čavleric,i,m} = 0$$

(2.2.9.)

#### *Utjecaj temperature zraka na korekciju buke kotrljanja*

Temperatura zraka utječe na emisiju buke kotrljanja: razina zvučne snage kotrljanja smanjuje se s povećanjem temperature zraka. Taj se utjecaj uvodi u korekciju za površinu ceste.

Korekcije za površinu ceste obično se vrednuju pri temperaturi zraka  $\tau_{ref} = 20^\circ\text{C}$ . U slučaju druge prosječne godišnje temperature zraka u  $^\circ\text{C}$  buku površine ceste korigira se s:

$$\Delta L_{W,temp,m}(\tau) = K_m \times (\tau_{ref} - \tau)$$

(2.2.10.)

Korekcijski je član pozitivan (tj. buka se povećava) za temperature niže od  $20^\circ\text{C}$  i negativan (tj. buka se smanjuje) za više temperature. Koeficijent  $K$  ovisi o površini ceste i svojstvima guma te općenito pokazuje određenu ovisnost o frekvenciji. Opći koeficijent  $K_{m=1} = 0,08 \text{ dB}/^\circ\text{C}$  za laka vozila (kategorija 1) i  $K_{m=2} = K_{m=3} = 0,04 \text{ dB}/^\circ\text{C}$  za teška vozila (kategorije 2 i 3) primjenjuje se za sve površine ceste. Korekcijski koeficijent primjenjuje se jednakom na sve oktavne pojaseve od 63 do 8000 Hz.

#### *2.2.4. Buka pogona*

##### *Opća jednadžba*

Emisija buke pogona u sebi sadrži sve doprinose iz motora, ispuha, prijenosnog mehanizma, dovoda zraka itd. Razina zvučne snage buke pogona u frekvencijskom pojasu  $i$  za vozilo razreda  $m$  definira se jednadžbom:

$$L_{WP,i,m} = A_{P,i,m} + B_{P,i,m} \times \frac{(V_m - V_{ref})}{V_{ref}} + \Delta L_{WP,i,m}$$

(2.2.11.)

Koeficijenti  $A_{P,i,m}$  i  $B_{P,i,m}$  zadani su u oktavnim pojasevima za svaku kategoriju vozila i referentnu brzinu  $V_{ref} = 70 \text{ km/h}$ .

$\Delta L_{WP,i,m}$  je zbroj korekcijskih koeficijenata koje treba primijeniti na emisiju buke pogona za posebne uvjete vožnje ili regionalne uvjete koji se razlikuju od referentnih uvjeta:

$$\Delta L_{WP,i,m} = \Delta L_{WP,road,i,m} + \Delta L_{WP,grad,i,m} + \Delta L_{WP,acc,i,m}$$

(2.2.12.)

$\Delta L_{WP,road,i,m}$  je utjecaj površine ceste na buku pogona zbog apsorpcije. Izračuni se obavljaju u skladu s poglavljem 2.2.6.

$\Delta L_{WP,acc,i,m}$  i  $\Delta L_{WP,grad,i,m}$  su utjecaj nagiba ceste te ubrzavanja i usporavanja vozila na raskrižjima. Oni se izračunavaju u skladu s poglavljima 2.2.4. i 2.2.5.

#### Utjecaj nagiba ceste

Nagib ceste utječe na emisiju buke vozila na dva načina: prvo, on utječe na brzinu vozila i time na emisiju buke kotrljanja i pogona vozila; drugo, on utječe na opterećenje motora i na brzinu motora putem odabira stupnja prijenosa pa time na emisiju buke pogona vozila. U ovom se odjeljku, u kojem se pretpostavlja konstantna brzina, uzima u obzir samo utjecaj na buku pogona.

Utjecaj nagiba ceste na buku pogona uzima se u obzir korekcijskim članom  $\Delta L_{WP,grad,m}$  koji je funkcija nagiba  $s$  (u %), brzine vozila  $v_m$  (u km/h) i razreda vozila  $m$ . U slučaju dvosmjernog protoka prometa neophodno je podijeliti protok na dva sastavna dijela i korigirati pola za kretanje uzbrdo i pola za kretanje nizbrdo. Korekcijski član primjenjuje se jednako na sve oktavne pojaseve:

za  $m = 1$ :

$$\Delta L_{WP,grad,m=1}(v_m) = \begin{cases} \frac{\min(12\%; -s) - 6\%}{1\%} & \text{za } s < -6\% \\ 0 & \text{za } -6\% \leq s \leq 2\% \\ \frac{\min(12\%; s) - 2\%}{1.5\%} \times \frac{v_m}{100} & \text{za } s > 2\% \end{cases}$$

(2.2.13.)

za  $m = 2$ :

$$\Delta L_{WP,grad,m=2}(v_m) = \begin{cases} \frac{\min(12\%; -s) - 4\%}{0.7\%} \times \frac{v_m - 20}{100} & \text{za } s < -4\% \\ 0 & \text{za } -4\% \leq s \leq 0\% \\ \frac{\min(12\%; s)}{1\%} \times \frac{v_m}{100} & \text{za } s > 0\% \end{cases}$$

(2.2.14.)

za  $m = 3$ :

$$\Delta L_{WP,grad,m=3}(v_m) = \begin{cases} \frac{\min(12\%; -s) - 4\%}{0.5\%} \times \frac{v_m - 10}{100} & \text{za } s < -4\% \\ 0 & \text{za } -4\% \leq s \leq 0\% \\ \frac{\min(12\%; s)}{0.8\%} \times \frac{v_m}{100} & \text{za } s > 0\% \end{cases}$$

(2.2.15.)

za  $m = 4$ :

$$\Delta L_{WP,grad,m=4} = 0$$

(2.2.16.)

Korekcija  $\Delta L_{WP,grad,m}$  implicitno uključuje utjecaj nagiba na brzinu.

#### 2.2.5. Utjecaj ubrzavanja i usporavanja vozila

Prije i poslije raskrižja sa semaforima i kružnih tokova primjenjuje se korekcija zbog utjecaja ubrzavanja i usporavanja u skladu s opisom u nastavku.

Korekcijski članovi za buku kotrljanja,  $\Delta L_{WR,acc,m,k}$ , i za buku pogona,  $\Delta L_{WP,acc,m,k}$ , su linearne funkcije udaljenosti  $x$  (u metrima) točkastog izvora od najbližeg križanja vlastitog linijskog izvora s drugim linijskim izvorom. Oni se jednakom primjenjuju na sve oktavne pojaseve:

$$\Delta L_{WR,acc,m,k} = C_{R,m,k} \times \text{Max}(1 - \frac{|x|}{100}, 0)$$

(2.2.17.)

$$\Delta L_{WP,acc,m,k} = C_{P,m,k} \times \text{Max}(1 - \frac{|x|}{100}, 0)$$

(2.2.18.)

Koefficijenti  $C_{R,m,k}$  i  $C_{P,m,k}$  ovise o vrsti raskrižja  $k$  ( $k = 1$  za raskrižje sa semaforima;  $k = 2$  za kružni tok) i zadaju se za svaku kategoriju vozila. Korekcija uključuje utjecaj promjene brzine pri približavanju ili udaljavanju od raskrižja ili kružnog toka.

Treba imati na umu da je na udaljenosti  $|x| \geq 100$  m,  $\Delta L_{WR,acc,m,k} = \Delta L_{WP,acc,m,k} = 0$ .

#### 2.2.6. Utjecaj tipa površine ceste

##### Opća načela

Na površinama ceste s akustičkim svojstvima koja se razlikuju od onih referentne površine na buku kotrljanja i na buku pogona primjenjuje se spektralni korekcijski član.

Korekcijski član za površinu ceste za emisiju buke kotrljanja zadan je jednadžbom:

$$\Delta L_{WR,road,i,m} = \alpha_{i,m} + \beta_m \times \lg\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right)$$

(2.2.19.)

pri čemu je:

$\alpha_{i,m}$  spektralna korekcija u dB pri referentnoj brzini  $v_{ref}$  za kategoriju  $m$  (1, 2 ili 3) i spektralni pojas  $i$ ,

$\beta_m$  učinak brzine na smanjenje buke kotrljanja za kategoriju  $m$  (1, 2 ili 3) i jednak je za sve frekvencijske pojaseve.

Korekcijski član za površinu ceste za emisiju buke pogona zadan je jednadžbom:

$$\Delta L_{WP,road,i,m} = \min\{\alpha_{i,m}; 0\}$$

(2.2.20.)

Apsorbirajuće površine smanjuju buku pogona, a neapsorbirajuće površine je ne povećavaju.

#### Utjecaj starosti na svojstva buke površine ceste

Svojstva buke površine ceste mijenjaju se ovisno o starosti i razini održavanja te teže ka povećanju glasnoće s vremenom. U ovoj se metodi parametri površine ceste izvode tako da

budu reprezentativni za akustička svojstva tipa površine ceste koja su prosjek izračunan za reprezentativni životni vijek ceste i uz pretpostavku njezina odgovarajućeg održavanja.

### 2.3. Buka pružnog prometa

#### 2.3.1. Opis izvora

##### Klasifikacija vozila

###### Definicija vozila i vlaka

U svrhu ove metode izračuna buke vozilo se definira kao bilo koje željezničko vozilo koje je dio vlaka (tipično lokomotiva, vagon s vlastitim pogonom, vučeni putnički vagon ili teretni vagon), koje se može samostalno kretati i koje se može odvojiti od ostatka vlaka. Za željeznička vozila koja tvore nerazdvojiv skup, tj. koja dijele jedno zajedničko okretno postolje, mogu postojati posebne okolnosti. Za potrebe ove metode izračuna sva se ta željeznička vozila uzimaju zajedno kao jedno vozilo.

Za potrebe ove metode izračuna vlak se sastoji od niza povezanih vozila.

U tablici [2.3.a] definira se zajednički jezik za opisivanje tipova vozila koji se nalaze u bazi podataka izvora. U toj se bazi nude odgovarajući opisi svojstava koje treba upotrebljavati kako bi se potpuno klasificirala vozila. Ti opisi odgovaraju svojstvima vozila koja utječu na akustičku usmjerenu zvučnu snagu po metru duljine ekvivalentnog modeliranog linijskog izvora.

Utvrđuje se broj vozila svakog tipa za svaku dionicu kolosijeka za svako vremensko razdoblje koje se upotrebljava za izračun buke. Taj se broj izražava kao prosječni broj vozila na sat, a dobiva se dijeljenjem ukupnog broja vozila koja su prometovala u određenom vremenskom razdoblju s trajanjem tog razdoblja u satima (na primjer, 24 vozila u 4 sata znači 6 vozila na sat). Upotrebljavaju se svi tipovi vozila koja su prometovala na svakoj dionici kolosijeka.

Tablica [2.3.a]: Klasifikacija i opisi svojstava za željeznička vozila

Brojka	1	2	3	4
Opis svojstva	Tip vozila	Broj osovina po vozilu	Tip kočnice	Zaštita od buke na kotaču
Objašnjenje opisa	Slovo kojim se opisuje tip	Stvarni broj osovina	Slovo kojim se opisuje tip kočnice	Slovo kojim se opisuje tip mjere za smanjenje buke
Mogući opisi	h vozilo velike brzine (> 200 km/h)	1	c kočni umetak od lijevanog željeza	n bez zaštite
	m	2	k	d prigušivači

	putnički vagoni na vlastiti pogon		kompozitni ili sinterirani metalni kočni umetak	
	<b>p</b> vučeni putnički vagoni	<b>3</b>	<b>n</b> kočenje bez umetka, poput kočenja diskom, bubnjem ili magnetskog kočenja	<b>s</b> štitnici
	<b>c</b> vagon na vlastiti pogon ili bez vlastitog pogona gradskog tramvaja ili lake gradske željeznice	<b>4</b>		<b>o</b> ostalo
	<b>d</b> dizelska lokomotiva	itd.		
	<b>e</b> električna lokomotiva			
	<b>a</b> bilo koje opće teretno vozilo			
	<b>o</b> ostalo (na primjer vozila za održavanje itd.)			

#### *Klasifikacija kolosijeka i potporne strukture*

Postojeći se kolosijeci mogu razlikovati jer postoji nekoliko elemenata koji doprinose njihovim akustičkim svojstvima te ih karakteriziraju. Vrste kolosijeka korištene u ovoj metodi navedene su u tablici [2.3.b] u nastavku. Neki elementi imaju velik utjecaj na akustička svojstva, a drugi imaju samo sporedan utjecaj. Općenito, najvažniji elementi koji utječu na emisiju pružne buke su: hrapavost površine tračnice, krutost podložnih ploča, podloga kolosijeka, spojevi tračnica i polumjer luka kolosijeka. Alternativno, mogu se definirati opća svojstva kolosijeka, a u tom su slučaju hrapavost površine tračnice i stupanj prigušenja

kolosijeka u skladu s normom ISO 3095 dva akustički ključna parametra, zajedno s polumjerom luka kolosijeka.

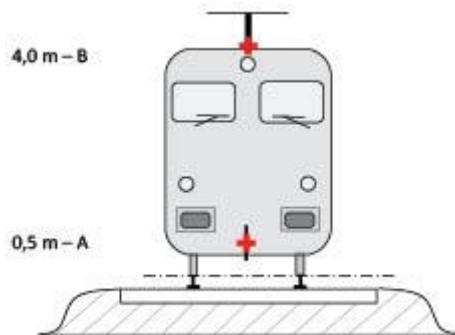
Dionica kolosijeka definira se kao dio jednog kolosijeka na pruzi, u kolodvoru ili spremištu na kojem se fizička svojstva i osnovni sastavni dijelovi kolosijeka ne mijenjaju.

*Tablica [2.3.b]* definira zajednički jezik za opisivanje tipova tračnica uključenih u bazu podataka izvora.

Brojka	1	2	3	4	5	6
Opis svojstva	Podloga kolosijeka	Hrapavost površine tračnice	Tip podložnih ploča	Dodatne zaštitne mјere	Spojevi tračnica	Luk
<b>Objašnjenje opisa</b>	Tip podlage kolosijeka	Indikator hrapavosti	Indikator »akustičke« krutosti	Slovo koje opisuje akustičku napravu	Prisutnost spojeva i njihovi razmaci	Navođenje polumjera luka u metrima
<b>Dopuštene oznake</b>	<b>B</b> Zastor	<b>E</b> Dobro održavano i vrlo glatko	<b>S</b> Mekano (od 150 do 250 MN/m)	<b>N</b> Nema	<b>N</b> Nema	<b>N</b> Pravocrtni kolosijek
	<b>S</b> Kolosijek na čvrstoj podlozi	<b>M</b> Normalno održavano	<b>M</b> Srednje (od 250 do 800 MN/m)	<b>D</b> Prigušivač tračnica	<b>S</b> Jedan spoj ili skretnica	<b>L</b> Nisko (od 1000 do 500 m)
	<b>L</b> Most sa zastorom	<b>N</b> Slabo održavano	<b>H</b> Kruto (od 800 do 1000 MN/m)	<b>B</b> Niski bukobran	<b>D</b> Dva spoja ili skretnice na 100 m	<b>M</b> Srednje (manje od 500 m i više od 300 m)
	<b>N</b> Most bez zastora	<b>B</b> Neodržavano i u lošem stanju		<b>A</b> Apsorbirajuća ploča na kolosijeku na čvrstoj podlozi	<b>M</b> Više od dva spoja ili skretnice na 100 m	<b>H</b> Visoko (manje od 300 m)
	<b>T</b>			<b>E</b>		

	Kontinuirano oslonjeni kolosijek			Kontinuirano oslonjena tračnica		
	<input checked="" type="radio"/> Ostalo			<input checked="" type="radio"/> Ostalo		

Broj i položaj ekvivalentnih izvora zvuka



Slika [2.3.a]: Položaj ekvivalentnih izvora buke

Različiti ekvivalentni linijski izvori buke smješteni su na različite visine i u sredinu kolosijeka. Sve se visine odnose na ravninu koja dodiruje dvije gornje površine dviju tračnica.

Ekvivalentni izvori uključuju različite fizičke izvore (indeks p). Fizički se izvori razvrstavaju u različite kategorije na temelju mehanizma kojim se buka stvara. Ti su izvori: 1) buka kotrljanja (uključujući ne samo vibracije u tračnicama i podlozi kolosijeka i vibracije kotača nego i buku nadgrađa teretnih vozila, ako postoji); 2) buka vuče; 3) aerodinamička buka; 4) udarna buka (zbog prijelaza, skretnica i križišta); buka cijeljenja i 6) buka zbog dodatnih utjecaja poput mostova i vijadukata.

- a. Hrapavost kotača i površina tračnica, koja se na tri načina prenosi na emisijske površine (tračnice, kotači i nadgrađe), predstavlja buku kotrljanja. Ona se dodjeljuje na  $h = 0,5$  m (emisijske površine A) kako bi se prikazali doprinos kolosijeka, u što su uključeni utjecaji površine tračnica, posebno kolosijeka na čvrstoj podlozi (u skladu s propagacijskim dijelom), doprinos kotača i doprinos nadgrađa vozila (kod teretnih vlakova).
- b. Visine ekvivalentnih izvora za buku vuče kreću se između 0,5 m (izvor A) i 4,0 m (izvor B), ovisno o fizičkom položaju predmetnog sastavnog dijela. Izvori poput prijenosnog mehanizma i električnih motora često će biti na osovinskoj visini od 0,5 m (izvor A). Ventilacijski otvori i odsisi sustava za hlađenje za hlađenje mogu se nalaziti na raznim visinama; ispisi vozila na dizelski pogon često su na visini krova, odnosno na 4,0 m (izvor B). Ostali izvori na vući poput ventilatora ili dizelskih motora mogu se nalaziti na visini od 0,5 m (izvor A) ili 4,0 m (izvor B). Ako se točna visina izvora nalazi između visina modela, zvučna energija proporcionalno raspoređuje između najbližih visina izvora.

- 2) Iz tog se razloga u metodi predviđaju dvije visine izvora, 0,5 m (izvor A) i 4,0 m (izvor B), te se ekvivalentna zvučna snaga povezana sa svakom od njih raspoređuje između njih ovisno o konkretnoj konfiguraciji izvora na tipu jedinice.
- 3) Učinci aerodinamičke buke povezuju se s izvorom na 0,5 m (koji predstavlja pokrivače i zaslone, izvor A) i s izvorom na 4,0 m (kojim se modeliraju sve krovne naprave i oduzimač struje, izvor B). Odabir visine od 4,0 m za oduzimač struje smatra se jednostavnim modelom pa ga se mora pažljivo razmotriti ako je cilj odabrati odgovarajuću visinu bukobrana.
- 4) Udarna buka povezuje se s izvorom na 0,5 m (izvor A).
- 5) Buka civiljenja povezuje se s izvorom na 0,5 m (izvor A).
- 6) Buka mosta povezuje se s izvorom na 0,5 m (izvor A).

### 2.3.2. Emisija zvučne snage

#### Opće jednadžbe

##### Pojedino vozilo

Model za buku pružnog prometa, na isti način kao i za buku cestovnog prometa, opisuje emisiju zvučne snage buke konkretne kombinacije tipova vozila i tipova kolosijeka koja ispunjava niz zahtjeva opisanih u klasifikaciji vozila i kolosijeka u obliku skupa zvučne snage po vozilu ( $L_{W,0}$ ).

##### Protok prometa

Emisiju buke protoka prometa na svakom kolosijeku predstavlja skup od dva linijska izvora koji je opisan svojom usmjerrenom zvučnom snagom po metru po frekvencijskom pojasu. To odgovara zbroju emisija zvuka pojedinih vozila u protoku prometa, pri čemu se, u posebnom slučaju vozila u stanju mirovanja, uzima u obzir vrijeme koje vozila provedu na razmatranoj željezničkoj/pružnoj dionici.

Usmjerena zvučna snaga po metru po frekvencijskom pojasu, koju uzrokuju sva vozila koja prolaze po svakoj dionici kolosijeka na tipu kolosijeku (j), definira se:

- za svaki frekvencijski pojas (i),
- za svaku zadalu visinu izvora (h) (za izvore na 0,5 m h = 1, na 4,0 m h = 2),

a predstavlja zbroj energije svih doprinosa svih vozila koja se kreću na određenoj j-toj dionici kolosijeka. Ti su doprinosi:

- od svih vozila (t),
- pri njihovim različitim brzinama (s),
- u određenim uvjetima vožnje (konstantna brzina) (c),
- za svaki tip fizičkog izvora (kotrljanje, udar, civiljenje, vuča, aerodinamika i dodatni utjecaji poput, na primjer, buke mosta) (p).

Za izračun usmjerene zvučne snage po metru (unos za propagacijski dio) nastale prosječnom mješavinom prometa na j-toj dionici kolosijeka koristi se sljedeća jednadžba:

$$L_{W,0,j,T,dif,i} = 10 \cdot \lg \left( \sum_{x=1}^X 10^{L_{W,0,j,h,x}/10} \right)$$

(2.3.1.)

pri čemu:

- $T_{ref}$  = referentno vremensko razdoblje za koje se razmatra prosječni promet,
- $X$  = ukupni broj postojećih kombinacija za  $i, t, s, c, p$  za svaku  $j$ -tu dionicu kolosijeka,
- $t$  = indeks za tipove vozila na  $j$ -toj dionici kolosijeka,
- $s$  = indeks za brzinu vlaka: postoji onoliko indeksa koliko postoji različitih prosječnih brzina vlaka na  $j$ -toj dionici kolosijeka,
- $c$  = indeks za stanje kretanja: 1 (konstantna brzina), 2 (stanje mirovanja),
- $p$  = indeks za tipove fizičkih izvora: 1 (za buku kotrljanja i udarnu buku), 2 (cviljenje u luku), 3 (buka vuče), 4 (aerodinamička buka), 5 (dodatni utjecaji),
- $L_{W',eq,line,x} = X$ -ta usmjerena zvučna snaga po metru za linijski izvor jedne kombinacije  $t, s, c, p$  na svakoj  $j$ -toj dionici kolosijeka.

Ako se prepostavi stalni protok od  $Q$  vozila na sat uz prosječnu brzinu  $v$ , u prosjeku će se ekvivalentni broj  $Q/v$  vozila u svakom trenutku nalaziti na jediničnoj mjeri dionice kolosijeka. Emisija buke protoka vozila izražena usmjerrenom zvučnom snagom po metru  $L_{W',eq,line}$  (izražena u dB/m (ref.  $10^{-12}$  W)) integrira se jednadžbom:

$$L_{W',eq,den,i}(\psi, \varphi) = L_{W,0,dir,i}(\psi, \varphi) + 10 \times \lg\left(\frac{Q}{1000v}\right) \text{ (za } c = 1\text{)}$$

(2.3.2.)

pri čemu:

- $Q$  je prosječan broj vozila na sat na  $j$ -toj dionici kolosijeka za tip vozila  $t$ , prosječnu brzinu vlaka  $s$  i stanje kretanja  $c$ ,
- $v$  je njihova brzina na  $j$ -toj dionici kolosijeka za tip vozila  $t$  i prosječnu brzinu vlaka  $s$ ,
- $L_{W,0,dir}$  je razina usmjerene zvučne snage specifične buke (kotrljanje, udar, cviljenje, vuča, aerodinamika, dodatni utjecaji) pojedinog vozila u smjerovima  $\psi, \phi$  određenima s obzirom na smjer kretanja vozila (vidjeti sliku [2.3.b]).

U slučaju nepomičnog izvora, poput vozila u stanju mirovanja, prepostavlja se da će vozilo tijekom cijelog razdoblja  $T_{idle}$  ostati na mjestu unutar dionice kolosijeka duljine  $L$ . Stoga se pomoću referentnog vremenskog razdoblja  $T_{ref}$  za ocjenu buke (na primjer 12 sati, 4 sata, 8 sati) usmjerena zvučna snaga za jediničnu duljinu na toj dionici kolosijeka definira jednadžbom:

$$L_{W',eq,den,i}(\psi, \varphi) = L_{W,0,dir,i}(\psi, \varphi) + 10 \times \lg\left(\frac{T_{idle}}{T_{ref} L}\right) \text{ (za } c = 2\text{)}$$

(2.3.4.)

Općenito, usmjerena zvučna snaga dobiva se za svaki specifični izvor izrazom:

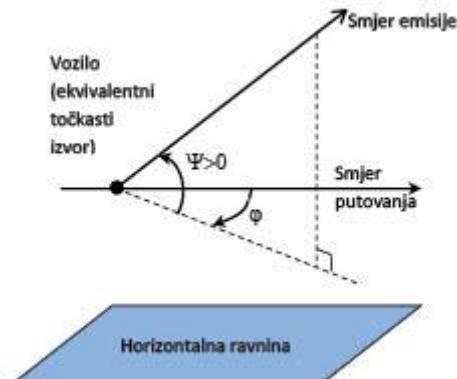
$$L_{W,0,dir,i}(\psi, \varphi) = L_{W,0,i} + \Delta L_{W,dir,vert,i} + \Delta L_{W,dir,hor,i}$$

(2.3.5.)

pri čemu je:

- $\Delta L_{W,dir,vert,i}$  funkcija korekcije vertikalne usmjerenoosti (bezdimenzionalna)  $\psi$  (slika [2.3.b]),
- $\Delta L_{W,dir,hor,i}$  funkcija korekcije horizontalne usmjerenoosti (bezdimenzionalna)  $\phi$  (slika [2.3.b]).

I pri tome se  $L_{W,0,dir,i}(\psi, \phi)$ , nakon izvođenja iz tercnih pojaseva, izražava u oktavnim pojasevima zbrajanjem energetskih vrijednosti svakog pripadnog tercnog pojasa kako bi se dobio odgovarajući oktavni pojas.



Slika [2.3.b]: Geometrijska definicija

Za potrebe izračuna snaga izvora tada se specifično izražava usmjerrenom zvučnom snagom po 1 m duljine kolosijeka  $L_{W,tot,dir,i}$  kako bi se uvrstila usmjerenosit izvora u njihovu vertikalnom i horizontalnom smjeru pomoću dodatnih korekcija.

Nekoliko se  $L_{W,0,dir,i}(\psi, \phi)$  uzima u obzir za svaku kombinaciju vozila, kolosijeka, brzine i stanja kretanja:

- za frekvencijski pojas širine 1/3 oktave (i),
- za svaku dionicu kolosijeka (j),
- visine izvora (h) (za izvore na 0,5 m  $h = 1$ , na 4,0 m  $h = 2$ ),
- usmjerenosit (d) izvora.

Skup  $L_{W,0,dir,i}(\psi, \phi)$  uzima se u obzir za svaku kombinaciju vozila, kolosijeka, brzine i stanja kretanja, svaku dionicu kolosijeka, visine koje odgovaraju  $h = 1$  i  $h = 2$  te usmjerenosit.

#### Buka kotrljanja

Doprinos vozila i doprinos kolosijeka buci kotrljanja razdvaja se na četiri osnovna elementa, a to su: hrapavost kotača, hrapavost tračnica, prijenosna funkcija vozila na kotače i na nadgrađe (vozila) te prijenosna funkcija kolosijeka. Hrapavost kotača i tračnica predstavlja uzrok za stvaranje vibracija na mjestu dodira između tračnice i kotača, a prijenosne funkcije dvije su empirijske ili modelirane funkcije koje predstavljaju cijelu složenu pojavu mehaničke vibracije i stvaranja zvuka na površinama kotača, tračnica, pragova i podloge. U ovoj se podjeli odražavaju fizički dokazi da hrapavost prisutna na tračnici može pobuditi vibracije na tračnici, ali i da će također pobuditi vibracije kotača i obrnuto. Neuključivanje jednog od ova četiri parametra onemogućilo bi razdvajanje klasifikacija tračnica i vlakova.

#### Hrapavost kotača i tračnica

Buku kotrljanja uglavnom pobuđuje hrapavost kotača i tračnica u rasponu valnih duljina od 5 do 500 mm.

#### Definicija

Razina hrapavosti  $L_r$  definira se kao 10 puta logaritam od baze 10 kvadrata srednje kvadratne vrijednosti  $r^2$  hrapavosti gornje površine tračnice ili vanjske površine kotača u smjeru

kretanja (longitudinalna razina) izmjerene u  $\mu\text{m}$  na određenoj duljini tračnice ili na cijelom opsegu kotača, podijeljene s kvadratom referentne vrijednosti  $r_0^2$ :

$$L_r = 10 \times \lg \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 \text{ dB}$$

(2.3.6.)

pri čemu:

$r_0 = 1 \mu\text{m}$ ,

$r$  = razlika efektivne vrijednosti vertikalnog pomaka kontaktne površine u odnosu na srednju razinu

Razina hrapavosti  $L_r$  tipično se dobiva kao spektar valne duljine  $\lambda$  te se pretvara u frekvencijski spektar  $f = v/\lambda$  pri čemu je  $f$  središnja frekvencija zadanog pojasa širine 1/3 oktave u Hz,  $\lambda$  je valna duljina u metrima i  $v$  je brzina vlaka u m/s. Spektar hrapavosti je funkcija frekvencije pa se u skladu s tim pomici duž osi frekvencije za različite brzine. Općenito, nakon pretvaranja u frekvencijski spektar pomoću brzine neophodno je dobiti nove spektralne vrijednosti tercnih oktava izračunavanjem prosjeka između dva odgovarajuća tercna pojasa u području valne duljine. Za procjenu ukupnog efektivnog frekvencijskog spektra hrapavosti koji odgovara odgovarajućoj brzini vlaka, energetski i proporcionalno se izračunava prosjek dva odgovarajuća tercna pojasa definirana u području valne duljine.

**Razina hrapavosti tračnica** (hrapavost kolosijeka) za pojas  $i$ -te valne duljine definira se kao  $L_{r,TR,i}$ .

Analogno tome, **razina hrapavosti kotača** (hrapavost vozila) za pojas  $i$ -tog valnog broja definira se kao  $L_{r,VEH,i}$ .

**Ukupna i efektivna razina hrapavosti** za pojas valnog broja  $i$  ( $L_{R,tot,i}$ ) definira se kao zbroj energija razina hrapavosti tračnica i kotača te kontaktnog filtra  $A_3(\lambda)$  radi uzimanja u obzir učinka filtriranja dodirnog dijela između tračnice i kotača te se izražava u dB jednadžbom:

$$L_{R,tot,i} = 10 \cdot \lg \left( 10^{L_{r,TR,i}/10} + 10^{L_{r,VEH,i}/10} \right) + A_{3,i}$$

(2.3.7.)

pri čemu se iskazuje kao funkcija pojasa  $i$ -og valnog broja koji odgovara valnoj duljini  $\lambda$ . Kontaktni filter ovisi o tipu kolosijeka i kotača te o opterećenju.

U metodi se upotrebljava ukupna efektivna hrapavost za  $j$ -tu dionicu kolosijeka i svaki  $t$ -ti tip vozila pri njegovoj odgovarajućoj brzini  $v$ .

**Prijenosna funkcija vozila, kolosijeka i nadgrađa**

Definiraju se tri prijenosne funkcije neovisne o brzini,  $L_{H,TR,i}$ ,  $L_{H,VEH,i}$  i  $L_{H,VEH,SUP,i}$ : prva je funkcija za svaku  $j$ -tu dionicu kolosijeka, a druge dvije za svaki  $t$ -ti tip vozila. Te funkcije povezuju ukupnu efektivnu razinu hrapavosti sa zvučnom snagom kolosijeka, kotača i nadgrađa, tim redom.

Doprinos nadgrađa uzima se u obzir samo za teretne vagone, dakle, samo za vozila tipa »a«.

Dakle, za buku kotrljanja doprinosi kolosijeka i vozila potpuno su opisani ovim prijenosnim funkcijama i ukupnom efektivnom razinom hrapavosti. Kad je vlak u stanju mirovanja, buka kotrljanja se isključuje.

Za zvučnu snagu po vozilu buka kotrljanja izračunava se na visini osovine, a ulazne su vrijednosti ukupna efektivna razina hrapavosti  $L_{R,TOT,i}$  kao funkcija brzine vozila  $v$ , prijenosne funkcije kolosijeka, vozila i nadgrađa  $L_{H,TR,i}$ ,  $L_{H,VEH,i}$  i  $L_{H,VEH,SUP,i}$  te ukupni broj osovina  $N_a$ : za  $h = 1$ :

$$L_{W,0,TR,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,TR,i} + 10 \times \lg(N_a) \quad \text{dB} \quad (2.3.8.)$$

$$L_{W,0,VEH,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,VEH,i} + 10 \times \lg(N_a) \quad \text{dB} \quad (2.3.9.)$$

$$L_{W,0,VEHSUP,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,VEHSUP,i} + 10 \times \lg(N_a) \quad \text{dB} \quad (2.3.10.)$$

pri čemu je  $N_a$  broj osovina po vozilu za  $t$ -ti tip vozila.



Slika [2.3.c]: Shema za upotrebu različitih definicija hrapavosti i prijenosnih funkcija

Najmanja brzina od 50 km/h (30 km/h samo za tramvaje i laku gradsku željeznicu) upotrebljava se za utvrđivanje ukupne efektivne hrapavosti i time zvučne snage vozila (ta brzina ne utječe na izračun protoka vozila) radi kompenzacije potencijalne pogreške uvedene pojednostavljinjem definicije buke kotrljanja, definicije buke kočenja i definicije udarne buke uzrokovane prijelazima i skretnicama.

#### *Udarna buka (prijelazi, skretnice i križišta)*

Udarnu buku mogu uzrokovati prijelazi, skretnice i križišta. Njezini se razmjeri mogu razlikovati te ona može nadjačati buku kotrljanja. Udarna se buka uzima u obzir za kolosijke sa spojnicama. Za udarnu buku uzrokovana skretnicama, prijelazima i spojevima na dionicama kolosijeka pri brzini manjoj od 50 km/h (30 km/h samo za tramvaje i laku gradsku željeznicu) ne radi se modeliranje jer se najmanja brzina od 50 km/h (30 km/h samo za tramvaje i laku gradsku željeznicu) upotrebljava za uključivanje više utjecaja u skladu s opisom iz poglavlja o buci kotrljanja. Također se ne radi modeliranje buke pri stanju kretanja  $c = 2$  (stanje mirovanja).

Udarna buka uključena je u član buke kotrljanja time što se dopunska izmišljena razina hrapavosti (energetski) dodaje ukupnoj efektivnoj razini hrapavosti za svaku specifičnu  $j$ -tu dionicu kolosijeka na kojoj ta buka postoji. U tom se slučaju novi  $L_{R,TOT+IMPACT,i}$  upotrebljava umjesto  $L_{R,TOT,i}$  te će postati:

$$L_{R,TOT+IMPACT,i} = 10 \times \lg(10^{L_{R,TOT,i}/10} + 10^{L_{R,IMPACT,i}/10}) \text{ dB}$$

(2.3.11.)

$L_{R,IMPACT,i}$  je spektar pojasa širine 1/3 oktave (kao funkcija frekvencije). Za dobivanje tog frekvencijskog spektra, spektar se definira kao funkcija valne duljine  $\lambda$  te se pretvara u traženi spektar kao funkcija frekvencije korištenjem relacije  $\lambda = v/f$ , pri čemu je  $f$  središnja frekvencija pojasa širine 1/3 oktave u Hz i  $v$  je  $s$ -ta brzina vozila  $t$ -og tipa vozila u m/s. Utjecaj buke ovisit će o snazi i broju udara po jediničnoj duljini ili gustoći spojeva tako da se u slučaju da su zadani višestruki udari razina udarne hrapavosti koju treba upotrijebiti u gornjoj jednadžbi izračunava ovako:

$$L_{R,IMPACT,i} = L_{R,IMPACT-SINGLE,i} + 10 \times \lg\left(\frac{n_i}{0.01}\right) \text{ dB}$$

(2.3.12.)

pri čemu je  $L_{R,IMPACT SINGLE,i}$  razina udarne hrapavosti uzeta za pojedini udar i  $n_i$  je gustoća spojeva.

Unaprijed zadana razina gustoće uzeta je za gustoću spojeva od  $n_i = 0,01 \text{ m}^{-1}$ , što znači jedan spoj na 100 m kolosijeka. Situacije s različitim brojem spojeva aproksimiraju se prilagođavanjem gustoće spojeva  $n_i$ . Treba napomenuti da se pri modeliranju trase i segmentacije pruge mora uzeti u obzir gustoća spojeva, što znači da možda bude neophodno uzeti odvojeni segment izvora za dio kolosijeka s više spojeva.  $L_{W,o}$  doprinosa kolosijeka, kotača / okretnog postolja i nadgrađa povećava se pomoću  $L_{R,IMPACT,i}$  za  $+/- 50 \text{ m}$  ispred i iza spoja tračnica. U slučaju niza spojeva, povećanje se proširuje na  $-50 \text{ m}$  ispred prvog spoja i  $+50 \text{ m}$  iza posljednjeg spoja.

Primjenjivost tih spektara zvučne snage obično se provjerava na lokaciji.

Za kolosijeke sa spojnicama uzima se unaprijed zadana vrijednost  $n_i$  od 0,01.

### Civiljenje

Civiljenje u luku kolosijeka je poseban izvor koji se odnosi samo na lukove pa je stoga lokaliziran. Budući da može biti značajan, potrebno ga je odgovarajuće opisati. Civiljenje u luku u pravilu ovisi o zakriviljenju, uvjetima trenja, brzini vlaka te geometriji i dinamici između tračnice i kotača. Razina emisije koju treba upotrijebiti određuje se za lukove s polumjerom manjim od ili jednakim 500 m i za oštire lukove i grananja s polumjerima manjima od 300 m. Emisija buke treba biti posebna za svaki tip željezničkog vozila jer neki tipovi kotača i okretnih postolja mogu biti znatno manje skloni civiljenju od drugih.

Primjenjivost tih spektara zvučne snage obično se provjerava na lokaciji, posebno u slučaju tramvaja.

U jednostavnom pristupu buka civiljenja uzima se u obzir tako što se spektrima zvučne snage buke kotrljanja za sve frekvencije doda 8 dB za  $R < 300 \text{ m}$  i 5 dB za  $300 \text{ m} < R < 500 \text{ m}$ .

Doprinos civiljenja primjenjuje se na dionice željezničkog/pružnog kolosijeka na kojima je polumjer unutar prethodno navedenih vrijednosti u duljini od barem 50 m kolosijeka.

## Buka vuče

Iako je buka vuče obično posebna za svako tipično radno stanje (konstantna brzina, usporenje, ubrzanje i stanje mirovanja), jedina dva stanja za koja se vrši modeliranje su konstantna brzina (koja vrijedi i kad vlak usporava ili ubrzava) i stanje mirovanja. Modelirana snaga izvora odgovara jedino uvjetima maksimalnog opterećenja, a to daje vrijednosti  $L_{W,0,const,i} = L_{W,0,idling,i}$ . Također,  $L_{W,0,idling,i}$  odgovara doprinosu svih fizičkih izvora zadanog vozila koji se mogu dodijeliti određenoj visini, u skladu s opisom iz točke 2.3.1.  $L_{W,0,idling,i}$  izražava se kao statički izvor buke u stanju mirovanja za vrijeme trajanja stanja mirovanja te ga se treba upotrebljavati modeliranog kao stacionarni točkasti izvor u skladu s opisom iz sljedećeg poglavlja o buci industrijskih pogona i postrojenja. On se uzima u obzir samo ako su vlakovi u stanju mirovanja dulje od 0,5 sati.

Te se vrijednosti mogu dobiti mjerjenjem svih izvora za svako radno stanje ili se izvori mogu definirati pojedinačno tako što će se utvrditi njihova ovisnost o parametrima i relativna snaga. To se može postići mjerjenjem na vozilu u stanju mirovanja time što će se mijenjati brzina osovine vučne opreme, u skladu s normom ISO 3095:2005. Potrebno je opisati više izvora buke vuče koji ne moraju svi izravno ovisiti o brzini vlaka u mjeri u kojoj su ti izvori važni:

- buka pogonskog sustava, poput dizelskih motora (uključujući usisne i ispušne otvore i motor), prijenosnog mehanizma i električnih generatora, koja prije svega ovisi o broju okretaja motora u minuti (rpm), i buka električnih izvora poput transformatora, koja može uglavnom ovisiti o opterećenju,
- buka ventilatora i sustava za hlađenje, koja ovisi o brzini okretaja ventilatora u minuti; u nekim slučajevima ventilatori mogu biti izravno spojeni na pogonsku grupu,
- povremeni izvori poput kompresora, ventila i ostalih izvora koji posjeduju tipično trajanje rada i s odgovarajućom korekcijom emisije buke zbog radnog ciklusa.

Budući da se svaki od tih izvora može ponašati različito za svako radno stanje, buka vuče navodi se ovisno o tome. Snaga izvora dobiva se mjerjenjem pod kontroliranim uvjetima. Općenito, lokomotive će pokazati veću varijaciju u opterećenju jer mogu postojati znatne razlike u broju vagona koje vuku i time u izlaznoj snazi, dok fiksne kompozicije poput elektromotornih vlakova (EMV-ovi), dizelmotornih vlakova (DMV-ovi) i vlakova velike brzine imaju bolje definirano opterećenje.

Zvučna snaga izvora nije unaprijed dodijeljena visinama izvora pa se taj izbor vrši ovisno o specifičnoj buci i vozilu koje se ocjenjuje. Modelira se na izvoru A ( $h = 1$ ) i izvoru B ( $h = 2$ ).

## Aerodinamička buka

Aerodinamička buka važna je samo za brzine iznad 200 km/h pa je stoga prvo potrebno provjeriti je li uopće potrebna za ove primjene. Ako su hravavost i prijenosne funkcije buke kotrljanja poznate, aerodinamička se buka može ekstrapolirati za veće brzine te se može usporediti s postojećim podacima za velike brzine kako bi se provjerilo stvara li aerodinamička buka više razine buke. Ako je brzina vlakova na mreži veća od 200 km/h, ali je ograničena na 250 km/h, u nekim slučajevima nije nužno uključiti aerodinamičku buku, ovisno o konstrukciji vozila.

Doprinos aerodinamičke buke daje se kao funkcija brzine:

$$L_{W,0,i} = L_{W,0,1,i}(v_0) + \alpha_{1,i} \times \lg\left(\frac{v}{v_0}\right) \text{ dB za } h = 1 \quad (2.3.13.)$$

$$L_{W,0,i} = L_{W,0,2,i}(v_0) + \alpha_{2,i} \times \lg\left(\frac{v}{v_0}\right) \text{ dB} \quad \text{za } h = 2 \quad (2.3.14.)$$

pri čemu je:

$v_0$  brzina na kojoj je aerodinamička buka dominantna te je utvrđena na 300 km/h,

$L_{W,0,1,i}$  referentna zvučna snaga izmjerena na najmanje dvije mjerne točke za izvore čije su visine izvora poznate, na primjer za prvo okretno postolje,

$L_{W,0,2,i}$  referentna zvučna snaga izmjerena na najmanje dvije mjerne točke za izvore čije su visine izvora poznate, na primjer za visine udubine oduzimača struje,

$\alpha_{1,i}$  koeficijent utvrđen iz najmanje dvije mjerne točke za izvore čije su visine izvora poznate, na primjer za prvo okretno postolje,

$\alpha_{2,i}$  koeficijent utvrđen iz najmanje dvije mjerne točke za izvore čije su visine izvora poznate, na primjer za visine udubine oduzimača struje.

### Usmjerenost izvora

**Horizontalna usmjerenost**  $\Delta L_{W,dir,hor,i}$  u dB zadana je u horizontalnoj ravnini te se može unaprijed pretpostaviti da je dipolna za učinke kotrljanja, udara (spojevi tračnica itd.), ciljenja, kočenja, ventilatora i aerodinamike, zadana za svaki  $i$ -ti frekvencijski pojas jednadžbom:

$$\Delta L_{W,dir,hor,i} = 10 \times \lg(0.01 + 0.99 \cdot \sin^2 \varphi) \quad (2.3.15.)$$

**Vertikalna usmjerenost**  $\Delta L_{W,dir,ver,i}$  u dB zadana je u vertikalnoj ravnini za izvor A ( $h = 1$ ) kao funkcija središnje frekvencije pojasa  $f_{c,i}$  svakog  $i$ -tog frekvencijskog pojasa i za  $-\pi/2 < \psi < \pi/2$  jednadžbom:

$$\Delta L_{W,dir,ver,i} = \left( \frac{40}{3} \times \left[ \frac{2}{3} \times \sin(2 \cdot \psi) - \sin \psi \right] \times \lg \left[ \frac{f_{c,i} + 600}{200} \right] \right) \quad (2.3.16.)$$

Za izvor B ( $h = 2$ ) za aerodinamički učinak:

$$\Delta L_{W,dir,ver,i} = 10 \times \lg(\cos^2 \psi) \quad \text{za } \psi < 0 \quad (2.3.17.)$$

inače  $\Delta L_{dir,ver,i} = 0$

Usmjerenost  $\Delta L_{dir,ver,i}$  ne uzima se u obzir za izvor B ( $h = 2$ ) za druge utjecaje jer se za izvore B u tom položaju pretpostavlja svesmjernost.

### 2.3.3. Dodatni utjecaji

#### Korekcija za struktura emitiranja (mostovi i vijadukti)

U slučaju kad se segment kolosijeka nalazi na mostu, neophodno je uzeti u obzir dodatnu buku nastalu vibracijom mosta zbog pobuđivanja uzrokovanih prisutnošću vlaka. Budući da

zbog složenosti oblika mostova nije jednostavno modelirati emisiju mosta kao dodatnog izvora, za uvrštanje buke mosta upotrebljava se povećanje buke kotrljanja. To se povećanje modelira isključivo dodavanjem fiksног povećanja zvučnoj snazi buke za svaki tercni pojas. Kad se uzima korekcija, mijenja se samo zvučna snaga buke kotrljanja pa se upotrebljava novi  $L_{W,0,rolling\ and\ bridge,i}$  umjesto  $L_{W,0,rolling-only,i}$ :

$$L_{W,0,rolling-and-bridge,i} = L_{W,0,rolling-only,i} + C_{bridge} \text{ dB}$$

(2.3.18.)

pri čemu je  $C_{bridge}$  konstanta koja ovisi o tipu mosta, a  $L_{W,0,rolling\ only,i}$  zvučna snaga buke kotrljanja na zadanom mostu koja ovisi samo o svojstvima vozila i kolosijeka.

#### *Korekcija za ostale izvore povezane sa željeznicom*

Moguća je prisutnost različitih drugih izvora koji su povezani sa pružnom bukom, poput spremišta, područja za utovar i istovar, kolodvora i stajališta, zvona, kolodvorskih zvučnika itd. Prema tim se izvorima treba postupati kao prema izvorima buke industrijskih pogona i postrojenja (stacionarni izvori buke) pa ih prema potrebi treba modelirati u skladu sa sljedećim poglavljem o buci industrijskih pogona i postrojenja.

## **2.4. Buka industrijskih pogona i postrojenja**

### *2.4.1. Opis izvora*

#### *Klasifikacija vrsta izvora (točkasti, linijski, površinski)*

Dimenzije industrijskih izvora mogu biti vrlo različite. Ti izvori mogu biti veliki industrijski pogoni i mali, koncentrirani izvori poput malih alata ili strojeva koji se upotrebljavaju u tvornicama. Stoga je neophodno upotrijebiti prikladnu tehniku modeliranja za specifičan izvor koji se ocjenjuje. Ovisno o dimenzijama i načinu na koji je više pojedinih izvora razmješteno na nekom području, pri čemu svaki od njih pripada istoj industrijskoj lokaciji, te se izvore može modelirati kao točkaste, linijske ili površinske. U praksi se izračuni učinka buke uvijek temelje na točkastim izvorima, ali nekoliko se točkastih izvora može upotrijebiti za prikaz stvarnog složenog izvora koji se uglavnom nalazi na nekoj liniji ili površini.

#### *Broj i položaj ekvivalentnih izvora zvuka*

Stvarni se izvori zvuka modeliraju korištenjem ekvivalentnih izvora zvuka koje predstavljaju jedan ili više točkastih izvora tako da ukupna zvučna snaga stvarnih izvora odgovara zbroju pojedinih zvučnih snaga dodijeljenih različitim točkastim izvorima.

Opća pravila koja treba primjenjivati u definiranju broja točkastih izvora koji će se upotrijebiti su:

- linijski ili točkasti izvori kod kojih je najveća dimenzija manja od 1/2 udaljenosti između izvora i prijemnika mogu se modelirati kao jedan točkasti izvor,
- izvori kod kojih je najveća dimenzija veća od 1/2 udaljenosti između izvora i prijemnika trebaju se modelirati kao niz nekoherentnih točkastih izvora na pravcu ili kao niz nekoherentnih točkastih izvora na nekoj površini tako da za svaki od tih izvora bude ispunjen uvjet 1/2 udaljenosti. Razdioba na nekoj površini može uključivati vertikalnu distribuciju točkastih izvora,
- posebnu je pozornost potrebno pridati visini izvora za izvore kod kojih su najveće dimenzije po visini iznad 2 m ili blizu razine tla. Udvostručenje broja izvora, uz njihovu

ponovnu razdiobu samo po z-osi, ne mora dovesti do znatno boljeg rezultata za taj izvor,

- u slučaju bilo kojeg izvora udvostručenje broja izvora na površini izvora (u svim dimenzijama) ne mora dovesti do znatno boljeg rezultata.

Položaj ekvivalentnih izvora zvuka ne može biti fiksan, s obzirom na velik broj konfiguracija koje mogu postojati na industrijskoj lokaciji. Obično će se primjenjivati najbolja praktična rješenja.

#### *Emisija zvučne snage*

##### *Općenito*

Sljedeće informacije predstavljaju potpun skup ulaznih podataka za izračune širenja (propagacije) zvuka metodama koje treba upotrebljavati za izradu karata buke:

- spektar emitirane razine zvučne snage u oktavnim pojasevima,
- radno vrijeme (dan, večer, noć, prema godišnjem prosjeku),
- lokacija (koordinate x, y) i nadmorska visina (z) izvora buke,
- vrsta izvora (točkasti, linijski, površinski),
- dimenzije i orijentacija,
- radni uvjeti izvora,
- usmjerenost izvora.

Zvučne snage točkastih, linijskih i površinskih izvora moraju se definirati:

- za točkasti izvor, kao zvučna snaga  $L_W$  i usmjerenost kao funkcija tri ortogonalne koordinate (x, y, z),
- mogu se definirati dvije vrste linijskih izvora:
- za linijske izvore koji prikazuju transportne trake, cjevovode itd., kao zvučna snaga po metru duljine  $L_W$  i usmjerenost kao funkcija dviju ortogonalnih koordinata u odnosu na os linijskog izvora,
- za linijske izvore koji prikazuju vozila u kretanju, kao svaka povezana zvučna snaga  $L_W$  i usmjerenost kao funkcija dviju ortogonalnih koordinata u odnosu na os linijskog izvora i zvučna snaga po metru  $L_W'$  dobivena pomoću brzine i broja vozila koja putuju na tom pravcu po danu, večeri i noći; Korekcija za radno vrijeme, koju treba dodati snazi zvučnog izvora kako bi se dobila korigirana zvučna snaga koju treba upotrebljavati za izračune tijekom svakog vremenskog razdoblja,  $C_W$  u dB, izračunava se jednadžbom:

$$C_W = -10 \lg \left( \frac{I \times n}{1000 \times V \times T_0} \right)$$

(2.4.1.)

Pri čemu je:

- V brzina vozila [km/h],  
 n broj prolazaka vozila u razdoblju [-],  
 I ukupna duljina izvora [m],

- za površinske izvore zvuka, kao zvučna snaga po kvadratnom metru  $L_{W/m^2}$  i bez usmjerenosti (može biti horizontalna ili vertikalna).

Radno je vrijeme ključna ulazna vrijednost za izračun razina buke. Radno se vrijeme zadaje za razdoblje dana, večeri i noći, ali se, ako se za širenje upotrebljavaju različite meteorološke klase definirane za svako razdoblje dana, noći i večeri, mora zadati detaljnija podjela radnog vremena za podrazdoblja koja odgovaraju distribuciji meteoroloških klasa. Te se informacije temelje na godišnjem projektu.

Korekcija za radno vrijeme, koju treba dodati snazi zvučnog izvora kako bi se dobila korigirana zvučna snaga koja se upotrebljava za izračune tijekom svakog vremenskog razdoblja,  $C_w$  u dB, izračunava se jednadžbom:

$$C_w = 10 \times \lg \left( \frac{T}{T_{ref}} \right) \quad (2.4.2.)$$

pri čemu:

$T$  je vrijeme aktivnog izvora po razdoblju na temelju uprosječenog godišnjeg stanja, u satima,

$T_{ref}$  je referentno vremensko razdoblje u satima (na primjer, dan je 12 sati, večer je 4 sata, noć je 8 sati).

Za dominantnije izvore korekcija za prosječno godišnje radno vrijeme procjenjuje se barem unutar dopuštenog odstupanja od 0,5 dB kako bi se postigla prihvatljiva točnost (ekvivalent nesigurnosti ispod 10 % u definiciji aktivnog razdoblja za izvor).

#### *Usmjerenost izvora*

Usmjerenost izvora snažno je povezana s položajem ekvivalentnog izvora zvuka u odnosu na obližnje površine. Budući da metoda širenja uzima u obzir refleksije od bliskih površina i apsorpciju zvuka, neophodno je pažljivo razmotriti položaj bliskih površina. U pravilu se uvijek razlikuju dva slučaja:

- zvučna snaga i usmjerenost izvora utvrđuju se i zadaju u odnosu na određeni stvarni izvor koji je smješten u slobodno zvučno polje (isključujući utjecaj tla). To se slaže s definicijama u pogledu širenja ako se pretpostavi da nema bliskih površina na udaljenosti od najmanje 0,01 m od izvora, a površine na udaljenosti od 0,01 m ili više su uključene u izračun širenja,
- zvučna snaga i usmjerenost izvora utvrđuju se i zadaju u odnosu na određeni stvarni izvor koji je smješten na specifičnu lokaciju pa su stoga zvučna snaga i usmjerenost izvora zapravo »ekvivalentne« jer uključuju modeliranje utjecaja bliskih površina. To se definira kao »poluslobodno zvučno polje« u skladu s definicijama u vezi sa širenjem. U tom se slučaju modelirane bliske površine isključuju iz izračuna širenja.

Usmjerenost se u izračunu izražava kao faktor  $\Delta L_{W,dir,xyz}(x, y, z)$  koji treba dodati zvučnoj snazi kako bi se dobila prava usmjerenu zvučnu snagu referentnog zvučnog izvora kakva se vidi u širenju zvuka u zadanom smjeru. Taj se faktor može iskazati kao funkcija vektora smjera koji se definira pomoću  $(x,y,z)$  u  $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = 1$ .

Usmjerenost se također može izraziti korištenjem drugih koordinatnih sustava poput kutnog sustava.

## **2.5. Izračun širenja buke za cestovne, željezničke i industrijske izvore**

### **2.5.1. Područje primjene i primjenjivost metode**

U ovom se dokumentu određuje metoda za izračun prigušenja buke prilikom širenja u vanjskom prostoru. Uz poznata svojstva izvora ovom se metodom predviđa ekvivalentna kontinuirana razina zvučnog tlaka u točki prijemnika koja odgovara dvjema posebnim vrstama atmosferskih uvjeta, a to su:

- uvjeti širenja uz lom (refrakciju) prema dolje (pozitivni vertikalni gradijent efektivne brzine zvuka) od izvora do prijemnika,
- homogeni atmosferski uvjeti (nulti vertikalni gradijent efektivne brzine zvuka) u cijelom području širenja.

Metoda izračuna opisana u ovom dokumentu odnosi se na infrastrukture industrije i kopnenog prometa. Stoga se posebno odnosi na cestovne i željezničke infrastrukture. U područje primjene ove metode uključen je zračni promet samo za buku koja se stvara pri operacijama na tlu te u njega nije uključeno uzljetanje i slijetanje.

Industrijske infrastrukture koje emitiraju impulsne šumove ili jake tonalne buke iz norme ISO 1996-2:2007 ne ulaze u područje primjene ove metode.

Metoda izračuna ne daje rezultate za uvjete širenja uz lom (refrakciju) prema gore (negativni vertikalni gradijent efektivne brzine zvuka), ali ti se uvjeti aproksimiraju homogenim uvjetima pri izračunu  $L_{den}$ .

Kako bi se izračunalo prigušenje zbog apsorpcije u atmosferi za prometnu infrastrukturu, temperatura i vлага izračunavaju se u skladu s normom ISO 9613-1:1996.

Metodom se dobivaju rezultati po oktavnim pojasevima od 63 Hz do 8000 Hz. Izračuni se rade za svaku središnju frekvenciju.

Djelomični zasloni i prepreke koji su pri modeliranju ukošeni preko 15 stupnjeva u odnosu na vertikalu ne spadaju u područje primjene ove metode izračuna.

Jedan se zaslon izračunava kao jedan izračun difrakcije (ogiba), a dva ili više zaslona na jednom putu uzimaju se kao uzastopni niz pojedinih difrakcija primjenom u nastavku opisanog postupka.

### **2.5.2. Korištene definicije**

Sve udaljenosti, visine, dimenzije i nadmorske visine u ovom dokumentu izražavaju se u metrima (m).

Zapis  $MN$  znači udaljenost u 3 dimenzije (3D) između točaka  $M$  i  $N$  koja je izmjerena na pravcu koji povezuje te točke.

Zapis  $M^N$  znači duljina krivulje između točaka  $M$  i  $N$  pod povoljnim uvjetima.

Uobičajeno je da se stvarne visine mijere vertikalno u smjeru okomitom na vodoravnu ravninu. Visine točaka iznad lokalnog tla označavaju se slovom  $h$ , absolutne visine točaka i absolutna visina tla označavaju se slovom  $H$ .

Kako bi se uzeo u obzir stvarni reljef duž puta širenja, uvodi se pojam »ekvivalentne visine« koji se označava slovom  $z$ . Njime se zamjenjuju stvarne visine u jednadžbama za utjecaj tla. Razine zvuka, označene velikim slovom  $L$ , izražene su u decibelima (dB) po frekvencijskom pojasu kad se ispusti indeks A. Razinama zvuka u decibelima dB(A) zadaje se indeks A. Zbroj razina zvuka iz međusobno nekoherentnih izvora označava se znakom  $\oplus$  u skladu sa sljedećom definicijom:

$$L_1 \oplus L_2 = 10 \cdot \lg \left[ 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right] \quad (2.5.1.)$$

### 2.5.3. Geometrijska razmatranja

#### Segmentacija izvora

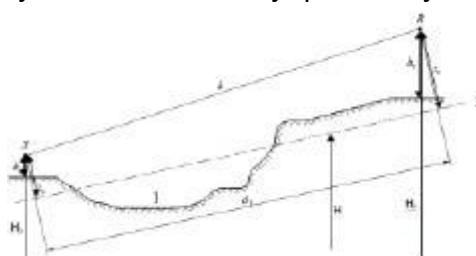
Stvarni izvori opisuju se skupom točkastih izvora ili, u slučaju pružnog ili cestovnog prometa, nekoherentnih linijskih izvora. U primjeni metode širenja pretpostavlja se da su linijski ili površinski izvori prethodno podijeljeni kako bi ih se prikazalo nizom ekvivalentnih točkastih izvora. To se moglo napraviti u preliminarnoj obradi izvornih podataka ili se može napraviti u prvom koraku u softveru za izračune. Način na koji se to radi nije obuhvaćen opsegom ove metodologije.

#### Putovi širenja

U metodi se upotrebljava geometrijski model koji se sastoji od skupa povezanih površina na tlu i površina prepreka. Put vertikalnog širenja primjenjuje se na jednoj ili više vertikalnih ravnina u odnosu na horizontalnu ravninu. U slučaju putanja koje sadrže refleksije s vertikalnih površina koje nisu ortogonalne na upadnu ravninu, poslije se uzima još jedna vertikalna ravnina na kojoj se nalazi reflektirani dio puta širenja. U tim se slučajevima, kad se koristi više vertikalnih ravnina za opisivanje cijele putanje od izvora do prijemnika, vertikalne ravnine potom izravnavaju poput kineskog paravana na rasklapanje.

#### Značajne visine iznad tla

Ekvivalentne visine dobivaju se iz središnje ravnine tla između izvora i prijemnika. To zamjenjuje stvarno tlo zamišljenom ravninom koja predstavlja srednji profil zemlje.



1: Stvarni reljef

2: Središnja ravnina

Slika 2.5.a: Ekvivalentne visine u odnosu na tlo

Ekvivalentna visina točke je njezina ortogonalna visina u odnosu na srednju ravninu tla. Stoga se mogu definirati visina ekvivalentnog izvora  $z_s$  i visina ekvivalentnog prijemnika  $z_r$ .

Udaljenost između izvora i prijemnika projicirana na središnju ravninu tla obilježava se s  $d_p$ .

Ako ekvivalentna visina točke postane negativna, to jest, ako se točka nalazi ispod središnje ravnine tla, zadržava se nulta visina, a ekvivalentna točka je jednaka sa svojom mogućom slikom.

#### *Izračun središnje ravnine*

Na ravnini puta širenja topografija (uključujući teren, humke, nasipe i druge ljudske prepreke, zgrade...) se može opisati uređenim skupom diskretnih točaka ( $x_k, H_k$ ;  $k \in \{1, \dots, n\}$ ). Taj skup točaka definira poliliniju ili, ekvivalentno, niz dužina  $H_k = a_k x + b_k$ ,  $x \in [x_k, x_{k+1}]$ ;  $k \in \{1, \dots, n\}$ , pri čemu je:

$$\begin{cases} a_k = (H_{k+1} - H_k) / (x_{k+1} - x_k) \\ b_k = (H_k \cdot x_{k+1} - H_{k+1} \cdot x_k) / (x_{k+1} - x_k) \end{cases} \quad (2.5.2.)$$

Središnja se ravnina prikazuje pravcem  $Z = ax + b$ ;  $x \in [x_1, x_n]$  koji se prilagođava poliliniji aproksimacijom najmanjih kvadrata. Jednadžba središnjeg pravca može se riješiti analitički. Korištenjem jednadžbi:

$$\begin{cases} A = \frac{2}{3} \sum_{k=1}^{n-1} a_k (x_{k+1}^3 - x_k^3) + \sum_{k=1}^{n-1} b_k (x_{k+1}^2 - x_k^2) \\ B = \sum_{k=1}^{n-1} a_k (x_{k+1}^2 - x_k^2) + 2 \sum_{k=1}^{n-1} b_k (x_{k+1} - x_k) \end{cases} \quad (2.5.3.)$$

Koeficijenti pravca dobivaju se jednadžbama:

$$\begin{cases} a = \frac{3(2A - B(x_n + x_1))}{(x_n - x_1)^3} \\ b = \frac{2(x_n^3 - x_1^3)}{(x_n - x_1)^4} B - \frac{3(x_n + x_1)}{(x_n - x_1)^3} A \end{cases} \quad (2.5.4.)$$

Pri čemu se dužine s  $x_{k+1} = x_k$  zanemaruju pri rješavanju jednadžbe 2.5.3.

#### *Refleksija od pročelja zgrada i drugih vertikalnih prepreka*

Doprinosi refleksija uzimaju se u obzir uvođenjem zrcalnih izvora u skladu s opisom u nastavku.

#### *2.5.4. Model širenja zvuka*

Za prijemnik  $R$  izračuni se rade u skladu sa sljedećim koracima:

- 1) na svakom putu širenja:
  - izračun prigušenja u povoljnim uvjetima,
  - izračun prigušenja u homogenim uvjetima,
  - izračun dugotrajne razine zvuka za svaki put;
- 2) nakupljanje dugotrajnih razina zvuka za sve putove koji utječu na određeni prijemnik, čime se omogućuje da se ukupna razina zvuka izračuna na točki prijemnika.

Potrebno je napomenuti da meteorološki uvjeti utječu samo na prigušenja zbog utjecaja tla ( $A_{\text{ground}}$ ) i difrakcije ( $A_{\text{dif}}$ ).

### 2.5.5. Postupak izračuna

Za točkasti izvor  $S$  usmjerene snage zvuka  $L_{w,0,dir}$  i zadanoj frekvencijskog pojasa ekvivalentna kontinuirana razina zvučnog tlaka na točki prijemnika  $R$  pod zadanim atmosferskim uvjetima dobiva se u skladu sa sljedećim jednadžbama.

*Razina zvuka u povoljnim uvjetima (LF) za put (S,R)*

$$L_F = L_{w,0,dir} - A_F \quad (2.5.5.)$$

Član  $A_F$  predstavlja ukupno prigušenje na putu širenja pod povoljnim uvjetima te se rastavlja na sljedeći način:

$$A_F = A_{div} + A_{atm} + A_{boundary,F} \quad (2.5.6.)$$

pri čemu:

$A_{div}$  je prigušenje zbog geometrijske divergencije,

$A_{atm}$  je prigušenje zbog apsorpcije u atmosferi,

$A_{boundary,F}$  je prigušenje zbog rubnih uvjeta u propagacijskom mediju pod povoljnim uvjetima. Ono može sadržavati sljedeće članove:

$A_{ground,F}$  što je prigušenje zbog tla pod povoljnim uvjetima,

$A_{dif,F}$  što je prigušenje zbog difrakcije pod povoljnim uvjetima.

Za zadani put i frekvencijski pojas moguća su sljedeća dva scenarija:

- ili se  $A_{ground,F}$  izračunava bez difrakcije ( $A_{dif,F} = 0$  dB) i  $A_{boundary,F} = A_{ground,F}$ ,
- ili se izračunava  $A_{dif,F}$ . Utjecaj tla uzima se u obzir u samoj jednadžbi za  $A_{dif,F}$  ( $A_{ground,F} = 0$  dB). Time se dobiva  $A_{boundary,F} = A_{dif,F}$ .

*Razina zvuka u homogenim uvjetima (LH) za put (S,R)*

Postupak je izričito identičan onom u slučaju povoljnih uvjeta prikazanom u prethodnom dijelu.

$$L_H = L_{w,0,dir} - A_H \quad (2.5.7.)$$

Član  $A_H$  predstavlja ukupno prigušenje na putu širenja pod homogenim uvjetima te se rastavlja na sljedeći način:

$$A_H = A_{div} + A_{atm} + A_{boundary,H} \quad (2.5.8.)$$

pri čemu:

$A_{div}$  je prigušenje zbog geometrijske divergencije,

$A_{atm}$  je prigušenje zbog apsorpcije u atmosferi,

$A_{boundary,H}$  je prigušenje zbog rubnih uvjeta u propagacijskom mediju pod homogenim uvjetima. Ono može sadržavati sljedeće članove:

$A_{ground,H}$  što je prigušenje zbog tla pod homogenim uvjetima,

$A_{dif,H}$  što je prigušenje zbog difrakcije pod homogenim uvjetima.

Za zadani put i frekvencijski pojas moguća su sljedeća dva scenarija:

- ili se  $A_{ground,H}$  izračunava bez difrakcije ( $A_{dif,H} = 0 \text{ dB}$ ), a  $A_{boundary,H} = A_{ground,H}$ ,
- ili se izračunava  $A_{dif,H}$  ( $A_{ground,H} = 0 \text{ dB}$ ). Utjecaj tla uzima se u obzir u samoj jednadžbi za  $A_{dif,H}$ . Time se dobiva  $A_{boundary,H} = A_{dif,H}$ .

#### *Statistički pristup u urbanim prostorima za put širenja (S,R)*

U urbanim je prostorima dopušten statistički pristup izračunu širenja zvuka iza prvog reda zgrada pod uvjetom da je takva metoda odgovarajuće dokumentirana, što podrazumijeva i odgovarajuće informacije o kvaliteti metode. Ova metoda može zamijeniti izračun  $A_{boundary,H}$  i  $A_{boundary,F}$  aproksimacijom ukupnog prigušenja za izravni put i sve refleksije. Izračun će se temeljiti na prosječnoj gustoći zgrada i na prosječnoj visini svih zgrada u prostoru.

#### *Dugotrajna zvučna razina za put širenja (S,R)*

»Dugotrajna« razina zvuka duž puta širenja iz zadanog točkastog izvora dobiva se iz logaritamskog zbroja vrednovane zvučne energije pod homogenim uvjetima i zvučne energije pod povoljnim uvjetima.

Te se razine zvuka vrednuju prema srednjem broju pojava  $p$  povoljnih uvjeta u smjeru puta širenja (S,R):

$$L_{LT} = 10 \times \lg \left( p \cdot 10^{\frac{L_p}{10}} + (1-p) \cdot 10^{\frac{L_H}{10}} \right) \quad (2.5.9.)$$

Napomena: Vrijednosti pojava za  $p$  izražene su u postocima. Na primjer, ako je vrijednost pojava 82 %, jednadžba (2.5.9.) bi imala  $p = 0,82$ .

#### *Dugotrajne zvučne razine u točki R za sve putove širenja*

Ukupna dugotrajna zvučna razina na prijemniku za neki frekvencijski pojas dobiva se zbrajanjem energetskih doprinosa iz svih putova N, uključujući sve tipove:

$$L_{tot,LT} = 10 \times \lg \left( \sum_n 10^{\frac{L_{n,LT}}{10}} \right) \quad (2.5.10.)$$

pri čemu:

$n$  je indeks putova između S i R.

U nastavku je opisano kako se pomoću zrcalnih izvora uzimaju u obzir refleksije. Postotak pojava povoljnih uvjeta u slučaju puta koji se reflektira od vertikalne prepreke identičan je pojavama na izravnom putu.

Ako je  $S'$  zrcalni izvor S, tad se pojava  $p'$  puta ( $S',R$ ) smatra jednakom pojavi  $p$  puta ( $S_i,R$ ).

#### *Dugotrajne zvučne razine na točki R u decibelima A (dBA)*

Ukupna zvučna razina u decibelima A (dBA) dobiva se zbrajanjem razina u svakom frekvencijskom pojasu:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \times \lg \sum_i 10^{\frac{(L_{n,LT,i} + AWC_{f,i})}{10}} \quad (2.5.11.)$$

pri čemu je  $i$  indeks frekvencijskog pojasa. AWC je A-vrednovana korekcija u skladu s međunarodnom normom IEC 61672-1:2003.

Ta razina  $L_{Aeq,LT}$  je konačni rezultat, to jest, dugotrajna A-vrednovana razina zvučnog tlaka na točki prijemnika u određenom referentnom vremenskom razdoblju (to jest, dan, večer, noć ili neko kraće razdoblje unutar dana, večeri ili noći).

#### **2.5.6. Izračun širenja buke za cestovne, željezničke i industrijske izvore**

##### **Geometrijska divergencija**

Prigušenje zbog geometrijske divergencije  $A_{div}$  odgovara smanjenju razine zvuka zbog udaljenosti širenja. Za točkasti izvor zvuka u slobodnom zvučnom polju prigušenje u dB dobiva se jednadžbom:

$$A_{div} = 20 \times \lg(d) + 11 \quad (2.5.12.)$$

pri čemu je  $d$  izravna trodimenzionalna udaljenost između izvora i prijemnika.

##### **Atmosferska apsorpcija**

Prigušenje zbog apsorpcije u atmosferi  $A_{atm}$  tijekom širenja na udaljenosti  $d$  dobiva se u dB jednadžbom:

$$A_{atm} = \alpha_{atm} \cdot d / 1000 \quad (2.5.13.)$$

pri čemu:

$d$  je izravna trodimenzionalna udaljenost između izvora i prijemnika u m,

$\alpha_{atm}$  je koeficijent atmosferskog prigušenja u dB/km na nazivnoj središnjoj frekvenciji za svaki frekvencijski pojas u skladu s normom ISO 9613-1.

Vrijednosti koeficijenta  $\alpha_{atm}$  dane su za temperaturu 15 °C, relativnu vlažnost 70 % i atmosferski tlak 101 325 Pa. Izračunavaju se s točnim središnjim frekvencijama frekvencijskog pojasa. Te su vrijednosti sukladne s normom ISO 9613-1. Ako su meteorološki podaci dostupni, upotrebljava se dugoročni meteorološki prosjek.

##### **Utjecaj tla**

Prigušenje zbog utjecaja tla uglavnom je rezultat interferencije između reflektiranog zvuka i zvuka koji se širi izravno od izvora do prijemnika. To je prigušenje fizički povezano s akustičkom apsorpcijom tla iznad kojeg se zvučni val širi. Međutim, ono je također znatno ovisno o atmosferskim uvjetima za vrijeme širenja jer lom zrake mijenja visinu puta iznad tla pa čini utjecaj tla i tlo blizu izvora više ili manje znatnim.

U slučaju da na širenje između izvora i prijemnika utječe prepreka na ravnini širenja, utjecaj tla izračunava se odvojeno na strani izvora i na strani prijemnika. U tom se slučaju  $z_s$  i  $z_r$  odnose na položaj ekvivalentnog izvora i/ili prijemnika prema kasnije navedenom na mjestu gdje je prikazana jednadžba za izračun difrakcije  $A_{dif}$ .

##### **Akustičko opisivanje tla**

Svojstva akustičke apsorpcije tla uglavnom su povezana s njegovom poroznosti. Zbijeno je tlo u načelu reflektivnije, a porozno jače apsorbira.

Za potrebe radnog izračuna akustička se apsorpcija tla predstavlja bezdimenzionalnim koeficijentom  $G$  čije su vrijednosti između 0 i 1. Koeficijent  $G$  nije ovisan o frekvenciji. U

tablici 2.5.a dane su vrijednosti koeficijenta  $G$  za tlo u vanjskom prostoru. Općenito, prosječne vrijednosti koeficijenta  $G$  na putu širenja su između 0 i 1.

Tablica 2.5.a: Vrijednosti koeficijenta  $G$  za različite tipove tla

Opis	Tip	(kPa·s/m <sup>2</sup> )	Vrijednost koeficijenta $G$
Vrlo meko (snijeg ili nalik na mahovinu)	A	12,5	1
Meko šumsko tlo (nisko, gusto raslinje nalik na vriesak ili debelu mahovinu)	B	31,5	1
Nezbijeno, rahlo tlo (treset, trava, rahlo tlo)	C	80	1
Normalno nezbijeno tlo (šumsko tlo, pašnjaci)	D	200	1
Zbijeno tlo i šljunak (zbijeni travnjaci, područja parkova)	E	500	0,7
Zbijeno gusto tlo (šljunčana cesta, parkiralište)	F	2000	0,3
Tvrde površine (uglavnom normalni asfalt, beton)	G	20 000	0
Vrlo tvrde i gусте površine (gusti asfalt, beton, voda)	H	200 000	0

$G_{path}$  se definira kao udio apsorbirajućeg tla na cijelom putu širenja.

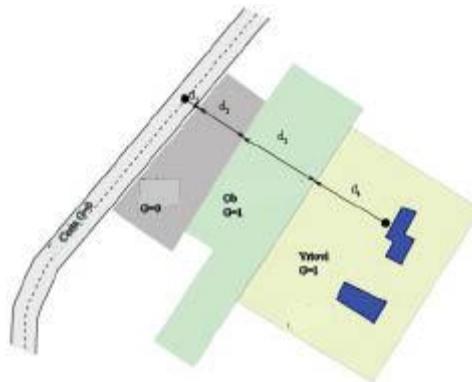
Kad su izvor i prijemnik toliko blizu da  $d_p \leq 30(z_s + z_r)$ , razlika između tipa tla koje se nalazi blizu izvora i tipa tla koje se nalazi blizu prijemnika je zanemariva. Kako bi se ova napomena uzela u obzir, faktor tla  $G_{path}$  se na kraju korigira na sljedeći način:

$$G'_{path} = \begin{cases} G_{path} \frac{d_p}{30(z_s + z_r)} + G_s \left(1 - \frac{d_p}{30(z_s + z_r)}\right) & \text{ako } d_p \leq 30(z_s + z_r) \\ G_{path} & \text{ako } d_p > 30(z_s + z_r) \end{cases}$$

(2.5.14.)

pri čemu je  $G_s$  faktor tla na području izvora.  $G_s = 0$  za ravne plohe cesta<sup>[1]</sup> (Apsorpcija poroznih cestovnih površina uzima se u obzir u modelu emisije.) i kolosijeke na čvrstoj podlozi.  $G_s = 1$  za željezničke/pružne kolosijeke na zastoru. Za izvore buke industrijskih pogona i postrojenja ne postoji opći odgovor.

$G$  se može povezati s otporom toka zraka.



$$d_p = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

$$G_{path} = \frac{(0 \cdot d_1 + 0 \cdot d_2 + 1 \cdot d_3 + 1 \cdot d_4)}{d_p} = \frac{(d_3 + d_4)}{d_p}$$

Slika 2.5.b: Određivanje koeficijenta tla  $G_{path}$  na putu širenja

Sljedeća dva pododjeljka o izračunima pod homogenim i povoljnijim uvjetima uvođe opće zapise  $\bar{G}_w$  i  $\bar{G}_m$  za apsorpciju tla. U tablici 2.5.b navodi se slaganje između tih zapisa i varijabli  $G_{path}$  i  $G'_{path}$ .

Tablica 2.5.b: Slaganje između  $\bar{G}_w$  i  $\bar{G}_m$  i ( $G_{path}$ ,  $G'_{path}$ )

	Homogeni uvjeti			Povoljni uvjeti		
	$A_{path}$	$A_{path,0.05}$	$A_{path,0.05,0.05}$	$A_{path}$	$A_{path,0.05}$	$A_{path,0.05,0.05}$
$\bar{G}_w$	$\bar{G}_{path}$			$\bar{G}_{path}$		
$\bar{G}_m$	$\bar{G}'_{path}$	$\bar{G}_{path}$	$\bar{G}_{path}$	$\bar{G}'_{path}$	$\bar{G}_{path}$	$\bar{G}_{path}$

#### Izračuni pod homogenim uvjetima

Prigušenje zbog utjecaja tla pod homogenim uvjetima izračunava se sljedećim jednadžbama: ako  $G_{path} \neq 0$

$$A_{path,w} = \max \left( -10 \times \left[ \frac{4}{d_p^2} \left( z_p^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} z_p + \frac{C_f}{k} \right) \right], A_{path,w,min} \right) \quad (2.5.15.)$$

pri čemu:

$$k = \frac{2\pi f_w}{c}$$

$f_w$  je nazivna središnja frekvencija promatranog frekvencijskog pojasa u Hz,  $c$  je brzina zvuka u zraku za čiju se vrijednost uzima 340 m/s, a  $C_f$  se definira jednadžbom:

$$C_f = d_p \frac{1 + 3wd_p e^{-\sqrt{wd_p}}}{1 + wd_p} \quad (2.5.16.)$$

pri čemu se vrijednosti  $w$  dobivaju iz sljedeće jednadžbe:

$$w = 0.0185 \frac{f_w^{0.5} \bar{G}_w^{2.6}}{f_w^{0.5} \bar{G}_w^{2.6} + 1.3 \cdot 10^7 f_w^{0.75} \bar{G}_w^{1.3} + 1.16 \cdot 10^6} \quad (2.5.17.)$$

$\bar{G}_w$  može biti jednak bilo  $G_{path}$  bilo  $G'_{path}$ , ovisno o tome izračunava li se utjecaj tla s ili bez difrakcije i ovisno o prirodi tla ispod izvora (stvarnog izvora ili izvora difrakcije). To je navedeno u sljedećim pododjeljcima i sažeto u tablici 2.5.b.

$$A_{ground,H,min} = -3(1 - G_w)$$

(2.5.18.)

je donja međa od  $A_{ground,H}$ .

Za put (S<sub>i</sub>,R) pod homogenim uvjetima bez difrakcije:

$$\bar{G}_w = G'_{path}$$

$$\bar{G}_m = G'_{path}$$

ako  $G_{path} = 0 : A_{ground,H} = -3 \text{ dB}$

S difrakcijom, pogledajte odjeljak o difrakciji za definicije  $\bar{G}_w$  i  $\bar{G}_m$ .

Član  $\boxed{3(1-\bar{G}_w)}$  uzima u obzir činjenicu da ploha ceste više nije prva refleksija u odnosu na izvor u slučaju da su izvor i prijemnik vrlo razdvojeni, nego je to tada prirodno tlo.

*Izračuni pod povoljnim uvjetima*

Utjecaj tla pod povoljnim uvjetima izračunava se jednadžbom za  $A_{ground,H}$ , ali ju je potrebno izmijeniti na sljedeći način:

Ako  $G_{path} \neq 0$

- a) u jednadžbi za  $A_{ground,H}$ , visine  $z_s$  i  $z_r$  zamjenjuju se sa  $z_s + \delta z_s + \delta z_T$  i  $z_r + \delta z_r + \delta z_T$ , tim redom, pri čemu

$$\begin{cases} \delta z_s = a_0 \left( \frac{z_s}{z_s + z_r} \right)^2 \frac{d_p^2}{2} \\ \delta z_r = a_0 \left( \frac{z_r}{z_s + z_r} \right)^2 \frac{d_p^2}{2} \end{cases}$$

(2.5.19.)

$a_0 = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$  je obrnuto od polumjera zakrivljenosti krivulje

$$\delta z_T = 6 \cdot 10^{-3} \frac{d_p}{z_s + z_r}$$

- b) donja međa od  $A_{ground,F}$  ovisi o geometriji puta širenja:

$$A_{ground,F,min} = \begin{cases} -3(1 - \bar{G}_w) & \text{ako } d_p \leq 30(z_s + z_r) \\ -3(1 - \bar{G}_w) \cdot \left( 1 + 2 \left( 1 - \frac{30(z_s + z_r)}{d_p} \right) \right) & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

(2.5.20.)

ako  $G_{path} = 0$

$$A_{ground,F} = A_{ground,F,min}$$

Korekcije za visinu  $\delta z_s$  i  $\delta z_r$  prenose učinak loma zvučne zrake.  $\delta z_T$  uvrštava utjecaj turbulencije.

$\bar{G}_w$  može također biti jednak bilo  $G_{path}$  bilo  $G'_{path}$ , ovisno o tome izračunava li se utjecaj tla s ili bez difrakcije i ovisno o prirodi tla ispod izvora (stvarnog izvora ili izvora difrakcije). To je navedeno u sljedećim pododjeljcima.

Za put (S<sub>i</sub>,R) pod povoljnim uvjetima bez difrakcije:

$$\bar{G}_w = G_{path} \text{ u jednadžbi (2.5.17.)},$$

$$\bar{G}_m = G'_{path}.$$

S difrakcijom, pogledajte sljedeći odjeljak za definicije  $\bar{G}_w$  i  $\bar{G}_m$ .

#### Difrakcija

Općenito, difrakciju treba proučavati na vrhu svake prepreke koja se nalazi na putu širenja.

Ako put širenja prolazi »dovoljno visoko« iznad brida difrakcije, može se zadati  $A_{dif} = 0$  i izračunati izravan pogled, posebno kad se procjenjuje  $A_{ground}$ .

U praksi se za središnju frekvenciju svakog frekvencijskog pojasa uspoređuje razlika puta  $\delta$  s vrijednosti  $-\lambda / 20$ . Ako prepreka ne uzrokuje difrakciju, što se, na primjer, utvrdi na temelju Rayleighjeva kriterija, nije potrebno izračunati  $A_{dif}$  za razmatrani frekvencijski pojas. Drugim riječima, u tom slučaju  $A_{dif} = 0$ . U suprotnom se  $A_{dif}$  izračunava prema opisu u nastavku ovog dijela. Ovo se pravilo primjenjuje pod homogenim i pod povoljnim uvjetima, za jednu difrakciju i za višestruku difrakciju.

Kad se za zadani frekvencijski pojas napravi izračun u skladu s postupkom opisanim u ovom odjeljku,  $A_{ground}$  se određuje kao jednak 0 dB pri izračunu ukupnog prigušenja. Utjecaj tla uzima se izravno u obzir u općoj jednadžbi za izračun difrakcije.

Ovdje predložene jednadžbe upotrebljavaju se za obradu difrakcija na tankim zaslonima, debelim zaslonima, zgradama, zemljanim uzvisinama (prirodnim ili umjetnim) i rubovima nasipa, usjeka i vijadukata.

Ako se na putu širenja nađe na više prepreka koje izazivaju difrakciju, te se prepreke uzimaju kao višestruka difrakcija primjenom postupka opisanog u sljedećem odjeljku za izračun razlike puta.

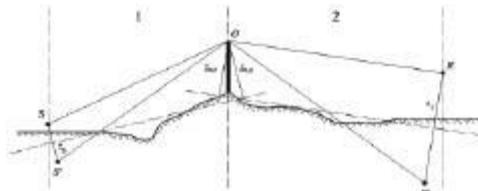
Ovdje prikazani postupci koriste se za izračun prigušenja pod homogenim uvjetima i pod povoljnim uvjetima. Lom zrake uzima se u obzir u izračunu za razliku puta i za izračun utjecaja tla prije i poslije difrakcije.

#### Opća načela

Slika 2.5.c prikazuje opću metodu za izračun prigušenja zbog difrakcije. Ova se metoda temelji na razbijanju puta širenja u dva dijela: put »od izvora«, koji se proteže od izvora do točke difrakcije, i put »do prijemnika«, koji se proteže od točke difrakcije do prijemnika.

Izračunava se sljedeće:

- utjecaj tla, od izvora,  $\Delta_{ground(S,O)}$ ,
- utjecaj tla, do prijemnika,  $\Delta_{ground(O,R)}$ ,
- i tri difrakcije:
- između izvora  $S$  i prijemnika  $R$ :  $\Delta_{dif(S,R)}$ ,
- između zrcalnog izvora  $S'$  i  $R$ :  $\Delta_{dif(S',R)}$ ,
- između  $S$  i prijemnika vala iz zrcalnog izvora  $R'$ :  $\Delta_{dif(S,R')}$ .



1: Od izvora  
 2: Do prijemnika

Slika 2.5.c: Geometrija izračuna prigušenja zbog difrakcije

pri čemu:

$S$  je izvor,

$R$  je prijemnik,

$S'$  je zrcalni izvor u odnosu na središnju ravninu tla na dijelu od izvora,

$R'$  je prijemnik vala iz zrcalnog izvora u odnosu na središnju ravninu tla na dijelu do prijemnika,

$O$  je točka difrakcije,

$z_s$  je ekvivalentna visina izvora  $S$  odnosu na središnju ravninu tla na dijelu od izvora,

$z_{0,s}$  je ekvivalentna visina točke difrakcije  $O$  u odnosu na središnju ravninu tla na dijelu od izvora,

$z_r$  je ekvivalentna visina prijemnika  $R$  u odnosu na središnju ravninu na dijelu do prijemnika,

$z_{0,r}$  je ekvivalentna visina točke difrakcije  $O$  u odnosu na središnju ravninu tla na dijelu do prijemnika.

Nepravilnost tla između izvora i točke difrakcije te između točke difrakcije i prijemnika uzima se u obzir korištenjem ekvivalentnih visina izračunanih u odnosu na središnju ravninu tla, prvo na strani od izvora, a onda na strani do prijemnika (dvije središnje ravnine tla), u skladu s metodom opisanom u pododjeljku o znatnim visinama iznad tla.

### Čista difrakcija

Za čistu difrakciju bez utjecaja tla prigušenje je zadano:

$$\Delta_{dif} = \begin{cases} 10C_h \cdot \lg\left(3 + \frac{40}{\lambda} C'' \delta\right) & \text{ako } \frac{40}{\lambda} C'' \delta \geq -2 \\ 0 & \text{ako drugačije} \end{cases} \quad (2.5.21.)$$

pri čemu:

$$C_h = 1$$

$$(2.5.22.)$$

$\lambda$  je valna duljina u nazivnoj središnjoj frekvenciji razmatranog frekvencijskog pojasa,

$\delta$  je razlika puta između puta difrakcije i izravnog puta (vidjeti sljedeći pododjeljak o izračunu razlike puta),

$C''$  je koeficijent koji se upotrebljava kako bi se u obzir uzele višestruke difrakcije:

$C'' = 1$  za jednu difrakciju.

U slučaju višestruke difrakcije, ako je e ukupna udaljenost puta, od O<sub>1</sub> do O<sub>2</sub> + od O<sub>2</sub> do O<sub>3</sub> + od O<sub>3</sub> do O<sub>4</sub> na temelju »metode elastičnog pojasa«, (vidjeti slike 2.5.d i 2.5.f) i ako je e veće od 0,3 m (inače je C'' = 1), taj se koeficijent definira izrazom:

$$C'' = \frac{1 + (5\lambda/e)^2}{1_3 + (5\lambda/e)^2}$$

(2.5.23.)

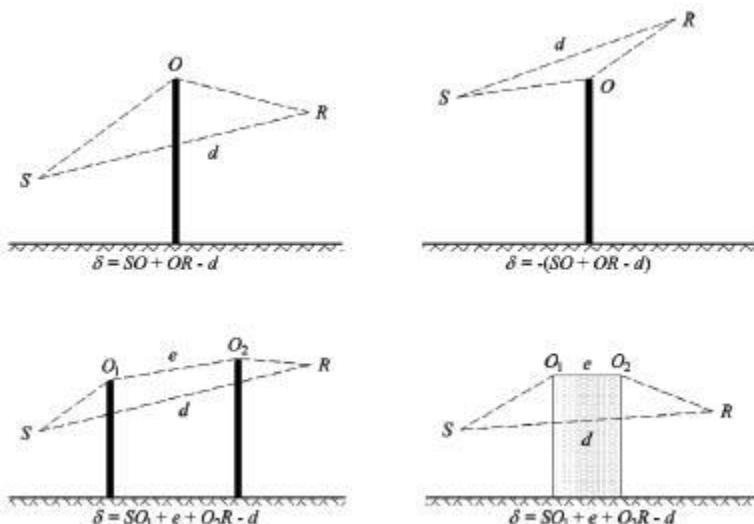
Vrijednost Δ<sub>dif</sub> se ograničava:

- ako Δ<sub>dif</sub> < 0: Δ<sub>dif</sub> = 0 dB
- ako Δ<sub>dif</sub> > 25: Δ<sub>dif</sub> = 25 dB za difrakciju na horizontalnom bridu i samo za član Δ<sub>dif</sub> koji se nalazi u izračunu A<sub>dif</sub>. Ova se gornja međa ne primjenjuje u članovima Δ<sub>dif</sub> koji utječu na izračun Δ<sub>ground</sub> ili za difrakciju na vertikalnom bridu (lateralna difrakcija) u slučaju izrade karte industrijske buke.

#### Izračun razlike puta

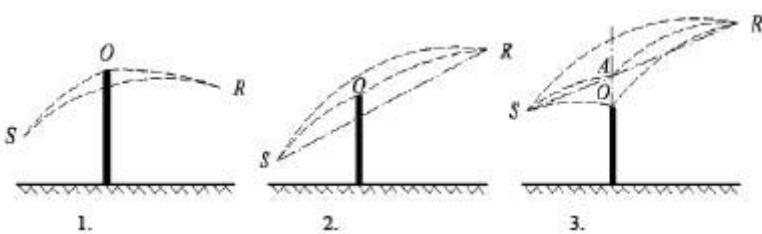
Razlika puta δ izračunava se na vertikalnoj ravnini na kojoj se nalaze izvor i prijemnik. Radi se o aproksimaciji u vezi s Fermatovim principom. Aproksimacija je ovdje (linijski izvori) i dalje primjenjiva. Razlika puta δ izračunava se u skladu sa sljedećim slikama, na temelju situacija na koje se naiđe.

#### Homogeni uvjeti



Slika 2.5.d: Izračun razlike puta pod homogenim uvjetima. O, O<sub>1</sub> i O<sub>2</sub> su točke difrakcije  
 Napomena: Za svaku je konfiguraciju zadan izraz δ.

#### Povoljni uvjeti



Slika 2.5.e: Izračun razlike puta pod povoljnim uvjetima (jedna difrakcija)

Pod povoljnim se uvjetima smatra da tri zakriviljene zvučne zrake  $\hat{SO}$ ,  $\hat{OR}$  i  $\hat{SR}$  imaju identičnu zakriviljenost krivulje koja se definira jednadžbom:

$$\Gamma = \max(1000, 8d) \quad (2.5.24.)$$

Duljina zvučne zrake krivulje MN zapisuje se kao  $\hat{MN}$  pod povoljnim uvjetima. Ta je duljina jednak:

$$\hat{MN} = 2\Gamma \arcsin\left(\frac{MN}{2\Gamma}\right) \quad (2.5.25.)$$

U načelu, potrebno je razmotriti tri scenarija u izračunu razlike puta pod povoljnim uvjetima  $\delta_F$  (vidjeti sliku 2.5.e). U praksi su dovoljne dvije jednadžbe:

- ako je pravocrtna zvučna zraka SR zakrivena preprekom (1. i 2. slučaj na slici 2.5.e):

$$\delta_F = \hat{SO} + \hat{OR} - \hat{SR} \quad (2.5.26.)$$

- ako pravocrtna zvučna zraka SR nije zakrivena preprekom (3. slučaj na slici 2.5.e):

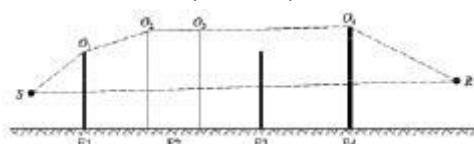
$$\delta_F = 2\hat{SA} + 2\hat{AR} - \hat{SO} - \hat{OR} - \hat{SR} \quad (2.5.27.)$$

pri čemu je A sjecište pravocrtnе zvučne zrake SR i produljenja od prepreke koja uzrokuje difrakciju.

Za višestruke difrakcije pod povoljnim uvjetima:

- potrebno je odrediti konveksnu ljudsku koju definiraju razni potencijalni bridovi difrakcije,
- ukloniti bridove difrakcije koji se ne nalaze na rubu konveksne ljudske,
- izračunati  $\delta_F$  utemeljen na duljinama zakriviljene zvučne zrake tako što će se staza difrakcije razbiti u onoliko zakriviljenih segmenata koliko bude potrebno (vidjeti sliku 2.5.f)

$$\delta_F = \hat{SO}_1 + \sum_{i=1}^{i=n-1} \hat{O}_i \hat{O}_{i+1} + \hat{O}_n R - \hat{SR} \quad (2.5.28.)$$



Slika 2.5.f: Primjer izračuna razlike puta pod povoljnim uvjetima u slučaju višestrukih difrakcija

U scenariju prikazanom na slici 2.5.f razlika puta je:

$$\delta_F = \hat{SO}_1 + \hat{O}_1 \hat{O}_2 + \hat{O}_2 \hat{O}_3 + \hat{O}_3 \hat{O}_4 + \hat{O}_4 R - \hat{SR} \quad (2.5.29.)$$

### *Izračun prigušenja $A_{dif}$*

Prigušenje zbog difrakcije, u kojem su uzeti u obzir utjecaji tla na stranama od izvora i do prijemnika, izračunava se u skladu sa sljedećim općim jednadžbama:

$$A_{dif} = \Delta_{dif(S,R)} + \Delta_{ground(S,O)} + \Delta_{ground(O,R)} \quad (2.5.30.)$$

pri čemu:

- $1397319796\Delta_{dif(S,R)}$  je prigušenje zbog difrakcije između izvora  $S$  i prijemnika  $R$ ,
- $1397319796\Delta_{ground(S,O)}$  je prigušenje zbog utjecaja tla na strani od izvora, vrednovano difrakcijom na strani od izvora; pri čemu se podrazumijeva da je  $O = O_1$  u slučaju višestrukih difrakcija kao na slici 2.5.f,
- $1397319796\Delta_{ground(O,R)}$  je prigušenje zbog učinka tla na strani do prijemnika, vrednovano difrakcijom na strani do prijemnika (vidjeti sljedeći pododjeljak o izračunu člana  $\Delta_{ground(O,R)}$ ).

### *Izračun člana $\Delta_{ground(S,O)}$*

$$\Delta_{ground(S,O)} = -20 \times \lg \left( 1 + \left( 10^{-\frac{\Delta_{ground}(S,O)}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{\frac{(\Delta_{dif}(S,R) - \Delta_{dif}(S,O))}{20}} \right) \quad (2.5.31.)$$

pri čemu:

- $1397319796\Delta_{ground(S,O)}$  je prigušenje zbog utjecaja tla između izvora  $S$  i točke difrakcije  $O$ . Taj se član izračunava prema navedenom u prethodnom pododjeljku o izračunima pod homogenim uvjetima i u prethodnom pododjeljku o izračunu pod povoljnim uvjetima, uz sljedeće hipoteze:
- $1397319796z_r = z_{O,S}$ ,
- $1397319796G_{path}$  se izračunava između  $S$  i  $O$ ,
- pod homogenim uvjetima:  $\bar{G}_w = G'_{path}$  u jednadžbi (2.5.17.),  $\bar{G}_m = G'_{path}$  u jednadžbi (2.5.18.),
- pod povoljnim uvjetima:  $\bar{G}_w = G_{path}$  u jednadžbi (2.5.17.),  $\bar{G}_m = G'_{path}$  u jednadžbi (2.5.20.),
- $1397319796\Delta_{dif(S',R)}$  je prigušenje zbog difrakcije između zrcalnog izvora  $S'$  i  $R$ , izračunano kao u prethodnom pododjeljku o čistoj difrakciji,
- $1397319796\Delta_{dif(S,R)}$  je prigušenje zbog difrakcije između  $S$  i  $R$ , izračunano kao u pododjeljku VI.4.4.b.

### *Izračun člana $\Delta_{ground(O,R)}$*

$$\Delta_{ground(O,R)} = -20 \times \lg \left( 1 + \left( 10^{-\frac{\Delta_{ground}(O,R)}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{\frac{(\Delta_{dif}(S,R) - \Delta_{dif}(O,R))}{20}} \right) \quad (2.5.32.)$$

pri čemu:

- $1397319796\Delta_{ground(O,R)}$  je prigušenje zbog utjecaja tla između točke difrakcije  $O$  i prijemnika  $R$ . Taj se član izračunava prema navedenom u prethodnom pododjeljku o

izračunu pod homogenim uvjetima i u prethodnom pododjeljku o izračunu pod povolnjim uvjetima, uz sljedeće hipoteze:

- 1397319796 $z_s = z_{o,r}$
- 1397319796 $G_{path}$  se izračunava između  $O$  i  $R$ .

Ovdje se ne treba uzimati u obzir korekcija  $G'_{path}$  jer se izvorom smatra točka difrakcije. Stoga se  $G_{path}$  upotrebljava u izračunu utjecaja tla, uključujući član donje međe jednadžbe koji postaje  $-3(1 - G_{path})$ .

- pod homogenim uvjetima,  $\bar{G}_s = G_{path}$  u jednadžbi (2.5.17.) i  $\bar{G}_m = G_{path}$  u jednadžbi (2.5.18.),
- pod povolnjim uvjetima,  $\bar{G}_s = G_{path}$  u jednadžbi (2.5.17.) i  $\bar{G}_m = G_{path}$  u jednadžbi (2.5.20.),
- 1397319796 $\Delta_{dif(S,R')}$  je prigušenje zbog difrakcije između  $S$  i prijemnika vala iz zrcalnog izvora  $R'$ , izračunano kao u prethodnom odjeljku o čistoj difrakciji,
- 1397319796 $\Delta_{dif(S,R)}$  je prigušenje zbog difrakcije između  $S$  i  $R$ , izračunano kao u prethodnom pododjeljku o čistoj difrakciji.

#### *Scenariji s vertikalnim bridovima*

Jednadžba (2.5.21.) može se upotrijebiti za izračun difrakcija na vertikalnim bridovima (lateralne difrakcije) u slučaju buke industrijskih pogona i postrojenja. U tom se slučaju uzima  $A_{div} = \Delta_{dif(S,R)}$  i zadržava se član  $A_{ground}$ . Dodatno,  $A_{atm}$  i  $A_{ground}$  se izračunavaju iz ukupne duljine puta širenja.  $A_{div}$  se i dalje izračunava iz izravne udaljenosti  $d$ . Jednadžbe (2.5.8.) i (2.5.6.) postaju:

$$A_H = A_{div} + A_{atm}^{path} + A_{ground,H}^{path} + \Delta_{dif,H(S,R)} \quad (2.5.33.)$$

$$A_F = A_{div} + A_{atm}^{path} + A_{ground,F}^{path} + \Delta_{dif,F(S,R)} \quad (2.5.34.)$$

$\Delta_{dif}$  se svakako upotrebljava pod homogenim uvjetima u jednadžbi (2.5.34).

#### *Refleksije na vertikalnim preprekama*

##### *Apsorpcijsko prigušenje*

Refleksije na okomitim preprekama rješavaju se zrcalnim izvorima. Refleksije na fasadama zgrada i bukobranima se dakle tako rješavaju.

Prepreka se smatra vertikalnom ako je nagib u odnosu na vertikalu manji od  $15^\circ$ .

Kad se radi o refleksijama na predmetima čiji je nagib u odnosu na vertikalu veći od ili jednak  $15^\circ$ , ti se predmeti ne uzimaju u obzir.

Prepreke kod kojih je barem jedna dimenzija manja od 0,5 m ignoriraju se u izračunu refleksije, osim za posebne konfiguracije.<sup>[2]</sup>(Mreža manjih prepreka u ravnini i u pravilnim razmacima predstavlja primjer posebne konfiguracije.)

Imajte u vidu da se ovdje ne rješavaju refleksije na tlu. One se uzimaju u obzir u izračunima prigušenja zbog rubnih uvjeta (tlo, difrakcija).

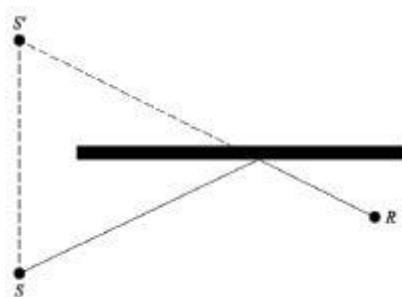
Ako je  $L_{ws}$  razina snage izvora  $S$  i  $\alpha_r$  koeficijent apsorpcije prepreke, kako je definirano u normi EN 1793-1:2013, tada je razina snage zrcalne slike  $S'$  jednaka:

$$L_{ws'} = L_{ws} + 10 \cdot \lg(1 - \alpha_r) = L_{ws} + A_{ref}$$

(2.5.35.)

pri čemu je  $0 \leq \alpha_r < 1$ .

Širenje prethodno opisanih prigušenja zatim se primjenjuje na taj put (zrcalna slika, prijemnik) kao za izravan put.



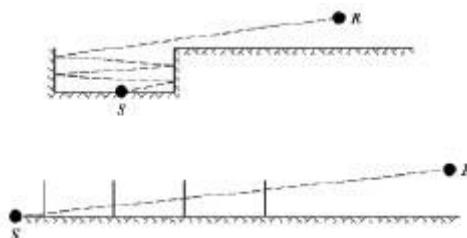
Slika 2.5.g: Zrcalni odraz na prepreci koji se rješava metodom zrcalnih izvora (S: izvor, S': zrcalni izvor, R: prijemnik)

#### Retrodifrakcijsko prigušenje

Pri geometrijskom istraživanju zvučnih putova pri refleksiji na vertikalnoj prepreci (zid, zgrada) položaj udara zrake u odnosu na gornji brid prepreke određuje više ili manje značajan udio energije koja se efektivno reflektira. Taj gubitak akustičke energije kad se zraka reflektira zove se retrodifrakcijsko prigušenje.

U slučaju mogućih višestrukih refleksija između dva vertikalna zida u obzir se uzima barem prva refleksija.

U slučaju rova (vidjeti na primjer sliku 2.5.h) retrodifrakcijsko prigušenje primjenjuje se na svaku refleksiju na potpornim zidovima.



Slika 2.5.h: Reflektirana zvučna zraka 4. reda u rovu: stvarni poprečni presjek (gore), razvijeni poprečni presjek (dolje)

Na ovom prikazu zvučna zraka dolazi do prijemnika »uzastopnim prolascima kroz« potporne zidove rova koji se time mogu usporediti s otvorima.

Pri izračunu širenja kroz otvor, zvučno polje prijemnika je zbroj izravnog polja i polja difrakcije zbog rubova otvora. To polje difrakcije osigurava kontinuitet prelaska između

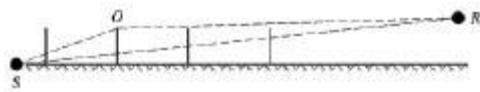


slobodnog i zasjenjenog područja. Kad se zraka približi bridu otvora, prigušuje se izravno polje. Izračun je identičan izračunu prigušenja zbog prepreke na slobodnom području.

Razlika puta  $\delta'$  povezana sa svakom retrodifrakcijom suprotna je od razlike puta između  $S$  i  $R$  u odnosu na svaki gornji brid  $O$  i to u prikazu u skladu s primijenjenim poprečnim presjekom (vidjeti sliku 2.5.i).

$$\delta' = -(SO + OR - SR)$$

(2.5.36.)



Slika 2.5.i: Razlika puta za drugu refleksiju

Znak »minus« jednadžbe (2.5.36.) znači da se smatra da je prijemnik ovdje u slobodnom području.

Retrodifrakcijsko prigušenje  $\Delta_{\text{retrodif}}$  dobiva se jednadžbom (2.5.37.) koja je slična jednadžbi (2.5.21.) s prerađenim zapisima.

$$\Delta_{\text{retrodif}} = \begin{cases} 10C_h \cdot \lg \left( 3 + \frac{40}{\lambda} \delta' \right) & \text{ako } \frac{40}{\lambda} \delta' \geq -2 \\ 0 & \text{ako } \frac{40}{\lambda} \delta' < -2 \end{cases}$$

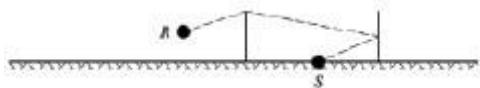
(2.5.37.)

To se prigušenje primjenjuje na izravnu zraku svaki put kad ona »prođe kroz« zid ili zgradu (odrazi se od zida ili zgrade). Razina snage zrcalnog izvora  $S'$  stoga postaje:

$$L_{W1397969777} = L_W + 10 \times \lg (1 - \alpha_r) \Delta_{\text{retrodif}}$$

(2.5.38.)

U složenim konfiguracijama širenja mogu postojati difrakcije između refleksija ili između prijemnika i refleksija. U tom se slučaju retrodifrakcija na zidovima procjenjuje razmatranjem puta između izvora i prve difrakcijske točke  $R'$  (koja se stoga smatra prijemnikom u jednadžbi (2.5.36.)). Načelo je prikazano na slici 2.5.j.



Slika 2.5.j: Razlika puta u prisutnosti difrakcije: stvarni poprečni presjek (gore), razvijeni poprečni presjek (dolje)

U slučaju višestrukih refleksija, dodaju se refleksije zbog svake pojedine refleksije.

## 2.6. Opće odredbe – buka zrakoplova

### 2.6.1. Definicije i simboli

Ovdje su opisani neki važni *termini* i njihovo značenje u kontekstu ovog dokumenta. Popis nije potpun; nabrojeni su samo izrazi i kratice koje se često koriste. Ostali izrazi opisani su na mjestima gdje se prvi put pojavljuju u tekstu.

Glavni matematički *simboli* koji se koriste u jednadžbama u tekstu navedeni su nakon popisa termina. Ostali simboli koji se koriste povremeno u tekstu i prilozima definirani su tamo gdje ih se koristi.

U ovom su dokumentu izrazi *zvuk* i *buka* međusobno zamjenjivi. Iako riječ *buka* ima subjektivne konotacije – akustičari je obično definiraju kao »neželjeni zvuk« – u kontekstu kontrole buke zrakoplova obično se podrazumijeva da ta riječ znači jednostavno zvuk – energija koju zrakom prenose zvučni valovi. Simbolom → označava se upućivanje na druge termine s popisa.

### Termini

AIP	Zbornik zrakoplovnih informacija
Konfiguracija zrakoplova	Položaj pretkrilaca, zakrilaca i stajnog trapa.
Kretanje zrakoplova	Dolazak, odlazak ili drugo kretanje zrakoplova koje utječe na razinu buke oko aerodroma.
Podaci o buci i performansama zrakoplova	Podaci o akustičkim svojstvima i performansama različitih tipova zrakoplova, koji su potrebni za proces modeliranja. Ti podaci uključuju → <i>odnose buka-snaga-udaljenost (NPD)</i> i podatke koji su potrebni za izračun potiska / snage motora kao funkcije → <i>letne konfiguracije</i> . Obično se koriste podaci koje je dostavio proizvođač zrakoplova, a kad to nije moguće, podaci se ponekad dobivaju iz drugih izvora. Kad nikakvi podaci nisu dostupni, obično se uzimaju prilagođeni podaci sličnog zrakoplova – to se naziva <i>supstitucijom</i> .
Visina	Nadmorska visina.
Baza podataka ANP	Baza podataka o buci i performansama zrakoplova koja je uključena u Dodatak I.
A-vrednovana razina zvuka, $L_A$	Ljestvica osnovne razine buke/zvuka koja se koristi za mjerjenje okolišnog zvuka uključujući zvuk zrakoplova i na kojoj se temelji većina mjerjenja kontura buke.
Tlocrt glavne putanje	Reprezentativna ili nazivna putanja ocrtana na zemlji, kojom se definira centar »snopa« sličnih putanja.
Osnovna razina zvučnog događaja	Razina zvučnog događaja kako je očitana iz baze podataka NPD.
Otpuštanje kočnica	→ <i>Početak kretanja</i>
Korigirani neto potisak	Pri zadanom režimu rada motora (npr. <i>EPR</i> ili $N_1$ ) neto potisak opada u skladu s gustoćom zraka, dakle s visinom leta; korigirani neto potisak je vrijednost potiska na razini mora.
Kumulativna razina zvuka/buke	Izmjerena razina primljene buke u decibelima tijekom određenog vremenskog razdoblja, na točki blizu aerodroma, od avionskog prometa u normalnim uvjetima rada i na normalnim putanjama. Izračunava se evidentiranjem razine događaja zvuka/buke na tom mjestu.

Zbroj ili prosjek decibela

U nekim slučajevima navode se kao »energetske« ili »logaritamske« (za razliku od aritmetičkih) vrijednosti. Koristi se kad je prikladno zbrojiti ili izračunati prosjek energije zvuka; npr. *ukupno u decibelima*

$$= 10 \cdot \lg \sum 10^{L_d / 10}$$

Udio energije,  $F$

Omjer zvučne energije koja je primljena na segmentu u odnosu na energiju koja je primljena na beskonačnoj putanji leta.

Režim rada motora

Vrijednost → *parametra snage povezanog s bukom* koji se koristi za određivanje emisije zvuka prema bazi podataka NPD.

Ekvivalentna (kontinuirana) razina zvuka,  $L_{eq}$

Mjera za dugoročni zvuk. Razina hipotetskog trajnog zvuka čija je energija, izmjerena u određenom vremenskom razdoblju, ekvivalentna energiji trenutačnog promjenjivog zvuka.

Razina zvučnog događaja

Ukupnost zvuka (ili buke) koja je registrirana kao posljedica prolaska aviona, izmjerena u decibelima → razina izloženosti zvuku

Letna konfiguracija

= → *Konfiguracija zrakoplova* + → *Parametri leta*

Parametri leta

Režim rada motora, brzina, bočni nagib i težina.

Putanja leta

Putanja aviona u zraku, definirana s tri dimenzije, obično u odnosu na mjesto početka zaleta ili prag sletne staze.

Segment putanje leta

Dio putanje leta zrakoplova koji se za potrebe modeliranja buke predstavlja ravnom linijom ograničene duljine.

Letna procedura

Slijed operativnih koraka koji posada zrakoplova ili sustav kontrole leta prati: izražava se promjenama letne konfiguracije kao funkcija udaljenosti na tlocrtu putanje.

Profil leta

Promjena visine aviona duž putanje (ponekad uključuje i promjene → *letne konfiguracije*) – koja se opisuje kao skup → *točaka na profilu*

Ravnina tla

(ili nazivna ravnina tla) horizontalna ravnina na površini tla na kojoj se nalazi referentna točka aerodroma prema kojoj se obično računaju konture.

Brzina po horizontali

Brzina zrakoplova u odnosu na fiksnu točku na tlu.

Tlocrt putanje

Vertikalna projekcija putanje leta na ravninu tla.

Visina

Udaljenost po vertikali između zrakoplova i → *ravnine tla*

Integrirana razina zvuka

Drugi termin je → *razina izloženosti buci jednokratnog događaja*.

ISA	Međunarodna standardna atmosfera – kako je definira ICAO. Ovim se definiraju varijacije temperature, tlaka i gustoće zraka prema nadmorskoj visini. Koristi se za normalizaciju rezultata izračuna u dizajnu zrakoplova i analizu testnih podataka.
Lateralno prigušenje	Povećano prigušenje zvuka s udaljeniču koje uzrokuje, izravno ili neizravno, površina tla. Značajno je pri malim elevacijskim kutovima (zrakoplova u odnosu na udaljenost od površine tla)
Najveća razina zvuka/buke	Najveća razina zvuka dosegnuta tijekom zvučnog događaja
Srednja razina mora, <i>MSL</i>	Standardna nulta visina zemaljske površine referentna za → ISA-u.
Neto potisak	Potisna sila koju motor prenosi na zmaj zrakoplova.
Buka	Buka se definira kao neželjeni zvuk. Međutim, mjerama kao što su <i>A-vrednovana razina zvuka</i> ( $L_A$ ) i <i>efektivna percipirana razina buke</i> (EPNL) razina zvuka se zapravo preračunava u razinu buke. Unatoč neodređenosti koja iz toga proizlazi, termini zvuk i buka ponekad se naizmjenično koriste u ovom dokumentu, kao i drugdje – posebno u kolokaciji s riječju <i>razina</i> .
Kontura buke	Crta oko zračne luke koja povezuje točke jednakе kumulativne razine ili indeksa buke zrakoplova
Utjecaj buke	Neželjeni utjecaji buke na one koji su joj izloženi; važno je što se podrazumijeva da su izmjereni i izračunani podaci za buku indikatori utjecaja buke
Indeks buke	Mjera dugoročnog ili kumulativnog zvuka koji je u korelaciji s utjecajem zvuka na ljude (tj. smatra se da je pokazatelj utjecaja zvuka na ljude). Uz magnitudu zvuka može uzimati u obzir i druge faktore (naročito doba dana). Primjer toga je razina indikatora buke za dan-večer-noć $L_{DEN}$ .
Razina buke	Izmjerena razina zvuka u decibelima na ljestvici glasnoće ili bučnosti. Za okolišnu buku koju uzrokuju zrakoplovi obično se koriste dvije ljestvice: A-vrednovana razina zvuka i percipirana razina buke. U tim se ljestvicama primjenjuju različiti ponderi za zvuk različitih frekvencija – čime se oponaša ljudska percepcija.
Mjera buke	Izraz koji se koristi za opisivanje bilo koje izmjerene količine buke na položaju prijemnika, bez obzira radi li se o jednokratnom događaju ili ukupnosti buke u dužem vremenskom razdoblju. Dvije se mjere obično koriste za jedan zvučni događaj: <i>maksimalna razina</i> koja je dosegnuta tijekom događaja i <i>razina izloženosti zvuku</i> kao mjera ukupne zvučne energije određena uključivanjem vremenske komponente.

NPD odnosi/podaci  
 (buka – snaga –  
 udaljenost)

Parametar snage  
 motora povezan s  
 bukom

Značenje za buku

Promatrač

Proceduralni koraci

Točka profila

Prijemnik

Referentna  
 atmosfera

Referentni dan

Referentno razdoblje

Referentna brzina

*SEL*

Razina izloženosti  
 buci jednokratnog  
 događaja

Meka površina

Razine zvučnih događaja u tablici kao funkcija udaljenosti ispod aviona u pravocrtnom, horizontalnom letu referentnom brzinom u referentnoj atmosferi, za svaki zadani *režim rada motora*. Podaci o utjecajima prigušenja zvuka zbog kružnog širenja vala (slabljenje s kvadratom udaljenosti) i apsorpcije u atmosferi. Udaljenost se definira okomito na putanju zrakoplova i os po širini zrakoplova (tj. okomito ispod zrakoplova u letu bez bočnog nagiba).

Parametar kojim se opisuje ili koji pokazuje potisnu snagu koju proizvodi motor zrakoplova i s kojim se može logički povezati emisija akustičke energije; pod njim se obično podrazumijeva → *korigirani neto potisak*. U tekstu se često navodi pod nazivom »snaga« ili »režim rada motora«.

Doprinos zvuku s određenog segmenta putanje leta je »značajan za buku« ako primjetno utječe na razinu zvučnog događaja. Zanemarivanjem segmenata koji nisu značajni za buku znatno se olakšava računalni izračun

→ *Prijemnik*

Propisani postupak profil leta – koraci uključuju promjene brzine i/ili visine.

Visina krajnje točke na segmentu putanje – na okomitoj ravnini iznad tlocrta putanje

Primatelj buke koja dolazi s izvora; uglavnom na točki na tlu ili blizu nje

Tablica vrijednosti apsorpcije zvuka koja se koristi za standardiziranje podataka NPD (vidjeti Dodatak D)

Skup atmosferskih uvjeta na temelju kojih se standardiziraju podaci za buku zrakoplova (ANP)

Nazivni vremenski interval koji se koristi za standardiziranje mjerenja jednokratnog izlaganja zvuku; 1 sekunda za → *razinu izloženosti buci (SEL)*.

Brzina aviona po horizontali za koju se računaju podaci *NPD* → *SEL*

→ *Razina izloženosti buci*

Razina zvuka koju bi događaj imao kad bi se sva njegova zvučna energija ujednačila i skupila u standardni vremenski interval koji se naziva → *referentno trajanje*

Zemaljska površina koja je akustički »mekana«; obično se radi o travnatim površinama koje okružuju većinu aerodroma. Akustički »tvrdi«, tj. jako reflektirajuće zemaljske, površine su primjerice beton i voda. Ovdje opisana metodologija kojom se mapiraju konture buke odnosi se na uvjete na mekim površinama.

Zvuk	Energija koja se prenosi zrakom longitudinalnim valovima koje registrira ljudsko uho
Prigušenje buke	Smanjenje intenziteta zvuka s udaljenošću na putu širenja zvučnog vala. Kad je riječ o buci zrakoplova, među uzrocima prigušenja nalaze se sferno širenje vala, apsorpcija u atmosferi i → <i>lateralno prigušenje</i>
Izloženost zvuku	Ukupna količina zvučne energije koja je primljena u određenom vremenskom period (imisija zvučne energije)
Razina izloženosti buci, $L_{AE}$	(Kratica SEL) Standardna mjera prema ISO 1996-1 ili ISO 3891 = A-vrednovana razina izloženosti buci jednokratnog događaja s referentnim razdobljem od jedne sekunde.
Intenzitet zvuka	Razina zvuka koja je izmjerena u određenoj točki, povezana s akustičkom energijom (pokazatelj su izmjerene razine zvuka)
Razina zvuka	Količina zvučne energije izražena u decibelima. Primljeni zvuk mjeri se uz »frekvenčko vrednovanje« ili bez njega; razine izmjerene uz vrednovanje obično se nazivaju <i>razine buke</i>
Duljina dionice/puta	Udaljenost do prvog odredišta zrakoplova u odlasku; pokazatelj je težine zrakoplova
Početak zaleta, <i>SOR</i>	Točka na uzletno-sletnoj stazi odakle zrakoplov u odlasku započinje postupak uzljetanja. Drugi naziv je »otpuštanje kočnica«.
Stvarna brzina	Točna brzina zrakoplova u odnosu na zrak (brzina po horizontali bez vjetra)
Vrednovana ekvivalentna razina zvuka, $L_{eq,w}$	Modificirana verzija $L_{eq}$ u kojoj se za buku primjenjuju različiti ponderi ovisno o dobu dana (obično za dan, večer i noć)

## Simboli

$d$	Najkraća udaljenost od promatračke točke do segmenta putanje
$d_p$	Udaljenost (pod pravim kutom u odnosu na putanju) od promatračke točke do putanje (izravna udaljenost)
$d_\lambda$	Prilagođena udaljenost
$F_n$	Stvarni neto potisak po motoru
$F_n/\delta$	Korigirani neto potisak po motoru
$h$	Visina zrakoplova (nadmorska visina)

$L$	Razina zvučnog događaja (nedefinirana ljestvica)
$L(t)$	Razina zvuka u vremenu $t$ (nedefinirana ljestvica)
$L_A, L_A(t)$	A-vrednovana razina zvučnog tlaka (u vremenu $t$ ) izmjerena na zvučnoj skali za <i>dugi</i> zvuk
$L_{AE}$	(SEL) Razina izlaganja buci
$L_{Amax}$	Maksimalna vrijednost $L_A(t)$ tijekom događaja
$L_E$	Razina izloženosti buci jednokratnog događaja
$L_{E\infty}$	Razina izloženosti buci jednokratnog događaja prema bazi podataka NPD
$L_{EPN}$	Efektivna percipirana razina buke
$L_{eq}$	Ekvivalentna (kontinuirana) razina zvuka
$L_{max}$	Maksimalna vrijednost $L(t)$ tijekom događaja
$L_{max,seg}$	Maksimalna razina (buke) koja se stvara na segmentu
$\ell$	Udaljenost pod pravim kutom od promatračke točke do tlocrta putanje
$lg$	Logaritam s bazom 10
$N$	Broj segmenata ili podsegmenata
$NAT$	Broj događaja kad $L_{max}$ premašuje određeni prag
$P$	Parametar snage u varijabli $L(P,d)$ NPD-a
$P_{seg}$	Parametar snage relevantan za određeni segment
$q$	Udaljenost od početka segmenta do najbliže točke prilaženja
$R$	Radius zaokreta
$S$	Standardna devijacija
$s$	Udaljenost duž tlocrta putanje
$s_{RWY}$	Dužina uzletno-sletne staze
$t$	Vrijeme
$t_e$	Stvarno trajanje jednokratnog zvučnog događaja
$t_0$	Referentno razdoblje za integriranu razinu zvuka

$V$	Brzina po horizontali
$V_{seg}$	Ekvivalentna brzina po horizontali na segmentu
$V_{ref}$	Referentna brzina po horizontali za koju se definiraju podaci NPD
$x, y, z$	Lokalne koordinate
$x', y', z'$	Koordinate zrakoplova
$X_{ARP}, Y_{ARP}, Z_{ARP}$	Zemljopisne koordinate referentne točke na aerodromu
$z$	Visina zrakoplova iznad ravnine tla / referentne točke na aerodromu
$\alpha$	Parametar koji se koristi za izračunavanje korekcije za konačni segment $\Delta_F$
$\beta$	Elevacijski kut zrakoplova u odnosu na ravninu tla
$\epsilon$	Kut bočnog nagiba zrakoplova
$\gamma$	Kut penjanja/snižavanja
$\varphi$	Depresijski kut (parametar za lateralnu usmjerenost)
$\lambda$	Ukupna duljina segmenta
$\psi$	Kut između smjera kretanja zrakoplova i linije od zrakoplova do promatrača
$\xi$	Smjer kretanja zrakoplova, mјeren u odnosu na magnetski sjever u smjeru kazaljke na satu
$\Lambda(\beta, \ell)$	Lateralno prigušenje od zraka do tla
$\Lambda(\beta)$	Lateralno prigušenje od zraka do tla na velikoj udaljenosti
$\Gamma(\ell)$	Faktor udaljenosti za lateralno prigušenje
$\Delta$	Promjena vrijednosti veličine ili korekcija (kako je u tekstu naznačeno)
$\Delta_F$	Korekcija za konačni segment
$\Delta_I$	Korekcija za položaj motora
$\Delta_i$	Ponder za $i$ -to doba dana, dB
$\Delta_{rev}$	Negativni potisak
$\Delta_{SOR}$	Korekcija za početak zaleta

$\Delta v$  Korekcija za trajanje (korekcija za brzinu)

## **Indeksi**

1, 2	Indeksi koji označavaju početne i krajnje vrijednosti u intervalu ili segmentu
<i>E</i>	Izlaganje
<i>i</i>	Indeks za tip zrakoplova / zbroj kategorija
<i>j</i>	Indeks za zbroj tlocrta putanje / pomoćnih putanja
<i>k</i>	Indeks za zbrajanje segmenata
<i>max</i>	Maksimum
<i>ref</i>	Referentna vrijednost
<i>seg</i>	Specifična vrijednost za segment
<i>SOR</i>	Povezano s početkom kretanja
<i>TO</i>	Uzlijetanje

### **2.6.2. Kvalitativni okvir**

#### *Točnost ulaznih vrijednosti*

Sve ulazne vrijednosti koje utječu na razinu emisije izvora, uključujući položaj izvora, određuju se barem s točnosti koja odgovara nesigurnosti od  $\pm 2\text{dB(A)}$  u razini emisije izvora (uz uvjet da su svi ostali parametri nepromijenjeni).

#### *Upotreba unaprijed zadanih vrijednosti*

Pri primjeni metode ulazni podaci moraju odražavati stvarno korištenje. Općenito se ne smije oslanjati na unaprijed zadane ulazne vrijednosti ili prepostavke. Konkretno, putanje leta do kojih se došlo korištenjem podataka s radara moraju se koristiti kad god postoje i kad su podaci dovoljno kvalitetni. Upotreba unaprijed zadanih vrijednosti i prepostavki prihvatljiva je, primjerice, za korištenje za modelirane rute umjesto putanja dobivenih korištenjem podataka s radara ako je prikupljanje stvarnih podataka povezano s nerazmjerno visokim troškovima.

#### *Kvaliteta softvera koji se koristi za izračune*

Softver koji se koristi za izračune mora biti dokazano sukladan s ovdje opisanim metodama, a to se dokazuje usporedbom rezultata s probnim slučajevima.

## **2.7. Buka zrakoplova**

### **2.7.1. Cilj i područje primjene dokumenta**

Karte kontura koriste se za označavanje doseg i veličine utjecaja buke zrakoplova oko zračnih luka, a taj se utjecaj iskazuje za to namijenjenim mjerama ili indeksima. Kontura je linija na kojoj je vrijednost indeksa konstantna. Vrijednost indeksa je zbroj, izračunat na poseban način, svih pojedinačnih događaja buke u određenom vremenskom periodu, koji se obično mjeri u danima ili mjesecima.

Buka na točkama na tlu, koju uzrokuju zrakoplovi u dolasku ili odlasku s aerodroma u blizini, ovisi o mnogim faktorima. Posebno su važni faktori tipovi zrakoplova i njihove pogonske skupine, snaga, položaj zakrilaca i postupci koji se tiču kontrole brzine za same zrakoplove; udaljenosti od predmetnih točaka do različitih putanja leta te lokalni topografski i vremenski uvjeti. Zračnim se lukama obično koriste različiti tipovi aviona, s različitim letnim procedurama i operativnim masama.

Konture se izvode matematičkim izračunom vanjskih granica indeksa lokalne buke. U ovom se dokumentu detaljno objašnjava kako izračunati razine zvučnog događaja pojedinog zrakoplova na jednoj promatračkoj točki, za određeni prelet zrakoplova ili vrstu preleta, na temelju kojih se nakon toga izračunava prosjeke ili se te vrijednosti *akumulira* kako bi se dobilo vrijednosti indeksa za tu točku. Potrebne vanjske granice indeksa izračunavaju se jednostavnim ponavljanjem izračuna po potrebi za različita kretanja zrakoplova, a učinkovitost se povećava isključivanjem događaja koji nisu »značajni za buku« (tj. koji ne doprinose bitno ukupnoj buci).

Ako aktivnosti povezane s radom zračne luke koje stvaraju buku ne doprinose primjetno ukupnoj izloženosti stanovništva buci zrakoplova i s njom povezanim konturama buke, može ih se zanemariti. Te aktivnosti uključuju: helikoptere, taksiranje, isprobavanje motora i upotrebu pomoćnih generatora energije. To ne znači nužno da je njihov utjecaj beznačajan pa se u slučaju takvih uvjeta procjena izvora buke može se provoditi kako je opisano u stavku 2.7.21. i 2.7.22.

### 2.7.2. Plan dokumenta

Postupak ocrtavanja konture buke prikazan je na **slici 2.7.a**. Konture se sastavljaju za različite svrhe pa o tome obično ovise zahtjevi za izvore i preliminarnu obradu ulaznih podataka. Konture kojima se prikazuje prošli utjecaj buke mogu se generirati iz zabilježenih podataka o operacijama zrakoplova – njihovog kretanja, težine, putanja leta koje se izmjerene na radarima itd. Konture koje se koriste za planiranje više se oslanjaju na predviđanja prometa i putanja leta kao i performansi i zvučnih karakteristika budućih zrakoplova.



Slika 2.7.a Postupak ocrtavanja kontura buke

Bez obzira na izvor podataka o letu, svako različito kretanje zrakoplova, dolazak ili odlazak, definira se geometrijom njegove putanje leta i emisijom zvuka zrakoplova koja nastaje tijekom njegova kretanja tom putanjom (kretanja koja su suštinski jednaka gledano prema buci i putanji leta dodaju se jednostavnim množenjem). Emisija buke ovisi o osobinama zrakoplova – uglavnom o snazi njegovih motora. Preporučena metodologija uključuje

dijeljenje putanje leta na segmente. U odjelicima 2.7.3. do 2.7.6. prikazuju se elementi metodologije i objašnjava princip segmentacije na kojem se metodologija temelji; zabilježena razina događaja buke je zbroj doprinosa sa svih segmenata putanje leta koji su »značajni za buku«, a svaki od njih može se izračunati neovisno od ostalih. U odjelicima 2.7.3. do 2.7.6. također se prikazuju zahtjevi za ulazne podatke koji su potrebni za ocrtavanje kontura buke. Detaljne specifikacije operativnih podataka koji su potrebni iznesene su u Dodatu A.

U odjelicima 2.7.7. do 2.7.13. opisano je kako se izračunavaju segmenti putanje leta na temelju preliminarno obrađenih ulaznih podataka. To uključuje analizu performansi leta zrakoplova, za koje su jednadžbe detaljno opisane u Dodatu B. Letne putanje mogu se znatno razlikovati – zrakoplovi koji slijede bilo koju rutu raspršeni su u širokom rasponu zbog razlika u atmosferskim uvjetima, težinama zrakoplova i operativnim procedurama, ograničenjima kontrole zračnog prometa itd. To se uzima u obzir statističkim opisivanjem svake putanje leta kao središnje ili »glavne« putanje uz koju postoji skup pomoćnih putanja. I to je objašnjeno u odjelicima 2.7.7. do 2.7.13. s upućivanjem na dodatne informacije u Dodatu C.

U odjelicima 2.7.14. do 2.7.19. navedeni su koraci koje treba slijediti u izračunu razine buke za jedan događaj buke koja se mjeri na tlu i koju uzrokuje jedan prelet zrakoplova. U Dodatu D opisuje se ponovni izračun podataka NPD za uvjete koji nisu referentni. U Dodatu E objašnjava se akustički dipol kao izvor zvuka za model kojim se definira zračenje zvuka s konačnih segmenata putanje leta.

Za primjene odnosa iz modela iz poglavlja 3. i 4. potrebni su, osim relevantnih putanja leta, odgovarajući podaci o buci i performansama predmetnog zrakoplova.

Ključni izračun je određivanje razine događaja za jedno kretanje zrakoplova promatrano s jedne promatračke točke. Taj se izračun mora ponoviti za svako kretanje zrakoplova na svakoj od unaprijed određenih točaka koje obuhvaćaju očekivane konture buke. Na svakoj se točki razine događaja na neki način zbrajaju ili im se izračunava prosjek, s ciljem izračuna »kumulativne razine« ili vrijednosti indeksa buke. Taj je dio procesa opisan u odjelicima 2.7.20. i od 2.7.23 do 2.7.25.

U odjelicima od 2.7.26. do 2.7.28. iznosi se kratak pregled mogućnosti i zahtjeva za pripisivanje kontura buke određenim vrijednostima indeksa buke. Time se daju smjernice za ocrtavanje kontura i naknadnu obradu.

### *2.7.3. Koncept segmentacije*

Za svaki određeni zrakoplov u bazi podataka zabilježeni su osnovni NPD (buka – snaga – udaljenost) odnosi. Njima se kao funkcija udaljenosti određuju primljene razine zvučnog događaja izravno ispod zrakoplova<sup>[3]</sup>(Zapravo ispod zrakoplova pod kutom od 90 stupnjeva na os po širini zrakoplova u smjeru kretanja zrakoplova, odnosno okomito ispod zrakoplova u pravocrtnom letu (tj. bez bočnog nagiba).) – maksimalne i integrirane s vremenom – za zrakoplov koji leti horizontalno ujednačenom *referentnom brzinom* u određenim *referentnim atmosferskim uvjetima* i određenoj letnoj konfiguraciji. Za svrhe modeliranja buke najvažniji element, potisna snaga, predstavlja se *parametrom snage povezanim s bukom*; parametar

koji se obično koristi je *korigirani neto potisak*. Osnovne razine događaja preuzete iz baze podataka korigiraju se za: prvo, razlike između stvarnih (tj. modeliranih) i referentnih atmosferskih uvjeta i (kad se radi o razinama izloženosti buci) brzinu zrakoplova te, drugo, za točke prijema koje nisu izravno ispod zrakoplova, razlike između buke koja zrači prema dolje i bočno zračene buke. Ovo posljednje potrebno je zbog *lateralne usmjerenošti* (efekti zbog položaja motora) i *lateralnog prigušenja*. Međutim, tako korigirane razine događaja buke i dalje se primjenjuju samo na ukupnu buku zrakoplova koji leti horizontalno ujednačenom brzinom.

*Segmentacija* je postupak u kojem se za modeliranje kontura buke prilagođavaju NPD i lateralni podaci s beskonačne putanje kako bi se izračunala buka koja dolazi do prijemnika s putanje na kojoj podaci nisu uvijek jednaki, tj. putanje na kojoj lete zrakoplovi u različitoj letnoj konfiguraciji. Za potrebe izračuna razine zvučnog događaja u jednom preletu zrakoplova putanja leta se predstavlja neprekidnim nizom pravocrtnih segmenata, a svaki od njih može se smatrati ograničenim dijelom beskonačne putanje za koju su poznati NPD i lateralne korekcije. Maksimalna razina događaja buke je jednostavno ona sa segmenta na kojem je izmjerena najveća vrijednost. Vremenski integrirana razina cijelog događaja buke izračunava se zbrajanjem buke koja je primljena s dovoljnog broja segmenata, tj. onih s kojih se značajno doprinosi ukupnom događaju buke.

Metoda kojom se procjenjuje koliko se s jednog konačnog segmenta doprinosi ukupnoj razini događaja buke u potpunosti je empirijska. *Udio energije F* – buka na segmentu koja se izražava kao udio buke s ukupne beskonačne putanje – opisuje se relativno jednostavnim izrazom koji može uzimati u obzir longitudinalnu usmjerenošć buke zrakoplova i »pogled« s prijemnika na segment. Jedan od razloga zašto je jednostavna empirijska metoda općenito adekvatna je taj što većina buke u pravilu dolazi s najbližeg, obično susjednog, segmenta unutar kojeg se (ne na jednom od njegovih krajeva) nalazi *najbliža točka približavanja* (CPA) prijemniku. To znači da procjene buke sa segmenata koji nisu susjedni mogu biti progresivno približne što su dalje od prijemnika, a da to nema značajnog utjecaja na točnost.

#### 2.7.4. Putanje leta: Projekcije putanja na zemljinu površinu i profili leta

U kontekstu modeliranja, *putanja leta* je potpuni opis kretanja zrakoplova u prostoru i vremenu<sup>[4]</sup>(Vrijeme se uračunava putem brzine zrakoplova.). Putanja i potisak (ili drugi parametar značajan za buku) podaci su koji su potrebni za izračun buke koja se stvara. *Tlocrt putanje* je okomita projekcija letne putanje na ravno tlo. Taj se podatak kombinira s *profilom leta po vertikali* čime se generira trodimenzionalna putanja leta. Za modeliranje po segmentima potrebno je da se putanja leta za svaki pojedinačni prelet zrakoplova opiše nizom ravnih segmenata. Način na koji se segmentacija provodi uvjetovan je potrebom da se uravnoteže preciznost i učinkovitost – stvarnu zakrivljenu putanju leta treba opisati dovoljno točno, uz istovremeno suočenje računalnog opterećenja i zahtjeva za podacima na najmanju moguću mjeru. Svaki segment mora biti definiran geometrijskim koordinatama njegovih krajnjih točaka te na njemu zabilježenim parametrima brzine zrakoplova i snage motora (o kojima ovisi emisija zvuka). Putanje leta i snaga motora mogu se utvrditi na različite načine, a glavni načini uključuju (a) sintezu niza proceduralnih koraka i (b) analizu izmjerenih podataka profila leta.

*Sinteza putanje (a) zahtijeva poznavanje (ili pretpostavku) tlocrtâ putanja i njihovih lateralnih raspršenosti, težine zrakoplova, postupaka upravljanja potiskom, zakrilcima i stvarnom brzinom, nadmorske visine zračne luke, vjetra i temperature zraka. Jednadžbe za izračunavanje profila leta korištenjem zadanih aerodinamičkih parametara i parametara potiska iznesene su u Dodatku B. Svaka jednadžba uključuje koeficijente (i/ili konstante) koji se temelje na empirijskim podacima za svaki tip zrakoplova. Korištenjem jednadžbi za aerodinamičke performanse iz Dodatka B moguće je razmatrati bilo koju realnu kombinaciju operativne mase zrakoplova i letne procedure, uključujući i operacije s različitim ukupnim poletnim masama.*

*Analiza izmjerениh podataka (b), npr. iz uređaja za snimanje podataka o letu, s radara ili druge opreme za praćenje zrakoplova, uključuje »obrnuti inženjeringu«, u biti obrnut proces od procesa sinteze (a). Umjesto procjenjivanja ponašanja zrakoplova i pogonskih skupina na krajevima segmenata leta integriranjem efekata potiska i aerodinamičkih sila koje djeluju na zmaj zrakoplova, sile se procjenjuju promatranjem promjena visine i brzine zmaja zrakoplova. Postupci za obradu podataka o putanji leta opisani su u odjeljku 2.7.12.*

*U savršenoj aplikaciji za modeliranje buke svaki bi se pojedini let, u teoriji, mogao predstaviti neovisno; tako bi se osiguralo da je raspršenost letnih putanja u prostoru točno uzeta u obzir – što može biti jako bitno. Međutim, kako bi se pripremu podataka i računalno vrijeme zadržalo u razumnim granicama, uobičajena je praksa prikazati snopove letnih putanja malim brojem lateralno izmještenih »pomoćnih putanja«. (Raspršenost po vertikali obično se zadovoljavajuće prikazuje uračunavanjem efekata različitih težina zrakoplova na vertikalnim profilima).*

#### *2.7.5. Buka i performanse zrakoplova*

U bazi podataka ANP iz Dodatka I. obuhvaćena je većina tipova zrakoplova u uporabi. Podaci za tipove ili inačice zrakoplova za koje podaci nisu navedeni mogu se supstituirati podacima za druge, slične tipove zrakoplova s popisa.

Baza podataka ANP uključuje unaprijed određene »proceduralne korake« kako bi se omogućilo generiranje profila leta za najmanje jednu proceduru za smanjivanje buke u odlasku. U novijim se zapisima u bazi podataka nalaze dvije različite procedure za smanjivanje buke u odlasku.

#### *2.7.6. Zračna luka i zrakoplovne operacije*

Specifični podaci za lokaciju iz kojih se izračunavaju konture buke za određenu situaciju u zračnoj luci uključuju sljedeće:

##### *Opći podaci o zračnoj luci*

- Referentna točka aerodroma (za jednostavno smještanje aerodroma na odgovarajuće zemljopisne koordinate). Referentna točka određuje se kao polazište za lokalni Kartezijev koordinatni sustav koji se koristi u postupku izračuna.
- Referentna visina aerodroma (= nadmorska visina referentne točke na aerodromu). To je visina nazivne ravnine tla prema kojoj se, kada nema korekcija zbog topografije, definiraju konture buke.

- Prosječni meteorološki parametri na ili blizu referentne točke aerodroma (temperatura, relativna vlažnost, prosječna brzina vjetra i smjer vjetra).

#### *Podaci o uzletno-sletnoj stazi*

Za svaku uzletno-sletnu stazu:

- Oznaka uzletno-sletne staze
- Referentna točka uzletno-sletne staze (lokalne koordinate centra uzletno-sletne staze)
- Duljina uzletno-sletne staze, smjer i srednji nagib.
- Lokacija mjesta početka zaleta i praga sletne staze<sup>[5]</sup>(Pomaknuti pragovi mogu se uzeti u obzir definiranjem dodatnih uzletno-sletnih staza.).

#### *Podaci o tlocrtu putanje*

Tlocrti putanja zrakoplova opisuju se koordinatama na (horizontalnoj) ravnini tla. Izbor izvora podataka za tlocrte putanja ovisi o tome jesu li ili nisu dostupni relevantni radarski podaci. Ako jesu, statističkom analizom podataka utvrđuje se glavna putanja i pogodne (raspršene) pomoćne putanje. Ako nisu, glavne se putanje obično generiraju upotrebom za to pogodnih proceduralnih podataka, npr. korištenjem procedura za standardni instrumentalni odlazak iz Zbornika zrakoplovnih informacija. U tom se konvencionalnom opisu nalaze sljedeći podaci:

- Oznaka uzletno-sletne staze od koje putanja počinje
- Opis polazišta putanje (početak zaleta, prag sletne staze)
- Duljina segmenata (za zaokrete, radijus i promjenu smjera)

To su minimalni podaci potrebni za definiranje glavne putanje. Međutim, izračun prosječnih razina buke na temelju pretpostavke da zrakoplovi točno slijede nazivne rute može dovesti do lokaliziranih grešaka od nekoliko decibela. Stoga se mora prikazati i lateralna raspršenost pa su potrebni sljedeći dodatni podaci:

- Širina snopa putanja (ili drugi statistički podatak za raspršenost) na svakom kraju segmenta
- Broj pomoćnih putanja
- Distribucija kretanja okomito u odnosu na glavnu putanju

#### *Podaci o zračnom prometu*

Podaci o zračnom prometu su:

- vremenski period na koji se podaci odnose i
- broj kretanja (dolazaka i odlazaka) za svaki tip zrakoplova na svakoj putanji leta, podijeljen na (1) vrijeme dana u skladu s prikladnim opisima svojstava buke, (2) za odlaske, operativne mase zrakoplova ili dužine dionica i (3) ako je potrebno, operativne procedure.

Za većinu indikatora buke potrebno je definirati događaje (tj. kretanja zrakoplova) kao prosječne dnevne vrijednosti tijekom određenih doba dana (npr. dan, večer i noć) – vidjeti odjeljke od 2.7.23. do 2.7.25.

#### *Topografski podaci*

Teren oko većine zračnih luka je relativno ravan. Međutim, to nije uvijek slučaj pa je ponekad potrebno uzeti u obzir varijacije u visini terena u odnosu na referentnu nadmorskou visinu zračne luke. Nagib terena može biti osobito značajan u blizini prilaznih putanja, gdje zrakoplov leti na relativno maloj visini.

Podaci o visini terena obično se bilježe kao skup ( $x, y, z$ ) koordinata na pravokutnoj mreži s određenom veličinom polja. Međutim, parametri za mrežu nadmorskih visina vjerojatno će biti različiti od onih za mrežu koja se koristi za izračun buke. U takvima slučajevima može se koristiti linearna interpolacija kako bi se procjenile potrebne koordinate za  $z$  u mreži za izračun buke.

Sveobuhvatna analiza efekata značajno neravnog tla na širenje zvuka složena je i izlazi iz okvira ove metode. Umjerena neravnost može se uračunati uz pretpostavku »pseudo-ravnog« tla; tj. jednostavnim uzimanjem više ili niže razine ravnine tla u odnosu na lokalnu nadmorskou visinu tla (relativno u odnosu na referentnu ravninu tla) za svaku točku prijema (vidjeti odjeljak 2.7.4.).

#### *Referentni uvjeti*

Međunarodni podaci za buku i performanse zrakoplova (ANP) korigiraju se prema standardnim referentnim uvjetima koji su u širokoj upotrebi za studije o buci oko zračnih luka (vidjeti Dodatak D).

#### *Referentni uvjeti za podatke NPD*

- 1) Atmosferski tlak: 101,325 kPa (1013,25 mb)
- 2) Atmosferska apsorpcija: Stope prigušenja zvuka navedene su u tablici D-1 u Dodatku D
- 3) Padaline: Nikakve
- 4) Brzina vjetra: Manja od 8 m/s (15 čvorova)
- 5) Brzina po horizontali: 160 čvorova
- 6) Lokalni teren: Ravno, meko tlo bez velikih građevina ili drugih reflektirajućih objekata u krugu od nekoliko kilometara od tlocrta putanja zrakoplova.

Standardizirana mjerenja zvuka zrakoplova vrše se 1,2 metra iznad površine tla. Međutim, o ovome nije potrebno posebno voditi računa jer se za svrhe modeliranja može pretpostaviti da je za razinu događaja buke visina prijemnika relativno nebitna<sup>[6]</sup>(6 Ponekad se zahtijeva izračun za visinu od 4 metra ili više. Usporedba mjerenja na 1,2 metra i 10 metara i teoretski izračun efekata tla pokazuju da su varijacije A-vrednovane razine izloženosti buci relativno neosjetljive na visinu prijemnika. Varijacije su općenito manje od jednog decibela, osim ako je maksimalni kut prijema zvuka manji od  $10^\circ$  i ako A-vrednovani spektar na prijemniku dostiže maksimalnu vrijednost na frekvencijama između 200 i 500 Hz. Spektar u kojem dominiraju tako niske frekvencije zvuka moguće je npr. na velikim udaljenostima za motore s

niskim prijenosnim omjerom (low-bypass ratio engines) i elisne motore koji proizvode diskretne niskofrekventne zvukove.).

Usporedbe procijenjenih i izmjerениh razina buke oko zračnih luka pokazuju da se podaci NPD mogu smatrati primjenjivima kada su prosječni uvjeti blizu površine u sljedećim okvirima:

- Temperatura zraka manja od 30 °C
- Umnožak temperature zraka (°C) i relativne vlažnosti (u postocima) veći od 500
- Brzina vjetra manja od 8 metara u sekundi (15 čvorova)

To su uvjeti za koje se može prepostaviti da vladaju na većini glavnih zračnih luka u svijetu.

U Dodatu D iznesena je metoda za pretvaranje podataka NPD u prosječne lokalne uvjete koji su izvan tih okvira, ali se za ekstremne slučajeve preporučuje obraćanje relevantnim proizvođačima zrakoplova.

#### *Referentni uvjeti za bilježenje aerodinamičkih podataka aviona i podataka za motore*

1)	Nadmorska visina uzletno-sletne staze:	Srednja razina mora
2)	Temperatura zraka:	15 °C
3)	Ukupna uzletna masa:	Kako je definirana u bazi podataka ANP kao funkcija duljine dionice
4)	Ukupna masa pri slijetanju:	90 posto maksimalne ukupne mase pri slijetanju
5)	Motori koji osiguravaju potisak:	Svi

Iako se aerodinamički podaci i podaci o motorima iz ANP-a temelje na ovim uvjetima, može ih se koristiti onakve kako su navedeni u tablici i za nereferentne nadmorske visine uzletno-sletne staze i prosječne temperature zraka u državama ECAC-a, a da se pri tome ne utječe značajno na preciznost izračunate konture kumulativne prosječne razine zvuka. (vidjeti Dodatak B.)

U bazi podataka ANP navedena je tablica aerodinamičkih podataka za ukupnu masu pri uzljetanju i ukupnu masu pri slijetanju koje se spominju u točkama 3 i 4 gore. Iako za izračun kumulativne buke same aerodinamičke podatke ne treba korigirati za iznose ostalih ukupnih masa, izračun letnih profila pri uzljetanju i penjanju postupcima koji su opisani u Dodatku B temelji se na odgovarajućim operativnim ukupnim uzletnim masama.

#### *2.7.7. Opis putanja leta*

Za model buke potrebno je opisati svako različito kretanje zrakoplova njegovom trodimenzionalnom putanjom leta, varijacijama u snazi motora i brzinom na toj putanji. U pravilu jedno modelirano kretanje predstavlja dio ukupnog prometa u zračnoj luci, tj. određeni broj (pretpostavljenih) identičnih kretanja istog tipa zrakoplova, iste težine i s istim operativnim procedurama na jednom tlocrtu putanje. Ta putanja može biti jedna od više raspršenih »pomoćnih putanja« koje se koriste za modeliranje snopa putanja za jednu

određenu rutu. Snopovi tlocrtâ putanja, vertikalni profil i operativni parametri za zrakoplove definiraju se korištenjem ulaznih podataka za određenu situaciju, zajedno sa podacima o zrakoplovima iz baze podataka ANP.

NPD podaci (buka – snaga – udaljenost iz baze podataka ANP) vrijede za buku zrakoplova koji prelijeće po idealiziranim vodoravnim putanjama leta beskonačne duljine ujednačenom brzinom i konstantnom snagom motora. Za prilagođavanje tih podataka putanjama leta u završnom području koje karakteriziraju česte promjene snage i brzine svaka se putanja dijeli na ravne segmente ograničene duljinom; nakon toga se doprinos buci sa svakog od tih segmenata zbraja na promatračkom mjestu.

#### *2.7.8. Odnosi između putanja leta i letnih konfiguracija*

O trodimenzionalnoj putanji leta zrakoplova ovise geometrijski aspekti zračenja i širenja zvuka između zrakoplova i promatrača. Pri određenoj masi zrakoplova i određenim atmosferskim uvjetima putanja leta je u potpunosti određena slijedom promjena u snazi motora, položaju zakrilaca i promjenama visine kojima upravlja pilot (ili automatski sustav za upravljanje letom) slijedeći rute na visinama i pri brzinama koje određuje kontrola zračnog prometa – u skladu sa standardnim operativnim procedurama operatera zrakoplova. Tim se uputama i postupcima putanja leta dijeli u različite faze koje tvore prirodne segmente. Po horizontalnoj ravnini one uključuju ravne dionice, određene kao udaljenost do sljedećeg zaokreta, i zaokrete, koji su definirani radijusom i promjenom smjera. Na vertikali, segmenti su definirani vremenom i/ili udaljenošću koji su potrebni za postizanje zahtijevanih promjena brzine kretanja prema naprijed i/ili visine pri određenoj zadanoj snazi i položaju zakrilaca.

Odgovarajuće koordinate po vertikali se često nazivaju *točkama profila*.

Za svrhe modeliranja buke, podaci o putanji leta izvode se ili *sintezom* iz skupa proceduralnih koraka (tj. koraka koje slijedi pilot) ili *analizom* podataka s radara – fizičkim mjerjenjem stvarnih putanja leta. Bez obzira na metodu koja se koristi, horizontalni i vertikalni izgled putanje leta se svodi na krivulje po segmentima. Njezin oblik po horizontali (tj. njezina dvodimenzionalna projekcija na tlo) je *tlocrt putanje* koji je definiran usmjeravanjem na rutu u dolasku ili odlasku. Njezinim se oblikom po vertikali, obilježenim točkama profila, kao i povezanim parametrima brzine, bočnog nagiba i režima rada motora, definira *profil leta* koji ovisi o *letnim procedurama* koje obično određuje proizvođač zrakoplova i/ili operater.

Putanja leta se izvodi spajanjem dvodimenzionalnog profila leta s dvodimenzionalnim tlocrtom putanje kako bi se sastavio slijed trodimenzionalnih segmenata putanje.

Važno je imati na umu da za određeni skup proceduralnih koraka profil ovisi o tlocrtu putanje; tj. pri jednakom potisku i brzini, brzina penjanja zrakoplova je manja u zaokretima nego u pravocrtnom letu. Iako se ovim uputama objašnjava kako uračunati tu međuvisnost, mora se priznati da bi to zahtjevalo vrlo velike dodatne računalne resurse pa korisnici mogu slobodno pretpostaviti da se za svrhe modeliranja buke profil leta i tlocrt putanje mogu smatrati neovisnim veličinama, tj. da nijedan zaokret ne utječe na profil penjanja. Međutim, važno je definirati promjene u bočnom nagibu koje su potrebne za zaokrete jer to ima važan utjecaj na usmjerenu emisiju zvuka.

Buka primljena sa segmenta putanje leta ovisi o geometriji segmenta u odnosu na promatrača i letnoj konfiguraciji zrakoplova. Te su dvije veličine ovisne jedna o drugoj – promjena jedne uzrokuje promjenu druge pa je potrebno osigurati da je za sve točke na putanji konfiguracija zrakoplova u skladu s njegovim kretanjem po putanji.

U sintezi putanje leta, tj. kad se putanja leta generira iz skupa »proceduralnih koraka« kojima se opisuju postupci pilota i njegov odabir snage motora, kuta zakrilaca i ubrzanja/brzine po vertikali, potrebno je izračunati kretanje. U analizi putanje leta stvar je obrnuta: režim rada motora mora se procijeniti iz podataka o kretanju zrakoplova koji su dobiveni radarom ili ponekad, u posebnim studijama, iz podataka zabilježenih uređajem za snimanje podataka o letu (iako je tada snaga motora obično uključena u podatke). U oba slučaja koordinate i letni parametri sa svih krajnjih točaka segmenata moraju se uračunati pri izračunu buke.

U Dodatku B iznesene su formule koje se odnose na sile koje djeluju na zrakoplov i njegovo kretanje te se objašnjava postupak definiranja svojstava segmenata koji sačinjavaju putanju leta. Vrste segmenata su (u zagradama se navode dijelovi Dodatka B koji se na njih odnose) *zalet pri uzljetanju* (B5), *penjanje konstantnom brzinom* (B6), *smanjivanje snage* (B7), *ubrzavanje pri penjanju i uvlačenje zakrilaca* (B8), *ubrzavanje pri penjanju nakon uvlačenja zakrilaca* (B9), *snižavanje i usporavanje* (B10) i *završno prilaženje pri slijetanju* (B11).

Neizbjježno je da modeliranje u praksi uključuje pojednostavljivanje u većoj ili manjoj mjeri – zahtjevi za pojednostavljivanje ovise o samoj primjeni, važnosti rezultata i resursima koji su na raspolaganju. Općenita je prepostavka pri pojednostavljivanju, čak i za najsloženije primjene, ta da su za uračunavanje raspršenosti putanja leta profili leta i konfiguracije na svim pomoćnim putanjama jednaki kao i oni na glavnoj putanji. Budući da se koristi najmanje 6 pomoćnih putanja (vidjeti odjeljak 2.7.11.), na taj se način izračun znatno pojednostavljuje uz vrlo mali gubitak preciznosti.

### 2.7.9. Izvori podataka o putanji leta

#### Podaci s radara

Iako se iz zrakoplovnih uređaja za bilježenje podataka o letu mogu dobiti vrlo kvalitetni podaci, teško ih je upotrijebiti za svrhe modeliranja buke te se podaci s radara smatraju najdostupnijim izvorom informacija o stvarnim putanjama leta oko zračnih luka<sup>[7]</sup>(Iz zrakoplovnih uređaja za bilježenje podataka o letu dobivaju se detaljni operativni podaci. Međutim, ti podaci nisu lako dostupni i njihovo dobivanje nije jeftino; stoga je upotreba tih podataka za modeliranje buke obično ograničena na posebne projekte i studije razvoja modelâ.). Budući da ih se obično može dobiti iz aerodromskih sustava za praćenje buke i putanja leta, njima se sve više koristi i za modeliranje buke.

Na sekundarnom nadzornom radaru putanja leta vidi se kao niz točaka s definiranim koordinatama u intervalima koji odgovaraju jednom punom okretu prijemne antene radara – obično oko 4 sekunde. Položaj zrakoplova u zraku određuje se u polarnim koordinatama (udaljenost i azimut) radarskog odraza (iako nadzorni sustav obično pretvara polarne koordinate u koordinate Kartezijeva koordinatnog sustava); visinu zrakoplova<sup>[8]</sup>(Obično se mjeri kao visina iznad srednje razine mora (tj. u odnosu na vrijednost od 1013 mB), a

aerodromski nadzorni sustavi prilagođavaju taj podatak prema nadmorskoj visini zračne luke.) mjeri visinomjer u samom zrakoplovu i šalje ga računalu kontrole zračnog prometa pomoću transpondera koji se aktivira radarskom zrakom. Pri tome su, zbog elektromagnetskih smetnji i ograničene rezolucije podataka, neizbjegne znatne pogreške u određivanju položaja zrakoplova (ali one nisu značajne za svrhe kontrole zračnog prometa). Dakle, kad je potrebno izvesti podatke o putanji leta određenog zrakoplova, neophodno je uskladiti dobivene podatke korištenjem za to prikladnog načina iscrtavanja krivulje. Međutim, za modeliranje buke obično se traži statistički opis snopa putanja leta; npr. za sva kretanja na određenoj ruti ili samo za one određenog tipa zrakoplova. Pri tome se greške u mjerenu povezane s odgovarajućim statističkim podacima mogu izvođenjem prosjeka smanjiti tako da ne budu značajne.

#### Proceduralni koraci

U mnogim slučajevima nije moguće modelirati putanje leta na temelju podataka s radara – bilo zato što nisu dostupna potrebna sredstva, ili zato što se radi o budućoj situaciji za koju ne postoje relevantni radarski podaci.

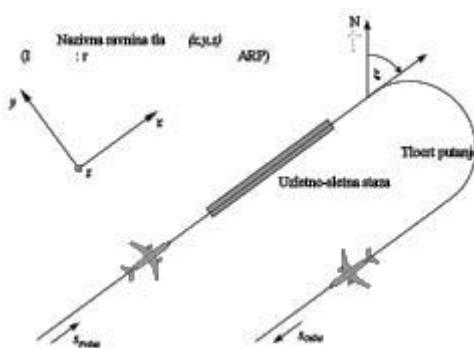
U nedostatku radarskih podataka ili kad njihova upotreba nije prikladna za svrhu, nužno je procijeniti putanje leta na temelju dostupnih operativnih radnih materijala, primjerice uputa koje posade zrakoplova dobivaju iz zbornika zrakoplovnih informacija i priručnika za određene zrakoplove, koji se ovdje obuhvaćaju zbirnim terminom *proceduralni koraci*. Za interpretaciju tih materijala savjetuje se s tijelima nadležnim za kontrolu zračnog prometa i korisnicima zrakoplova, prema potrebi.

#### 2.7.10. Koordinatni sustavi

##### Lokalni koordinatni sustav

Lokalni koordinatni sustav ( $x,y,z$ ) koji se koristi je Kartezijev sustav, a ishodište (0,0,0) mu je referentna točka u zračnoj luci ( $X_{ARP}, Y_{ARP}, Z_{ARP}$ ), pri čemu je  $Z_{ARP}$  referentna nadmorska visina zračne luke, a  $z = 0$  nazivna ravnina tla prema kojoj se obično računaju konture. Smjer kretanja zrakoplova  $\xi$  na ravnini  $xy$  mjeri se u odnosu na magnetski sjever u smjeru kazaljke na satu (vidjeti sliku 2.7.b). Sve lokacije promatračkih mjesta, osnovna mreža za izračun i točke na konturama buke izražavaju se u lokalnim koordinatama<sup>[9]</sup>(Obično su osi lokalnog koordinatnog sustava paralelne s osi zemljopisne karte na koju se konture iscrtavaju.

Međutim, kako bi se dobole simetrične konture bez upotrebe detaljne mreže koordinata za izračun, ponekad je korisno odabrati os x paralelnu s uzletno-sletnom stazom (vidjeti odjeljke od 2.7.26. do 2.7.28.).).



Slika 2.7.b: Lokalni koordinatni sustav ( $x,y,z$ ) i fiksna koordinata  $s$

#### Koordinatni sustav za tlocrt putanje

Ova je koordinata specifična za svaki tlocrt putanje i predstavlja udaljenost s koja se mjeri na putanji u pravcu leta. Za odlaznu putanju  $s$  se mjeri od početka zaleta, a za prilazne putanje od početka praga sletne staze. Stoga je  $s$  negativan broj u područjima

- iza točke početka zaleta za zrakoplove u odlasku i
- ispred točke prelaženja praga sletne staze za zrakoplove u prilaženju.

Operativni parametri leta kao što su visina, brzina i režim rada motora izražavaju se kao funkcije od  $s$ .

#### Koordinatni sustav za zrakoplov

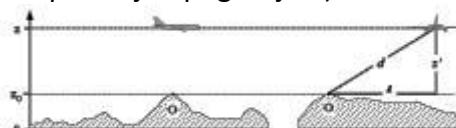
Ishodište Kartezijeva koordinatnog sustava za zrakoplov ( $x',y',z'$ ) je trenutni položaj zrakoplova. Osi su definirane kutom penjanja  $\gamma$ , pravcem kretanja zrakoplova  $\xi$  i bočnim nagibom  $\epsilon$  (vidjeti sliku 2.7.c).



Slika 2.7.c: Koordinatni sustav za zrakoplov ( $x',y',z'$ )

#### Uračunavanje topografije

Pri procjeni duljine širenja  $d$ , u slučajevima kada se mora uzeti u obzir topografija (vidjeti odjeljak 2.7.6.), koordinata visine zrakoplova  $z$  mijenja se sa  $z = z - z_0$  (pri čemu je  $z_0$  z koordinata promatračkog mjesta O). Odnos između zrakoplova i promatrača prikazan je na **slici 2.7.d**. Za definicije  $d$  i  $\beta$  vidjeti odjeljke 2.7.14. do 2.7.19 [10] (Na tlu koje nije ravno moguće je da promatrač bude iznad zrakoplova pa se u tom slučaju pri izračunu širenja zvuka  $z'$  (i odgovarajući elevacijski kut  $\beta$  – vidjeti poglavlje 4) uvrštava kao nula.)

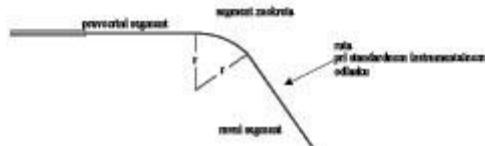


Slika 2.7.d: Nadmorska visina tla duž putanje leta (lijevo) i bočno od nje (desno). Nazivna ravnina tla  $z = 0$  prolazi kroz referentnu točku aerodroma. O je promatračko mjesto.

#### 2.7.11. Tlocrti putanja

##### Glavne putanje

Glavna putanja označava centar snopa putanja kojima se kreću zrakoplovi na određenoj ruti. Za modeliranje buke zrakoplova ona se definira ili (i.) unaprijed određenim operativnim podacima kao što su upute pilotima u zbornicima zrakoplovnih informacija ili (ii.) statističkom analizom podataka s radara kako je objašnjeno u odjeljku 2.7.9. – ako su dostupni i prikladni za potrebe studije koja uključuje modeliranje. Izvođenje putanje korištenjem operativnih uputa obično je jednostavno jer se tim uputama propisuje slijed odsječaka putanje koji su ili ravni i definirani duljinom i smjerom, ili su lukovi kružnih putanja definirani oštrinom zaokreta i promjenom smjera; za ilustraciju vidjeti sliku 2.7.e.



Slika 2.7.e: Geometrija tlocrta putanje u smislu zaokreta i ravnih segmenata

Iscrtavanje glavne putanje prema radarskim podacima je nešto složenije, prvo zato što je oštRNA zaokret u stvarnosti promjenjiva, a drugo zato što putanja nije sasvim jasna zbog nepreciznih podataka (rasipanja). Kako je prethodno objašnjeno, još nisu razvijeni formalni postupci pa je uobičajena praksa da se segmenti – ravnii i zakrivljeni – sparaju prema prosječnim položajima izračunanim prema radarskim odrazima na intervalima duž rute. Vjerojatno je da će u budućnosti biti razvijeni računalni algoritmi za ovu svrhu, no trenutačno odluka kako najbolje upotrijebiti dostupne podatke ostaje na osobi koja izvodi modeliranje. Važan je faktor činjenica da iz brzine i radijusa zaokreta zrakoplova proizlazi kut bočnog nagiba, a kako se objašnjava u odjeljku 2.7.19., o asimetrijama u zračenju zvuka duž putanje leta i položaju same putanje leta ovisi buka na tlu.

Teoretski, prijelaz bez međufaza iz pravocrtnog leta u zaokret s određenim radijusom zahtijevao bi trenutačnu promjenu bočnog nagiba zrakoplova  $\epsilon$ , što je fizički nemoguće. U stvarnosti je potrebno određeno vrijeme da bočni nagib dostigne vrijednost koja je potrebna za zadržavanje zadane brzine i radijusa zaokreta  $r$ , a u tom vremenu radijus se smanjuje od beskonačnog do  $r$ . Za svrhe modeliranja to smanjivanje radijusa može se zanemariti pa se uzima da se bočni nagib konstantno povećava od nule (ili druge početne vrijednosti) do  $\epsilon$  na početku zaokreta i da je sljedeća vrijednost  $\epsilon$  na kraju zaokreta<sup>[11]</sup>(Korisniku se prepusta odluka kako će najbolje uračunati te podatke, ovisno o tome kako se definiraju radijusi zaokreta. Ako je početna točka slijed ravnih ili lučnih segmenata , relativno jednostavna mogućnost je ubacivanje segmenata s prijelazima bočnog nagiba na početak i kraj zaokreta u kojem se zrakoplov ujednačeno naginja (npr. izraženo u °/m ili °/s.).).

#### Raspršenost putanja leta

Ako je to moguće, određivanje lateralne raspršenosti i reprezentativnih pomoćnih putanja temelji se na relevantnom iskustvu sa zračne luke za koju se studija izrađuje; obično se to radi analizom radarskih podataka. Prvi je korak grupirati podatke prema rutama. Putanje u odlasku obilježene su znatnom lateralnom raspršenošću koja se pri točnom modeliranju mora uzeti u obzir. Rute u dolasku obično se spajaju u vrlo uzak snop na završnoj prilaznoj putanji i obično je dovoljno da se svi dolasci predstave jednom putanjom. Međutim, ako su snopovi prilaznih ruta široko raspršeni unutar kontura buke, možda ih bude potrebno prikazati pomoćnim putanjama na isti način kao što se prikazuju putanje u odlasku.

Uobičajena je praksa da se podaci za jednu rutu uzmu kao uzorak iz jedne populacije; tj. da ih se prikaže kao jednu glavnu putanju i jedan skup raspršenih putanja. Međutim, ako se pregledom ustanovi da se podaci za različite kategorije zrakoplova ili različite operacije znatno razlikuju (npr. ako veliki i mali zrakoplovi imaju bitno različite radijuse zaokreta), može biti poželjno dodatno razdijeliti podatke u različite snopove. Za svaki snop lateralna se raspršenost određuje kao funkcija udaljenosti od početne točke; kretanja se tada,

statističkom distribucijom, raspoređuju između glavne putanje i prikladnog broja raspršenih pomoćnih putanja.

U principu nije preporučljivo zanemarivati utjecaje raspršenosti putanja pa se u odsutnosti izmjerениh podataka s cijelog snopa putanja koristi funkcija konvencionalne distribucije kako bi se definirao nazivni bočni raspon putanja oko glavne putanje. Izračunate vrijednosti indeksa buke nisu posebno osjetljive na točan oblik lateralne distribucije: normalnom (Gaussovom) distribucijom prikladno se opisuje mnoge snopove koji su izmjereni radarom.

Obično se koristi diskretna aproksimacija sa 7 točaka (tj. lateralna raspršenost se predstavlja sa 6 ravnomjerno raspoređenih pomoćnih putanja oko glavne putanje). Razmak između pomoćnih putanja ovisi o standardnoj devijaciji funkcije lateralne raspršenosti.

Za putanje s normalnom distribucijom i standardnom devijacijom  $S$ , 98,8 % putanja nalazi se unutar koridora omeđenog  $\pm 2,5S$ . U Tablici 2.7.a naveden je postotak kretanja koji se dodjeljuju svakoj pomoćnoj putanji i razmak između pomoćnih putanja. U Dodatku C navedene su ostale vrijednosti za pomoćne putanje.

*Tablica 2.7.a:* Postotak kretanja za funkciju normalne distribucije sa standardnom devijacijom  $S$  za 7 pomoćnih putanja (glavna putanja označena je kao pomoćna putanja 1).

Broj pomoćne putanje	Položaj pomoćne putanje	Postotak kretanja na pomoćnoj putanji
7	-2,14.S	3 %
5	-1,43.S	11 %
3	-0,71.S	22 %
1	0	28 %
2	0,71.S	22 %
4	1,43.S	11 %
6	2,14.S	3 %

Standardna devijacija  $S$  je funkcija koordinate  $s$  duž glavne putanje. Može je se navesti – zajedno s opisom glavne putanje – u podacima o putanjama iz Dodatka A3. Ako nisu dostupni indikatori za standardnu devijaciju – npr. iz radarskih podataka za slične putanje – preporučuju se sljedeće vrijednosti:

Za putanje koje uključuju zaokrete od manje od 45 stupnjeva:

$$\begin{aligned} S(s) &= 0.055 \cdot s - 150 && \text{za } 2700 \text{ m} \leq s \leq 30000 \text{ m} \\ S(s) &= 1500 \text{ m} && \text{za } s > 30000 \text{ m} \end{aligned}$$

(2.7.1.)

Za putanje koje uključuju zaokrete od preko 45 stupnjeva:

$$\begin{aligned} S(s) &= 0.128 \cdot s - 420 && \text{za } 3300 \text{ m} \leq s \leq 15000 \text{ m} \\ S(s) &= 1500 \text{ m} && \text{za } s > 15000 \text{ m} \end{aligned}$$

### (2.7.2.)

Iz praktičnih razloga uzima se da je  $S(s)$  nula između početka naginjanja i  $s = 2700$  m ili  $s = 3300$  m ovisno o oštrini zaokreta. Rute koje uključuju više od jednog zaokreta računaju se prema jednadžbi (2.7.2.). Za zrakoplove u dolasku lateralna raspršenost se može zanemariti do 6000 m od mjesta gdje zrakoplov prvi put dodirne tlo.

#### 2.7.12. Profili leta

Profil leta je opis kretanja zrakoplova na vertikali iznad tlocrta putanje u smislu njegovog položaja, brzine, bočnog nagiba i režima rada motora. Jedan od najvažnijih zadataka za korisnika modela je definiranje letnih profila koji su prikladni za potrebe modeliranja – da to bude učinkovito, bez prekomjernog trošenja vremena i resursa. Naravno, kako bi se postigla visoka točnost, profili leta moraju vjerno odražavati letne operacije koje predstavljaju. To zahtijeva pouzdane informacije o atmosferskim uvjetima, tipovima i varijantama zrakoplova, operativnoj masi zrakoplova i operativnim procedurama – varijacijama u potisku i položaju zakrilaca, promjenama visine i brzine – i za sve to treba osigurati odgovarajuće prosjeke za predmetni vremenski period. Često ti podaci nisu dostupni, što nije nužno prepreka; čak i kad jesu dostupni, osoba koja izrađuje model treba prosuditi kako na najbolji način uskladiti preciznost i detaljnost ulaznih podataka za potrebe iscrtavanja konačnih kontura.

Sinteza profila leta »proceduralnim koracima« korištenjem podataka iz baze podataka ANP ili od operatera zrakoplova opisana je u odjeljku 2.7.13. i Dodatku B. Tim se postupkom, koji je obično i jedini moguć za modeliranje kada nema radarskih podataka, dobiva geometrija putanje leta i s njom povezane varijacije brzine i potiska. Obično se pretpostavlja da svi (slični) zrakoplovi u snopu putanja, bilo da im je dodijeljena glavna putanja ili raspršene pomoćne putanje, lete prema profilu leta koji je predstavljen glavnom putanjom.

Osim baze podataka ANP, u kojoj su navedene uobičajene informacije za proceduralne korake, operateri zrakoplova najbolji su izvor pouzdanih informacija, tj. informacija o procedurama koje koriste i uobičajenim masama zrakoplova za svaki let. Za pojedinačne letove, »zlatni standard« kad je riječ o izvorima informacija je uređaj za snimanje podataka o letu (FDR) iz kojeg se mogu dobiti sve relevantne informacije. No čak i ako su ti podaci dostupni, potreban je ogroman napor u pripremi takvih podataka za upotrebu. Stoga je, i u skladu s potrebom za ekonomičnošću u modeliranju, uobičajeno praktično rješenje krenuti od informiranih pretpostavki kad je riječ o prosječnim masama i operativnim procedurama.

Potreban je oprez prije nego što se pretpostave *uobičajeni* proceduralni koraci iz baze podataka ANP (i koji se obično uzimaju kad točne procedure nisu poznate). To su standardizirani postupci u širokoj upotrebi, ali to ne znači da ih se u konkretnim slučajevima operateri pridržavaju. Vrlo značajan faktor je definicija potiska motora pri uzljetanju (i ponekad uspinjanju), koji u određenoj mjeri ovisi o prevladavajućim uvjetima. Posebno je uobičajena praksa smanjivanje potiska u odlasku (u odnosu na maksimum) kako bi se produžio vijek trajanja motora. U Dodatku B iznose se smjernice za prikazivanje uobičajene prakse; na taj način se obično izvode realnije konture nego kad se pretpostavlja puna snaga motora. Međutim, ako je na primjer uzletno-sletna staza kratka i/ili su prosječne temperature zraka visoke, po svoj prilici bit će realnije pretpostaviti punu snagu.

Pri modeliranju stvarnih scenarija, veći stupanj točnosti može se postići korištenjem radarskih podataka kao dopune ili zamjene nazivnih podataka. Profili leta mogu se odrediti korištenjem radarskih podataka na sličan način kao i lateralne glavne putanje – ali samo nakon razvrstavanja prometa prema tipu i varijanti zrakoplova, a ponekad i prema masi ili dužini dionice (ali ne prema raspršenosti) – i na taj način se za svaku podgrupu dobiva prosječan profil visine i brzine u odnosu na zemaljsku udaljenost koja je prijeđena. I dalje, kad se nakon toga taj jedinstveni profil spaja s tlocrtima putanja, obično se dodjeljuje i glavnoj putanji i pomoćnim putanjama.

Ako se zna masa zrakoplova, promjene brzine i potiska mogu se izračunati za svaki korak korištenjem jednadžbi za gibanje. Prije toga korisno je preliminarno obraditi podatke kako bi se na minimum sveli utjecaji radarskih grešaka zbog kojih bi procjene ubrzanja mogle biti nepouzdane. U oba je slučaja prvi korak definiranje profila leta usklađivanjem pravocrtnih segmenata koji predstavljaju odgovarajuće faze leta. Svaki segment treba kategorizirati – npr. radi li se o zaletu, uspinjanju ili snižavanju konstantnom brzinom, smanjivanju potiska ili ubrzavanju/usporavanju uz promjene položaja zakrilaca ili bez promjena položaja zakrilaca. Potrebni su i podaci o masi zrakoplova i atmosferskim uvjetima.

U odjeljku 2.7.11. jasno je naznačeno da je potrebno posebno uračunati lateralnu raspršenost putanja leta oko nazivne ili glavne putanje. Na primjerima radarskih podataka vidljiva je slična raspršenost putanja leta i po vertikali. Međutim, nije uobičajeno modelirati raspršenost po vertikali kao nezavisnu varijablu; ona je uglavnom rezultat razlika u masi zrakoplova i operativnim procedurama koje se uzimaju u obzir u pripremi ulaznih podataka o prometu.

#### *2.7.13. Generiranje segmenata putanje leta*

Svaka putanja leta mora biti definirana skupom koordinata segmenta (čvorovi) i parametrima leta. Prvo je potrebno odrediti koordinate segmenata tlocrta putanje. Zatim se izračunava profil leta, pri čemu je važno imati na umu da za određeni skup proceduralnih koraka profil ovisi o tlocrtu putanje; tj. pri jednakom potisku i brzini, brzina penjanja zrakoplova je manja u zaokretima nego u pravocrtnom letu. Na kraju se trodimenzionalni segmenti putanje leta izvode spajanjem dvodimenzionalnog profila leta s dvodimenzionalnim tlocrtom putanje<sup>[12]</sup>(U tu svrhu ukupna duljina tlocrta putanje trebala bi uvijek biti veća od profila leta. To se može postići, ako je potrebno, dodavanjem pravocrtnih segmenata pogodne duljine do posljednjeg segmenta projekcije putanje zrakoplova na tlo.).

#### *Tlocrt putanje*

Tlocrt putanje, neovisno o tome je li riječ o glavnoj putanji ili raspršenoj pomoćnoj putanji, definiran je nizom (x,y) koordinata na ravnini tla (npr. od radarskih podataka) ili nizom vektora kojima se opisuju pravocrtni segmenti i kružni lukovi (zaokreti definiranog radijusa  $r$  i promjena smjera  $\Delta\delta$ ).

Za modeliranje po segmentima luk zaokreta se predstavlja slijedom pravocrtnih segmenata koji predstavljaju dijelove luka. Premda se ti dijelovi luka ne spominju izričito u segmentima tlocrta putanje, nagib zrakoplova tijekom zaokreta utječe na njihovu definiciju. U Dodatku B4 objašnjeno je kako izračunati kutove bočnog nagiba tijekom jednakomjernog zaokreta, no

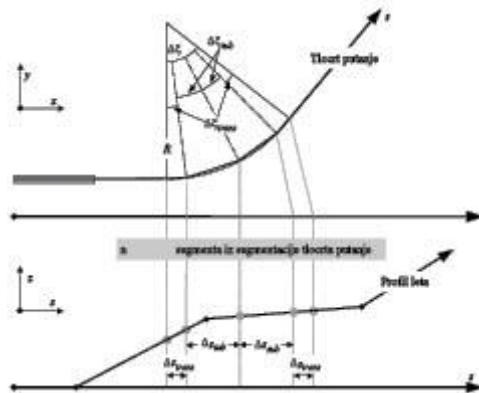
oni se ne primjenjuju ili se odmah uklanjuju. Kako postupati s prijelazima između pravocrtnog leta i zaokreta ili između jednog zaokreta i leta nakon kojeg odmah slijedi uzastopni zaokret, nije propisano. U pravilu, pojedinosti koje su ostavljene korisniku (vidjeti odjeljak 2.7.11.), vjerojatno će imati zanemariv učinak na konačne konture; zahtjeva se uglavnom izbjegavanje naglih prekida na krajevima zaokreta, a to se može postići, na primjer, umetanjem kratkih prijelaznih segmenata u kojima se kut bočnog nagiba mijenja linearno s udaljenosti. Samo u posebnom slučaju u kojem je vjerojatno da će određeni zaokret imati prevladavajući utjecaj na konačne konture bilo bi potrebno modelirati dinamiku prijelaza koja više odgovara stvarnosti, kako bi se kut bočnog nagiba povezao s određenim tipovima zrakoplova i kako bi se uzele odgovarajuće stope kretanja. Ovdje je dovoljno navesti da su krajnji dijelovi luka  $\Delta\xi_{\text{trans}}$  u svim zaokretima uvjetovani zahtjevima za promjenu kuta bočnog nagiba. Preostali dio luka s promjenom smjera od  $\Delta\xi - 2 \cdot \Delta\xi_{\text{trans}}$  dijeli se u  $n_{\text{sub}}$  dijelove luka prema jednadžbi:

$$n_{\text{sub}} = \text{int}(1 + (\Delta\xi - 2 \cdot \Delta\xi_{\text{trans}}) / 30) \quad (2.7.3.)$$

pri čemu je  $\text{int}(x)$  funkcija jednaka cijelom dijelu broja  $x$ . Zatim se promjena smjera  $\Delta\xi_{\text{sub}}$  svakog dijela luka izračunava kako slijedi

$$\Delta\xi_{\text{sub}} = (\Delta\xi - 2 \cdot \Delta\xi_{\text{trans}}) / n_{\text{sub}} \quad (2.7.4.)$$

pri čemu  $n_{\text{sub}}$  treba biti dovoljno velik kako bi se osiguralo da je  $\Delta\xi_{\text{sub}} \leq 30$  stupnjeva. Segmentacija luka (isključujući završetak prijelaza podsegmenata) prikazana je na slici 2.7.f<sup>[13]</sup>(Definirana na ovaj jednostavan način, ukupna duljina segmentirane putanje neznatno je kraća od duljine kružne putanje. Međutim, pogreška je posljedične konture zanemariva ako su kutna povećanja manja od 30°.).



Slika 2.7.f: Generiranje segmenata putanje leta s dijeljenjem zaokreta u segmente duljine  $\Delta s$  (gornji prikaz u horizontalnoj ravnini, donji prikaz u vertikalnoj ravnini)

#### Profil leta

Parametri kojima se opisuje svaki profil leta na početku (sufiks 1) i na kraju (sufiks 2) segmenta:

$s_1, s_2$  udaljenost duž tlocrta putanje,

$z_1, z_2$  visina aviona,

$V_1, V_2$  brzina po horizontali,

$P_1, P_2$  parametar snage motora povezan s bukom (koji odgovara parametru za koji su definirane NPD krivulje) i

$\epsilon_1, \epsilon_2$  kut bočnog nagiba.

Za sastavljanje profila leta od niza proceduralnih koraka (sinteza *putanje leta*), segmenti se izvode slijedom radi postizanja zahtijevanih uvjeta na krajnjim točkama. Parametri krajnje točke svakog segmenta postaju parametri početne točke sljedećeg segmenta. U svakom izračunu segmenta parametri su poznati na početku; zahtijevani uvjeti na kraju određeni su proceduralnim korakom. Sami koraci definirani su ili uobičajenim koracima iz ANP-a ili od strane korisnika (npr. iz priručnika o letenju zrakoplova). Krajnji su uvjeti obično visina i brzina, a posao sastavljanja profila je određivanje obuhvaćene udaljenosti putanje u postizanju tih uvjeta. Nedefinirani parametri određuju se izračunima svojstava leta opisana u Dodatku B.

Ako je tlocrt putanje pravocrtan, točke profila i s njima povezani parametri leta mogu se odrediti neovisno od tlocrta putanje (kut bočnog nagiba uvijek je jednak nuli). Međutim, tlocrti putanje rijetko su ravnii; obično uključuju zaokrete a njih se, kako bi se ostvarili najbolji rezultati, mora uzeti u obzir pri određivanju dvodimenzionalnog profila leta, prema potrebi uz podjelu segmenata profila na čvorovima tlocrta putanje kako bi se uvele promjene kuta bočnog nagiba. U pravilu je duljina sljedećeg segmenta nepoznata na početku i izračunava se privremeno pod pretpostavkom da nema promjena kuta bočnog nagiba. Utvrди li se potom da privremeni segmentom obuhvaća najmanje jedan čvor tlocrta putanje, pri čemu je prvi na  $s$ , tj.  $s_1 < s < s_2$ , segment se skraćuje na  $s$ , pri čemu se tamošnji parametri izračunavaju interpolacijom (vidjeti u nastavku). Ti parametri postaju parametri krajnje točke trenutačnog segmenta i parametri početne točke novog segmenta koji još uvijek ima iste uvjete na krajnjoj točki. Ako se u privremenom segmentu ne nalazi nijedan čvor tlocrta putanje, privremeni se segment potvrđuje.

Ako se namjerava zanemariti utjecaje zaokreta na profil leta, uzima se pravocrtni let, rješenje za pojedinačni segment, iako se podaci o kutu bočnog nagiba zadržavaju za kasniju upotrebu.

Neovisno o tome jesu li utjecaji zaokreta potpuno modelirani, svaka trodimenzionalna putanja leta nastaje spajanjem njezina dvodimenzionalnog profila leta s njezinom dvodimenzionalnom tlocrtom putanje. Rezultat je slijed skupova koordinata  $(x,y,z)$ , pri čemu je svaki skup čvor segmentiranog tlocrta putanje, čvor profila leta ili čvor i tlocrta putanje i profila leta, dok su točke profila popraćene odgovarajućim vrijednostima visine  $z$ , brzinom po horizontali  $V$ , kutom bočnog nagiba  $\epsilon$  i snagom motora  $P$ . Za točku putanje  $(x,y)$  koja je smještena između krajeva segmenta profila leta, parametri leta interpoliraju se kako slijedi:

$$z = z_1 + f \cdot (z_2 - z_1) \quad (2.7.5.)$$

$$V = \sqrt{V_1^2 + f \cdot (V_2^2 - V_1^2)} \quad (2.7.6.)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + f \cdot (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \quad (2.7.7.)$$

$$P = \sqrt{P_1^2 + f \cdot (P_2^2 - P_1^2)} \quad (2.7.8.)$$

pri čemu je:

$$f = (s - s_1)/(s_2 - s_1) \quad (2.7.9.)$$

Napomena: dok se za  $z$  i  $\varepsilon$  prepostavlja da variraju linearno s udaljenosti, za  $V$  i  $P$  prepostavlja se da variraju linearno s vremenom (tj. konstantnim ubrzanjem<sup>[14]</sup>(Čak i ako režim rada motora ostane konstantan duž segmenta, potisna sila i ubrzanje mogu se promijeniti zbog varijacije gustoće zraka prema visini. Međutim, za potrebe modeliranja buke te su promjene obično zanemarive.)).

Usklađuju li se segmenti profila leta s podacima s radara (analiza putanje leta), sve udaljenosti krajnjih točaka, visine, brzine i kutovi bočnog nagiba određuju se izravno na temelju podataka; samo se režim snage motora mora izračunati jednadžbama za snagu. S obzirom na to da se i koordinate tlocrta putanje i profila leta mogu spariti na odgovarajući način, to je obično prilično jednostavan postupak.

#### Segmentacija zaleta

Pri uzljetanju, budući da zrakoplov ubrzava između točke otpuštanja kočnica (alternativni naziv glasi početak kretanja, eng. *start-of-roll SOR*) i točke odizanja, brzina se naglo mijenja na udaljenosti od 1 500 do 2 500 m, od nule do između 80 i 100 m/s.

Zalet je stoga podijeljen u segmente s promjenjivim duljinama na kojima se brzina zrakoplova mijenja za određeno povećanje  $\Delta V$  koje iznosi najviše 10 m/s (približno 20 kt). Iako ubrzanje zapravo varira tijekom zaleta, pretpostavka konstantnog ubrzanja prikladna je za ovu svrhu. U tom slučaju, za fazu uzljetanja,  $V_1$  je početna brzina,  $V_2$  je brzina pri uzljetanju,  $n_{TO}$  je broj uzletnih segmenata i  $s_{TO}$  je ekvivalentna udaljenost pri uzljetanju  $s_{TO}$ . Za ekvivalentnu udaljenost pri uzljetanju  $s_{TO}$  (vidjeti Dodatak B), početna brzina  $V_1$  i brzina pri uzljetanju  $V_2$  broj  $n_{TO}$  segmenata za zalet je

$$n_{TO} = \text{int}(1 + (V_2 - V_1)/10) \quad (2.7.10.)$$

i stoga je promjena brzine uzduž segmenta

$$\Delta V = (V_2 - V_1)/n_{TO} \quad (2.7.11.)$$

a vrijeme  $\Delta t$  za svaki segment je (pretpostavljeno konstantno ubrzanje)

$$\Delta t = \frac{2 \cdot s_{TO}}{(V_2 + V_1) \cdot n_{TO}} \quad (2.7.12.)$$

Stoga je duljina  $s_{TO,k}$  segmenta  $k$  ( $1 \leq k \leq n_{TO}$ ) zaleta:



**Thorium A+**

*Izvrsni inženjeri koriste izvrstan alat!*

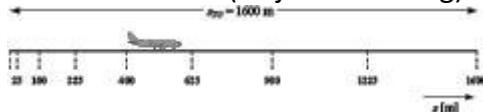
**ThoriumSoftware d.o.o.**

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

$$s_{TO,k} = (k - 0,5) \cdot \Delta V \cdot \Delta t = \frac{(2k-1) \cdot s_{TO}}{n_{TO}^2}$$

(2.7.13.)

Primjer: Za udaljenost pri uzljetanju  $s_{TO} = 1600$  m,  $V_1=0$ m/s i  $V_2 = 75$  m/s, dobiva se  $n_{TO} = 8$  segmenata s duljinama od 25 do 375 metara (vidjeti sliku 2.7.g):



Slika 2.7.g: Segmentacija zaleta (primjer za 8 segmenata)

Slično kao i za promjene brzine, potisak se zrakoplova mijenja na svakom segmentu za konstantno povećanje  $\Delta P$ , koje se izračunava prema sljedećoj jednadžbi

$$\Delta P = (P_{TO} - P_{init}) / n_{TO}$$

(2.7.14.)

pri čemu  $P_{TO}$  odnosno  $P_{init}$  označuju potisak zrakoplova pri točki odizanja odnosno potisak zrakoplova na početku zaleta.

Korištenjem tog konstantnog povećanja potiska (umjesto korištenja oblika kvadratne jednadžbe 2.7.8.) namjerava se uspostaviti konzistentnost s linearnim odnosom potiska i brzine u slučaju zrakoplova na mlazni pogon (jednadžba B-1).

#### *Segmentacija segmenta početnog penjanja*

Tijekom segmenta početnog penjanja geometrija se brzo mijenja, posebno s obzirom na lokacije promatrača bočno od putanje leta, pri čemu će se *kut beta* promijeniti brzo kako se zrakoplov bude penjao duž tog početnog segmenta. Iz usporedbi s izračunima vrlo malih segmenata vidi se da upotreba samo jednog segmenta za početni uspon dovodi do slabe aproksimacije buke bočno od putanje leta za integrirane parametre. Točnost izračuna poboljšava se podsegmentacijom prvog segmenta odizanja. Na duljinu svakog segmenta i na njihov broj snažno utječe lateralno prigušenje. Ako se uzme u obzir izraz ukupnog lateralnog prigušenja za zrakoplove s motorima smještenima na trupu, može se pokazati da se radi ograničavanja promjene u lateralnom prigušenju od 1,5 dB po podsegmentu segment početnog penjanja mora podsegmentirati na temelju sljedećeg skupa vrijednosti za visinu:

$$z = \{18,9; 41,5; 68,3; 102,1; 147,5; 214,9; 334,9; 609,6; 1289,6\} \text{ metara ili}$$

$$z = \{62; 136; 224; 335; 484; 705; 1099; 2000; 4231\} \text{ stopa}$$

Prethodno navedene visine primjenjuju se tako što se određuje koja je visina iz prethodnog skupa najbliža krajnjoj točki izvornog segmenta. Stvarne visine podsegmenta potom bi se izračunale jednadžbom:

$$z'_i = z [z_i / z_N] \quad (i = 1..N)$$

(2.7.15)

pri čemu je  $z$  krajnja visina izvornog segmenta,  $z_i$  je  $i$ -ti član skupa čiji su elementi vrijednosti visine i  $z_N$  je najbliža gornja međa u odnosu na visinu  $z$ . Tim se procesom postiže konstantna promjena lateralnog prigušenja u svakom podsegmentu, čime se generiraju točnije konture, a da se time ne koriste vrlo kratki segmenti.

Primjer:

Ako je visina krajnje točke izvornog segmenta  $z = 304,8$  m, na temelju skupa vrijednosti visina dobivamo  $214,9 < 304,8 < 334,9$  i da najbliža gornja međa za  $z = 304,8$  m iznosi  $z_7 = 334,9$  m. Krajne visine podsegmenta izračunavaju se prema sljedećoj formuli:

$$z_i' = 304,8 [z_i / 334,9] (i = 1..N)$$

Stoga bi  $z_1'$  iznosio 17,2 m,  $z_2$  37,8 m itd.

Vrijednosti brzine i snage motora na umetnutim točkama interpoliraju se jednadžbama (2.7.11.) odnosno (2.7.13.).

#### *Segmentacija segmenata leta*

Nakon što se segmentirana putanja leta izvede u skladu s postupkom opisanim u odjeljku 2.7.13. uz primjenu opisane podsegmentacije, daljnja podešavanja segmentacija mogu biti potrebna. Ona uključuju:

- uklanjanje točaka putanje leta koje su preblizu jedna drugoj i
- umetanje dodatnih točaka ako su promjene brzine uzduž segmenata predugačke.

Ako su točke međusobno udaljene najviše 10 metara uz jednakе brzine i potiske, potrebno je ukloniti jednu od točaka.

Za segmente leta unutar kojih postoje znatne promjene brzine uzduž segmenta, to se mora podijeliti kao za kretanje zalet, tj.

$$n_{\text{seg}} = \text{int}\left(1 + |V_2 - V_1| / 10\right) \quad (2.7.16.)$$

pri čemu su  $V_1$  i  $V_2$  početna odnosno krajnja brzina u segmentu. Odgovarajući parametri podsegmenta izračunavaju se na sličan način kao za zalet jednadžbama 2.7.11. do 2.7.13.

#### *Protrčavanje*

Premda je protrčavanje u osnovi obrnuti proces od zaleta, posebno treba voditi računa o

- negativnom *potisku* koji se ponekad primjenjuje radi usporavanja zrakoplova i
- avionima koji napuštaju uzletno-sletnu stazu nakon usporavanja (zrakoplovi koji napuste uzletno-sletnu stazu više nisu relevantni za zračnu buku jer se buka izazvana taksiranjem ne uzima u obzir).

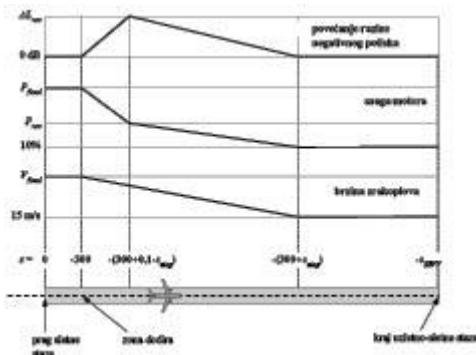
Za razliku od duljine zaleta koja se izvodi iz parametara performansi zrakoplova, duljina zaustavljanja  $s_{stop}$  (tj. duljina od zone dodira do točke pri kojoj zrakoplov napušta uzletno-sletnu stazu) nije svojstvena isključivo zrakoplovu. Premda se najmanja duljina zaustavljanja može procijeniti na temelju mase i performansi zrakoplova (i dostupnog negativnog potiska), stvarni put kočenja ovisi i o lokaciji voznih staza, prometnoj situaciji i o propisima o upotrebi negativnog potiska u predmetnoj zračnoj luci.

Upotreba negativnog potiska nije standardni postupak, a primjenjuje se samo ako se potrebno usporenje ne može postići disk kočnicama. (Negativnim potiskom mogu se izazvati jake smetnje jer se brzom promjenom režima rada motora iz minimalnog u negativni potisak stvara iznenadna buka.)

Međutim, većina se uzletno-sletnih staza koristi za odlaske i slijetanja tako da negativni potisak ima vrlo mali utjecaj na konture buke jer u odnosu na ukupnu količinu zvučne energije u blizini uzletno-sletne staze prevladava buka nastala operacijama uzljetanja. Negativni potisak koji utječe na konture može biti značajan samo kada je korištenje uzletno-sletna staze ograničeno na operacije slijetanja.

Fizički, negativni potisak u odnosu na buku vrlo je složen proces, međutim zbog relativno malog značaja za konture zračne buke može se modelirati u pojednostavljenom obliku, naime u obzir se uzima brza promjena u snazi motora za pogodnu segmentaciju.

Jasno je da modeliranje buke za protrčavanje nije onako jednostavno kao za zalet. Sljedeće se pojednostavljene prepostavke modeliranja preporučuju za opću upotrebu ako ne postoje detaljne informacije (vidjeti sliku 2.7.h).



Slika 2.7.h: Modeliranje protrčavanja

Avion dodiruje tlo 300 metara iza praga sletne staze (koordinata  $s = 0$  duž tlocrta putanje). Zrakoplov zatim usporava na kočnom putu  $s_{stop}$  specifične vrijednosti zrakoplova navedene su u bazi podataka ANP – od brzine završnog prilaza  $V_{final}$  na 15 m/s. Zbog brzih promjena u brzini tijekom tog segmenta mora se podsegmentirati na isti način kao za zalet (ili za segmente leta s brzim promjenama brzine) jednadžbama 2.7.10. do 2.7.13.

Režim rada motora mijenja se iz režima za završni prilaz pri zoni dodira u režim negativnog potiska  $P_{rev}$  na udaljenosti od  $0,1s_{stop}$ , potom se smanjuje na 10 % najveće raspoložive snage na preostalih 90 % kočnog puta. Do kraja uzletno-sletne staze ( $s = -s_{RWY}$ ) brzina zrakoplova ostaje konstantna.

NPD krivulje za negativni potisak u ovom trenutku nisu uključene u baze podataka ANP i stoga je potrebno osloniti se na konvencionalne krivulje za modeliranje tog učinka. Snaga negativnog potiska  $P_{rev}$  obično iznosi približno 20 % za režim pune snage i to se preporučuje kada operativni podaci nisu dostupni. Međutim, pri zadanom režimu rada motora, negativnim potiskom obično se stvara znatno veća buka nego pozitivnim potiskom, pri čemu se povećanje  $\Delta L$  mora primijeniti na NPD podatke dobivene iz razine događaja koji rastu od nule na vrijednost  $\Delta L_{rev}$  (5 dB preporučuje se za improvizaciju<sup>[15]</sup>(To je preporučeno u prethodnom izdanju ECAC dokumenta br. 29, ali se još uvijek smatra privremenim do stjecanja dodatnih eksperimentalnih podataka.)) duž  $0,1s_{stop}$  i potom opada linearno prema nuli duž preostalog dijela duljine za zaustavljanje.

#### 2.7.14. Izračun buke s obzirom na jednokratni događaj

Srž procesa modeliranja opisanog ovdje u cijelosti jest izračun razine zvučnog događaja na temelju podataka o putanji leta opisanih u odjeljcima 2.7.7. do 2.7.13.

#### 2.7.15. Mjere za jednokratni događaj

Zvuk proizведен kretanjem zrakoplova na lokaciji promatrača izražava se kao »razina zvuka (ili buke) za jednokratni događaj«, količina koja je indikator utjecaja na ljudi. Primljeni zvuk mjeri se u pogledu buke osnovnom ljestvicom u decibelima  $L(t)$  koja se primjenjuje na frekvencijsko vrednovanje (ili filter) radi oponašanja karakteristike ljudskog sluha. Najvažnija skala u modeliranju konture buke zrakoplova jest A-vrednovana razina zvuka,  $L_A$ .

Najčešće korištena mjera radi obuhvaćanja cijelih događaja jest »razina izloženosti jednokratnom zvuku (ili buci)«,  $L_E$ , kojom se uzima u obzir sva (ili gotovo sva) zvučna energija u događaju. Uvođenjem vremenske komponente nastaju najsloženiji problemi u modeliranju segmentacijom (ili simulacijom). Jednostavnije je modelirati alternativnu mjeru  $L_{max}$  koja predstavlja maksimalnu trenutačnu razinu za vrijeme događaja; međutim  $L_E$  je temeljni sastavni element većine današnjih indeksa za buku zrakoplova, a za očekivati je da će praktičnim modelima u budućnosti biti obuhvaćeni i  $L_{max}$  i  $L_E$ . Obje mjere moguće je mjeriti na različitim skalamama buke; u ovom se dokumentu u obzir uzima samo A-vrednovana razina zvuka. Skala je obično označena odgovarajućim proširenjem sufiksa, tj.  $L_{AE}$ ,  $L_{Amax}$ .

Razina izloženosti jednokratnom zvuku (ili buci) točno se izražava jednadžbom

$$L_E = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L(t)/10} dt \right)$$

(2.7.17.)

pri čemu  $t_0$  označuje referentno vrijeme. Odabirom integracijskog intervala  $[t_1, t_2]$  osigurava se obuhvaćanje (gotovo) cjelokupnog zvuka u događaju. Često se odabiru granice  $t_1$  i  $t_2$  kako bi se izrazilo vremensko razdoblje u kojem razina  $L(t)$  ne prelazi 10 dB ispod  $L_{max}$ . To je razdoblje također poznato kao vrijeme »10 dB ispod« (10-dB down). Razine izloženosti zvuku (buci) u tablicama baze podataka ANP su vrijednosti 10 dB ispod<sup>[16]</sup> (LE s 10 dB ispod može biti do 0,5 dB niži od LE ocijenjenog u odnosu na dulje razdoblje. Međutim, osim na kratkim izravnim udaljenostima pri kojima su razine događaja visoke, zbog buke iz okoline dulji intervali mjerjenja često su nepraktični pa su norma vrijednosti 10 dB ispod. S obzirom na to da se studije o utjecajima buke (radi »kalibriranja« kontura buke) također često odnose na vrijednosti 10 dB ispod, podaci se iz ANP tablica smatraju u potpunosti prikladnima.).

Glavna primjena jednadžbe 2.7.17. pri modeliranju kontura buke zrakoplova je standardna mjeru *razine izloženosti zvuku  $L_{AE}$*  (kratica SEL):

$$L_{AE} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_{AE}(t)/10} dt \right) \text{ s } t_0 = 1 \text{ sekunda}$$

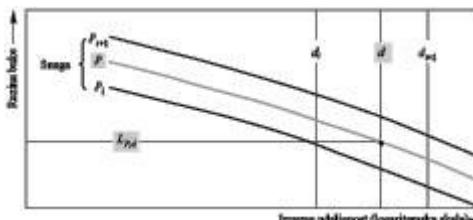
(2.7.18.)

Prethodno navedene jednadžbe za razinu izloženosti mogu se koristiti za određivanje razina događaja kad je poznat cjelokupni vremenski protek  $L(t)$ . U preporučenoj metodologiji

modeliranja zvuka ti vremenski proteci nisu definirani; razine izloženosti događaja izračunavaju se zbrajanjem vrijednosti segmenata, koje su djelomične razine događaja, a svaka od tih djelomičnih razina određuje doprinos jednog konačnog segmenta putanje leta.

#### 2.7.16. Određivanje razina događaja na temelju NPD podataka

Glavni izvor podataka o buci zrakoplova je međunarodna baza podataka za buku i performanse zrakoplova (ANP). U toj su bazi podataka u tablici navedene vrijednosti  $L_{max}$  i  $L_E$  kao funkcije udaljenosti širenja  $d$  za određene tipove zrakoplova, inačice zrakoplova, konfiguracije leta (prilaz, odlet, položaj zakrilaca) i režimi rada motora  $P$ . Odnose se na jednakomjerni let pri određenim referentnim brzinama  $V_{ref}$  na teoretski beskonačnoj pravocrtnoj putanji leta<sup>[17]</sup>(Premda je pojam beskonačno dugačke putanje leta važan u odnosu na definiciju razini izloženosti buci događaja LE, manje je relevantan u pogledu maksimalne razine događaja Lmax koja je određena bukom koju emitira zrakoplov kad se nalazi na svojoj najbližoj točki približavanja promatraču ili blizu nje. Za potrebe modeliranja NPD parametar udaljenosti predstavlja najmanji razmak između promatrača i segmenta.). Kako se navode vrijednosti neovisnih varijabli  $P$  i  $d$  opisano je u nastavku. Pri pojedinačnom pretraživanju s ulaznim vrijednostima  $P$  i  $d$  potrebne izlazne vrijednosti su *osnovne razine*  $L_{max}(P, d)$  i/ili  $L_{E\infty}(P, d)$  (primjenjivo na beskonačnu putanju leta). Osim ako u tablici nisu navedene točne vrijednosti za  $P$  i/ili  $d$ , u načelu bit će potrebno interpolacijom procijeniti potrebne razine zvučnog događaja. Pritom se između tabličnih postavki snage primjenjuje linearna interpolacija, a između tabličnih udaljenosti logaritamska interpolacija (vidjeti sliku 2.7.i).



Slika 2.7.i: Interpolacija u NPD krivuljama

Ako su  $P_i$  i  $P_{i+1}$  vrijednosti snage motora za koje su u tablici navedeni podaci za razinu buke u odnosu na udaljenost, razina buke  $L(P)$  na zadanoj udaljenosti za snagu vrijednosti  $P$  između  $P_i$  i  $P_{i+1}$  izračunava se kako slijedi:

$$L(P) = L(P_i) + \frac{L(P_{i+1}) - L(P_i)}{P_{i+1} - P_i} \cdot (P - P_i) \quad (2.7.19.)$$

Ako za bilo koju vrijednost snage postoje udaljenosti  $d_i$  i  $d_{i+1}$  za koje se u tablici nalaze podaci o buci, razina buke  $L(d)$  za udaljenost  $d$  između  $d_i$  i  $d_{i+1}$  izračunava se kako slijedi:

$$L(d) = L(d_i) + \frac{L(d_{i+1}) - L(d_i)}{\lg d_{i+1} - \lg d_i} \cdot (\lg d - \lg d_i) \quad (2.7.20.)$$

Jednadžbama (2.7.19.) i (2.7.20.) razina buke  $L(P, d)$  može se izračunati za bilo koju vrijednost snage  $P$  i bilo koju udaljenost  $d$  unutar okvira baze NPD podataka.

Za udaljenosti  $d$  izvan NPD okvira primjenjuje se jednadžba 2.7.20. kako bi se izvela interpolacija iz prethodne dvije vrijednosti, tj. prema unutra iz  $L(d_1)$  i  $L(d_2)$  ili prema van iz  $L(d_{i-1})$  i  $L(d_i)$  pri čemu je  $I$  ukupni broj NPD bodova na krivulji. Tako je:

$$\text{prema unutra: } L(d) = L(d_2) + \frac{L(d_1) - L(d_2)}{\lg d_2 - \lg d_1} \cdot (\lg d - \lg d_1) \quad (2.7.21.)$$

$$\text{prema van: } L(d) = L(d_{i-1}) + \frac{L(d_{i-1}) - L(d_i)}{\lg d_i - \lg d_{i-1}} \cdot (\lg d - \lg d_{i-1}) \quad (2.7.22.)$$

Budući da pri malim udaljenostima  $d$  razine buke rastu izrazito brzo uz smanjenje udaljenosti širenja, preporučuje se da se za  $d$  odredi donja granica od 30 m, tj.  $d = \max(d, 30 \text{ m})$ .

#### **Prilagodba impedancije standardnih NPD podataka**

NPD podaci sadržani u bazi podataka ANP normalizirani su za specifične atmosferske uvjete (temperatura 25 °C i tlak 101,325 kPa). Prije primjene prethodno opisane metode interpolacije/ekstrapolacije na te je standardne NPD podatke potrebno primijeniti prilagodbu akustičke impedancije.

Akustička impedancija odnosi se na širenje zvučnih valova u akustičkom mediju i definira se kao umnožak gustoće zraka i brzine zvuka. Pri određenom intenzitetu zvuka (snaga zvuka po jediničnoj površini) primljenom na određenoj udaljenosti od izvora s time povezani zvučni tlak (radi definicije mjera SEL i  $L_{A\max}$ ) ovisi o akustičkoj impedanciji zraka na mjestu mjerena. To je funkcija temperature, atmosferskog tlaka (i neizravno visine). Stoga je potrebno prilagoditi standardne NPD podatke iz baze podataka ANP vodeći računa o temperaturi i tlačnim uvjetima na točki prijema, a koji se općenito razlikuju od normaliziranih uvjeta ANP podataka.

Prilagodba impedancije na primjenjivu standardnu NPD razinu izražava se kako slijedi:

$$\Delta_{\text{impedance}} = 10 \cdot \lg \left( \frac{\rho \cdot c}{409,81} \right)$$

$$(2.7.23.)$$

pri čemu je:

$\Delta_{\text{impedance}}$  prilagodba impedancije za stvarne atmosferske uvjete na točki prijema (dB),

$\rho \cdot c$  akustička impedancija (newton · sekunda/m³) zraka na točki prijema (pri čemu je 409,81 impedancija zraka povezana s atmosferskim referentnim uvjetima NPD podataka u bazi podataka ANP).

Impedancija  $\rho \cdot c$  izračunava se kako slijedi:

$$\rho \cdot c = 416,86 \cdot \left[ \frac{\delta}{\theta^{1/2}} \right]$$

$$(2.7.24.)$$

- 6  $p/p_0$ , omjer tlaka zraka u okolini na visini promatrača u odnosu na standardni tlak zraka na srednjoj razini mora:  $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$  (ili  $1013,25 \text{ mb}$ ),
- 9  $(T + 273,15)/(T_0 + 273,15)$  omjer između temperature zraka na visini promatrača i standardne temperature zraka na srednjoj razini mora:  $T_0 = 15,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Prilagodba akustičke impedancije obično iznosi manje od jedne desetine dB. Potrebno je osobito napomenuti da u atmosferskim standardnim uvjetima ( $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$  i  $T_0 = 15,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) prilagodba impedancije iznosi manje od 0,1 dB (0,074 dB). Međutim, kad postoje znatne razlike u temperaturi i atmosferskom tlaku u odnosu na atmosferske referentne uvjete NPD podataka, prilagodba može biti znatno veća.

#### 2.7.17. Opći izrazi

##### Razina događaja u segmentu $L_{seg}$

Vrijednosti segmenta određuju se primjenom prilagodbi na osnovne vrijednosti (beskonačna putanja) koje se uzimaju iz NPD podataka. Maksimalna razina buke jednog segmenta putanje leta  $L_{max,seg}$  može se općenito izraziti kao

$$L_{max,seg} = L_{max}(P, d) + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, \ell) \quad (2.7.25.)$$

a doprinos jednog segmenta putanje leta razini  $L_E$  kao

$$L_{E,seg} = L_E(P, d) + \Delta_V + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, \ell) + \Delta_F \quad (2.7.26.)$$

»Korektivni članovi« u jednadžbama 2.7.25. i 2.7.26., koji su detaljno opisani u odjeljku 2.7.19., uzimaju u obzir sljedeće efekte:

- $\Delta_V$  *Korekcija za trajanje:* NPD podaci odnose se na referentnu brzinu leta. Tom se korekcijom razine izloženosti prilagođuju nereferentnim brzinama. (Ne primjenjuje se na  $L_{max,seg}$ .)
- $\Delta_I(\varphi)$  *Efekt instalacije:* označuje promjenu *lateralne usmjerenosti* zbog omatanja, refrakcije i refleksije prouzročenih zmajem zrakoplova, motorima i okružujućim poljima strujanja.
- $\Lambda(\beta, \ell)$  *Lateralno prigušenje:* značajno za zvuk koji se u malim kutovima širi prema tlu; njime se u obzir uzima interakcija između izravnih i reflektiranih zvučnih valova (utjecaj tla) te utjecaji atmosferskih nehomogenosti (prije svega prouzročenih tlom) koji zvučne valove lome na njihovu putu prema promatraču bočno od putanje leta.
- $\Delta_F$  *Korekcija za konačni segment (udio buke)* uzima u obzir konačnu duljinu segmenta kojom se naravno manje pridonosi manjoj izloženosti buke nego beskonačnom duljinom. Primjenjuje se samo na mjere za izloženost.

Ako je segment dio zaleta ili protrčavanja i ako se promatrač nalazi iza predmetnog segmenta, poduzimaju se posebni koraci radi prikaza izražene usmjerenosti buke mlaznog motora koja je zabilježena iza zrakoplova spremnog za uzljetanje. Ti posebni koraci rezultiraju prije svega posebnim oblikom buke za razinu izloženosti:

$$L_{max,seg} = L_{max}(P, d) + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, \ell) + \Delta_{SOR}$$

(2.7.27.)

$$L_{E,seg} = L_E(P, d) + \Delta_V + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, \ell) + \Delta'_F + \Delta_{SOR}$$

(2.7.28.)

$\Delta'_F$  Poseban oblik korekcije za segment,

$\Delta_{SOR}$  Korekcija za usmjerenost: radi uzimanja u obzir izražene usmjerenosti buke mlaznog motora iza segmenta kretanja na tlu.

Poseban tretman segmenta zaleta ili protrčavanja opisan je u odjeljku 2.7.19.

U odjeljcima u nastavku opisan je izračun razina buke u segmentu.

*Razina zvučnog događaja L kretanja zrakoplova*

Maksimalna razina  $L_{max}$  u stvari je najveća od vrijednosti segmenta  $L_{max,seg}$  (vidjeti jednadžbe 2.7.25. i 2.7.27.)

$$L_{max} = \max(L_{max,seg})$$

(2.7.29.)

pri čemu se svaka vrijednost segmenta određuje na temelju NPD podataka zrakoplova za snagu  $P$  i udaljenost  $d$ . Ti parametri i modifikatori  $\Delta_I(\varphi)$  i  $\Lambda(\beta, \ell)$  objašnjavaju se u nastavku. Razina izloženosti  $LE$  izračunava se kao zbroj decibela doprinosa  $LE,seg$  svakog segmenta putanje leta značajnog za buku; tj.

$$L_E = 10 \cdot \lg \left( \sum 10^{L_{max,seg}/10} \right)$$

(2.7.30.)

Zbrajanje se odvija korak po korak kroz segmente putanje leta.

U ostaku ovog poglavlja govorit će se o određivanju razina buke segmenta  $L_{max,seg}$  i  $L_{E,seg}$ .

#### 2.7.18. Parametri segmenta putanje leta

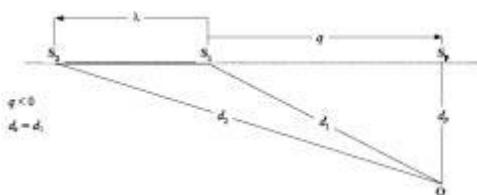
Snaga  $P$  i udaljenost  $d$ , za koje se osnovne razine  $L_{max,seg}(P, d)$  i  $L_{E,\infty}(P, d)$  interpoliraju iz NPD tablica, određuju se na temelju geometrijskih i operativnih parametara kojima se definira segment. Na koji se način to izvodi objašnjava se u nastavku pomoću ilustracija ravnine na kojoj se nalaze segment i promatrač.

#### Geometrijski parametri

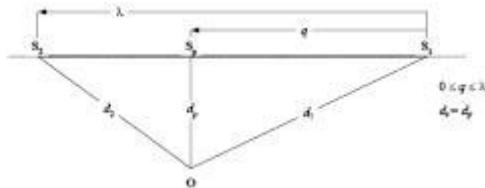
Na slikama od 2.7.j do 2.7.l prikazana je geometrija između izvora i prijemnika kad se promatrač O nalazi (a) iza, (b) pored i (c) ispred segmenta S1S2 pri čemu je smjer leta od S1 prema S2. U tim dijagramima vrijedi sljedeće:

O je lokacija promatrača,

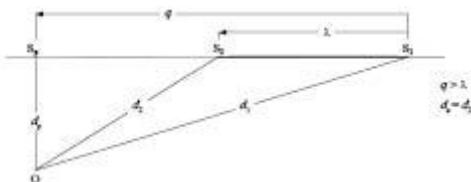
- S1, S2 su početak i kraj segmenta,
- Sp je točka najmanjeg razmaka prilaza okomita u odnosu na promatrača za segment ili njegovo povećanje,
- $d_1, d_2$  su udaljenosti između promatrača i početka i kraja segmenta,
- $d_s$  je najkraća udaljenost između promatrača i segmenta,
- $d_p$  je okomita udaljenost između promatrača i povećanog segmenta (*minimalna izravna udaljenost*),
- $\lambda$  je duljina segmenta putanje leta,
- $q$  je udaljenost od S1 do Sp (negativna ako se položaj promatrača nalazi iza segmenta).



Slika 2.7.j: Geometrija segmenta putanje leta kad se promatrač nalazi iza segmenta



Slika 2.7.k: Geometrija segmenta putanje leta kad se promatrač nalazi pored segmenta



Slika 2.7.l: Geometrija segmenta putanje leta kad se promatrač nalazi ispred segmenta

Segment putanje leta prikazan je tamnom punom crtom. Točkasta crta predstavlja *povećanje putanje leta* koja se proteže beskonačno u oba smjera. Što se tiče segmenata leta, kada je mjeđu događaja razina izloženosti  $L_E$ , NPD parametar udaljenosti  $d$  je razmak  $d_p$  udaljenost Sp i promatrača, tzv. *minimalna izravna udaljenost* (tj. okomita udaljenost između promatrača i segmenta ili njegova povećanja, drugim riječima prema (hipotetskoj) beskonačnoj putanji leta čijim se dijelom segment smatra).

Međutim što se tiče mjerne razine izloženosti kad se lokacije promatrača nalaze iza segmenata tla za vrijeme zaleta odnosno ispred segmenata tla za vrijeme protrčavanja, NPD

parametar udaljenosti  $d$  postaje udaljenost  $d_s$ , najkraća udaljenost između promatrača i segmenta (tj. ista kao i za mjeru maksimalne razine).

Što se tiče mjere maksimalne razine, NPD parametar udaljenosti  $d$  jest  $d_s$ , najkraći razmak između promatrača i segmenta.

#### *Snaga segmenta P*

Tabeliranim NPD podacima opisuje se buka zrakoplova u jednakomjernom pravocrtnom letu na beskonačnoj putanji leta, tj. pri konstantnoj snazi motora  $P$ . U preporučenoj se metodologiji stvarne putanje leta, za vrijeme kojih brzina i smjer variraju, dijele na niz konačnih segmenata, svaki od kojih predstavlja dio ujednačene beskonačne putanje leta za koju vrijede NPD podaci. Metodologijom su međutim predviđene promjene snage po duljini segmenta; pretpostavljeno je da se mijenjaju linearno od udaljenosti  $P_1$  na početku do  $P_2$  na kraju segmenta. Stoga je potrebno definirati ekvivalentnu jednakomjernu vrijednost segmenta  $P$ . Za nju se uzima vrijednost na onoj točki segmenta koja je najbliža promatraču. Nalazi li se promatrač pored segmenta (slika 2.7.k), vrijednost se dobiva interpolacijom u skladu s jednadžbom 2.7.8. između krajnjih vrijednosti, tj.

$$P = \sqrt{P_1^2 + \frac{q}{\lambda} \cdot (P_2^2 - P_1^2)}$$

(2.7.31.)

Nalazi li se promatrač iza ili ispred segmenta, vrijednost je ona na najbližoj krajnjoj točki  $P_1$  ili  $P_2$ .

#### *2.7.19. Korekcije za razinu događaja u segmentu*

NPD podacima razine zvučnih događaja definiraju se kao funkcija udaljenosti okomito ispod idealizirane pravocrtnе putanje leta beskonačne duljine na kojoj zrakoplov leti jednakomjernom snagom pri fiksnoj referentnoj brzini<sup>[18]</sup>(U skladu s NPD specifikacijama podaci moraju biti utemeljeni na mjerjenjima jednakomjernog pravocrtnog leta, a ne nužno na mjerjenjima horizontalnog leta; radi stvaranja potrebnih uvjeta za let ispitna putanja leta zrakoplova može biti nagnuta u odnosu na horizontalu. Međutim, kao što će biti prikazano, nagnute putanje dovode do računalnih poteškoća pa je stoga pri korištenju podataka za modeliranje praktično vizualizirati putanje izvora kao pravocrtnе i horizontalne.). Razina događaja interpolirana na temelju NPD tablice za određenu vrijednost snage i određenu izravnu udaljenost opisana je u skladu s tim kao *osnovna razina*. Primjenjuje se na beskonačnu putanju leta i mora se korigirati kako bi se uzeli u obzir utjecaji (1) nereferentne brzine, (2) utjecaji položaja motora (lateralna usmjerenošć), (3) lateralnog prigušenja, (4) konačne duljine segmenta i (5) longitudinalne usmjerenoštci nakon početka zaleta – vidjeti jednadžbe 2.7.25. i 2.7.26.

#### *Korekcija za trajanje $\Delta V$ (samo razine izloženosti LE)*

Ovom se korekcijom<sup>[19]</sup>(Naziv korekcije glasi korekcija za trajanje jer se njome u obzir uzimaju utjecaji brzine zrakoplova na trajanje zvučnog događaja, pri čemu se polazi od jednostavne pretpostavke da je pod istim uvjetima trajanje, i samim tim primljena zvučna energija, obrnuto proporcionalno brzini izvora.) uzima u obzir promjena razina izloženosti ako se stvarna brzina po horizontali na segmentu razlikuje od referentne brzine zrakoplova  $V_{ref}$  na koju se odnose NPD podaci. Kao što snaga motora varira, varira i brzina

duž segmenta (brzina po horizontali od  $V_1$  prema  $V_2$ ) i stoga je potrebno odrediti ekvivalentnu brzinu segmenta  $V_{seg}$  pri čemu treba uzeti u obzir nagib segmenta u odnosu na tlo; t.j.

$$V_{seg} = V / \cos \gamma$$

(2.7.32.)

pri čemu je  $V$  ekvivalentna brzina po horizontali na segmentu (za informacije vidjeti jednadžbu B-22 u kojoj je  $V$  izraženo kao kalibrirana brzina leta  $V_c$ ) i

$$\gamma = \tan^{-1} \left( \frac{z_2 - z_1}{s_2 - s_1} \right)$$

(2.7.33.)

Za segmente leta prepostavlja se da je  $V$  brzina po horizontali na najbližoj točki prilaženja  $S$ , interpolirana između vrijednosti krajnje točke segmenta pod prepostavkom da linearno varira s vremenom; tj. kada se promatrač nalazi pored segmenta:

$$V = \sqrt{V_1^2 + \frac{q}{\lambda} \cdot (V_2^2 - V_1^2)}$$

(2.7.34.)

Nalazi li se promatrač iza ili ispred segmenta, vrijednost je ona na najbližoj krajnjoj točki  $V_1$  ili  $V_2$ .

Za segmente uzletno-sletne staze (dijelovi zaleta ili protrčavanja za koje vrijedi  $\gamma = 0$ )  $V_{seg}$  jednostavno predstavlja prosjek početne i krajnje brzine segmenta; t.j.

$$V_{seg} = (V_1 + V_2) / 2$$

(2.7.35.)

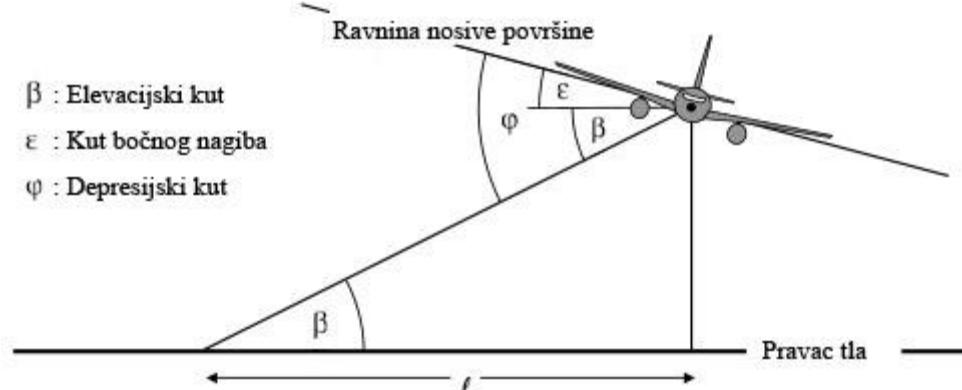
U oba slučaja aditivna korekcija za trajanje stoga iznosi

$$\Delta_V = 10 \cdot \lg(V_{ref} / V_{seg})$$

(2.7.36.)

#### *Geometrija širenja zvuka*

Na **slici 2.7.1** prikazana je osnovna geometrija u ravnini okomitoj na putanju leta zrakoplova. Pravac tla je sjecište okomite ravnine i ravnine tla. (Ako je putanja leta vodoravna, pravac je tla bokocrt ravnine tla.) Zrakoplov se nalazi pod kutom  $\epsilon$  izmjerenim u smjeru kazaljke na satu u odnosu na svoju uzdužnu os (tj. nosiva površina na desnoj strani zrakoplova pokazuje prema gore). Stoga je pozitivan pri lijevim zaokretima, a negativan pri desnim.



Slika 2.7.m: Kut između zrakoplova i promatrača u ravnini okomitoj na putanju leta

- Elevacijskim *kutom*  $\beta$  (od 0 do  $90^\circ$ ) između puta izravnog širenja zvučnog vala i horizontalnog pravca tla<sup>[20]</sup>(U slučaju neravnog terena mogu postojati različite definicije elevacijskog kuta. Ovdje se definira visinom zrakoplova iznad promatračke točke i izravnom udaljenosti, tj. zanemaruju se gradijenti lokalnog terena i prepreke na putu širenja zvučnog vala (vidjeti odjeljke 2.7.6. i 2.7.10.). Nalazi li se točka prijema iznad zrakoplova, elevacijski kut  $\beta$  postavljen je na nulu.) određuje se, zajedno s nagibom putanje leta i lateralnim pomakom  $\ell$  promatrača od tlocrta putanje, lateralno prigušenje.
- Depresijskim *kutom*  $\varphi$  između ravnine nosive površine i puta širenja određuju se utjecaji zbog položaja motora. S obzirom na konvenciju za kut bočnog nagiba  $\phi = \beta \pm \epsilon$  je pozitivnog predznaka za promatrače na desnoj strani zrakoplova i negativnog predznaka za promatrače na lijevoj strani zrakoplova.

#### Korekcija za položaj motora $\Delta l$

Zrakoplov u letu predstavlja složen izvor zvuka. Osim što su izvori na motoru (i na zmaju zrakoplova) složeni već sami po sebi, konfiguracija zmaja zrakoplova, posebno položaj motora, utječe na uzorce zračenja buke procesima refleksije, refrakcije i raspršivanja od krutih površina i aerodinamičkih polja strujanja. To dovodi do neujednačene usmjerenosti lateralno zračenog zvuka oko uzdužne osi zrakoplova, a ta se usmjerenost ovdje naziva *lateralna usmjerenost*.

S obzirom na lateralnu usmjerenost postoje značajne razlike između zrakoplova s motorima smještenima na trupu i zrakoplova s motorima smještenima ispod nosive površine, a koje će u sljedećoj jednadžbi biti uzete u obzir:

$$\Delta_l(\varphi) = 10 \cdot \lg \left[ \frac{(a \cdot \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)^b}{(c \cdot \sin^2 2\varphi + \cos^2 2\varphi)} \right] \text{ dB} \quad (2.7.37.)$$

pri čemu je  $\Delta_l(\varphi)$  korekcija u dB pri depresijskom kutu  $\varphi$  (vidjeti sliku 2.7.m) i

$$a = 0,00384, \quad b = 0,0621, \quad c = 0,8786 \quad \text{za motore smještene ispod nosive površine i}$$

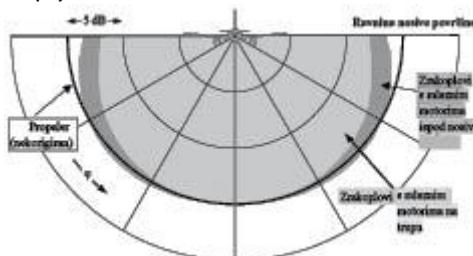
$$a = 0,1225, \quad b = 0,3290, \quad c = 1 \quad \text{za motore smještene na trupu.}$$

U slučaju elisnih zrakoplova razlike usmjerenosti su zanemarive i za njih se može pretpostaviti da

$$\Delta_l(\ell, \varphi) = 0$$

(2.7.38.)

Na slici 2.7.n prikazana je razlika  $\Delta_l(\varphi)$  oko uzdužne osi za tri položaja motora. Te je empirijske odnose izvelo Udruženje inženjera automobilske industrije (Society of Automotive Engineers – SAE) na temelju eksperimentalnih mjerena uglavnom ispod nosive površine. Dok se ne analiziraju podaci iznad nosive površine preporučuje se da se za negativni  $\varphi$  za sve vrste položaja koristi  $\Delta_l(\varphi) = \Delta_l(0)$ .



Slika 2.7.m: Lateralna usmjerenost utjecaja instalacije

Prepostavlja se da je  $\Delta_l(\varphi)$  dvodimenzionalna; tj. ne ovisi o nijednom drugom parametru, a posebno se ne mijenja s longitudinalnim razmakom između promatrača i zrakoplova. Time se *elevacijski kut*  $\beta$  za  $\Delta_l(\varphi)$  definira kao  $\beta = \tan^{-1}(z/\ell)$ . To je radi jednostavnijeg modeliranja dok se ne saznaju detalji mehanizma; efekti instalacije su u stvari trodimenzionalni. Unatoč tome, dvodimenzionalni model može se opravdati činjenicom da u razinama događaja uglavnom prevladava buka zračena bočno od najbližeg segmenta.

#### *Lateralno prigušenje $\Lambda(\beta, \ell)$ (beskonačna putanja leta)*

Tablične se NPD razine događaja odnose na jednakomjerni horizontalni let i obično se temelje na mjeranjima 1,2 m iznad mekanog ravnog tla ispod zrakoplova; parametar udaljenosti praktički je visina iznad površine. Prepostavlja se da su mogući učinci površine na razine zvučnog događaja ispod zrakoplova, koji bi mogli dovesti do toga da se tablične razine razlikuju od vrijednosti slobodnog polja<sup>[21]</sup>(Razina u »slobodnom polju« je razina koja bi bila promatrana kada ne bi bilo površine tla.), sadržani u podacima (tj. u obliku odnosa razine i udaljenosti).

Bočno od putanje leta parametar je udaljenosti minimalni izravni razmak – duljina vertikale od prijemnika do putanje leta. Na bilo kojem bočnom položaju razina buke općenito je manja nego na istoj udaljenosti neposredno ispod zrakoplova. Pored *lateralne usmjerenosti* ili *»utjecaja instalacije«* kao što su prethodno opisani zbog povećanog *lateralnog prigušenja* kojim se prouzročuje da razina zvuka brže opada s porastom udaljenosti nego što je to navedeno u NPD krivuljama. Prethodnu je metodu za modeliranje lateralnog širenja buke zrakoplova, koja se nalazi u širokoj primjeni, razvio SAE u normi AIR-1751, a algoritmi opisani u nastavku temelje se na poboljšanjima koje SAE trenutačno preporučuje u normi AIR-5662. Lateralno prigušenje je utjecaj refleksije na temelju interferencije između izravno

zračenog zvuka i zvuka reflektiranog s površine. Ovisi o vrsti površine i može prouzročiti znatna smanjenja u promatranim razinama buke pri malim elevacijskim kutovima. Na prigušenje snažno utječe jednakomjerna i nejednakomjerna refrakcija zvuka prouzročena gradijentima vjetra i temperature ili turbulencijama koji su i sami mogu pripisati prisutnosti površine<sup>[22]</sup>(Gradijenti vjetra i temperature kao i turbulencije djelomično ovise o hrapavosti i svojstvima prijenosa topline površine.). Mehanizam je površinske refleksije dobro istražen i za ujednačene atmosferske i površinske uvjete može se teoretski prilično precizno opisati. Međutim, atmosferske i površinske neujednačenosti, koje se ne mogu obraditi jednostavnom teoretskom analizom, uvelike utječu na učinak refleksije i imaju sklonost da ga »prošire« na veće elevacijske kutove; stoga je teorija samo ograničeno primjenjiva. SAE konstantno radi na razvoju boljeg razumijevanja površinskog utjecaja što bi trebalo rezultirati boljim modelima. Do njihova razvoja preporučuje se sljedeća metodologija za izračun lateralnog prigušenja, opisana u normi AIR-5662. Ograničena je na slučaj širenja zvuka iznad mekanog ravnog tla što je prikladno za veliku većinu civilnih zračnih luka. Prilagodbe kako bi se uzeli u obzir efekti tvrde površine tla (ili površina sličnih akustičnih svojstava, vode) još su u fazi razvoja.

Metodologija se temelji na velikoj zbirci eksperimentalnih podataka o širenju zvuka iz zrakoplova s motorima smještenima na trupu u pravocrtnom (bez zaokreta), jednakomjernom, horizontalnom letu kako je izvorno navedena u AIR-1751. Pod pretpostavkom da pri horizontalnom letu prigušenje od zraka do tla i. ovisi o elevacijskom kutu  $\beta$  izmјerenom u vertikalnoj ravnini i ii. o bočnom pomaku od tlocrta putanje  $\ell$ , podaci su analizirani na način da se izvede empirijska funkcija za ukupnu bočnu prilagodbu  $\Lambda_T(\beta, \ell)$  (= bočna razina događaja minus razina pri istom razmaku ispod zrakoplova). S obzirom na to da vrijednost  $\Lambda_T(\beta, \ell)$  uzima u obzir i lateralnu usmjerenošć i lateralno prigušenje, lateralno prigušenje može se dobiti oduzimanjem. Pri opisu lateralne usmjerenošći jednadžbom 2.7.37., s koeficijentima za motore smještene na trupu i zamjenom  $\phi$  s  $\beta$  (prikladno za let bez zaokreta), bočno prigušenje postaje:

$$\Lambda(\beta, \ell) = \Lambda_T(\beta, \ell) - \Delta_I(\beta) \quad (2.7.39.)$$

pri čemu se  $\beta$  i  $\ell$  mjeri kako je prikazano na slici 2.7.m u ravnini okomitoj na beskonačnu putanju leta koja je, pri horizontalnom letu, također vertikalna.

Premda bi se  $\Lambda(\beta, \ell)$  jednadžbom 2.7.39. uzimanjem  $\Lambda_T(\beta, \ell)$  iz AIR-1751 moglo izračunati izravno, preporučuje se učinkovitiji odnos. Pritom je riječ o sljedećoj empirijskoj aproksimaciji prilagođenoj prema AIR-5662:

$$\Lambda(\beta, \ell) = \Gamma(\ell) \cdot \Lambda(\beta) \quad (2.7.40.)$$

pri čemu je

po čemu je  $\Gamma(\ell)$  faktor razmaka dohiven s

$$\Gamma(\ell) = 1,089 \cdot [1 - \exp(-0,00274\ell)] \quad \text{za } 0 \leq \ell \leq 914 \text{ m}$$

$$(2.7.41.)$$

$\Gamma(\ell) = 1$   $\ell > 914 \text{ m}$

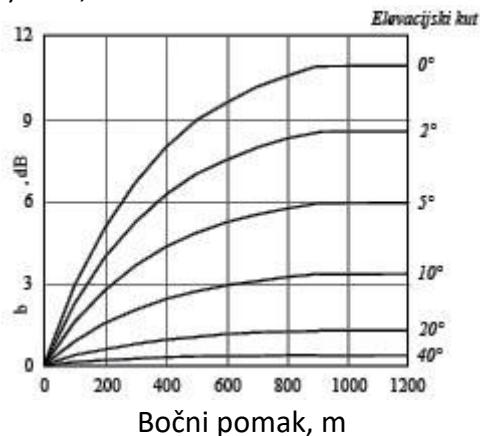
$$(2.7.42.)$$

a  $\Lambda(\beta)$  lateralno prigušenje od zraka do tla na velikoj udaljenosti dobiveno s

$$\Lambda(\beta) = 1,137 - 0,0229\beta + 9,72 \cdot \exp(-0,142\beta) \quad \text{za } 0^\circ \leq \beta \leq 50^\circ \quad (2.7.43.)$$

$$\Lambda(\beta) = 0 \quad \text{za } 50^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \quad (2.7.44.)$$

Izraz za lateralno prigušenje  $\Lambda(\beta, \ell)$ , jednadžba 2.7.40., za koji se prepostavlja da vrijedi za sve zrakoplove (elisni zrakoplovi, zrakoplovi s motorima smještenima na trupu kao i zrakoplovi s motorima smještenima ispod nosive površine), grafički je prikazan na slici 2.7.0. U određenim uvjetima (s terenom) vrijednost  $\beta$  može biti manja od nule. U tim se slučajevima preporučuje  $\Lambda(\beta) = 10,57$ .



Slika 2.7.0: Promjena lateralnog prigušenja  $\Lambda(\beta, \ell)$  s elevacijskim kutom i razmakom  
*Lateralno prigušenje u konačnim segmentima*

U jednadžbama od 2.7.41. do 2.7.44. opisano je lateralno prigušenje  $\Lambda(\beta, \ell)$  zvuka koji promatraču dolazi od aviona u jednakomjernom letu na beskonačnoj horizontalnoj putanji leta. Pri njihovoj primjeni na nehorizontalne konačne segmente putanje leta prigušenje se mora izračunati za *ekvivalentnu* horizontalnu putanju leta jer se najbližom točkom na jednostavnom produljenju nagnutog segmenta (koji na određenoj točki prolazi kroz površinu tla) općenito ne dobiva prikladan elevacijski kut  $\beta$ .

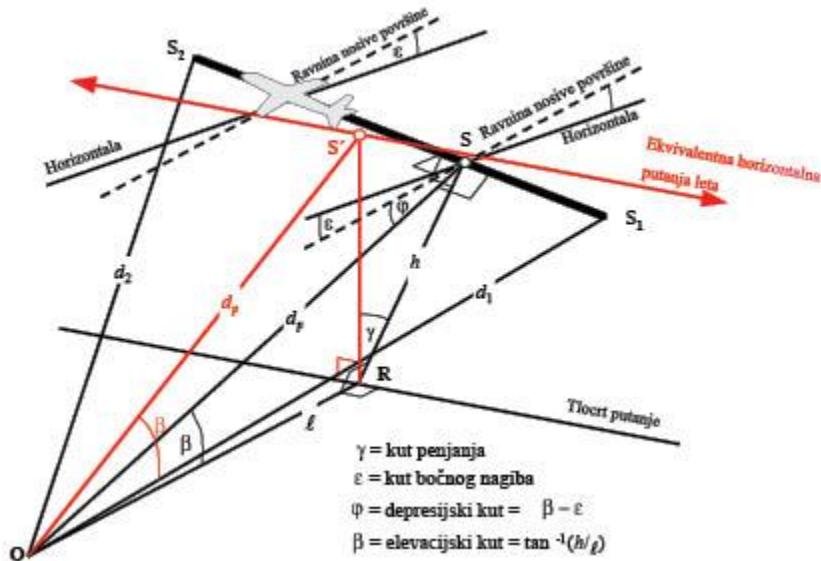
Određivanje lateralnog prigušenja za konačne segmente znatno se razlikuje pri mjerama  $L_{max}$  i  $L_E$ . Maksimalne razine segmenta  $L_{max}$  određuju se na temelju NPD podataka kao funkcija udaljenosti širenja  $d$  od najbliže točke u segmentu; za dimenzije segmenta nisu potrebne korekcije. Jednako se prepostavlja da lateralno prigušenje  $L_{max}$  ovisi samo o elevacijskom kutu iste točke i udaljenosti na tlu do te točke. Stoga su potrebne samo koordinate te točke. Međutim, za  $L_E$  proces je komplikiraniji.

Osnovna razina događaja  $L_E(P, d)$  koja se određuje na temelju NPD podataka, iako za parametre konačnih segmenata, primjenjuje se unatoč tome na beskonačnu putanju leta. Razina izloženosti događaja iz segmenta  $L_{E,seg}$  je, naravno, manja od osnovne razine i to za potrebni iznos u korekcije za konačni segment, pri čemu je taj iznos opisan u odjeljku 2.7.19. Tom se korekcijom, funkcijom geometrije trokutova  $OS_1S_2$  na slikama 2.7.j do 2.7.l, utvrđuje koji dio kod O primljene zvučne energije ukupne beskonačne putanje dolazi od segmenta;

ista se korekcija primjenjuje neovisno o postojanju lateralnog prigušenja. Međutim, sva se lateralna prigušenja izračunavaju za beskonačnu putanju leta, tj. kao funkcija njezina pomaka i visine, a ne za konačni segment.

Zbrajanjem korekcija  $\Delta_V$  i  $\Delta_I$ , i oduzimanjem lateralnog prigušenja  $\Lambda(\beta, \ell)$  od NPD osnovne razine dobiva se prilagođena razina zvučnog događaja za ekvivalentni jednakomjerni horizontalni let na dodirnoj, beskonačnoj pravocrtnoj putanji. Međutim, stvarni segmenti putanje leta koji se modeliraju, oni koji utječu na konture buke, rijetko su horizontalni jer su zrakoplovi obično u fazi penjanja ili spuštanja.

Na slici 2.7.p prikazan je segment odleta S<sub>1</sub>S<sub>2</sub> – zrakoplov se penje pod kutom  $\gamma$  – međutim odnosi su pri dolasku prilično slični. Ostatak »realne« putanje leta nije prikazan; ovdje je dovoljno napomenuti da S<sub>1</sub>S<sub>2</sub> predstavlja samo dio cijele putanje (koja je općenito u obliku luka). U tom se slučaju promatrač O nalazi lijevo pored segmenta. Zrakoplov se nalazi (suprotno od smjera kazaljke na satu u podnosu na putanju) pod kutom  $\epsilon$  prema bočnoj horizontalnoj osi. Depresijski kut  $\phi$  ravnine nosive površine, pri čemu je utjecaj instalacije  $\Delta_I$  funkcija (jednadžba 2.7.39.), nalazi se u ravnini okomitoj na putanju leta u kojoj je  $\epsilon$  definiran. Stoga vrijedi  $\phi = \beta - \epsilon$  pri čemu je  $\beta = \tan^{-1}(h/\ell)$  a  $\ell$  okomita udaljenost OR između promatrača i tlocrta putanje; t.j. bočni pomak promatrača<sup>[23]</sup>(Pri promatraču desno od segmenta φ bi postao β + ε (vidjeti odjeljak 2.7.19.).). Najbliža točka prilaženja aviona promatraču S definirana je okomicom OS duljine (kosa udaljenost)  $d_p$ . Trokut OS<sub>1</sub>S<sub>2</sub> odgovara slici 2.7.k, geometriji za izračun korekcije segmenta  $\Delta_F$ .



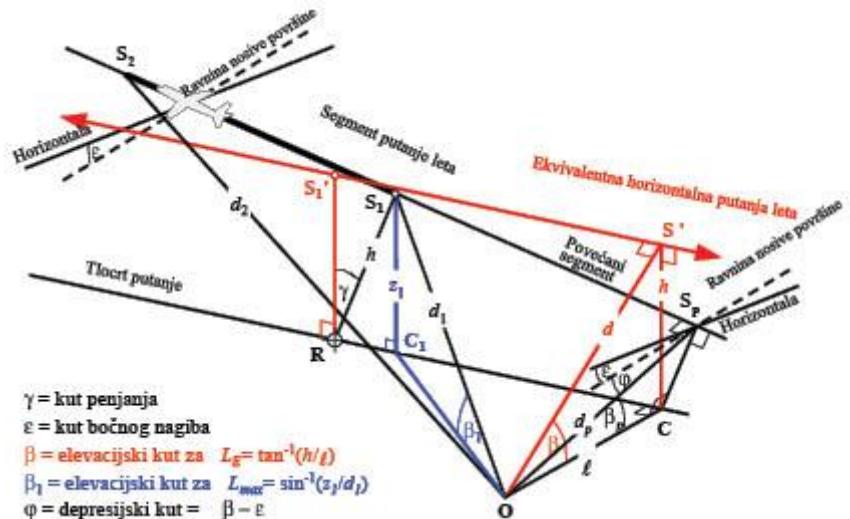
Slika 2.7.p: Promatrač pored segmenta

Za izračun lateralnog prigušenja jednadžbom 2.7.40. (pri čemu se  $\theta$  mjeri u vertikalnoj ravnini), *ekvivalentna horizontalna putanja leta* definirana je u vertikalnoj ravnini kroz S<sub>1</sub>S<sub>2</sub> i s istim okomitim izravnim razmakom  $d_p$  od promatrača. To je vizualizirano rotacijom trokuta ORS i pridružene putanje leta oko OR (vidjeti sliku 2.7.p) pod kutom  $\gamma$  čime se dobiva trokut ORS'. Elevacijski kut te ekvivalentne horizontalne putanje (sada u vertikalnoj ravnini) je  $\theta =$



$\tan^{-1}(h/\ell)$  ( $\ell$  ostaje nepromijenjen). U tom slučaju, kad je promatrač pored segmenta, bočno prigušenje  $\Lambda(\beta, \ell)$  isto je za mjere  $L_E$  i  $L_{max}$ .

Na slici 2.7.q prikazana je situacija u kojoj se promatračka točka O nalazi *iza konačnog segmenta*, a ne pored. Ovdje se segment promatra kao udaljeniji dio beskonačne putanje; okomica se može povući samo do točke Sp na njezinu produljenju. Trokut OS1S2 odgovara slici 2.7.j u kojoj je definirana korekcija segmenta  $F$ . No, u ovom su slučaju parametri za lateralnu usmjerenošć i lateralno prigušenje manje očigledni.



Slika 2.7.q: Promatrač iza segmenta

S obzirom na to da je lateralna usmjerenošć (utjecaj instalacije) za potrebe modeliranja dvodimenzionalna, definirajući depresijski kut  $\phi$  mjeri se i dalje bočno od ravnine nosive površine zrakoplova. (Osnovna razina događaja i dalje je ona koja se stvara zrakoplovom koji leti beskonačnom putanjom leta koja se prikazuje produljenim segmentom.) Time se depresijski kut određuje na najbližoj točki prilaženja, tj.  $\phi = \beta_p - \epsilon$  pri čemu je  $\beta_p$  kut SpOC. Za mjeru maksimalne razine NPD parametar udaljenosti uzima se kao najmanji razmak do segmenta, tj.  $d = d_1$ . Za mjeru razine izloženosti to je najkraća udaljenost  $d_p$  između O i Sp na produljenoj putanji leta; tj. na temelju NPD tablice interpolirana razina jest  $L_{E\infty}(P_1, d_p)$ . Geometrijski parametri za lateralno prigušenje različiti su i pri izračunu maksimalne razine i razine izloženosti. Za mjeru *maksimalne razine* prilagodba  $\Lambda(\beta, \ell)$  dobiva se iz jednadžbe 2.7.40. s  $\beta = \beta_1 - \sin^{-1}(z_1/d_1)$  i  $\ell = OC_1 = \sqrt{d_1^2 - z_1^2}$  pri čemu su  $\beta_1$  i  $d_1$  definirani trokutom OC1S1 u vertikalnoj ravnini kroz O i S1.

Pri izračunu lateralnog prigušenja samo za segmente leta i mjeru *razine izloženosti*  $\ell$  ostaje najkraći bočni pomak od produljenja segmenta (OC). Međutim, kako bi se definirala prikladna vrijednost za  $\beta$ , ponovno je potrebno vizualizirati (beskonačnu) *ekvivalentnu horizontalnu putanju leta* za koju se smatra da joj segment pripada. Ta se putanja povlači kroz S1', visinu  $h$  iznad površine, pri čemu je  $h$  jednako duljini RS1, okomici od tlocrta putanje do segmenta. To odgovara rotaciji produljene stvarne putanje leta pod kutom  $\gamma$  oko točke R

(vidjeti sliku 2.7.q). Dok se  $R$  nalazi na okomici prema  $S_1$ , točki u segmentu koja je najbliža  $O$ , konstrukcija ekvivalentne horizontalne putanje ista je kao i kad se  $O$  nalazi pored segmenta. Najbliža točka prilaženja ekvivalentne horizontalne putanje promatraču  $O$  je na  $S'$ , izravnom razmaku  $d$ , tako da se trokutom OCS' konstruiranim na taj način u vertikalnoj ravnini onda definira visinski kut  $\beta = \cos^{-1}(d/d)$ . Premda se ta transformacija čini prilično zamršenom, potrebno je napomenuti da geometrija osnovnog izvora (definirana s  $d_1, d_2$  i  $\phi$ ) ostaje netaknuta. Zvuk koji se kreće od segmenta *prema* promatraču identičan je zvuku koji bi nastao kad bi cijeli let duž beskonačno produljenog nagnutog segmenta (kojem segment pripada za potrebe modeliranja) protekao konstantnom brzinom  $V$  i konstantnom snagom  $P_1$ . S druge strane, lateralno prigušenje zvuka segmenta koji *primi* promatrač nije povezano s  $\beta_p$ , elevacijskim kutom produljene putanje, nego s  $\beta$ , elevacijskim kutom ekvivalentne putanje.

Najbliža točka prilaženja ekvivalentne horizontalne putanje promatraču  $O$  je na  $S'$ , izravnom razmaku  $d$ , tako da se trokutom OCS' konstruiranim na taj način u vertikalnoj ravnini onda definira visinski kut  $\beta = \cos^{-1}(\ell/d)$ . Premda se ta transformacija čini prilično zamršenom, potrebno je napomenuti da geometrija osnovnog izvora (definirana s  $d_1, d_2$  i  $\phi$ ) ostaje netaknuta. Zvuk koji se kreće od segmenta *prema* promatraču identičan je zvuku koji bi nastao kad bi cijeli let duž beskonačno produljenog nagnutog segmenta (kojem segment pripada za potrebe modeliranja) protekao konstantnom brzinom  $V$  i konstantnom snagom  $P_1$ . S druge strane, lateralno prigušenje zvuka segmenta koji *primi* promatrač nije povezano s  $\beta_p$ , elevacijskim kutom produljene putanje, nego s  $\beta$ , elevacijskim kutom ekvivalentne putanje.

Slučaj u kojem se promatrač nalazi ispred segmenta neće biti opisan zasebno jer je očito da u osnovi odgovara slučaju u kojem se promatrač nalazi iza segmenta.

Međutim, što se tiče mjere za razinu izloženosti kad se lokacije promatrača nalaze iza segmenata tla za vrijeme zaleta odnosno ispred segmenata tla za vrijeme protrčavanja, vrijednost za  $\beta$  postaje ista kao i za mjeru maksimalne razine, tj.  $\beta = \beta_1 = \sin^{-1}(z_1/d_1)$  i  $\ell = OC_1 - \sqrt{d_1^2 - z_1^2}$

#### *Korekcija za konačni segment $F$ (samo razina izloženosti $L_E$ )*

Prilagođena osnovna razina izloženosti buci odnosi se na zrakoplov u kontinuiranom pravocrtnom jednakomjernom horizontalnom letu (iako uz kut bočnog nagiba  $\varepsilon$  koji je nespojiv s pravocrtnim letom). Primjenom (negativne) *korekcije za konačni segment*  $\Delta_F = 10 \times \lg(F)$ , pri čemu je  $F$  *udio energije*, razina se dodatno prilagođuje razini koja bi vrijedila kad bi zrakoplov preletio samo konačni segment (ili kad bi zrakoplov bio potpuno bezvučan na ostatku beskonačne putanje leta).

Članom za udio energije uzima se u obzir izražena longitudinalna usmjerenost buke zrakoplova i kut ograničen segmentom na promatračkom mjestu. Premda su procesi kojima se prouzročuje usmjerenost vrlo složeni, studijama se pokazalo da su dobivene konture prilično neosjetljive na točno prepostavljena svojstva usmjerenosti. Izraz za  $\Delta_F$  naveden u nastavku temelji se na 90-stupanjskom dipolnom modelu zračenja zvuka na četvrtu

potenciju. Pretpostavlja se da ne postoji utjecaj bočne usmjerenosti i bočnog prigušenja.  
 Izvođenje te korekcije detaljno je opisano u Dodatku E.

Udio energije  $F$  je funkcija »pogleda« trokut OS1S2 koji je definiran na slikama od 2.7.j do 2.7.l tako da se dobiva sljedeće:

$$\Delta_F = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{\pi} \left( \frac{\alpha_2}{1+\alpha_2^2} + \arctan \alpha_2 - \frac{\alpha_1}{1+\alpha_1^2} - \arctan \alpha_1 \right) \right] \quad (2.7.45.)$$

pri čemu je:

$$\alpha_1 = \frac{q}{d_1}; \quad \alpha_2 = \frac{q - \lambda}{d_2}; \quad d_1 = d_0 \cdot 10^{(l_{max}(P, d_0) - l_{max}(P, d_1)) / 10}; \quad d_0 = \frac{2}{x} \cdot V_{avg} \cdot t_0.$$

a  $d_\lambda$  označuje »prilagođeni razmak« (vidjeti Dodatak E). Napominje se da je  $L_{max}(P, d_p)$  maksimalna razina (izvedena na temelju NPD podataka) za okomiti razmak  $d_p$ , a NE  $L_{max}$  segmenta.

Preporučuje se za  $\Delta_F$  primijeniti donju granicu od – 150 dB.

U posebnom slučaju da se lokacije promatrača nalaze iza svakog segmenta zaleta ili protičavanja, primjenjuje se skraćeni oblik udjela buke koji je izražen u jednadžbi 2.7.45., a koja odgovara specifičnom slučaju  $q = 0$ . To se računa pomoću jednadžbe:

$$\Delta_F' = 10 \log_{10}[(1/\pi) [\alpha_2/(1+\alpha_2^2) + \tan^{-1}\alpha_2] 10^{\Delta_{SOR}/10}] \quad (2.7.46.)$$

pri čemu  $\alpha_2 = \lambda / d_\lambda$  i  $\Delta_{SOR}$  je funkcija usmjerenosti na početku kretanja koja je definirana u jednadžbama 2.7.51. i 2.7.52.

Razlozi za korištenje tog posebnog oblika udjela buke objašnjeni su detaljnije u odjeljku u nastavku u okviru primjene metode za usmjerenost na početku kretanja.

*Poseban tretman segmenata kretanja na tlu pri uzljetanju i slijetanju, uključujući funkciju usmjerenosti na početku kretanja  $\Delta_{SOR}$*

U slučaju segmenata za kretanje na tlu (pri uzljetanju i slijetanju) primjenjuju se posebni tretmani koji su opisani u nastavku.

#### *Funkcija usmjerenosti na početku kretanja $\Delta_{SOR}$*

Buka mlaznih zrakoplova, posebno zrakoplova opremljenih motorima s niskim prijenosnim omjerom, pokazuje čunjaste oblike zračenja u stražnjem luku, što je tipično za ispušnu buku mlaza. Taj je obrazac izraženiji što je veća brzina mlaza i manja brzina leta. To je od posebne važnosti za lokacije promatrača iza početka kretanja gdje su ispunjena oba uvjeta. Taj se utjecaj uzima u obzir funkcijom usmjerenosti  $\Delta_{SOR}$ .

Funkcija  $\Delta_{SOR}$  izvedena je iz nekoliko kampanja za mjerjenje buke u kojima su se upotrebjavali mikrofoni adekvatno pozicionirani iza i bočno od početka kretanja mlaznog zrakoplova u odlasku.

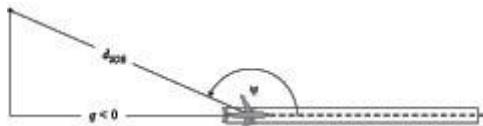
Na slici 2.7.r prikazana je odgovarajuća geometrija. Azimutni kut  $\psi$  između longitudinalne osi zrakoplova i vektora u odnosu na promatrača definiran je jednadžbom:

$$\psi = \arccos \left( \frac{q}{d_{SOR}} \right).$$

(2.7.47.)

Relativna udaljenost  $q$  je negativna (vidjeti sliku 2.7.j) tako da je  $\psi$  u rasponu od  $0^\circ$  u smjeru kretanja zrakoplova prema naprijed do  $180^\circ$  u obrnutom smjeru.

Promatrač



Slika 2.7.r: Geometrija zrakoplova i promatrača na tlu radi procjene korekcije za usmjerenošću. Funkcija  $\Delta_{SOR}$  predstavlja promjenu ukupne buke nastale zaletom izmjerene iza početka kretanja u odnosu na ukupnu buku zaleta izmjerenu bočno od početka kretanja uz isti razmak:

$$L_{TGR}(d_{SOR}, \psi) = L_{TGR}(d_{SOR}, 90^\circ) + \Delta_{SOR}(d_{SOR}, \psi) \quad (2.7.48.)$$

pri čemu je  $L_{TGR}(d_{SOR}, 901396991858)$  ukupna razina buke zaleta proizvedene svim segmentima zaleta u točki udaljenosti  $d_{SOR}$  bočno od početka kretanja. Pri udaljenostima  $d_{SOR}$  manjima od udaljenosti normaliziranja  $d_{SOR,0}$ , funkcija usmjerenošću na početku kretanja dobiva se na sljedeći način:

$$\Delta_{SOR}^0 = 51,47 - 1,553 \cdot \psi + 0,015147 \cdot \psi^2 - 0,000047173 \cdot \psi^3 \quad \text{ako } 90^\circ \leq \psi < 148,4^\circ \quad (2.7.49.)$$

$$\Delta_{SOR}^0 = 339,18 - 2,5802 \cdot \psi - 0,0045545 \cdot \psi^2 + 0,000044198 \cdot \psi^3 \quad \text{ako } 148,4^\circ \leq \psi \leq 180^\circ \quad (2.7.50.)$$

Ako je udaljenost  $d_{SOR}$  veća od udaljenosti normaliziranja  $d_{SOR,0}$ , korekcija za usmjerenošću množi se korekcijskim faktorom kako bi se uzelo u obzir da usmjerenošć pri većim udaljenostima do zrakoplova postaje manje izražena; tj.

$$\Delta_{SOR} = \Delta_{SOR}^0 \quad \text{ako } d_{SOR} \leq d_{SOR,0} \quad (2.7.51.)$$

$$\Delta_{SOR} = \Delta_{SOR}^0 \cdot \frac{d_{SOR,0}}{d_{SOR}} \quad \text{ako } d_{SOR} > d_{SOR,0} \quad (2.7.52.)$$

Udaljenost normaliziranja  $d_{SOR,0}$  jednaka je 762 m (2500 ft).

*Trećim prijemnikima koji se nalaze iza svakog segmenta zaleta i protičavanja*

Prethodno opisanom funkcijom  $\Delta_{SOR}$  obuhvaćen je prvenstveno izraženi učinak usmjerenošću početnog dijela zaleta na lokacijama iza početka kretanja (jer je najbliži prijemnicima i pokazuje najveći omjer brzine mlaza i brzine zrakoplova). Međutim, primjena izvedene funkcije  $\Delta_{SOR}$  »generalizirana« je na položaju iza svakog pojedinog segmenta kretanja na tlu (pri uzljetanju i slijetanju), tj. ne samo iza točke početka kretanja (pri uzljetanju).

Parametri  $d_S$  i  $\psi$  izračunavaju se u odnosu na početak svakog pojedinog segmenta kretanja na tlu pri uzljetanju i slijetanju.

Razina događaja  $L_{seg}$  za lokaciju iza zadanog segmenta zaleta ili protrčavanja izračunava se kako bi se uđovoljilo zahtjevima s obzirom na formu  $\Delta_{SOR}$  funkcije: izračunava se u osnovi za referentnu točku koja se nalazi bočno od početne točke segmenta uz istu udaljenost  $d_s$  kao stvarna točka, a prilagođuje se dodatno s  $\Delta_{SOR}$  kako bi se dobila razina događaja na stvarnoj točki.

To znači da se za različite korekcijske članove u jednadžbama u nastavku moraju primijeniti geometrijski parametri koji odgovaraju toj referentnoj točki koja se nalazi bočno od početne točke:

$$L_{max_{seg}} = L_{max}(P, d = d_s) + \Delta_f(\varphi) - \Lambda(\beta, l = d_s) + \Delta_{SOR} \quad (2.7.53.)$$

$$L_{E_{seg}} = L_{E_0}(P, d = d_s) + \Delta_F + \Delta_f(\varphi) - \Lambda(\beta, l = d_s) + \Delta_F + \Delta_{rot} \quad (2.7.54.)$$

pri čemu je  $\Delta'_F$  smanjeni oblik udjela buke koji je izražen u jednadžbi (2.7.46.) za slučaj  $q = 0$  (jer se referentna točka nalazi bočno od početne točke) i napominje se da je  $d_\lambda$  potrebno izračunati pomoću  $d_s$  (a ne  $d_p$ ):

$$d_\lambda = d_0 \cdot 10^{[L_{E_{seg}}(P, d_s) - L_{max}(P, d_s)]/10} \quad (2.7.55)$$

### 2.7.20. Razina zvučnog događaja $L$ nekog kretanja zrakoplova općeg zrakoplovstva

Metoda opisana u odjeljku 2.7.19. primjenjiva je na zrakoplove općeg zrakoplovstva s elisnim motorom kada ih se tretira kao elisni zrakoplov s obzirom na utjecaje položaja motora.

U bazi podataka ANP sadržani su unosi za nekoliko zrakoplova općeg zrakoplovstva. Iako je često riječ o najčešćim zrakoplovima općeg zrakoplovstva, ponekad može imati smisla uključiti dodatne podatke.

Ako konkretni zrakoplovi općeg zrakoplovstva nisu poznati ili uvršteni u bazu podataka ANP, preporučuje se korištenje općenitih podataka zrakoplova GASEPF odnosno GASEPV. Ti skupovi podataka predstavljaju mali zrakoplov općeg zrakoplovstva s jednim motorom i elisom nepromjenjivog odnosno promjenjivog koraka. Tablice s unosima navedene su u Prilogu I. (tablice I-11 I-17)

### 2.7.21. Metoda za izračun buke helikoptera

Za izračun buke helikoptera može se upotrijebiti ista metoda izračuna kao i za zrakoplove s fiksnim krilima (opisana u odjeljku 2.7.14.) pod uvjetom da se helikopteri tretiraju kao elisni zrakoplovi, a da se pritom ne uzimaju u obzir utjecaji položaja motora povezani s mlaznim zrakoplovom. Tablice s unosima za dva različita skupa podataka navedene su u Prilogu I. (tablice I-18 I-27).

### 2.7.22. Buka povezana s radnjama isprobavanja motora, taksiranjem i pomoćnim uređajima za napajanje

Ako se smatra potrebnim modelirati buku povezanu s isprobavanjem motora i pomoćnim uređajima za napajanje, to se modeliranje izvodi na temelju poglavlja o buci industrijskih pogona i postrojenja. Premda to uglavnom nije slučaj, buka isprobavanja motora zrakoplova

na zračnim lukama može pridonijeti opterećenju bukom. Ta se isprobavanja obično provode za tehničke svrhe kako bi se provjerila funkcija motora, a pritom se zrakoplovi nalaze na sigurnoj udaljenosti od zgrada, drugih zrakoplova, i kretanja vozila i/ili osoba kako bi se izbjegla bilo kakva šteta povezana sa strujanjem u mlaznom motoru.

Iz dodatnih sigurnosnih razloga i razloga povezanih sa zaštitom od buke u zračnim se lukama, osobito u zračnim lukama s objektima za održavanje u kojima se često provode isprobavanja motora, mogu ugraditi kabine za zaštitu od buke, a to su zidovi za zaštitu od buke u U obliku posebno izrađeni za sprečavanje i odvođenje strujanja u mlaznom motoru i buke. Najbolji način za istraživanje emisija buke iz tih objekata, koje se mogu dodatno prigušiti i smanjiti dodatnim zemljanim nasipima ili velikim brojem protuzvučnih ograda, je taj da se kabina za zaštitu od buke uzme kao izvor buke industrijskih pogona i postrojenja pa da se primijeni odgovarajući model širenja buke i zvuka.

#### 2.7.23. Izračun kumulativnih razina

U odjeljcima od 2.7.14. do 2.7.19. opisan je izračun razine zvučnog događaja jednog kretanja zrakoplova na jednoj lokaciji promatrača. Ukupna izloženost buci na toj lokaciji izračunava se akumuliranjem razina događaja svih kretanja zrakoplova značajnih za buku, tj. svih kretanja, u dolasku ili odlasku, a koja utječe na kumulativnu razinu.

#### 2.7.24. Vrednovane ekvivalentne razine zvuka

Vremenski vrednovane ekvivalentne razine zvuka, kojima se u obzir uzima sva primljena značajna zvučna energija zrakoplova, općenito se izražavaju formulom:

$$L_{eq,w} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{t_0}{T_0} \cdot \sum_{i=1}^N g_i \cdot 10^{L_{E,i}/10} \right] + C \quad (2.7.56.)$$

Zbrajanje se izvodi preko svih događaja buke  $N$  tijekom vremenskog intervala  $T_0$  na koji se primjenjuje indeks buke.  $L_{E,i}$  je razina izloženosti jednokratnog zvučnog događaja  $i$ -tog zvučnog događaja.  $g_i$  je faktor vrednovanja ovisan o dobu dana (obično definiran za dan, večer i noć).  $g_i$  je zapravo množitelj za broj letova u određenim razdobljima.

Konstanta  $C$  može imati različita značenja (konstanta normaliziranja, sezonska prilagodba itd.).

Primjenom odnosa

$$g_i = 10^{\Delta_i/10}$$

pri čemu je  $\Delta_i$  vrednovanje u decibelima za  $i$ -to razdoblje, jednadžba se 2.7.56. može preformulirati na sljedeći način

$$L_{eq,w} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{t_0}{T_0} \sum_{i=1}^N 10^{(L_{E,i} + \Delta_i)/10} \right] + C \quad (2.7.57.)$$

tj. vrednovanje za doba dana izraženo je aditivnim pomicanjem razine.

#### 2.7.25. Vrednovani broj letova

Kumulativna razina buke procjenjuje se zbrajanjem doprinosa svih različitih tipova ili kategorija zrakoplova na različitim rutama leta koja čini scenarij zračne luke.

Radi opisa tog procesa zbrajanja uvode se dolje navedeni indeksi:

$i$  indeks za tip ili kategoriju zrakoplova,

$j$  indeks za putanju leta ili pomoćnu putanju (ako su pomoćne putanje definirane),

$k$  indeks za segment putanje leta.

Mnogi indikatori za buku, posebno ekvivalentne razine zvuka, uključuju faktore vrednovanja za doba dana  $g_i$  u svojim definicijama (jednadžba 2.7.56. i 2.7.57.).

Proces zbrajanja može se pojednostaviti uvođenjem »vrednovanog broja letova«.

$$M_g = (g_{day} \cdot N_{g, day} + g_{evening} \cdot N_{g, evening} + g_{night} \cdot N_{g, night}) \quad (2.7.58.)$$

Vrijednosti  $N_{ij}$  predstavljaju broj letova za tip/kategoriju zrakoplova  $i$  na putanji (ili pomoćnoj) putanji  $j$  za razdoblje dana, večeri odnosno noći<sup>[24]</sup>(Ovisno o definiciji primijenjenog indeksa buke vremenska se razdoblja mogu razlikovati od prethodna tri.).

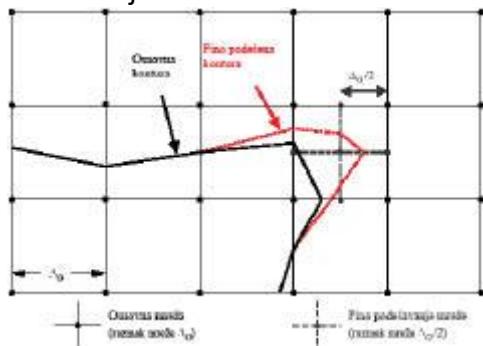
Na temelju jednadžbe (2.7.57.) (opća) kumulativna ekvivalentna razina zvuka  $L_{eq}$  na promatračkoj točki  $(x,y)$  jest

$$L_{eq,W}(x,y) = 10 \cdot \lg \left[ \frac{t_0}{T_0} \cdot \sum_i \sum_j \sum_k M_g \cdot 10^{L_{eq,W}(x,y)/10} \right] + C \quad (2.7.59.)$$

$T_0$  je referentno vremensko razdoblje. Ovisi – kao i faktori vrednovanja  $g_i$  o posebnoj definiciji korištenog vrednovanog indeksa (npr.  $L_{DEN}$ ).  $L_{E,ijk}$  je doprinos razine jednokratnog zvučnog događaja segmenta  $k$  putanje ili pomoćne putanje  $j$  za let zrakoplova kategorije  $i$ . Procjena za  $L_{E,ijk}$  je detaljno opisana u odjelicima od 2.7.14. do 2.7.19.

### 2.7.26. Izračun za standardnu mrežu i fino podešavanje

Kad se konture buke dobivaju interpolacijom između vrijednosti indeksa na pravokutno raspoređenim točkama mreže, njihova točnost ovisi o izboru razmaka mreže (veličina rubrike)  $\Delta_G$ , posebno među čelijama kod kojih veliki nagib pri prostornoj raspodjeli indeksa stvara usku zakriviljenost konture (vidjet sliku 2.7.s). Smanjivanjem se razmaka unutar mreže mogu smanjiti interpolacijske pogreške, međutim time se povećava i broj točaka mreže, čime se produljuje vrijeme izračuna. Optimiziranje razmaka mreže uključuje pronalaženje ravnoteže između točnosti modeliranja i vremena izračuna.



Slika 2.7.s: Standardna mreža i fino podešavanje mreže

Značajan napredak u učinkovitosti izračuna s točnijim rezultatima ostvaruje se korištenjem neravnomjerne mreže radi finog podešavanja interpolacije u kritičnim čelijama. Tehnika

prikazana na slici 2.7.s usmjerenja je na lokalno sužavanje razmaka unutar mreže dok se većina mreže ne mijenja. To je vrlo jednostavno i postiže se sljedećim koracima:

1. utvrđivanje granične razlike finog podešavanja  $\Delta L_R$  za indeks buke,
2. izračun osnovne mreže za razmak  $\Delta_G$ ,
3. provjera razlika  $\Delta L$  vrijednosti indeksa između dodirnih čvorova mreže,
4. ako postoji razlike  $\Delta L > \Delta L_R$ , utvrđivanje nove mreže s razmakom  $G/2$  i procjena razina za nove čvorove odvija se na sljedeći način:

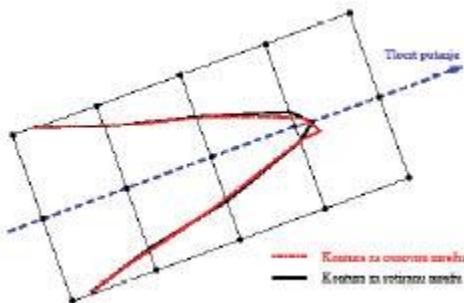
Ako  $\begin{cases} \Delta L \leq \Delta L_R \\ \Delta L > \Delta L_R \end{cases}$  izračunaj novu vrijednost  $\begin{cases} \text{linearnom interpolacijom dodirnih vrijednosti} \\ \text{popravakom iz osnovnih sličnih podataka} \end{cases}$ .

5. ponavljanje 1. do 4. koraka dok sve razlike budu manje od granične razlike,
6. procjena kontura linearom interpolacijom.

Ako se niz vrijednosti indeksa treba pridodati drugima (npr. pri izračunu vrednovanih indeksa zbrajanjem odvojenih kontura za dan, večer i noć), potrebno je voditi računa o tome kako bi se osiguralo da su odvojene mreže identične.

#### 2.7.27. Korištenje rotiranih mreža

U mnogim praktičnim slučajevima kontura buke u stvarnosti prolazi simetrično oko tlocrta putanje. Međutim, ako smjer te putanje nije poravnat s izračunom mreže, to može imati za posljedicu asimetričan oblik konture.

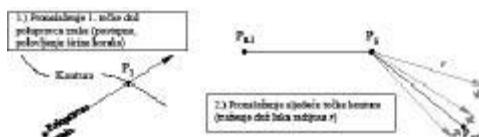


Slika 2.7.t: Korištenje rotirane mreže

Najjednostavniji način kako bi se izbjegao taj efekt jest suženje mreže, čime se međutim produljuje vrijeme izračuna. Elegantnije rješenje usmjerenje je na rotiranje mreže za izračun tako da njezin smjer bude paralelan s glavnim tlocrtima putanja (tj. obično paralelno s glavnom uzletno-sletnom stazom). Na slici 2.7.t prikazan je učinak te rotacije mreže na oblik konture.

#### 2.7.28. Praćenje kontura

Vremenski vrlo učinkovit algoritam, kojim se u zamjenu za malo složeniji izračun može izostaviti izračun vrijednosti indeksa za cijelo polje mreže, radi tako da se kontura izračunava točku po točku. Tom se opcijom zahtijevaju dva osnovna koraka koja je potrebno izvršiti i ponoviti (vidjeti sliku 2.7.u):



Slika 2.7.u: Koncept algoritma za praćenje

U 1. koraku potrebno je na konturi naći točku  $P_1$ . To se postiže izračunavanjem razina indeksa buke  $L$  u koracima s istim razmacima duž »polupravca zrake« od kojeg se očekuje da će se sjeći s potrebnom konturom razine  $L_C$ . Kad se kontura presiječe, razlika  $\delta = L_C - L$  mijenja predznak. Potom se širina koraka polovi duž zrake, a traženje se odvija u obrnutom smjeru, sve dok  $\delta$  ne postane manji nego prethodno utvrđeni prag točnosti.

U 2. koraku, koji se ponavlja dok kontura ne bude dovoljno definirana, potrebno je naći sljedeću točku na konturi  $L_C$  koja se nalazi na određenoj pravocrtnoj udaljenosti  $r$  od aktualne točke. U uzastopnim kutnim koracima razine indeksa i razlike  $\delta$  izračunavaju se na krajevima vektora kojima se opisuje luk radijusa  $r$ . Odgovarajućim polovljenjem i obrnutim inkrementalnim povećanjem, ovaj put u smjeru vektora, sljedeća se točka konture određuje prethodno utvrđenom točnosti.



Slika 2.7.v: Geometrijski parametri radi definiranja uvjeta s obzirom na algoritam za praćenje Nameće se nekoliko sporednih uvjeta kako bi se osiguralo da se kontura procijeni dovoljnim stupnjem točnosti (vidjeti **sliku 2.7.v**):

1. duljina tetine  $\Delta c$  (razmak između dvije točke konture) mora biti unutar intervala  $[\Delta c_{\min}, \Delta c_{\max}]$ , npr. [10 m, 200 m];
2. odnos duljina između dvije dodirne tetine  $\Delta c_n$  i  $\Delta c_{n+1}$  mora biti ograničen, npr.  $0,5 < \Delta c_n / \Delta c_{n+1} < 2$ .
3. s obzirom na dobru prilagodbu duljine tetine na zakrivljenost konture sljedeći uvjet mora biti ispunjen:

$$\phi_n \cdot \max(\Delta c_{n-1}, \Delta c_n) \leq \varepsilon \quad (\varepsilon \approx 15 \text{ m})$$

pri čemu je  $\phi_n$  razlika smjerova tetine.

Iz iskustva s ovim algoritmom pokazalo se kako se u prosjeku moraju izračunati 2 do 3 vrijednosti indeksa radi određivanja točke konture s točnošću boljom od 0,01 dB.

Posebno pri potrebnom izračunu velikih kontura tim se algoritmom uvelike ubrzava vrijeme izračuna. Međutim, potrebno je napomenuti da se za njegovu provedbu zahtijeva iskustvo, posebno kad se kontura dijeli u odvojene otoke.

## 2.8. Dodjeljivanje razina buke i stanovništva zgradama

U procjeni izloženosti stanovnika buci razmatraju se samo stambene zgrade. Zgradama koje nisu stambene, kao što su škole, bolnice, poslovne zgrade i tvornice, ne dodjeljuju se stanovnici. Određivanje broja stanovnika u stambenim zgradama mora se temeljiti na najnovijim službenim podacima (ovisno o primjenjivim propisima svake države članice).

Budući da se pri izračunu buke zrakoplova koristi mreža razlučivosti 100 x 100 m, u konkretnom slučaju buke zrakoplova razina buke bit će izvedena iz razine buke na najbližoj točki u tom koordinatnom sustavu.

*Određivanje broja stanovnika u zgradi*

Broj stanovnika stambene zgrade važan je posredni parametar za procjenu izloženosti buci. Nažalost, podaci za taj parametar nisu uvijek dostupni. U nastavku je navedeno kako se ovaj parametar može izvesti iz dostupnijih podataka.

Simboli koji se za to koriste su:

- $BA$  = površina tla koju zgrada zauzima
- $DFS$  = kvadratura stambenih prostora
- $DUFS$  = kvadratura stana
- $H$  = visina zgrade
- $FSI$  = kvadratura stambenog prostora po stanovniku
- $Inh$  = broj stanovnika
- $NF$  = broj katova
- $V$  = volumen stambenih zgrada

Za izračun broja stanovnika koristi se postupak za slučaj 1 ili postupak za slučaj 2, ovisno o dostupnosti podataka.

#### *SLUČAJ 1: dostupni su podaci o broju stanovnika*

1A: Broj stanovnika je poznat ili je procijenjen na temelju broja stanova. U tom slučaju broj stanovnika zgrade je zbroj broja stanovnika svih stanova u zgradama.

$$Inh_{building} = \sum_{i=1}^n Inh_{dwelling_{i,building}}$$

(2.8.1.)

1B: Broj stanovnika je poznat samo za područja veća od zgrade, primjerice strane gradskih blokova, gradske blokove, četvrti ili cijelu općinu. U tom slučaju broj stanovnika zgrade procjenjuje se na temelju volumena zgrade:

$$Inh_{building} = \frac{V_{building}}{V_{total}} \times Inh_{total}$$

(2.8.2.)

Indeks »total« ovdje se odnosi na predmetno područje. Volumen zgrade izračunava se množenjem površine tla koju zgrada zauzima i njezine visine:

$$V_{building} = BA_{building} \times H_{building}$$

(2.8.3.)

Ako visina zgrade nije poznata, procjenjuje se prema broju katova  $NF_{zgrade}$ , uz prepostavku prosječne visine od 3 metra za svaki kat:

$$H_{building} = NF_{building} \times 3 \text{ m}$$

(2.8.4)

Ako ni broj katova nije poznat, koristi se prethodno određena vrijednost za broj katova koja odgovara prosjeku za taj dio grada.

Ukupni volumen stambenih zgrada u razmatranom području  $V_{total}$  izračunava se zbrajanjem volumena svih stambenih zgrada u tom području.

$$V_{total} = \sum_{i=1}^n V_{building}$$

(2.8.5.)

**SLUČAJ 2: nisu dostupni podaci o broju stanovnika**

U tom slučaju broj stanovnika procjenjuje se na temelju prosječne kvadrature stambenog prostora po stanovniku FSI. Ako taj parametar nije poznat, koristi se prosjek kvadrature stambenog prostora po stanovniku za predmetnu državu.

2A: Kvadratura stambenog prostora je poznata i dobivena je na temelju kvadrature stanova.

U tom slučaju broj stanovnika svakog stana procjenjuje se na sljedeći način:

$$Inh_{dwelling_{unit}} = \frac{DFS_i}{FSI}$$

(2.8.6.)

Broj stanovnika zgrade može se procijeniti kao u SLUČAJU 1A gore.

2B: Kvadratura stambenog prostora je poznata za cijelu zgradu, tj. kao zbroj kvadrature svakog stana u zgradici.

U tom slučaju broj stanovnika procjenjuje se na sljedeći način:

$$Inh_{building} = \frac{DFS_{building}}{FSI}$$

(2.8.7.)

2C: Kvadratura stambenog prostora je poznata samo za područja veća od zgrade, primjerice gradske blokove, kvartove ili cijelu općinu.

U tom slučaju broj stanovnika zgrade procjenjuje se na temelju volumena zgrade kako je opisano u SLUČAJU 1B gore, a ukupni broj stanovnika procjenjuje se kako slijedi:

$$Inh_{total} = \frac{DFS_{total}}{FSI}$$

(2.8.8.)

2D: Kvadratura stambenog prostora nije poznata. U tom slučaju broj stanovnika zgrade procjenjuje se kako je opisano u SLUČAJU 2B gore, a kvadratura stambenog prostora procjenjuje se kako slijedi:

$$DFS_{building} = BA_{building} \times 0.8 \times NF_{building}$$

(2.8.9.)

Faktor 0.8 je konverzijski faktor za pretvaranje *ukupne površine koju zgrada zauzima u → kvadraturu stambenog prostora*. Ako je za određeno područje reprezentativan neki drugi faktor, onda se on i koristi i to se mora jasno dokumentirati.

Ako broj katova zgrade nije poznat, on se procjenjuje na temelju visine zgrade,  $H_{zgrade}$ , a rezultat je obično broj katova izražen brojem koji nije cijeli broj:

$$NF_{building} = \frac{H_{building}}{3m}$$

(2.8.10)

Ako nije poznata visina zgrade ni broj katova, koristi se prethodno određena vrijednost za broj katova koja odgovara prosjeku za taj dio grada.

#### *Definiranje točaka prijemnika na fasadama zgrada*

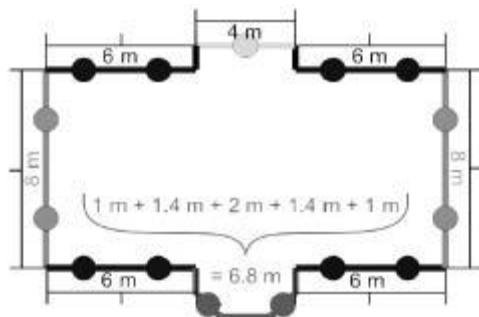
Procjena izloženosti stanovništva buci temelji se na razinama izmijerenima na točkama prijemnika na visini od 4 m iznad tla ispred fasada stambenih zgrada.

Za izračun broja stanovnika koristi se postupak za slučaj 1 ili postupak za slučaj 2 za zemaljske izvore buke. Za buku zrakoplova koja je izračunata prema 2.6., računa se da je ukupno stanovništvo zgrade izloženo buci s najbliže točke u mreži za koju je vrijednost buke izračunata.

#### *SLUČAJ 1*

Slika a

Primjer lokacije prijemnika oko zgrade prema proceduri za SLUČAJ 1.

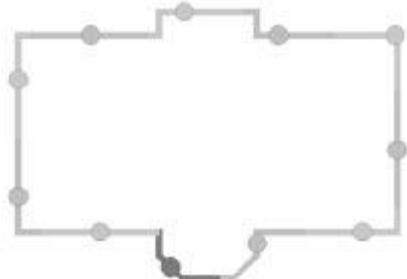


- Segmenti dulji od 5 m razdvajaju se u što dulje segmente podjednake duljine, ali ne dulje od 5 m. Točke prijemnika lociraju se na sredini svakog jednakog dijela.
- Ostali segmenti koji su dulji od 2,5 m predstavljeni su jednom točkom prijemnika na sredini svakog segmenta.
- Preostali susjedni segmenti ukupne duljine veće od 5 m smatraju se polilinijskim objektima slično kao a) i b).
- Broj stanovnika koji se pripisuje točki prijema vrednuje se prema dužini predmetne fasade tako da zbroj svih točaka prijemnika predstavlja ukupan broj stanovnika.
- Jedino u slučaju zgrada iz čije se površine kata može prepostaviti da imaju samo jedan stan na svakom katu, za statistiku se izravno koristi razina buke s najizloženije fasade, te se pripisuje broju stanovnika zgrade.

#### *SLUČAJ 2*

Slika b

Primjer lokacije prijemnika oko zgrade prema proceduri za SLUČAJ 2.



- a) Pročelja se razmatraju odvojeno ili ih se razdvaja u dijelove duljine od 5 m, a točka prijemnika nalazi se na sredini fasade ili petometarskog segmenta.
- b) Na sredinu preostalog dijela također se postavlja točka prijemnika.
- c) Broj stanovnika koji se pripisuje točki prijema vrednuje se prema duljini predmetne fasade tako da zbroj svih točaka prijemnika predstavlja ukupan broj stanovnika.
- d) Jedino u slučaju zgrada iz čije se površine kata može pretpostaviti da imaju samo jedan stan na svakom katu, za statistiku se izravno koristi razina buke s najizloženije fasade, te se pripisuje broju stanovnika zgrade.

### 3. Ulazni podaci

Ulazni podaci koji se trebaju koristiti pri primjeni prethodno navedenih metoda izneseni su u Dodacima F do I.

U slučajevima kad ulazni podaci iz Dodataka F do I nisu primjenjivi ili uzrokuju odstupanja od realnih vrijednosti koja ne zadovoljavaju uvjete iz 2.1.2. i 2.6.2., mogu se koristiti druge vrijednosti, pod uvjetom da su adekvatno dokumentirane te da je adekvatno dokumentirana metodologija koja je korištena za njihovo dobivanje, uključujući dokaz da su prikladni. Te informacije moraju biti dostupne javnosti.

### 4. Mjerne metode

U slučajevima kada se, iz bilo kojeg razloga, vrše mjerjenja, ona moraju biti u skladu s načelima za dugotrajna mjerjenja prosjeka specificiranim u ISO 1996-1:2003 i ISO 1996-2:2007 ili, za buku zrakoplova, ISO 20906:2009.

## Dodatak A

### ZAHTJEVI U POGLEDU PODATAKA

U odjeljku 2.7.6. glavnog teksta opisuju se općenito zahtjevi za posebne podatke za svaki pojedinačni slučaj kojima se opisuju zračna luka i njezine operacije i koji su potrebni za izračun kontura buke. Sljedeće su tablice ispunjene primjerima podataka za hipotetsku zračnu luku. Konkretni formati podataka općenito će ovisiti o zahtjevima i potrebama posebnog sustava modeliranja buke i o scenariju studije.

*Napomena:* Preporučuje se da se geografske informacije (referentne točke itd.) navode u kartezijanskim koordinatama. Izbor određenog koordinatnog sustava obično ovisi o raspoloživim zemljopisnim kartama.

#### A1 Opći podaci o zračnoj luci

Oznaka aerodroma	hipotetska zračna luka
------------------	------------------------

Koordinatni sustav	UTM, zona 15, datum WGS-84	
Referentna točka aerodroma (ARP)	3 600 000 m E	6 300 000 m N
	središnja točka uzletno-sletne staze 09L-27R	
Nadmorska visina ARP-a	120 m /	
Prosječna temperatura zraka na ARP-u*	12,0 °C	
Prosječna relativna vlažnost zraka na ARP-u*	60 %	
Prosječna brzina i smjer vjetra*	5 čvorova (kt)	270 stupnjeva
Izvor topografskih podataka	nepoznato	

\* Ponoviti za svaki vremenski interval koji nas zanima (doba dana, godišnje doba itd.).

#### A2 Opis uzletno-sletne staze

Oznaka uzletno-sletne staze	09L	
Početak uzletno-sletne staze	3 599 000 m E	6 302 000 m N
Kraj uzletno-sletne staze	3 603 000 m E	6 302 000 m N
Početak kretanja na tlu	3 599 000 m E	6 302 000 m N
Prag sletne staze	3 599 700 m E	6 302 000 m N
Nadmorska visina početka uzletno-sletne staze	110 m	
Srednji nagib uzletno-sletne staze	0,001	

Za pomaknute pragove, opis uzletno-sletne staze može se ponoviti ili se pomaknuti pragovi mogu opisati u okviru opisa tlocrta putanje.

#### A3 Opis tlocrta putanje

U nedostatku radarskih podataka potrebne su sljedeće informacije za opisivanje pojedinačnih tlocrta putanje.

Br. putanje	001
Oznaka putanje	Dep 01 – 09L
Od uzletno-sletne staze	09L

<b>Vrsta putanje</b>	odlet (Dep.)
<b>Pomak od početka kretanja na tlu</b>	0 m
<b>Broj pomoćnih putanja:</b>	7

**Opis glavne putanje**

Br. segmenta	Pravocrtno [m]	Luk krivulje			Standardna devijacija za lateralnu raspršenost na kraju segmenta [m]
		L/D	Promjena smjera leta [°]	Polumjer [m]	
1	10 000				2000
3		D	90,00	3000	2500
4	20 000				3000

<b>Br. putanje</b>	002
<b>Oznaka putanje</b>	App 01 – 09L – Disp 300
<b>Od uzletno-sletne staze</b>	09L
<b>Vrsta putanje</b>	prilaz (App.)
<b>Pomak od praga sletne staze</b>	300 m
<b>Broj pomoćnih putanja:</b>	1

**Opis glavne putanje**

Br. segmenta	Pravocrtno [m]	Luk krivulje			Standardna devijacija za lateralnu raspršenost na kraju segmenta [m]
		L/D	Promjena smjera leta [°]	Polumjer [m]	
1	30 000				0

**Podaci o prilaznoj putanji**

<b>Kut poniranja za prilazne putanje</b>	2,7°
--	------

Visina leta pri presretanju ravni poniranja	4000 ft
---	---------

**A4 Opis zračnog prometa**

<b>Referentno razdoblje</b>	366 d	= 8748 h
	(od 1. 1. 2014. do 31. 12. 2014.)	
<b>Doba dana – razdoblje I.</b>	od 7 do 19 sati	= 12 h
<b>Doba dana – razdoblje II.</b>	od 19 do 23 sata	= 4 h
<b>Doba dana – razdoblje III.</b>	od 23 do 7 sati	= 8 h

<b>OBRAZAC S PODACIMA O ZRAČNOM PROMETU – KRETANJA PO PUTANJAMA</b>			
<b>Br. tlocrta putanje</b>	001		
<b>Oznaka putanje</b>	Dep 01 – 09L		
<b>Oznaka zrakoplova</b>	<b>Kretanja tijekom vremenskog razdoblja</b>		
	I.	II.	III.
A/C 1, Dep. 1.	20 000	4000	1000
A/C 2, Dep. 4.	10 000	5000	500
A/C 4, Dep. 3.	2000	300	0
<b>Br. tlocrta putanje</b>	002		
<b>Oznaka putanje</b>	Dep 01 – 09L – Disp 300		
<b>Oznaka zrakoplova</b>	<b>Kretanja tijekom vremenskog razdoblja</b>		
	I.	II.	III.
A/C 1, App.1	18 000	2000	5000
A/C 2, App.1	10 000	3000	2500
A/C 4, App.1	1300	0	1000

#### A5 Obrazac s podacima o letnoj proceduri

Primjer za Boeing 727-200 u skladu s Poglavljem 3., dobiven iz radarskih podataka koristeći upute navedene u odjeljku 2.7.9. glavnog teksta.

Oznaka zrakoplova	B727C3
NPD identifikator iz baze podataka ANP	JT8E5
Broj motora	3
Način rada	odlazak
Stvarna masa zrakoplova [t]	71,5
Čeoni vjetar [m/s]	5
Temperatura [°C]	20
Nadmorska visina zračne luke [m]	83

Segment	Udaljenost od RP <sup>1</sup> [m]	Visina [m]	Brzina po horizontali [m/s]	Vrijednost snage motora <sup>2</sup>
br.				
1	0	0	0	14 568
2	2500	0	83	13 335
3	3000	117	88	13 120
4	4000	279	90	13 134
5	4500	356	90	13 147
6	5000	431	90	13 076
7	6000	543	90	13 021
8	7000	632	93	12 454
9	8000	715	95	10 837

10	10 000	866	97	10 405
11	12 000	990	102	10 460
12	14 000	1122	111	10 485
13	16 000	1272	119	10 637
14	18 000	1425	125	10 877
15	20 000	1581	130	10 870
16	25 000	1946	134	10 842
17	30 000	2242	142	10 763

<sup>1</sup> Referentna točka RP je početak kretanja za odlet i praga sletne staze za prilaz.

<sup>2</sup> Jedinice odgovaraju jedinicama u bazi podataka ANP.

Primjer proceduralnog profila na temelju podataka o karakteristikama zrakoplova pohranjenih u bazi podataka ANP:

Oznaka zrakoplova iz baze podataka ANP	B727C3
NPD identifikator iz baze podataka ANP	JT8E5
Broj motora	3
Način rada	odlazak
Stvarna masa zrakoplova [t]	71,5
Čeoni vjetar [m/s]	5
Temperatura [C]	15
Nadmorska visina zračne luke [m]	100

Segment	Način rada	Cilj	Zakrilca	Vrijednost snage motora
br.				
1	uzljetanje		5	uzljetanje
2	početno penjanje	visina 1 500 ft	5	uzljetanje

3	uvlačenje zakrilaca	210 kts IAS ROC 750 ft/min	0	maks. penjanje
4	ubrzavanje	250 kts IAS ROC 1500 ft/min	0	maks. penjanje
5	penjanje	10 000 ft	0	maks. penjanje

## Dodatak B

### IZRAČUNI PERFORMANSI LETA

#### Termini i simboli

Termini i simboli koji se upotrebljavaju u ovom dodatku usklađeni su s onima koje obično upotrebljavaju zrakoplovni inženjeri. Neki su osnovni termini ukratko objašnjeni u nastavku za korisnike koji nisu upoznati s njima. Kako bi se smanjilo neslaganje s glavnim dijelom metode, simboli su uglavnom definirani zasebno u ovom dodatku. Količinama koje su navedene u glavnom dijelu metode dodijeljeni su uobičajeni simboli; oni simboli koji se u ovom dodatku upotrebljavaju drukčije označeni su zvjezdicom (\*). U određenoj se mjeri jedinice koje se upotrebljavaju u SAD-u i SI jedinice stavljuju jedne uz druge kako bi se očuvale konvencije s kojima su upoznati korisnici iz različitih disciplina.

#### Termini

Prijelomna točka	Vidjeti pod »suha snaga«.
Kalibrirana brzina leta	(Inače se naziva ekvivalentna ili indicirana brzina leta.) Brzina zrakoplova u odnosu na zrak koju pokazuje kalibrirani instrument u zrakoplovu. Stvarna brzina leta, koja je obično veća, može se izračunati iz kalibrirane brzine leta uz poznavanje gustoće zraka.
Korigirani neto potisak	Neto potisak je potisna sila koju motor prenosi na zmaj zrakoplova. Pri zadanom režimu rada motora (EPR ili $N_1$ ) neto potisak pada s gustoćom zraka pri porastu visine; korigirani neto potisak je potisak na razini mora.
Suha snaga	Za specifične maksimalne temperature sastavnih dijelova, potisak motora pada s porastom temperature okolnog zraka i obratno. To znači da postoji kritična temperatura zraka iznad koje se <i>izračunani potisak motora</i> ne može postići. Kod većine suvremenih motora to se naziva »temperatura suhe snage« jer se na nižim temperaturama zraka potisak automatski ograničava na izračunani potisak motora kako bi se produžio životni vijek motora. Potisak ionako pada pri temperaturama iznad temperature suhe snage, što se često naziva <i>prijelomnom točkom</i> ili <i>prijelomnom temperaturom</i> .
Brzina	Magnituda vektora brzine zrakoplova (u odnosu na koordinatni sustav aerodroma).



# Thorium A+

Izvrsni inženjeri koriste izvrstan alat!

**ThoriumSoftware d.o.o.**

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

Izračunani  
potisak motora

Životni vijek motora zrakoplova uvelike ovisi o radnim temperaturama njegovih sastavnih dijelova. Što je veća generirana snaga ili potisak, više su temperature i kraći životni vijek. Kako bi se postigla ravnoteža između zahtjeva u vezi s performansama i onih u vezi sa životnim vijekom, motorima na kojima je ograničena snaga dodijeljene su *količine snage motora* za uzlijetanje, penjanje i krstarenje koje određuju uobičajene maksimalne vrijednosti režima rada motora.

Parametar  
podešavanja  
potiska

Pilot ne može odabrati određeni potisak motora; umjesto toga on/ona odabire odgovarajuću vrijednost tog parametra koja se prikazuje u pilotskoj kabini. Obično se radi o omjeru tlaka motora (EPR) ili o brzini vrtnje niskotlačnog rotora (ili ventilatora) ( $N_1$ ).

## Simboli

Količine su bezdimenzionalne ako nije drugačije navedeno. Simboli i kratice koji nisu navedeni u nastavku upotrebljavaju se samo lokalno i definirani su u tekstu. Supskripti 1 i 2 označavaju uvjete na početku i na kraju segmenta. Crte iznad teksta označavaju srednje vrijednosti, tj. prosjek početnih i krajnjih vrijednosti.

$a$	prosječno ubrzanje ( $\text{ft}/\text{s}^2$ )
$a_{max}$	najveće raspoloživo ubrzanje ( $\text{ft}/\text{s}^2$ )
$A, B, C, D$	koeficijenti zakrilaca
$E, F, G_{A,B}, H$	koeficijenti potiska motora
$F_n$	neto potisak po motoru (lbf)
$F_n/\delta$	korigirani neto potisak po motoru (lbf)
$G$	gradijent penjanja
$G'$	gradijent penjanja kod otkaza jednog motora
$G_R$	srednji nagib uzletno-sletne staze, pozitivan uzbrdo
$g$	gravitacijsko ubrzanje ( $\text{ft}/\text{s}^2$ )
$ISA$	međunarodna standardna atmosfera (International Standard Atmosphere)
$N *$	broj motora koji daju potisak
$R$	omjer između otpora i uzgona $C_D/C_L$
$ROC$	stopa uspona po segmentu ( $\text{ft}/\text{min}$ )

$s$	prijeđena udaljenost u odnosu na tlo duž tlocrta putanje (ft)
$s_{TOS}$	duljina zaleta pri čeonom vjetru od 8 čvorova (ft)
$s_{TOG}$	korigirana duljina zaleta uzimajući u obzir $w$ i $G_R$ (ft)
$s_{TOW}$	duljina zaleta pri čeonom vjetru $w$ (ft)
$T$	temperatura zraka ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_B$	prijelomna temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
$V$	brzina na horizontali u čvorovima (kt)
$V_c$	kalibrirana brzina kroz zrak u čvorovima (kt)
$V_T$	stvarna brzina leta u čvorovima (kt)
$W$	masa aviona (lb)
$w$	brzina čeonog vjetra u čvorovima (kt)
$\Delta s$	duljina segmenta bez vjetra projicirana na tlocrt putanje (ft)
$\Delta s_w$	projekcija duljine segmenta na tlu korigirana za čoni vjetar (ft)
$\delta$	$p/p_0$ , omjer između tlaka zraka u okolišu aviona i standardnog tlaka zraka na srednjoj razini mora: $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ (ili $1013,25 \text{ mb}$ )
$\epsilon$	bočni nagib u radijanima
$\gamma$	kut penjanja/snižavanja u radijanima
$\theta$	$(T + 273,15)/(T_0 + 273,15)$ omjer između temperature zraka na visini i standardne temperature zraka na srednjoj razini mora: $T_0 = 15,0 \text{ } ^{\circ}\text{C}$
$\sigma^*$	$\rho/\rho_0 = \text{omjer između gustoće zraka na visini i vrijednosti na srednjoj razini mora}$ (također, $\sigma = \delta/\theta$ )

## B1 Uvod

### Sinteza putanje leta

U ovom se dodatku preporučuju postupci za izračun profila leta aviona na temelju navedenih aerodinamičkih parametara i parametara pogonske grupe, težine zrakoplova, atmosferskih uvjeta, tlocrta putanje i operativnog postupka (konfiguracije leta, režima rada motora,

progresivne brzine, vertikalne brzine itd.). Operativni postupak opisan je nizom *proceduralnih koraka* kojima se propisuju načini leta za određeni profil. Profil leta, za uzljetanje ili za prilaženje, prikazan je nizom pravocrtnih segmenata čiji se krajevi nazivaju *točkama profila*. Profil se izračunava pomoću aerodinamičkih jednadžbi i jednadžbi potiska koje sadržavaju brojne koeficijente i konstante koje moraju biti na raspolaganju za posebne kombinacije zmaja zrakoplova i motora. Taj postupak izračuna opisan je u tekstu kao postupak *sinteze putanje leta*.

Osim parametara performansi zrakoplova, koji se mogu pronaći u bazi podataka ANP, te jednadžbe zahtijevaju da se posebno navede: 1. bruto težina aviona, 2. broj motora, 3. temperatura zraka, 4. nadmorska visina uzletno-sletne staze i 5. proceduralni koraci (izraženi u smislu režima rada motora, otklona zakrilaca, brzine leta i, tijekom ubrzavanja, prosječne brzine vertikalnog penjanja/snižavanja) za svaki segment tijekom uzljetanja i prilaženja. Svaki segment zatim se razvrstava kao kretanje na tlu, uzljetanje ili slijetanje, penjanje konstantnom brzinom, smanjivanje snage, penjanje s ubrzavanjem sa ili bez uvlačenja zakrilaca, snižavanje sa ili bez usporavanja i/ili upotrebe zakrilaca ili završni prilaz prilikom slijetanja. Profil leta sastavlja se korak po korak, pri čemu su početni parametri za svaki segment jednaki onima na kraju prethodnog segmenta.

Parametri aerodinamičkih performansi u bazi podataka ANP namijenjeni su za dobivanje razumno točnog prikaza stvarne putanje leta aviona u određenim referentnim uvjetima (vidjeti odjeljak 2.7.6. glavnog teksta). Međutim, pokazalo se da su aerodinamički parametri i koeficijenti motora primjereni za temperature zraka do 43 °C, nadmorske visine aerodroma do 4000 stopa i unutar raspona težine navedenog u bazi podataka ANP. Jednadžbe stoga omogućuju izračun putanje leta u drugim uvjetima; tj. pri nereferentnoj težini aviona, brzini vjetra, temperaturi zraka i nadmorskoj visini uzletno-sletne staze (tlaku zraka), obično s dostatnom točnošću za izračun prosječnih kontura razine zvuka oko zračne luke.

U odjeljku B-4 objašnjava se kako se pri odletima uzimaju u obzir učinci zaokreta leta. Time se omogućuje uzimanje u obzir bočnog nagiba pri izračunu učinka lateralne usmjerenosti (učinci opreme). Isto tako, tijekom zaokreta leta, gradijenti penjanja općenito će se smanjiti ovisno o polujeru zaokreta i brzini aviona. (Učinci zaokreta tijekom završnog prilaza složeniji su i nisu obuhvaćeni u ovom trenutku. Međutim, oni će rijetko bitno utjecati na konture buke.)

U odjeljcima od B-5 do B-9 opisuje se preporučena metodologija za generiranje profila leta prilikom odleta, na temelju koeficijenata iz baze podataka ANP i proceduralnih koraka.

U odjeljcima B-10 i B-11 opisuje se upotrijebljena metodologija za generiranje profila leta prilikom prilaza, na temelju koeficijenata iz baze podataka ANP i letnih procedura.

U odjeljku B-12 nalaze se primjeri izračuna.

Dodani su zasebni skupovi jednadžbi za određivanje neto potiska koji stvaraju mlazni motori i elise zrakoplova. Ako nije navedeno drugačije, jednadžbe za aerodinamičke performanse aviona primjenjuju se jednakom na avione na mlazni pogon i na avione na elisni pogon.

Korišteni matematički simboli definirani su na početku ovog dodatka i/ili prilikom prve upotrebe. U svim jednadžbama jedinice koeficijenata i konstanti moraju, naravno, biti u skladu s jedinicama odgovarajućih parametara i varijabli. Radi usklađenosti s bazom podataka ANP, u ovom se dodatku slijede konvencije inženjerstva performansi zrakoplova; udaljenosti i visine su izražene u stopama (ft), brzina u čvorovima (kt), masa u funtama (lb), sila u funtama sile (neto potisak korigiran za visoke temperature) i tako dalje, iako su neke dimenzije (npr. atmosferske) izražene u SI jedinicama. Izrađivači modela koji upotrebljavaju druge sustave jedinica trebali bi obratiti posebnu pozornost na primjenu odgovarajućih faktora konverzije pri prilagođavanju jednadžbi svojim potrebama.

### Analiza putanje leta

U nekim primjenama modeliranja podaci o putanji leta ne pružaju se u obliku proceduralnih koraka, već kao koordinate u položaju i vremenu, obično određene analizom radarskih podataka. To je opisano u odjeljku 2.7.7. glavnog teksta. U tom se slučaju jednadžbe iz ovog dodatka upotrebljavaju »unatrag«; parametri potiska motora izvode se iz kretanja zrakoplova, a ne obratno. Općenito, nakon što se izračuna prosjek podataka o putanji leta i smanji na oblik segmenta, pri čemu se svaki segment razvrstava na osnovi penjanja ili snižavanja, ubrzavanja ili usporavanja te promjena potiska i zakrilaca, to je relativno jednostavno u usporedbi sa sintezom koja često uključuje iterativne procese.

### B2 Potisak motora

Potisna sila koju stvara svaki motor jedna je od pet vrijednosti koje treba definirati na kraju svakog segmenta putanje leta (ostale su vrijednosti visina, brzina, režim rada motora i bočni nagib). Neto potisak predstavlja sastavni dio bruto potiska motora koji je na raspolaganju za pogon. Za aerodinamičke i akustičke izračune, neto potisak se navodi u odnosu na standardni tlak zraka na srednjoj razini mora. To nazivamo *korigiranim neto potiskom*,  $F_n/\delta$ .

Tu će biti riječ o neto potisku dostupnom pri radu s određenom *količinom snage motora* ili o neto potisku do kojeg dolazi kad se *parametar za podešavanje potiska* podesi na određenu vrijednost. Za turbomlazni ili turboventilatorski motor koji radi s određenom količinom snage motora, korigirani neto potisak dobiva se primjenom jednadžbe

$$F_n/\delta = E + F \cdot V_c + G_A \cdot h + G_B \cdot h^2 + H \cdot T$$

(B-1)

pri čemu:

$F_n$  je neto potisak po motoru (lbf),

$\delta$  je omjer tlaka zraka u okolini aviona u odnosu na standardni tlak zraka na srednjoj razini mora, tj. na 101,325 kPa (ili 1013,25 mb) [ref. 1.],

$F_n/\delta$  je korigirani neto potisak po motoru (lbf),

$V_c$  je kalibrirana brzina leta u čvorovima (kt),

$T$  je temperatura okolnog zraka u kojem radi avion ( C ) i  
 $E, F, G_A, G_B, H$  su konstante potiska motora ili koeficijenti za temperature ispod temperature za suhu snagu motora pri količini snage motora u upotrebi (na trenutačnom segmentu uzljetanja/penjanja ili prilazne putanje leta), izražene u jedinicama lb.s/ft, lb/ft, lb/ft<sup>2</sup>, lb/°C. Dostupne su u bazi podataka ANP.

U bazi podataka ANP također se navode podaci koji omogućuju izračun neizračunanog potiska motora kao funkcije parametra podešavanja potiska. Neki proizvođači definiraju taj parametar kao omjer tlaka motora (EPR), a drugi kao brzinu niskotlačnog rotora ili brzinu ventilatora,  $N_1$ . Kad je taj parametar  $EPR$ , jednadžba B-1 zamjenjuje se sljedećom:

$$F_a / \delta = E + F \cdot V_c + G_A \cdot h + G_B \cdot h^2 + H \cdot T + K_1 \cdot EPR + K_2 \cdot EPR^2$$

(B-2)

pri čemu su  $K_1$  i  $K_2$  koeficijenti iz baze podataka ANP koji se odnose na korigirani neto potisak i omjer tlaka motora u blizini omjera tlaka motora od interesa za Machov broj određenog aviona.

Kad je brzina vrtnje motora  $N_1$  parametar koji posada u pilotskoj kabini upotrebljava za podešavanje potiska, generalizirana jednadžba potiska postaje

$$F_a / \delta = E + F \cdot V_c + G_A \cdot h + G_B \cdot h^2 + H \cdot T + K_3 \left( \frac{N_1}{\sqrt{\theta}} \right) + K_4 \left( \frac{N_1}{\sqrt{\theta}} \right)^2$$

(B-3)

pri čemu:

$N_1$  je brzina vrtnje niskotlačnog kompresora (ili ventilatora) motora i stupnjeva turbine(%),

$\theta$  = (T + 273)/288,15, omjer apsolutne ukupne temperature na ulazu motora u odnosu na apsolutnu standardnu temperaturu zraka na srednjoj razini mora [ref. 1.],

$\frac{N_1}{\sqrt{\theta}}$  je korigirana brzina niskotlačnog rotora (%) i

$K_3, K_4$  su konstante izvedene iz podataka o ugrađenom motoru koje obuhvaćaju brzine  $N_1$  od interesa.

Napominjemo da za određeni avion  $E, F, G_A, G_B$  i  $H$  u jednadžbama B-2 i B-3 mogu imati različite vrijednosti od onih u jednadžbi B-1.

Neće svaki član jednadžbe uvijek biti značajan. Na primjer, za motore na kojima je ograničena snaga koji rade na temperaturama zraka ispod prijelomne točke (obično je to 30 °C) član temperature možda neće biti potreban. Za motore na kojima nije ograničena snaga, temperatura okoline mora se uzeti u obzir pri određivanju izračunanog potiska. Iznad

temperature za suhu snagu motora treba upotrebljavati drugačiji skup koeficijenata potiska motora ( $E, F, G_A, G_B$  i  $H$ )<sub>high</sub> za određivanje raspoložive razine potiska. U tom bi slučaju uobičajena praksa bila izračunati  $F_n/\delta$  koristeći koeficijent za nisku temperaturu i koeficijent za visoku temperaturu te koristiti viši nivo potiska za temperature *ispod* temperature za suhu snagu motora odnosno niži izračunani nivo potiska za temperature *iznad* temperature za suhu snagu motora.

Ako su dostupni samo koeficijenti potiska za niske temperature, može se koristiti sljedeći odnos:

$$(F_n/\delta)_{high} = F \cdot V_c + (E + H \cdot T_B) \cdot (1 - 0,006 \cdot T) / (1 - 0,006 \cdot T_s) \quad (B-4)$$

pri čemu:

$(F_n/\delta)_{high}$  je neto potisak korigiran za visoke temperature (u funtama sile),

$T_B$  je prijelomna temperatura (u nedostatku konačne vrijednosti prepostavimo unaprijed zadatu vrijednost od 30 °C).

U bazi podataka ANP nalaze se vrijednosti za konstante i koeficijente u jednadžbama B-1 do B-4.

Za avione s elisom, korigirani neto potisak po motoru treba iščitati iz grafikona ili izračunati pomoću jednadžbe

$$F_n/\delta = (326 \cdot \eta \cdot P_p/V_T) / \delta \quad (B-5)$$

pri čemu:

$\eta$  je učinkovitost elise za određenu konfiguraciju elise i funkcija je brzine vrtnje elise i brzine leta aviona,

$V_T$  je stvarna brzina leta u čvorovima (kt),

$P_p$  je neto potisna snaga za određene uvjete leta, npr. maks. snaga uzljetanja ili maks. snaga penjanja u ks.

Parametri u jednadžbi B-5 dostupni su u bazi podataka ANP za vrijednosti maksimalnog potiska pri uzljetanju i maksimalnog potiska pri penjanju.

Stvarna brzina  $V_T$  procjenjuje se na osnovi kalibrirane brzine leta  $V_c$  pomoću odnosa

$$V_T = V_c / \sqrt{\sigma} \quad (B-6)$$

pri čemu je σ omjer između gustoće zraka u okolini aviona u odnosu na vrijednost na srednjoj razini mora.

#### **Upute za rad sa smanjenim potiskom prilikom uzljetanja**

Često je težina zrakoplova pri uzljetanju ispod najviše dopuštene težine i/ili je raspoloživa duljina uzletno-sletne staze veća od najmanje koja je potrebna pri upotrebi najvećeg potiska pri uzljetanju. U tim je slučajevima uobičajena praksa smanjiti potisak motora ispod maksimalne razine kako bi se produžio životni vijek motora i, ponekad, u svrhu smanjenja buke. Potisak motora može se smanjiti samo na razine koje održavaju potrebnu sigurnosnu granicu. Postupak izračuna koji upotrebljavaju zračni prijevoznici kako bi odredili primjerenu količinu smanjenja potiska tome je prilagođen: izračun je kompleksan i uzima u obzir brojne čimbenike, među kojima su težina pri uzljetanju, temperatura okolnog zraka, utvrđene udaljenosti uzletno-sletne staze, nadmorska visina uzletno-sletne staze i kriteriji za visinu zapreka uzletno-sletne staze. Stoga se iznos smanjenja potiska razlikuje od leta do leta.

Budući da smanjeni potisak može uvelike utjecati na konture buke prilikom odleta, izrađivači modela trebali bi u razumnoj mjeri voditi računa o njemu i, kako bi na najbolji mogući način predvidjeli njegove učinke, tražiti praktične savjete od zračnih prijevoznika.

Ako takvo savjetovanje nije dostupno, uputno ih je uzeti u obzir alternativnim sredstvima. Nije praktično doslovno prenijeti izračune zračnih prijevoznika za potrebe modeliranja buke, niti bi oni bili primjereni uz uobičajena pojednostavljenja i približne vrijednosti koje se upotrebljavaju za potrebe izračuna dugotrajne prosječne razine buke. Kao provediva alternativa dostupne su sljedeće smjernice. Treba naglasiti da su u ovom području u tijeku značajna istraživanja i stoga ove smjernice podliježu promjenama.

Analizom podataka iz uređaja za bilježenje podataka o letu pokazalo se da je razina smanjenja potiska snažno povezana s omjerom između stvarne težine pri uzljetanju i regulirane težine pri uzljetanju (RTOW), sve do fiksne donje granice<sup>[25]</sup>(Tijela za plovidbenost obično određuju nižu granicu potiska, često 25 posto ispod maksimalnog.); tj.

$$\frac{F_n}{\delta} = \left( \frac{F_n}{\delta} \right)_{max} \cdot W/W_{RTOW}$$

(B-7)

pri čemu je  $(F_n/\delta)_{max}$  maksimalni izračunani potisak,  $W$  je stvarna bruto težina pri uzljetanju i  $W_{RTOW}$  je regulirana težina pri uzljetanju.

Regulirana težina pri uzljetanju je najveća težina pri uzljetanju koja se može sigurno upotrijebiti, a da udovolji zahtjevima duljine uzletno-sletne staze, stanja kod otkaza jednog motora i prepreka. Riječ je o funkciji raspoložive duljine uzletno-sletne staze, nadmorske visine uzletišta, temperature, čeonog vjetra i kuta zakrilaca. Taj se podatak može dobiti od zračnih prijevoznika i trebao bi biti lakše dostupan od podataka o stvarnim razinama smanjenog potiska. Može se izračunati i pomoću podataka iz letačkog priručnika zrakoplova.

#### **Smanjeni potisak pri penjanju**

Prilikom upotrebe smanjenog potiska pri uzljetanju zračni prijevoznici često, ali ne uvijek, pri penjanju smanjuju potisak ispod maksimalne razine<sup>[26]</sup>(Na koju se smanji potisak nakon početnog penjanja sa snagom koja je potrebna za uzljetanje.). Time se sprečavaju situacije

koje se javljaju kad, na kraju početnog penjanja s potiskom za uzlijetanje, treba povećati, a ne smanjiti snagu. Međutim, ovdje je teže postaviti načelo kojim bi se utvrdila zajednička osnova. Neki zračni prijevoznici upotrebljavaju fiksne ograničivače ispod maksimalnog potiska pri penjanju koji se ponekad nazivaju »penjanje 1« i »penjanje 2« i obično smanje potisak pri penjanju za 10 odnosno 20 posto u odnosu na maksimalni potisak. Preporučuje se da pri svakoj upotrebi smanjenog potiska prilikom uzlijetanja potisak pri penjanju također smanji za 10 posto.

#### **B3 Vertikalni profili temperature zraka, tlaka, gustoće i brzine vjetra**

Za potrebe ovog dokumenta smatra se da su promjene temperature, tlaka i gustoće s visinom iznad srednje razine mora one iz modela međunarodne standardne atmosfere. Metodologija opisana u nastavku validirana je za aerodrome na nadmorskim visinama do 4000 stopa i za temperature zraka do 43 °C (109 °F).

Iako, u stvarnosti, srednja brzina vjetra varira s visinom i vremenom, obično to nije moguće uzeti u obzir za potrebe modeliranja kontura buke. Umjesto toga, jednadžbe performansi leta navedene u nastavku temelje se na zajedničkoj prepostavci da se avion u svakom trenutku kreće izravno u (unaprijed zadani) čeonim vjetar od 8 čvorova – bez obzira na smjer kompasa (iako se u izračunima širenja zvuka izričito ne uzima u obzir srednja brzina vjetra). Na raspolaganju su metode za prilagodbu rezultata za druge brzine čeonog vjetra.

#### **B4 Učinci zaokreta**

U ostatku ovog dodatka objašnjava se kako izračunati zahtijevana svojstva segmenata koji povezuju točke profila  $s, z$  koje određuju dvodimenzionalnu putanju leta u okomitoj ravnini iznad tlocrta putanje. Segmenti su definirani jedan za drugim u smjeru kretanja. Na kraju svakog segmenta (ili na početku kretanja na tlu u slučaju prvog segmenta za odlet) za koji su definirani operativni parametri i sljedeći proceduralni korak potrebno je izračunati kut penjanja i udaljenost putanje do točke na kojoj se postiže zahtijevana visina i/ili brzina.

Ako je putanja pravocrtna, to će se obuhvatiti segmentom jedinstvenog profila, a njegova se geometrija može odrediti izravno (iako ponekad s određenom mjerom iteracije). No ako se, prije nego što se postignu traženi konačni uvjeti, započinje ili završava zaokret ili ako se mijenja njegov polumjer ili smjer, jedan segment nije dovoljan zbog uzgona zrakoplova i promjene otpora zrakoplova s bočnim nagibom. Kako bi se uzele u obzir posljedice zaokreta tijekom penjanja, potrebni su segmenti dodatnih profila za uvođenje proceduralnog koraka, prema tekstu u nastavku.

Izrada tlocrta putanje opisana je u odjeljku **2.7.13.** teksta. Taj se tlocrt izrađuje neovisno o bilo kojem profilu leta zrakoplova (iako se pazi da se ne definiraju zaokreti koji se ne bi mogli izvesti u normalnim radnim ograničenjima). No, budući da na profil leta – visinu i brzinu kao funkcije udaljenosti putanje – utječu zaokreti, profil leta ne može se odrediti neovisno od tlocrta putanje.

Kako bi se tijekom zaokreta održala brzina, treba povećati aerodinamički uzgon krila kako bi se uravnotežila centrifugalna sila kao i težina zrakoplova. To pak povećava otpor i, posljedično, potreban potisak. Učinci zaokreta izražavaju se u jednadžbama performansi kao

funkcije bočnog nagiba  $\epsilon$  koji se, za zrakoplov u horizontalno ravnom letu koji izvodi zaokret pri konstantnoj brzini na kružnoj putanji, dobivaju primjenom jednadžbe

$$\epsilon = \tan^{-1} \left( \frac{2.85 \cdot V^2}{r \cdot g} \right)$$

(B-8)

pri čemu:  $V$  je brzina na horizontali u čvorovima (kt),  
 $r$  je polumjer zaokreta (ft),  
 $i$   $g$  je ubrzanje uslijed gravitacije (ft/s<sup>2</sup>).

Prepostavlja se da svi zaokreti imaju konstantni polumjer i ne uzimaju se u obzir sekundarni učinci povezani s nehorizontalnim putanjama leta; bočni nagibi temelje se samo na polumjeru zaokreta  $r$  tlocrta putanje.

Kako bi se proveo proceduralni korak, prvo se izračunava privremeni segment profila pomoću bočnog nagiba  $\epsilon$  na početnoj točki – kako je definirano u jednadžbi B-8 za polumjer segmenta putanje  $r$ . Ako je izračunana duljina privremenog segmenta takva da ne prelazi početak ili kraj zaokreta, privremeni se segment potvrđuje i pažnja se usmjerava na sljedeći korak.

No ako privremeni segment prelazi jedan ili više početaka ili krajeva zaokreta (pri čemu se  $\epsilon$  mijenja)<sup>[27]</sup>(Kako bi se izbjegli prekidi kontura zbog trenutačnih promjena bočnog nagiba na spojevima između pravocrtnog leta i zaokreta, u izračune buke unose se podsegmenti da bi se omogućili linearni prijelazi bočnog nagiba preko prvih i posljednjih 5° zaokreta. Oni nisu potrebni u izračunu performansi; bočni nagib uvijek se navodi po jednadžbi B-8.), parametri leta na prvoj takvoj točki procjenjuju se interpolacijom (vidjeti odjeljak 2.7.13.), pohranjuju se zajedno sa svojim koordinatama kao vrijednosti krajnje točke i segment se skraćuje. Drugi dio proceduralnog koraka se zatim primjenjuje od te točke – opet uz pretpostavku da se može završiti u jednom segmentu s istim krajnjim uvjetima, ali s novom početnom točkom i novim bočnim nagibom. Ako u tom drugom segmentu tada dođe do druge promjene polumjera ili smjera zaokreta, bit će potreban treći segment – i tako dalje sve dok se ne postignu krajnji uvjeti.

#### Približna metoda

Jasno je da potpuno uzimanje učinaka zaokreta u obzir, kako je gore opisano, podrazumijeva značajnu složenost izračuna jer treba posebno izračunati profil penjanja svakog zrakoplova za svaki tlocrt putanje koju avion slijedi. Međutim, promjene vertikalnog profila uzrokovane zaokretima obično imaju znatno manji utjecaj na konture od promjena bočnog nagiba, pa se neki korisnici mogu odlučiti na izbjegavanje složenosti – po cijenu određenog gubitka preciznosti – tako što neće uzeti u obzir učinke zaokreta na profile, pri čemu će još uvijek uzeti u obzir bočni nagib pri izračunu lateralne emisije zvuka (vidjeti odjeljak 2.7.19.). U okviru ove približne metode točke profila za određenu operaciju zrakoplova izračunavaju se samo jedanput, uz pretpostavku pravocrtnog tlocrta putanje (za koju  $\epsilon = 0$ ).

### B5 Kretanje na tlu pri uzljetanju

Potisak pri uzljetanju ubrzava kretanje aviona uzletno-sletnom stazom do samog uzleta. Pretpostavlja se da je kalibrirana brzina leta konstantna tijekom početnog dijela penjanja. Pretpostavlja se da se podvozje, ako se može uvući, uvlači ubrzo nakon uzljetanja. Za potrebe ovog dokumenta stvarno kretanje na tlu pri uzljetanju približno se ocjenjuje pomoću ekvivalentne duljine uzljetanja (u unaprijed zadani čeoni vjetar od 8 čvorova),  $s_{TO8}$ , definirane kako je prikazano na slici B-1 kao udaljenost duž uzletno-sletne staze od otpuštanja kočnice do točke na kojoj produžetak početne putanje leta tijekom penjanja s uvučenim podvozjem u ravnoj crtici siječe uzletno-sletnu stazu.



Slika B-1: Ekvivalentna duljina uzljetanja

Na horizontalno ravnoj uzletno-sletnoj stazi, ekvivalentna duljina zaleta  $s_{TO8}$  u stopama određuje se pomoću jednadžbe:

$$s_{TO8} = \frac{B_8 \cdot \theta \cdot (W / \delta)^2}{N \cdot (F_n / \delta)}$$

(B-9)

pri čemu:

- $B_8$  je koeficijent koji odgovara određenoj kombinaciji aviona i otklona zakrilaca za referentne uvjete ISA-e, uključujući čeoni vjetar od 8 čvorova (ft/lbf),
- $W$  je bruto težina aviona u trenutku otpuštanja kočnice (lbf),
- $N$  je broj motora koji daju potisak.

Napomena: Budući da se jednadžbom B-9 uzimaju u obzir varijacije potiska s brzinom leta i nadmorskom visinom uzletno-sletne staze, za određeni avion koeficijent  $B_8$  ovisi samo o otklonu zakrilaca.

Za čeoni vjetar koji se razlikuje od unaprijed zadanih 8 čvorova, duljina zaleta prilikom uzljetanja korigira se pomoću jednadžbe:

$$s_{TOw} = s_{TO8} \cdot \frac{(V_c - w)^2}{(V_c - 8)^2}$$

(B-10)

pri čemu:

- $s_{TOw}$  je duljina kretanja na tlu korigirana za čeoni vjetar  $w$  (ft),
- $V_c$  (u ovoj jednadžbi) je kalibrirana brzina pri rotaciji tijekom uzljetanja u čvorovima (kt),

w je čeoni vjetar u čvorovima (kt).

Duljina zaleta također se korigira za nagib uzletno-sletne staze kako slijedi:

$$s_{TOG} = s_{TO*} \cdot \frac{a}{(a - g \cdot G_R)} \quad (B-11)$$

pri čemu:

- $s_{TOG}$  je duljina kretanja na tlu (ft) korigirana za čeoni vjetar i nagib uzletno-sletne staze,
- $a$  je prosječno ubrzanje duž uzletno-sletne staze, koje je jednako  $(V_c \cdot \sqrt{\sigma})^2 / (2 \cdot s_{TO*})$  (ft/s<sup>2</sup>)
- $G_R$  je nagib uzletno-sletne staze; pozitivan je kad je uzljetanje pod nagibom prema gore.

### B6 Penjanje konstantnom brzinom

Ova vrsta segmenta određuje se pomoću kalibrirane brzine aviona, položaja zakrilaca te visine i bočnog nagiba na njegovu kraju, zajedno s brzinom čeonog vjetra (unaprijed zadana vrijednost je 8 čvorova). Kao za svaki segment, parametri početka segmenta, uključujući korigirani neto potisak, uzimaju se kao jednaki onima na kraju prethodnog segmenta – ne postoje prekidi (osim kuta zakrilaca i bočnog nagiba koji se u tim izračunima mogu mijenjati u koracima). Neto potisak na kraju segmenta prvo se izračunava primjenom odgovarajuće jednadžbe od B-1 do B-5. Prosječni geometrijski kut penjanja  $\gamma$  (vidjeti sliku B-1) zatim se određuje primjenom jednadžbe

$$\gamma = \arcsin \left( K \cdot \left[ N \cdot \frac{F_* / \delta}{W / \delta} - \frac{R}{\cos \varepsilon} \right] \right) \quad (B-12)$$

pri čemu crte iznad članova jednadžbe označavaju vrijednosti na sredini segmenta (= prosjek vrijednosti početne i krajnje točke – općenito vrijednosti sa sredine segmenta) i

- $K$  je konstanta koja ovisi o brzini i iznosi 1,01 kad je  $V_c \leq 200$  čvorova ili 0,95 u ostalim slučajevima. Ta konstanta uzima u obzir učinke gradijenta penjanja pri penjanju u čeoni vjetar od 8 čvorova i ubrzanja svojstvenog za penjanje pri konstantnoj kalibriranoj brzini na gradijent penjanja (stvarna brzina raste kako se gustoća zraka smanjuje s visinom).
- $R$  je omjer između koeficijenta aerodinamičnog otpora aviona i njegova koeficijenta sile uzgona koji odgovara položaju zakrilaca. Pretpostavlja se da je podvozje uvučeno.
- $\varepsilon$  Bočni nagib u radijanima.

Kut penjanja se korigira za čeoni vjetar w pomoću:

$$\gamma_w = \gamma \cdot \frac{(V_c - g)}{(V_c - w)}$$

(B-13)

pri čemu je  $\gamma_w$  prosječni kut penjanja korigiran za čeoni vjetar.

Udaljenost koju avion prijeđe duž tlocrta putanje,  $\Delta s$ , dok se penje pod kutom  $\gamma_w$ , s početne visine  $h_1$  na konačnu visinu  $h_2$  dobiva se primjenom jednadžbe

$$\Delta s = \frac{(h_2 - h_1)}{\tan \gamma_w}$$

(B-14)

U pravilu, dvije različite faze profila odleta uključuju penjanje na konstantnoj brzini. Prva faza, koja se ponekad naziva *segmentom početnog penjanja*, odvija se odmah nakon uzljetanja, pri čemu sigurnosni zahtjevi nalaže da avion leti najmanje minimalnom brzinom leta koja je jednaka najmanje sigurnosnoj brzini uzljetanja. To je regulirana brzina i tijekom normalnog rada trebala bi se postići do visine od 35 stopa iznad uzletno-sletne staze.

Međutim, uobičajena je praksa da se brzina početnog penjanja drži malo iznad sigurnosne brzine uzljetanja, obično za 10 – 20 čvorova, jer se time obično poboljšava postignuti gradijent početnog penjanja. Druga faza slijedi nakon uvlačenja zakrilaca i početnog ubrzanja i naziva se *nastavkom penjanja*.

Tijekom početnog penjanja brzina leta ovisi o položaju zakrilaca pri uzljetanju i bruto težini aviona. Kalibrirana brzina početnog penjanja  $V_{CTO}$  izračunava se primjenom aproksimacije prvog reda:

$$V_{CTO} = C \cdot \sqrt{W}$$

(B-15)

pri čemu je  $C$  koeficijent koji odgovara položaju zakrilaca (kt/vlbf) i očitava se iz baze podataka ANP.

Za nastavak penjanja nakon ubrzanja kalibrirana brzina leta je parametar koji unosi korisnik.

### B7 Smanjenje snage (prijezlazni segment)

U jednom trenutku nakon uzljetanja snaga se *smanjuje* u odnosu na snagu pri uzljetanju kako bi se produljio životni vijek motora i, često, kako bi se smanjila buka u određenim područjima. Potisak se obično smanjuje tijekom segmenta penjanja konstantnom brzinom (odjeljak B6) ili tijekom segmenta ubrzanja (odjeljak B8). Budući da se radi o relativno kratkom postupku koji obično traje samo od 3 do 5 sekundi, on se modelira dodavanjem »prijezlaznog segmenta« primarnom segmentu. Obično se smatra da se njime pokriva horizontalna udaljenost na tlu od 1000 stopa (305 m).

### Iznos smanjenja potiska

Pri normalnom radu potisak motora smanjuje se na maksimalnu vrijednost potiska pri penjanju. Za razliku od potiska pri uzljetanju, potisak pri penjanju može se održati na neodređeno vrijeme, u praksi obično dok avion ne dosegne svoju početnu visinu krstarenja. Maksimalna razina potiska pri penjanju određuje se primjenom jednadžbe B-1 koristeći

najveće koeficijente potiska koje dostavlja proizvođač. Međutim, zbog zahtjeva za smanjenje buke može biti potrebno dodatno smanjenje potiska, koje se ponekad naziva dubokim smanjenjem. Iz sigurnosnih razloga najveće smanjenje potiska ograničeno je<sup>[28]</sup>(»Postupci za smanjenje buke«, ICAO dokument 8168 »PANS-OPS«, svezak 1., dio V., poglavljje 3., ICAO 2004.) na vrijednost koja se određuje na osnovi performansi aviona i broja motora.

Najmanja razina »smanjenog potiska« ponekad se naziva »smanjenim potiskom kod otkaza jednog motora«:

$$(F_a / \delta_2)_{\text{engaged}} = \frac{(W / \delta_2)}{(N-1)} \cdot \left[ \frac{\sin(\arctan(0,01 \cdot G'))}{K} + \frac{R}{\cos \varepsilon} \right] \quad (\text{B-16})$$

pri čemu:

$\delta_2$  je omjer tlaka na visini  $h_2$ ,

postotak gradijenta penjanja kod otkaza jednog motora:

= 0 % za avione s automatskim sustavima ponovne uspostave potiska;

$G'$  u ostalim slučajevima,

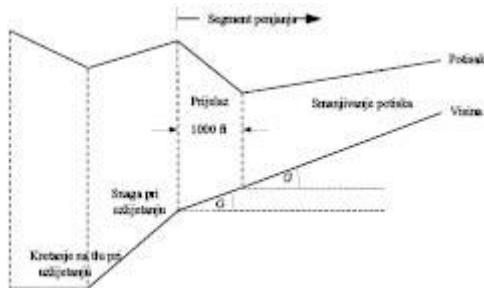
= 1,2 % za avion s 2 motorima,

= 1,5 % za avion s 3 motorima,

= 1,7 % za avion s 4 motorima.

### Segment penjanja konstantnom brzinom uz smanjenje potiska

Gradijent segmenta penjanja izračunava se primjenom jednadžbe B-12, s time da se potisak izračunava bilo primjenom jednadžbe B-1 s maksimalnim koeficijentima uspona ili primjenom jednadžbe B-16 za smanjeni potisak. Segment penjanja zatim se dijeli na dva podsegmenta koja imaju isti kut penjanja. To je prikazano na slici B-2.



Slika B-2: Segment penjanja konstantnom brzinom uz smanjenje potiska (ilustracija – nije u mjerilu)

Prvom podsegmentu dodijeljena je duljina na tlu od 1000 stopa (304 m), a korigirani neto potisak po motoru na kraju te duljine od 1000 stopa izjednačen je s vrijednošću smanjenja potiska. (Ako je prvotna horizontalna udaljenost manja od 2000 stopa, polovica segmenta upotrebljava se za smanjenje potiska.) Konačni potisak na drugom podsegmentu također je

jednak vrijednostima smanjenja potiska. Stoga se drugi podsegment prelijeće uz konstantan potisak.

### B8 Penjanje s ubrzavanjem i uvlačenje zakrilaca

Ovo obično slijedi nakon početnog penjanja. Kao i za sve segmente penjanja, visina početne točke  $h_1$ , stvarna brzina leta  $V_{T1}$  i potisak  $(F_n/\delta)_1$  su vrijednosti s kraja prethodnog segmenta. Podatke o kalibriranoj brzini leta na krajnjoj točki  $V_{C2}$  i prosječnoj brzini penjanja  $ROC$  unosi korisnik (bočni nagib  $\epsilon$  je funkcija brzine i polumjera zaokreta). Budući da su međusobno ovisne, vrijednosti konačne visine  $h_2$ , konačne stvarne brzine leta  $V_{T2}$ , konačnog potiska  $(F_n/\delta)_2$  i duljine putanje segmenta  $\Delta s$  treba izračunati iteracijom; konačna visina  $h_2$  prvo se procjenjuje, a zatim se u više navrata preračunava primjenom jednadžbi B-16 i B-17 sve dok razlika između uzastopnih procjena ne bude manja od naznačenog odstupanja, npr. jedne stope. Praktična početna procjena je  $h_2 = h_1 + 250$  stopa.

Duljina putanje segmenta (prijeđena horizontalna udaljenost) procjenjuje se kao:

$$\Delta s_{seg} = 0,95 \cdot k^2 \cdot (V_{T2}^2 - V_{T1}^2) / 2(a_{max} - G \cdot g) \quad (B-17)$$

pri čemu:

$0,95$  je faktor za uzimanje u obzir učinka čeonog vjetra od 8 čvorova pri penjanju uz brzinu od 160 čvorova,

$k$  je konstanta za pretvaranje čvorova u ft/sec = 1,688 ft/s po čvoru,

$V_{T2}$  = stvarna brzina leta na kraju segmenta, u čvorovima (kt):  $V_{T2} = V_{C2} / \sqrt{\sigma_2}$   
 pri čemu je  $\sigma_2$  = omjer gustoće zraka na krajnjoj visini  $h_2$ ,

$a_{max}$  = najveće ubrzanje u horizontalnom letu (ft/s<sup>2</sup>) =  $g / [N \cdot F_n / \delta / (W / \delta) - R / \cos \epsilon]$

$G$  = gradijent penjanja  $\approx \frac{ROC}{60 \cdot k \cdot V_r}$   
 pri čemu je  $ROC$  = brzina penjanja, ft/min.

Upotrebom te procjene  $\Delta s$ , konačna visina  $h_{1397969777_2}$  se zatim ponovno procjenjuje pomoću:

$$h_2' = h_1 + \Delta s \cdot G / 0,95 \quad (B-18)$$

Sve dok je pogreška  $|h_{1397969777_2} - h_2|$  izvan naznačenog odstupanja, koraci B-17 i B-18 ponavljaju se koristeći vrijednosti kraja segmenta za visinu  $h_2$ , stvarnu brzinu leta  $V_{T2}$  i korigirani neto potisak po motoru  $(F_n/\delta)_2$  iz trenutačne iteracije. Kad je pogreška unutar naznačenog odstupanja, iteracijski ciklus se završava i segment ubrzavanja određen je konačnim vrijednostima kraja segmenta.

Napomena: Ako je tijekom postupka iteracije ( $a_{max} - G \cdot g < 0,02$  g), ubrzanje može biti nedostatno za postizanje željene brzine  $V_{C2}$  na razumnoj udaljenosti. U tom slučaju gradijent penjanja može se ograničiti na  $G = a_{max} / g - 0,02$ , čime se smanjuje željena brzina penjanja kako bi se održalo prihvatljivo ubrzanje. Ako je  $G < 0,01$ , treba zaključiti da nema dovoljno potiska za postizanje naznačenog ubrzanja i brzine penjanja; izračun treba okončati i provjeriti proceduralne korake<sup>[29]</sup>(U oba slučaja treba programirati računalni model tako da obavijesti korisnika o nedosljednosti.).

Duljina segmenta ubrzavanja korigira se za čeoni vjetar  $w$  pomoću:

$$\Delta s_w = \Delta s \cdot \frac{(V_r - w)}{(V_r - g)}$$

(B-19)

#### **Segment ubrzavanja sa smanjenjem potiska**

Smanjenje potiska unosi se u segment ubrzavanja na isti način kao i kod segmenta konstantne brzine, pretvaranjem njegova prvog dijela u prijelazni segment. Iznos smanjenja potiska izračunava se kao za postupak smanjivanja potiska pri konstantnoj brzini, primjenjujući samo jednadžbu B-1. Vodite računa o tome da obično nije moguće ubrzavanje i penjanje uz zadržavanje minimalne vrijednosti potiska kod otkaza jednog motora. Prijelazu potiska dodijeljena je duljina na tlu od 1000 stopa (305 m), a korigirani neto potisak po motoru na kraju te duljine od 1000 stopa izjednačen je s vrijednošću smanjenja potiska. Brzina na kraju segmenta određuje se iteracijom duljine segmenta od 1000 stopa (ako je prvotna horizontalna udaljenost manja od 2000 stopa, polovica segmenta upotrebljava se za promjenu potiska.) Konačni potisak na drugom podsegmentu također je jednak vrijednostima smanjenja potiska. Stoga se drugi podsegment preljeće uz konstantan potisak.

#### **B9 Dodatni segmenti penjanja i ubrzavanja nakon uvlačenja zakrilaca**

Ako se dodatni segmenti ubrzavanja uključuju u putanju leta tijekom penjanja, jednadžbe B-12 do B-19 trebalo bi ponovno upotrijebiti za izračun udaljenosti tlocrta putanje, prosječnog kuta penjanja i postignute visine za svaki segment. Kao i prije, konačnu visinu segmenta treba procijeniti iteracijom.

#### **B10 Snižavanje i usporavanje**

Prilaženje obično zahtijeva smanjenje visine i usporavanje aviona kako bi se pripremio za segment završnog prilaza u kojem su avionu zakrilca u položaju za prilaz, a podvozje spušteno. Nema promjena u mehanici leta u odnosu na odlet; glavna je razlika da su profili visine i brzine općenito poznati, dok se razine potiska motora moraju procijeniti za svaki segment. Osnovna jednadžba ravnoteže snage je:

$$F_n / \delta = W \cdot \frac{R \cdot \cos \gamma + \sin \gamma + a / g}{N \cdot \delta}$$

(B-20)

Jednadžba B-20 može se rabiti na dva različita načina. Prvo se mogu definirati brzine aviona na početku i kraju segmenta, zajedno s kutom snižavanja (ili udaljenošću horizontalnog segmenta) te početnim i konačnim visinama segmenta. U tom se slučaju usporavanje može izračunati primjenom sljedeće jednadžbe:

$$\alpha = \frac{(V_2 / \cos \gamma)^2 - (V_1 / \cos \gamma)^2}{(2 \cdot \Delta s / \cos \gamma)} \quad (B-21)$$

pri čemu je  $\Delta s$  prijeđena udaljenost na tlu, a  $V_1$  i  $V_2$  su početne i konačne horizontalne brzine koje se izračunavaju primjenom jednadžbe

$$V = \frac{V_c \cdot \cos \gamma}{\sqrt{\sigma}} - w \quad (B-22)$$

Jednadžbe B-20, B-21 i B-22 potvrđuju da će, kad se usporava na određenoj udaljenosti pri konstantnoj brzini snižavanja, jaki čioni vjetar zahtijevati jači potisak kako bi se održao isti stupanj usporavanja, a vjetar u leđa zahtijevati manji potisak kako bi se održavao isti stupanj usporavanja.

U praksi se većina, ako ne i sva, usporavanja tijekom prilaza vrše s potiskom motora pri minimalnom potisku. Stoga se za drugu primjenu jednadžbe B-20 potisak definira minimalnom vrijednošću i jednadžba se rješava iterativno kako bi se odredilo 1. usporavanje i 2. visina na kraju segmenta usporavanja – na sličan način kao kod segmenata ubrzavanja pri odletu. U tom se slučaju udaljenost usporavanja može vrlo razlikovati s obzirom na čioni vjetar i vjetar u leđa i ponekad je potrebno smanjiti kut snižavanja kako bi se dobili smisleni rezultati.

Za većinu aviona minimalni potisak nije nula i, za mnoge, također je funkcija brzine leta. Stoga se jednadžba B-20 za usporavanje rješava unoseći minimalni potisak; minimalni potisak izračunava se primjenom jednadžbe u sljedećem obliku:

$$(F_n / \delta)_{idle} = E_{idle} + F_{idle} \cdot V_c + G_{A,idle} \cdot h + G_{B,idle} \cdot h^2 + H_{idle} \cdot T \quad (B-23)$$

pri čemu su ( $E_{idle}$ ,  $F_{idle}$ ,  $G_{A,idle}$ ,  $G_{B,idle}$  i  $H_{idle}$ ) koeficijenti motora pri minimalnom potisku dostupni u bazi podataka ANP.

### B11 Završni prilaz

Kalibrirana brzina leta za završni prilaz,  $V_{CA}$ , povezana je s bruto težinom zrakoplova pri slijetanju jednadžbom istog oblika kao jednadžba B-11, naime

$$V_{CA} \approx D \cdot \sqrt{W} \quad (B-24)$$

pri čemu koeficijent  $D$  (kt/vlbf) odgovara položaju zakrilaca za slijetanje.

Korigirani neto potisak po motoru tijekom snižavanja duž klizne ravnine prilaza izračunava se rješavanjem jednadžbe B-12 za težinu pri slijetanju  $W$  i omjer između otpora i uzgona  $R$  koji je primjereno za položaj zakrilaca s izvučenim podvozjem. Položaj zakrilaca trebao bi biti onaj koji se obično upotrebljava u stvarnim operacijama. Tijekom završnog prilaza može se pretpostaviti da je kut snižavanja na kliznoj ravnini γ konstantan. Za avione na mlazni pogon i elisne avione s više motora γ obično iznosi  $-3^\circ$ . Za elisne avione s jednim motorom γ obično iznosi  $-5^\circ$ .

Prosječni korigirani neto potisak po motoru izračunava se okretanjem jednadžbe B-12 pri upotrebi  $K = 1,03$  kako bi se uzelo u obzir usporenje svojstveno letu na silaznoj putanji u referentni čeoni vjetar od 8 čvorova pri konstantnoj kalibriranoj brzini leta koju dobivamo jednadžbom B-24, tj.

$$\overline{F_n/\delta} = \frac{\overline{W/\delta}}{N} \cdot \left( R + \frac{\sin \gamma}{1.03} \right)$$

(B-25)

Za čeoni vjetar koji ne iznosi 8 čvorova prosječni korigirani neto potisak postaje

$$\overline{(F_n/\delta)}_w = \overline{F_n/\delta} + 1.03 \cdot \overline{W/\delta} \cdot \frac{\sin \gamma \cdot (w-8)}{N \cdot V_{C4}}$$

(B-26)

Prijeđena horizontalna udaljenost izračunava se kako slijedi:

$$\Delta s = \frac{(h_2 - h_1)}{\tan \gamma}$$

(B-27)

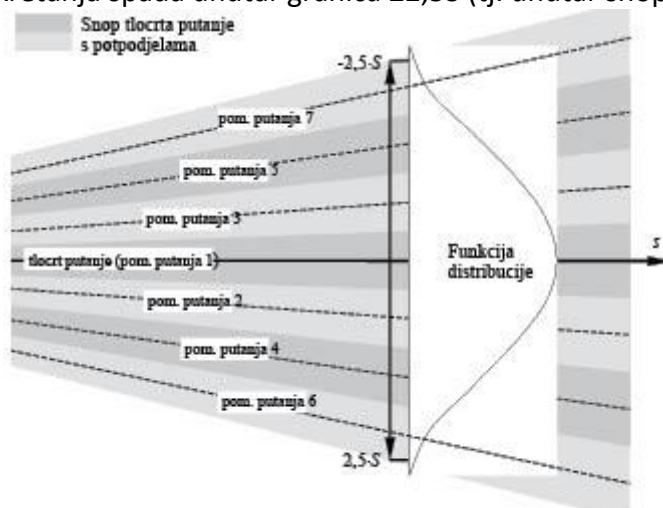
(pozitivna je budući da je  $h_1 > h_2$  i vrijednost  $\gamma$  je negativna).

## Dodatak C

### MODELIRANJE BOČNE RASPRŠENOSTI TLOCRTA PUTANJE

Preporučuje se da se, u nedostatku radarskih podataka, bočna raspršenost tlocrta putanje modelira na temelju pretpostavke da širenje putanja okomito na glavnu putanju slijedi normalnu Gaussovou raspodjelu. Iskustvo je pokazalo da je to razumna pretpostavka u većini slučajeva.

Ako prepostavimo Gaussovou raspodjelu uz standardnu devijaciju  $S$ , prikazanu na slici C-1, oko 98,8 posto svih kretanja spada unutar granica  $\pm 2,5S$  (tj. unutar snopa širine  $5S$ ).



Slika C-1: Potpodjela tlocrta putanje na 7 pomoćnih putanja. Širina snopa je 5 puta veća od standardne devijacije za širenje tlocrta putanje.

Gaussov raspodjelu može se obično modelirati na odgovarajući način koristeći 7 zasebnih pomoćnih putanja ravnomjerno raspoređenih između  $\pm 2,5S$  granica snopa kako je prikazano na slici C-1.

Međutim, primjerenost približne procjene ovisi o odnosu između razdvajanja putanje na pomoćne putanje u odnosu na visine zrakoplova. Mogu postojati slučajevi (vrlo uske ili vrlo raspršene putanje) u kojima je primjereniji različit broj pomoćnih putanja. Premalo pomoćnih putanja uzrokuje pojavljivanje »prstiju« u konturama buke. U tablicama C-1 i C-2 prikazani su parametri za podjelu na 5 do 13 pomoćnih putanja. U tablici C-1 prikazan je položaj pojedinih pomoćnih putanja, a u tablici C-2 odgovarajući postotak kretanja na svakoj pomoćnoj putanji.

*Tablica C-1 Položaj 5, 7, 9, 11 ili 13 pomoćnih putanja*

Ukupna širina snopa (koja sadrži 98 % svih kretanja) je 5 puta veća od standardne devijacije

Broj pomoćnih putanja	Položaj pomoćnih putanja za poddjelu na				
	5 pomoćnih putanja	7 pomoćnih putanja	9 pomoćnih putanja	11 pomoćnih putanja	13 pomoćnih putanja
12 / 13					$\pm 2,31S$
10 / 11				$\pm 2,27S$	$\pm 1,92S$
8 / 9			$\pm 2,22S$	$\pm 1,82S$	$\pm 1,54S$
6 / 7		$\pm 2,14S$	$\pm 1,67S$	$\pm 1,36S$	$\pm 1,15S$
4 / 5	$\pm 2,00S$	$\pm 1,43S$	$\pm 1,11S$	$\pm 0,91S$	$\pm 0,77S$
2 / 3	$\pm 1,00S$	$\pm 0,71S$	$\pm 0,56S$	$\pm 0,45S$	$\pm 0,38S$
1	0	0	0	0	0

*Tablica C-2 Postotak kretanja na 5, 7, 9, 11 ili 13 pomoćnih putanja*

Ukupna širina snopa (koja sadržava 98 % svih kretanja) je 5 puta veća od standardne devijacije

Broj pomoćnih putanja	Postotak kretanja na pomoćnim putanjama za poddjelu na				
	5 pomoćnih putanja	7 pomoćnih putanja	9 pomoćnih putanja	11 pomoćnih putanja	13 pomoćnih putanja
12 / 13					1,1 %



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70

Kontakt: Dario Ilija Rendulić

Email:

info@thoriumsoftware.eu;

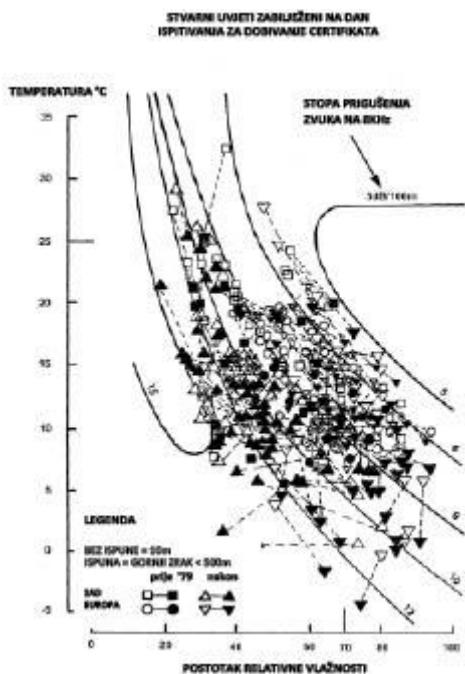
direndulic@gmail.com

<b>10 / 11</b>				1,4 %	2,5 %
<b>8 / 9</b>			2,0 %	3,5 %	4,7 %
<b>6 / 7</b>		3,1 %	5,7 %	7,1 %	8,0 %
<b>4 / 5</b>	6,3 %	10,6 %	12,1 %	12,1 %	11,5 %
<b>2 / 3</b>	24,4 %	22,2 %	19,1 %	16,6 %	14,4 %
<b>1</b>	38,6 %	28,2 %	22,2 %	18,6 %	15,6 %

## Dodatak D

### PONOVNI IZRAČUN NPD PODATAKA ZA NEREFERENTNE UVJETE

Doprinosi svakog segmenta putanje leta razini buke izvode se iz NPD podataka pohranjenih u međunarodnoj bazi podataka ANP. Međutim, treba napomenuti da su ti podaci normalizirani upotrebom prosječnih stopa atmosferskog prigušenja utvrđenih u standardu SAE AIR-1845. Te su stope prosjeci vrijednosti određenih za vrijeme ispitivanja zrakoplova za dobivanje certifikata o buci u Europi i SAD-u. Velike razlike u atmosferskim uvjetima (temperatura i relativna vlažnost) u tim ispitivanjima prikazane su na slici D-1.



Slika D-1: Meteorološki uvjeti zabilježeni tijekom ispitivanja za dobivanje certifikata o buci. Krivulje prikazane na slici D-1, izračunane upotrebom standardnog industrijskog modela atmosferskog prigušenja ARP 866A, pokazuju da se u raznovrsnim ispitnim uvjetima mogu očekivati znatne varijacije apsorpcije zvuka visoke frekvencije (8 kHz), iako bi varijacija ukupne apsorpcije bila manja.

Budući da su stope prigušenja navedene u tablici D-1 aritmetički prosjeci, čitav se skup ne može povezati s jednom referentnom atmosferom (tj. s posebnim vrijednostima temperature i relativne vlažnosti). O njima se može razmišljati samo kao o svojstvima posve teoretske atmosfere koja se naziva »AIR-1845 atmosfera«.

*Tablica D-1*

Prosječne stope atmosferskog prigušenja koje se upotrebljavaju za normalizaciju NPD podataka u bazi podataka ANP

Središnja frekvencija pojasa širine 1/3 oktave [Hz]	Stopa prigušenja [dB/100 m]	Središnja frekvencija pojasa širine 1/3 oktave [Hz]	Stopa prigušenja [dB/100 m]
50	0,033	800	0,459
63	0,033	1 000	0,590
80	0,033	1 250	0,754
100	0,066	1 600	0,983
125	0,066	2 000	1,311
160	0,098	2 500	1,705
200	0,131	3 150	2,295
250	0,131	4 000	3,115
315	0,197	5 000	3,607
400	0,230	6 300	5,246
500	0,295	8 000	7,213
630	0,361	10 000	9,836

Koeficijenti prigušenja iz tablice D-1 mogu se smatrati valjanima u razumnom rasponu temperature i vlažnosti. Ipak, kako bi se provjerilo jesu li potrebne prilagodbe, treba upotrebljavati ARP-866A za izračun prosječnih koeficijenata atmosferske apsorpcije za prosječnu temperaturu zračne luke  $T$  i relativnu vlažnost  $RH$ . Ako se na osnovu usporedbe tih koeficijenata s onima u tablici D-1 ocijeni da je potrebna prilagodba, trebala bi se upotrebljavati metodologija opisana u nastavku.

Baza podataka ANP pruža sljedeće NPD podatke za svaki režim rada motora:

- maksimalna razina zvuka u odnosu na izravnu udaljenost,  $L_{max}(d)$ ,
- vremenski integrirana razina u odnosu na udaljenost za referentnu brzinu leta,  $L_E(d)$ , i
- nevrednovani referentni zvučni spektar na izravnoj udaljenosti od 305 m (1000 ft),  $L_{n,ref}(d_{ref})$  pri čemu je  $n$  = frekvencijski pojas (u rasponu od 1 do 24 za pojaseve širine 1/3 oktave sa središnjim frekvencijama od 50 Hz do 10 kHz),

pri čemu su svi podaci normalizirani na atmosferu AIR-1845.

Prilagodba NPD krivulja uvjetima  $T$  i  $RH$  koje je naveo korisnik vrši se u tri koraka:

1. Prvo se korigira referentni spektar kako bi se uklonilo atmosfersko prigušenje SAE AIR-1845  $\alpha_{n,ref}$ :

$$L_n(d_{ref}) = L_{n,ref}(d_{ref}) + \alpha_{n,ref} \cdot d_i \quad (D-1)$$

pri čemu je  $L_n(d_{ref})$  neprigušeni spektar na udaljenosti  $d_{ref} = 305$  m i  $\alpha_{n,ref}$  je koeficijent atmosferske apsorpcije za frekvencijski pojas  $n$  preuzet iz tablice D-1 (ali izražen u dB/m).

2. Zatim se korigirani spektar prilagođava svakoj od deset standardnih NPD udaljenosti  $d_i$  koristeći stope prigušenja za i. atmosferu iz standarda SAE AIR-1845 i ii. atmosferu koju je naveo korisnik (na temelju standarda SAE ARP-866A).
- i. Za atmosferu iz standarda SAE AIR-1845:

$$L_{n,ref}(d_i) = L_n(d_{ref}) - 20 \cdot \lg(d_i / d_{ref}) - \alpha_{n,ref} \cdot d_i \quad (D-2)$$

- ii. Za atmosferu korisnika:

$$L_{n,866A}(T, RH, d_i) = L_n(d_{ref}) - 20 \cdot \lg(d_i / d_{ref}) - \alpha_{n,866A}(T, RH) \cdot d_i \quad (D-3)$$

pri čemu je  $\alpha_{n,866A}$  koeficijent atmosferske apsorpcije za frekvencijski pojas  $n$  (izražen u dB/m) izračunan pomoću standarda SAE ARP-866A s temperaturom  $T$  i relativnom vlažnošću  $RH$ .

3. Na svakoj NPD udaljenosti ( $d_i$ ) dva su spektra A-vrednovana pa se njihovi decibeli zbrajaju kako bi se dobile A-vrednovane razine  $L_{A,866A}$  i  $L_{A,ref}$  koje se zatim aritmetički oduzimaju:

$$\Delta L(T, RH, d_i) = L_{A,866A} - L_{A,ref} = 10 \cdot \lg \sum_{n=1}^{24} 10^{(L_{n,866A}(T, RH, d_i) - A_n)/10} - 10 \cdot \lg \sum_{n=1}^{24} 10^{(L_{n,ref}(d_i) - A_n)/10} \quad (D-4)$$

Promjena  $\Delta L$  je razlika između NPD podataka u atmosferi koju je naveo korisnik i referentnoj atmosferi. Ona se dodaje vrijednostima NPD podataka iz baze podataka ANP kako bi se dobili prilagođeni NPD podaci.

Primjenom  $\Delta L$  za prilagodbu NPD podataka  $L_{max}$  i  $L_E$  praktički se prepostavlja da različiti atmosferski uvjeti utječu samo na referentni spektar i nemaju nikakav utjecaj na oblik proteka razina kroz vrijeme. To se može smatrati valjanim za tipične raspone širenja i za tipične atmosferske uvjete.

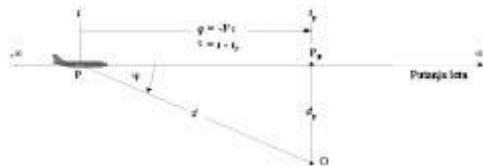
## Dodatak E

### KOREKCIJA ZA OGRANIČENI SEGMENT

U ovom se dodatku opisuje izvođenje korekcije za ograničeni segment i povezani algoritam za izračun energetskih udjela opisan u odjeljku 2.7.19.

#### E1 Geometrija

Algoritam za izračun energetskih udjela temelji se na zračenju zvuka 90-stupanjskog dipolnog izvora zvuka »na četvrtu potenciju«. On ima svojstva usmjerenosti koja približno sliče onima zvuka mlaznog zrakoplova, barem u kutnom području koje najviše utječe na razine zvučnih događaja ispod i pored putanje leta zrakoplova.



Slika E-1: Geometrija između putanje leta i lokacije promatrača O

Na slici E-1 prikazana je geometrija širenja zvuka između putanje leta i lokacije promatrača O. Zrakoplov na točki P leti konstantnom brzinom kroz miran i ujednačen zrak i slijedi horizontalno ravnu putanju leta. Njegova najbliža točka prilaska promatraču je Pp. Parametri su:

- $d$  udaljenost od promatrača do zrakoplova,
- $d_p$  udaljenost (pod pravim kutom u odnosu na putanju) od promatrača do putanje leta (izravna udaljenost),
- $q$  udaljenost od P do Pp =  $-V \cdot t$ ,
- $V$  brzina zrakoplova,
- $t$  vrijeme kad je zrakoplov na točki P,
- $t_p$  vrijeme kad se zrakoplov nalazi na točki najbližeg prilaska Pp,
- $\tau$  vrijeme leta = vrijeme u odnosu na vrijeme na točki Pp =  $t - t_p$ ,
- $\psi$  kut između putanje leta i vektora promatrača zrakoplova.

Treba napomenuti da, budući da je vrijeme leta  $\tau$  u odnosu na točku najbližeg prilaska negativno kad se zrakoplov nalazi ispred položaja promatrača (kako je prikazano na slici E-1), relativna udaljenost  $q$  do točke najbližeg prilaska u tom slučaju postaje pozitivna. Ako se zrakoplov nalazi ispred promatrača, udaljenost  $q$  postaje negativna.

## E2 Procjena energetskog udjela

Osnovni koncept energetskog udjela je izražavanje izloženosti buci  $E$  koja nastaje na položaju promatrača sa segmenta putanje leta P1P2 (s početnom točkom P1 i krajnjom točkom P2) množenjem izloženosti  $E_\infty$  iz čitave beskonačne putanje prelijetanja jednostavnim faktorom – faktorom *energetskog udjela*  $F$ :

$$E = F \cdot E_\infty \quad (\text{E-1})$$

S obzirom na to da se izloženost može izraziti kao vremenski integral (vrednovane) srednje kvadratne vrijednosti razine zvučnog tlaka, tj.

$$E = \text{const} \cdot \int p^2(\tau) d\tau \quad (\text{E-2})$$

za izračun vrijednosti  $E$ , srednja kvadratna vrijednost tlaka mora biti izražena kao funkcija poznatih geometrijskih i operativnih parametara. Za 90-stupanjski dipolni izvor zvuka,

$$p^2 = p_p^2 \cdot \frac{d_p^2}{d^2} \cdot \sin^2 \psi = p_p^2 \cdot \frac{d_p^4}{d^4}$$

(E-3)

pri čemu su  $p^2$  i  $p_p^2$  promatrane vrijednosti srednje kvadratne vrijednosti zvučnog tlaka koji stvara zrakoplov dok prelazi točke P i Pp.

Pokazalo se da taj relativno jednostavan odnos pruža dobru simulaciju buke mlaznog zrakoplova, iako su stvarni mehanizmi u pozadini buke vrlo složeni. Član  $d_p^2/d^2$  u jednadžbi E-3 opisuje samo mehanizam sferičnog širenja primjeren točkastom izvoru zvuka, beskonačnoj brzini zvuka i ujednačenoj, neraspršujućoj atmosferi. Svi su drugi fizički utjecaji – usmjerenošć izvora, ograničena brzina zvuka, atmosferska apsorpcija, Dopplerov pomak itd. – implicitno obuhvaćeni članom jednadžbe  $\sin^2 \psi$ . Taj faktor uzrokuje obrnuto proporcionalno smanjenje srednje kvadratne vrijednosti tlaka, što je izraženo kao  $d^4$ ; iz toga proizlazi izraz »izvor na četvrtu potenciju«.

Uvođenjem zamjena

$$d^2 = d_p^2 + q^2 = d_p^2 + (V \cdot \tau)^2 \quad \text{i} \quad \left(\frac{d}{d_p}\right)^2 = 1 + \left(\frac{V \cdot \tau}{d_p}\right)^2$$

srednja kvadratna vrijednost tlaka može se izraziti kao funkcija vremena (ponovo ne uzimajući u obzir vrijeme širenja zvuka):

$$p^2 = p_p^2 \cdot \left(1 + \left(\frac{V \cdot \tau}{d_p}\right)^2\right)^{-2}$$

(E-4)

Ako se to umetne u jednadžbu (E-2) i obavi zamjena

$$\alpha = \frac{V \cdot \tau}{d_p}$$

(E-5)

izloženost promatrača zvuku prelijetanja između vremenskog intervala  $[\tau_1, \tau_2]$  može se izraziti kao

$$E = \text{const} \cdot p_p^2 \cdot \frac{d_p}{V} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{1}{(1+\alpha^2)^2} d\alpha$$

(E-6)

Rješenje tog integrala je:

$$E = \text{const} \cdot p_p^2 \cdot \frac{d_p}{V} \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_2}{1+\alpha_2^2} + \arctan \alpha_2 - \frac{\alpha_1}{1+\alpha_1^2} - \arctan \alpha_1 \right)$$

(E-7)

Integracija u intervalu  $[-\infty, +\infty]$  (tj. tijekom čitave beskonačne putanje leta) daje sljedeći izraz za ukupnu izloženost  $E_\infty$ :

$$E_\infty = \text{const} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot p_p^2 \cdot \frac{d_p}{V}$$

(E-8)

i stoga je energetski udio prema jednadžbi E-1

$$F = \frac{1}{\pi} \left( \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_2^2} + \arctan \alpha_2 - \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1^2} - \arctan \alpha_1 \right) \quad (\text{E-9})$$

**E3 Dosljednost maksimalnih i vremensko integriranih parametara – prilagođena udaljenost**  
 Posljedica upotrebe jednostavnog dipolnog modela za utvrđivanje energetskog udjela jest to da se podrazumijeva posebna teoretska razlika  $\Delta L$  između razina buke događaja  $L_{max}$  i  $L_E$ . Ako želimo da model konture bude interna dosljedan, to treba biti jednak razlici vrijednosti utvrđenih na osnovi NPD krivulja. Problem je da su NPD podaci dobiveni iz stvarnih mjerjenja buke zrakoplova koja ne moraju nužno biti u skladu s jednostavnom teorijom. Stoga je potrebno teoriji dodati element fleksibilnosti. Ipak, u principu su varijable  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  određene geometrijom i brzinom zrakoplova, čime se ne ostavlja nikakva dodatna sloboda. Rješenje nudi koncept *prilagođene udaljenosti*  $d_\lambda$  kako slijedi.

Razina izloženosti  $L_{E,\infty}$  prikazana kao funkcija  $d_p$  u bazi podataka ANP za referentnu brzinu  $V_{ref}$ , može se izraziti kao

$$L_{E,\infty}(V_{ref}) = 10 \cdot \lg \left[ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} p^2 dt}{P_0^2 \cdot t_{ref}} \right] \quad (\text{E-10})$$

pri čemu je  $P_0$  standardni referentni tlak, a  $t_{ref}$  je referentno vrijeme (= 1 s za SEL). Za stvarnu brzinu  $V$  ona postaje

$$L_{E,\infty}(V) = L_{E,\infty}(V_{ref}) + 10 \cdot \lg \left( \frac{V_{ref}}{V} \right) \quad (\text{E-11})$$

Na sličan se način maksimalna razina događaja  $L_{max}$  može zapisati kao

$$L_{max} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{P_p^2}{P_0^2} \right] \quad (\text{E-12})$$

Za dipolni izvor, pomoću jednadžbi E-8, E-11 i E-12, imajući na umu da je (iz jednadžbi E-2 i E-8),

razlika  $\Delta L$  može se zapisati na sljedeći način:

$$\Delta L = L_{E,\infty} - L_{max} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{V}{V_{ref}} \left( \frac{\pi}{2} P_p^2 \frac{d_p}{V} \right) \cdot \frac{1}{P_0^2 \cdot t_{ref}} \right] - 10 \cdot \lg \left[ \frac{P_p^2}{P_0^2} \right] \quad (\text{E-13})$$

Ta se razlika može izjednačiti s vrijednošću  $\Delta L$  određenom na temelju NPD podataka ako se izravna udaljenost  $d_p$  koja se upotrebljava za izračunavanje energetskog udjela zamijeni *prilagođenom udaljenošću*  $d_\lambda$  izraženom formulom

$$d_\lambda = \frac{2}{\pi} \cdot V_{ref} \cdot t_{ref} \cdot 10^{(L_{ref} - L_{max})/10} \quad (E-14a)$$

ili

$$d_\lambda = d_0 \cdot 10^{(L_{ref} - L_{max})/10} \quad \text{sa} \quad d_0 = \frac{2}{\pi} \cdot V_{ref} \cdot t_{ref} \quad (E-14b)$$

Ako u jednadžbi E-5 zamijenimo  $d_p$  vrijednošću  $d_\lambda$  i upotrijebimo definiciju  $q = V\tau$  sa **slike E-1**, parametri  $\alpha_1$  i  $\alpha_2$  u jednadžbi E-9 mogu se zapisati (stavivši  $q = q_1$  na početnu točku i  $q = q_2$  na krajnju točku segmenta putanje leta duljine  $\lambda$ ) kao

$$\alpha_1 = \frac{-q_1}{d_\lambda} \quad \text{i} \quad \alpha_2 = \frac{-q_1 + \lambda}{d_\lambda} \quad (E-15)$$

Nužnost zamjene stvarne izravne udaljenosti prilagođenom udaljenošću umanjuje jednostavnost modela 90-stupanjskog dipola na četvrtu potenciju. Međutim, budući da se učinkovito kalibrira na licu mjesta pomoću podataka dobivenih mjerenjima, algoritam za izračun energetskih udjela može se prije smatrati poluempirijskim nego posve teoretskim.

## Dodatak F

### BAZA PODATAKA ZA IZVORE BUKE CESTOVNOG PROMETA

U ovom se prilogu nalazi baza podataka koja obuhvaća većinu postojećih izvora buke cestovnog prometa. Namijenjena je za izračunavanje buke cestovnog prometa prema modelu opisanom u odjeljku 2.2. Buka cestovnog prometa.

Tablica F-1 Koeficijenti  $A_{R,i,m}$  i  $B_{R,i,m}$  za buku kotrljanja i  $A_{P,i,m}$  i  $B_{P,i,m}$  za buku pogona

Kategorija	Koeficijent								
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$A_R$	79,7	85,7	84,5	90,2	97,3	93,9	84,1	74,3
	$B_R$	30	41,5	38,9	25,7	32,5	37,2	39	40
	$A_P$	94,5	89,2	88	85,9	84,2	86,9	83,3	76,1
	$B_P$	-1,3	7,2	7,7	8	8	8	8	8
2	$A_R$	84	88,7	91,5	96,7	97,4	90,9	83,8	80,5
	$B_R$	30	35,8	32,6	23,8	30,1	36,2	38,3	40,1
	$A_P$	101	96,5	98,8	96,8	98,6	95,2	88,8	82,7
	$B_P$	-1,9	4,7	6,4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
3	$A_R$	87	91,7	94,1	100,7	100,8	94,3	87,1	82,5

	B <sub>R</sub>	30	33,5	31,3	25,4	31,8	37,1	38,6	40,6
	A <sub>P</sub>	104,4	100,6	101,7	101	100,1	95,9	91,3	85,3
	B <sub>P</sub>	0	3	4,6	5	5	5	5	5
4a	A <sub>R</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
	B <sub>R</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
	A <sub>P</sub>	88	87,5	89,5	93,7	96,6	98,8	93,9	88,7
	B <sub>P</sub>	4,2	7,4	9,8	11,6	15,7	18,9	20,3	20,6
4b	A <sub>R</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
	B <sub>R</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
	A <sub>P</sub>	95	97,2	92,7	92,9	94,7	93,2	90,1	86,5
	B <sub>P</sub>	3,2	5,9	11,9	11,6	11,5	12,6	11,1	12
5	A <sub>R</sub>								
	B <sub>R</sub>								
	A <sub>P</sub>								
	B <sub>P</sub>								

Tablica F-2 Koeficijenti  $a_i$  i  $b_i$  za gume čavlerice

Kategorija	Koeficijent								
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	$a_i$	0,0	0,0	0,0	2,6	2,9	1,5	2,3	9,2
	$b_i$	0,0	0,0	0,0	-3,1	-6,4	-14,0	-22,4	-11,4

Tablica F-3 Koeficijenti  $C_{R,m,k}$  i  $C_{P,m,k}$  za ubrzavanje i usporavanje

Kategorija	k	Cr	Cp
1	1 = raskrižje	-4,5	5,5

	2 = kružni tok	-4,4	3,1
2	1 = raskrižje 2 = kružni tok	-4 -2,3	9 6,7
3	1 = raskrižje 2 = kružni tok	-4 -2,3	9 6,7
4a	1 = raskrižje 2 = kružni tok	0 0	0 0
4b	1 = raskrižje 2 = kružni tok	0 0	0 0
5	1 = raskrižje 2 = kružni tok		

*Tablica F-4 Koeficijenti  $\alpha_{i,m}$  i  $\beta_m$  za površinu ceste*

Opis	Najmanja brzina za koju vrijedi	Najveća brzina za koju vrijedi	Kategorija	$\alpha_m$ (63 Hz)	$\alpha_m$ (125 Hz)	$\alpha_m$ (250 Hz)	$\alpha_m$ (500 Hz)	$\alpha_m$ (1 kHz)	$\alpha_m$ (2 kHz)	$\alpha_m$ (4 kHz)	$\alpha_m$ (8 kHz)	$\beta_m$
	[km/h]	[km/h]										
Referentna površina ceste			1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
Jednoslojni ZOAB	50	130	1	0,5	3,3	2,4	3,2	-1,3	-3,5	-2,6	0,5	-6,5
			2	0,9	1,4	1,8	-0,4	-5,2	-4,6	-3,0	-1,4	0,2

			3	0,9	1,4	1,8	-0,4	-5,2	-4,6	-3,0	-1,4	0,2
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
Dvoslojni ZOAB	50	130	1	0,4	2,4	0,2	-3,1	-4,2	-6,3	-4,8	-2,0	-3,0
			2	0,4	0,2	-0,7	-5,4	-6,3	-6,3	-4,7	-3,7	4,7
			3	0,4	0,2	-0,7	-5,4	-6,3	-6,3	-4,7	-3,7	4,7
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
Dvoslojni ZOAB (sitan)	80	130	1	-1,0	1,7	-1,5	-5,3	-6,3	-8,5	-5,3	-2,4	-0,1
			2	1,0	0,1	-1,8	-5,9	-6,1	-6,7	-4,8	-3,8	-0,8
			3	1,0	0,1	-1,8	-5,9	-6,1	-6,7	-4,8	-3,8	-0,8
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
SMA-NL5	40	80	1	1,1	-1,0	0,2	1,3	-1,9	-2,8	-2,1	-1,4	-1,0
			2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

			5									
SMA-NL8	40	80	1	0,3	0,0	0,0	-0,1	-0,7	-1,3	-0,8	-0,8	-1,0
			2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
Očetkani beton	70	120	1	1,1	-0,4	1,3	2,2	2,5	0,8	-0,2	-0,1	1,4
			2	0,0	1,1	0,4	-0,3	-0,2	-0,7	-1,1	-1,0	4,4
			3	0,0	1,1	0,4	-0,3	-0,2	-0,7	-1,1	-1,0	4,4
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
Optimizirani očetkani beton	70	80	1	-0,2	-0,7	0,6	1,0	1,1	-1,5	-2,0	-1,8	1,0
			2	-0,3	1,0	-1,7	-1,2	-1,6	-2,4	-1,7	-1,7	-6,6
			3	-0,3	1,0	-1,7	-1,2	-1,6	-2,4	-1,7	-1,7	-6,6
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
Fino očetkani beton	70	120	1	1,1	-0,5	2,7	2,1	1,6	2,7	1,3	-0,4	7,7
			2	0,0	3,3	2,4	1,9	2,0	1,2	0,1	0,0	3,7
			3	0,0	3,3	2,4	1,9	2,0	1,2	0,1	0,0	3,7
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5										
Obrađena površina	50	130	1	1,1	1,0	2,6	4,0	4,0	0,1	-1,0	-0,8	-0,2	
			2	0,0	2,0	1,8	1,0	-0,7	-2,1	-1,9	-1,7	1,7	
			3	0,0	2,0	1,8	1,0	-0,7	-2,1	-1,9	-1,7	1,7	
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			5										
Kruti elementi slagani u uzorku riblje kosti	30	60	1	8,3	8,7	7,8	5,0	3,0	-0,7	0,8	1,8	2,5	
			2	8,3	8,7	7,8	5,0	3,0	-0,7	0,8	1,8	2,5	
			3	8,3	8,7	7,8	5,0	3,0	-0,7	0,8	1,8	2,5	
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			5										
Kruti elementi koji nisu slagani u uzorku riblje kosti	30	60	1	12,3	11,9	9,7	7,1	7,1	2,8	4,7	4,5	2,9	
			2	12,3	11,9	9,7	7,1	7,1	2,8	4,7	4,5	2,9	
			3	12,3	11,9	9,7	7,1	7,1	2,8	4,7	4,5	2,9	
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			5										
Tihi kruti elementi	30	60	1	7,8	6,3	5,2	2,8	-1,9	-6,0	-3,0	-0,1	-1,7	
			2	0,2	0,7	0,7	1,1	1,8	1,2	1,1	0,2	0,0	
			3	0,2	0,7	0,7	1,1	1,8	1,2	1,1	0,2	0,0	

			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
Tanak sloj A	40	130	1	1,1	0,1	-0,7	-1,3	-3,1	-4,9	-3,5	-1,5	-2,5
			2	1,6	1,3	0,9	-0,4	-1,8	-2,1	-0,7	-0,2	0,5
			3	1,6	1,3	0,9	-0,4	-1,8	-2,1	-0,7	-0,2	0,5
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									
Tanak sloj B	40	130	1	0,4	-1,3	-1,3	-0,4	-5,0	-7,1	-4,9	-3,3	-1,5
			2	1,6	1,3	0,9	-0,4	-1,8	-2,1	-0,7	-0,2	0,5
			3	1,6	1,3	0,9	-0,4	-1,8	-2,1	-0,7	-0,2	0,5
			4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			5									

## Dodatak G

### BAZA PODATAKA ZA IZVORE BUKE PRUŽNOG PROMETA

U ovom se prilogu nalazi baza podataka koja obuhvaća većinu postojećih izvora buke pružnog prometa; namijenjena je za izračunavanje buke pružnog prometa prema modelu opisanom u odjeljku 2.3. Buka pružnog prometa.

Tablica G-1. Koeficijenti  $L_{r,TR,i}$  i  $L_{r,VEH,i}$  za hrapavost tračnica i kotača

$L_{r,VEH,i}$			
Valna duljina	Tip kočnice		
	c	k	n

	Kočnica s umetkom od lijevanog željeza	Kompozitna kočnica	Disk-kočnica
1 000 mm	2,2	-4,0	-5,9
800 mm	2,2	-4,0	-5,9
630 mm	2,2	-4,0	-5,9
500 mm	2,2	-4,0	-5,9
400 mm	2,2	-4,0	-5,9
315 mm	2,2	-4,0	-5,9
250 mm	2,2	-4,0	2,3
200 mm	2,2	-4,0	2,8
160 mm	2,4	-4,0	2,6
120 mm	0,6	-4,0	1,2
100 mm	2,6	-4,0	2,1
80 mm	5,8	-4,3	0,9
63 mm	8,8	-4,6	-0,3
50 mm	11,1	-4,9	-1,6
40 mm	11,0	-5,2	-2,9
31,5 mm	9,8	-6,3	-4,9
25 mm	7,5	-6,8	-7,0
20 mm	5,1	-7,2	-8,6
16 mm	3,0	-7,3	-9,3
12 mm	1,3	-7,3	-9,5
10 mm	0,2	-7,1	-10,1
8 mm	-0,7	-6,9	-10,3
6,3 mm	-1,2	-6,7	-10,3

5 mm	-1,0	-6,0	-10,8
4 mm	0,3	-3,7	-10,9
3,2 mm	0,2	-2,4	-9,5
2,5 mm	1,3	-2,6	-9,5
2 mm	3,1	-2,5	-9,5
1,6 mm	3,1	-2,5	-9,5
1,2 mm	3,1	-2,5	-9,5
1 mm	3,1	-2,5	-9,5
0,8 mm	3,1	-2,5	-9,5

Valna duljina	L <sub>r,TR,i</sub>	
	Hrapavost tračnica	
	E	M
EN ISO 3095:2013 (Dobro održavana i vrlo glatka)		Prosječna mreža (normalno održavana tako da bude glatka)
1 000 mm	17,1	11,0
800 mm	17,1	11,0
630 mm	17,1	11,0
500 mm	17,1	11,0
400 mm	17,1	11,0
315 mm	15,0	10,0
250 mm	13,0	9,0
200 mm	11,0	8,0
160 mm	9,0	7,0

120 mm	7,0	6,0
100 mm	4,9	5,0
80 mm	2,9	4,0
63 mm	0,9	3,0
50 mm	-1,1	2,0
40 mm	-3,2	1,0
31,5 mm	-5,0	0,0
25 mm	-5,6	-1,0
20 mm	-6,2	-2,0
16 mm	-6,8	-3,0
12 mm	-7,4	-4,0
10 mm	-8,0	-5,0
8 mm	-8,6	-6,0
6,3 mm	-9,2	-7,0
5 mm	-9,8	-8,0
4 mm	-10,4	-9,0
3,2 mm	-11,0	-10,0
2,5 mm	-11,6	-11,0
2 mm	-12,2	-12,0
1,6 mm	-12,8	-13,0
1,2 mm	-13,4	-14,0
1 mm	-14,0	-15,0
0,8 mm	-14,0	-15,0

Tablica G-2. Koeficijenti  $A_{3,i}$  za kontaktni filter

A <sub>3,i</sub>					
Valna duljina	Osovinsko opterećenje 50 kN – promjer kotača 360 mm	Osovinsko opterećenje 50 kN – promjer kotača 680 mm	Osovinsko opterećenje 25 kN – promjer kotača 920 mm	Osovinsko opterećenje 50 kN – promjer kotača 920 mm	Osovinsko opterećenje 100 kN – promjer kotača 920 mm
1 000 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
630 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
500 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
400 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
315 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
250 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
160 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
120 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
80 mm	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2
63 mm	0,0	-0,2	-0,2	-0,5	-0,6
50 mm	-0,2	-0,4	-0,5	-0,9	-1,3
40 mm	-0,5	-0,7	-0,9	-1,6	-2,2
31,5 mm	-1,2	-1,5	-1,6	-2,5	-3,7
25 mm	-2,0	-2,8	-2,5	-3,8	-5,8
20 mm	-3,0	-4,5	-3,8	-5,8	-9,0
16 mm	-4,3	-7,0	-5,8	-8,5	-11,5

12 mm	-6,0	-10,3	-8,5	-11,4	-12,5
10 mm	-8,4	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0
8 mm	-12,0	-12,5	-12,6	-13,5	-14,0
6,3 mm	-11,5	-13,5	-13,5	-14,5	-15,0
5 mm	-12,5	-16,0	-14,5	-16,0	-17,0
4 mm	-13,9	-16,0	-16,0	-16,5	-18,4
3,2 mm	-14,7	-16,5	-16,5	-17,7	-19,5
2,5 mm	-15,6	-17,0	-17,7	-18,6	-20,5
2 mm	-16,6	-18,0	-18,6	-19,6	-21,5
1,6 mm	-17,6	-19,0	-19,6	-20,6	-22,4
1,2 mm	-18,6	-20,2	-20,6	-21,6	-23,5
1 mm	-19,6	-21,2	-21,6	-22,6	-24,5
0,8 mm	-20,6	-22,2	-22,6	-23,6	-25,4

Tablica G-3. Koeficijenti  $L_{H,TR,i}$ ,  $L_{H,VEH,i}$  i  $L_{H,VEH,SUP,i}$  za prijenosne funkcije

(Vrijednosti izražene u razini zvučne snage po osovini)

$L_{H,TR,i}$							
Frekvencija	Podloga kolosijeka / Tip podložnih ploča						
	B/S	B/M	B/H	B/S	B/M	B/H	B/H
Jednodjelni prag na mekoj podložnoj ploči	Jednodjelni prag na podložnoj ploči srednje krutosti	Jednodjelni prag na krutoj podložnoj ploči	Dvodjelni prag na mekoj podložnoj ploči	Dvodjelni prag na podložnoj ploči srednje krutosti	Dvodjelni prag na krutoj podložnoj ploči	Drveni pragovi	
50 Hz	53,3	50,9	50,1	50,9	50,0	49,8	44,0
63 Hz	59,3	57,8	57,2	56,6	56,1	55,9	51,0

80 Hz	67,2	66,5	66,3	64,3	64,1	64,0	59,9
100 Hz	75,9	76,8	77,2	72,3	72,5	72,5	70,8
125 Hz	79,2	80,9	81,6	75,4	75,8	75,9	75,1
160 Hz	81,8	83,3	84,0	78,5	79,1	79,4	76,9
200 Hz	84,2	85,8	86,5	81,8	83,6	84,4	77,2
250 Hz	88,6	90,0	90,7	86,6	88,7	89,7	80,9
316 Hz	91,0	91,6	92,1	89,1	89,6	90,2	85,3
400 Hz	94,5	93,9	94,3	91,9	89,7	90,2	92,5
500 Hz	97,0	95,6	95,8	94,5	90,6	90,8	97,0
630 Hz	99,2	97,4	97,0	97,5	93,8	93,1	98,7
800 Hz	104,0	101,7	100,3	104,0	100,6	97,9	102,8
1 000 Hz	107,1	104,4	102,5	107,9	104,7	101,1	105,4
1 250 Hz	108,3	106,0	104,2	108,9	106,3	103,4	106,5
1 600 Hz	108,5	106,8	105,4	108,8	107,1	105,4	106,4
2 000 Hz	109,7	108,3	107,1	109,8	108,8	107,7	107,5
2 500 Hz	110,0	108,9	107,9	110,2	109,3	108,5	108,1
3 160 Hz	110,0	109,1	108,2	110,1	109,4	108,7	108,4
4 000 Hz	110,0	109,4	108,7	110,1	109,7	109,1	108,7
5 000 Hz	110,3	109,9	109,4	110,3	110,0	109,6	109,1
6 350 Hz	110,0	109,9	109,7	109,9	109,8	109,6	109,1
8 000 Hz	110,1	110,3	110,4	110,0	110,0	109,9	109,5
10 000 Hz	110,6	111,0	111,4	110,4	110,5	110,6	110,2

L<sub>H,VEH,i</sub>

Frekvencija	Kotač promjera 920 mm, bez dodatnih mjera	Kotač promjera 840 mm, bez dodatnih mjera	Kotač promjera 680 mm, bez dodatnih mjera	Kotač promjera 1 200 mm, bez dodatnih mjera
50 Hz	75,4	75,4	75,4	75,4
63 Hz	77,3	77,3	77,3	77,3
80 Hz	81,1	81,1	81,1	81,1
100 Hz	84,1	84,1	84,1	84,1
125 Hz	83,3	82,8	82,8	82,8
160 Hz	84,3	83,3	83,3	83,3
200 Hz	86,0	84,1	83,9	84,5
250 Hz	90,1	86,9	86,3	90,4
316 Hz	89,8	87,9	88,0	90,4
400 Hz	89,0	89,9	92,2	89,9
500 Hz	88,8	90,9	93,9	90,1
630 Hz	90,4	91,5	92,5	91,3
800 Hz	92,4	91,5	90,9	91,5
1 000 Hz	94,9	93,0	90,4	93,6
1 250 Hz	100,4	98,7	93,2	100,5
1 600 Hz	104,6	101,6	93,5	104,6
2 000 Hz	109,6	107,6	99,6	115,6
2 500 Hz	114,9	111,9	104,9	115,9
3 160 Hz	115,0	114,5	108,0	116,0
4 000 Hz	115,0	114,5	111,0	116,0
5 000 Hz	115,5	115,0	111,5	116,5
6 350 Hz	115,6	115,1	111,6	116,6

8 000 Hz	116,0	115,5	112,0	117,0
10 000 Hz	116,7	116,2	112,7	117,7

L <sub>H,VEH,SUP,I</sub>	
Frekvencija	Tip vozila
	a
	Norma EU-a
50 Hz	0,0
63 Hz	0,0
80 Hz	0,0
100 Hz	0,0
125 Hz	0,0
160 Hz	0,0
200 Hz	0,0
250 Hz	0,0
316 Hz	0,0
400 Hz	0,0
500 Hz	0,0
630 Hz	0,0
800 Hz	0,0
1 000 Hz	0,0
1 250 Hz	0,0
1 600 Hz	0,0
2 000 Hz	0,0

2 500 Hz	0,0
3 160 Hz	0,0
4 000 Hz	0,0
5 000 Hz	0,0
6 350 Hz	0,0
8 000 Hz	0,0
10 000 Hz	0,0

Tablica G-4. Koeficijenti  $L_{R,IMPACT,i}$  za udarnu buku

$L_{R,IMPACT,i}$	
Valna duljina	Jedna skretnica/spoj/prijelaz/100 m
1 000 mm	22,4
800 mm	22,4
630 mm	22,4
500 mm	23,8
400 mm	24,7
315 mm	24,7
250 mm	23,4
200 mm	21,7
160 mm	20,2
120 mm	20,4
100 mm	20,8
80 mm	20,9
63 mm	19,8
50 mm	18

40 mm	16
31,5 mm	13
25 mm	10
20 mm	6
16 mm	1
12 mm	-4
10 mm	-11
8 mm	-16,5
6,3 mm	-18,5
5 mm	-21
4 mm	-22,5
3,2 mm	-24,7
2,5 mm	-26,6
2 mm	-28,6
1,6 mm	-30,6
1,2 mm	-32,6
1 mm	-34
0,8 mm	-34

Tablica G-5. Koeficijenti  $L_{W,0,idling}$  za buku vuče  
 (Vrijednosti izražene u razini zvučne snage po vozilu)

Frekvencija	$L_{W,0,idling}$				
	Tip vozila				
	d	d	d	e	e

	Dizelska lokomotiva (oko 800 kW)		Dizelska lokomotiva (oko 2 200 kW)		Dizelska motorna vozila		Električna lokomotiva		Električna motorna vozila	
	Izvor A	Izvor B	Izvor A	Izvor B	Izvor A	Izvor B	Izvor A	Izvor B	Izvor A	Izvor B
50 Hz	98,9	103,2	99,4	103,7	82,6	86,9	87,9	92,2	80,5	84,8
63 Hz	94,8	100,0	107,3	112,5	82,5	87,7	90,8	96,0	81,4	86,6
80 Hz	92,6	95,5	103,1	106,0	89,3	92,2	91,6	94,5	80,5	83,4
100 Hz	94,6	94,0	102,1	101,5	90,3	89,7	94,6	94,0	82,2	81,6
125 Hz	92,8	93,3	99,3	99,8	93,5	94,0	94,8	95,3	80,0	80,5
160 Hz	92,8	93,6	99,3	100,1	99,5	100,3	96,8	97,6	79,7	80,5
200 Hz	93,0	92,9	99,5	99,4	98,7	98,6	104,0	103,9	79,6	79,5
250 Hz	94,8	92,7	101,3	99,2	95,5	93,4	100,8	98,7	96,4	94,3
316 Hz	94,6	92,4	101,1	98,9	90,3	88,1	99,6	97,4	80,5	78,3
400 Hz	95,7	92,8	102,2	99,3	91,4	88,5	101,7	98,8	81,3	78,4
500 Hz	95,6	92,8	102,1	99,3	91,3	88,5	98,6	95,8	97,2	94,4
630 Hz	98,6	96,8	101,1	99,3	90,3	88,5	95,6	93,8	79,5	77,7
800 Hz	95,2	92,7	101,7	99,2	90,9	88,4	95,2	92,7	79,8	77,3
1 000 Hz	95,1	93,0	101,6	99,5	91,8	89,7	96,1	94,0	86,7	84,6
1 250 Hz	95,1	92,9	99,3	97,1	92,8	90,6	92,1	89,9	81,7	79,5
1 600 Hz	94,1	93,1	96,0	95,0	92,8	91,8	89,1	88,1	82,7	81,7
2 000 Hz	94,1	93,2	93,7	92,8	90,8	89,9	87,1	86,2	80,7	79,8
2 500 Hz	99,4	98,3	101,9	100,8	88,1	87,0	85,4	84,3	78,0	76,9
3 160 Hz	92,5	91,5	89,5	88,5	85,2	84,2	83,5	82,5	75,1	74,1

4 000 Hz	89,5	88,7	87,1	86,3	83,2	82,4	81,5	80,7	72,1	71,3
5 000 Hz	87,0	86,0	90,5	89,5	81,7	80,7	80,0	79,0	69,6	68,6
6 350 Hz	84,1	83,4	31,4	30,7	78,8	78,1	78,1	77,4	66,7	66,0
8 000 Hz	81,5	80,9	81,2	80,6	76,2	75,6	76,5	75,9	64,1	63,5
10 000 Hz	79,2	78,7	79,6	79,1	73,9	73,4	75,2	74,7	61,8	61,3

*Tablica G-6. Koeficijenti  $L_{W,0,1}$ ,  $L_{W,0,2}$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  za aerodinamičku buku  
 (Vrijednosti izražene u razini zvučne snage po vozilu (za vozila duljine 20 m))*

	<b>Aerodinamička buka pri 300 km/h</b>	
	<b><math>\alpha_1</math></b>	<b><math>\alpha_2</math></b>
	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Frekvencija</b>	<b><math>L_{W,0,1}</math></b>	<b><math>L_{W,0,2}</math></b>
50 Hz	112,6	36,7
63 Hz	113,2	38,5
80 Hz	115,7	39,0
100 Hz	117,4	37,5
125 Hz	115,3	36,8
160 Hz	115,0	37,1
200 Hz	114,9	36,4
250 Hz	116,4	36,2
316 Hz	115,9	35,9
400 Hz	116,3	36,3
500 Hz	116,2	36,3
630 Hz	115,2	36,3

800 Hz	115,8	36,2
1 000 Hz	115,7	36,5
1 250 Hz	115,7	36,4
1 600 Hz	114,7	105,2
2 000 Hz	114,7	110,3
2 500 Hz	115,0	110,4
3 160 Hz	114,5	105,6
4 000 Hz	113,1	37,2
5 000 Hz	112,1	37,5
6 350 Hz	110,6	37,9
8 000 Hz	109,6	38,4
10 000 Hz	108,8	39,2

Tablica G-7. Koeficijenti  $C_{bridge}$  za strukturno zračenje

<b>C<sub>bridge</sub></b>	
<b>Podloga kolosijeka</b>	
<b>N</b>	<b>L</b>
Uglavnom betonski ili zidani mostovi s bilo kojim oblikom kolosijeka	Uglavnom čelični mostovi s kolosijekom na zastoru
1	4

## Prilog H

Baza podataka za izvore buke industrijskih pogona i postrojenja

U ovom se prilogu nalazi nekoliko primjera ulaznih vrijednosti za neke izvore buke industrijskih pogona i postrojenja koji se mogu upotrijebiti za izračunavanje buke industrijskih pogona i postrojenja prema modelu opisanom u odjeljku 2.4. Buka industrijskih pogona i postrojenja. Budući da su izvori buke industrijskih pogona i postrojenja krajnje specifični za svaku industrijsku lokaciju, odgovarajuće vrijednosti dobivaju se iz lokalnih,

nacionalnih ili međunarodnih baza podataka ili mjerjenjem, ovisno o tome što je najprikladnije.

*Tablica H-1 Koeficijenti  $L_w$ ,  $L_{w'}$  i  $\Delta L_{w,dir,xyz}$  (x, y, z) za zvučnu snagu  $\Delta L_{w,dir,xyz}$  (x, y, z)=0*

$L_w$  je izražen kao zvučna snaga po metru linijskog izvora ili po kvadratnom metru površinskog izvora.

Opis	Tip izvora	Usmjerenost izvora	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pjeskarenje – u vanjskom prostoru – uz korištenje mlaznice	Točkasti izvor	Slobodno polje	108,77	110,37	112,77	107,77	104,37	98,07	97,07	86,97
Rotacijska peć	Linijski izvor	Slobodno polje	79,27	84,17	86,67	89,27	93,07	93,47	92,07	87,77
Brodogradilište	Površinski izvor	Poluslobodno polje	67,17	69,07	74,57	62,17	63,97	66,77	70,97	68,07
Plinski terminal	Površinski izvor	Poluslobodno polje	74,17	70,07	65,57	64,17	59,97	57,77	51,97	56,07

## PRILOG I

### BAZA PODATAKA ZA IZVORE BUKE ZRAKOPLOVA – NPD PODACI

U ovom se prilogu nalazi baza podataka koja obuhvaća većinu postojećih izvora buke zrakoplova. Namijenjena je za izračunavanje buke zrakoplova prema modelu opisanom u odjeljku 2.6. Buka zrakoplova.

*Tablica I-1: Aerodinamički koeficijenti*

Oznaka zrakoplova (ACFT_ID)	Tip operacije (OP_TYPE)	Oznaka zakrilca (FLAP_ID)	B (ft/lb)	C (kt/vlb)	D (kt/vlb)	R
1900D	A	35-A			0,915858	0,130495
1900D	A	A_40D			0,416345	0,140491
1900D	A	ZERO-A				0,106643
1900D	D	17-D	0,060076	0,858496		0,072968
1900D	D	ZERO-D				0,094383

707320	A	D-25			0,307537	0,107756
707320	A	D-40			0,279116	0,134567
707320	A	D-50			0,275511	0,15472
707320	A	U-25				0,098219
707320	D	14	0,004514	0,312431		0,089316
707320	D	INT				0,072743
707320	D	ZERO				0,05617
707QN	A	D-25			0,307537	0,107756
707QN	A	D-40			0,279116	0,134567
707QN	A	D-50			0,275511	0,15472
707QN	A	U-25				0,098219
707QN	D	14	0,004514	0,312431		0,089316
707QN	D	INT				0,072743
707QN	D	ZERO				0,05617
717200	A	A_0U				0,06456
717200	A	A_13D				0,109249
717200	A	A_13U				0,095353
717200	A	A_18D				0,11009
717200	A	A_18U				0,095015
717200	A	A_40D			0,416345	0,140491
717200	D	T_00B				0,06
717200	D	T_00C				0,06
717200	D	T_05H	0,011607	0,483254		0,075
717200	D	T_05M	0,011795	0,489068		0,075



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
[info@thoriumsoftware.eu](mailto:info@thoriumsoftware.eu);  
[direndulic@gmail.com](mailto:direndulic@gmail.com)

717200	D	T_13A	0,010862	0,469923		0,078
720B	A	D-30			0,350247	0,109478
720B	A	D-50			0,339412	0,148843
720B	A	U-30				0,09805
720B	D	20	0,00573	0,356426		0,091933
720B	D	30	0,005238	0,340735		0,104243
720B	D	INT				0,074052
720B	D	ZERO				0,05617
727100	A	D-25			0,350485	0,128359
727100	A	D-30			0,343897	0,145903
727100	A	D-40			0,335992	0,186604
727100	A	U-15				0,090698
727100	A	U-25				0,113154
727100	D	2				0,0857
727100	D	5	0,008692	0,415048		0,088916
727100	D	15	0,008301	0,392649		0,095459
727100	D	25	0,007389	0,371567		0,115623
727100	D	ZERO				0,0636
727D15	A	D-25			0,383689	0,109535
727D15	A	D-30			0,368	0,1437
727D15	A	D-40			0,36	0,1844
727D15	A	U-15				0,089969
727D15	A	U-25				0,109535
727D15	D	2				0,0857

727D15	D	5	0,00924	0,409		0,0869
727D15	D	15	0,00826	0,388		0,0929
727D15	D	20	0,007712	0,376653		0,108897
727D15	D	25	0,00763	0,367		0,1112
727D15	D	ZERO				0,0594
727D17	A	D-25			0,383689	0,124821
727D17	A	D-30			0,368	0,1437
727D17	A	D-40			0,36	0,1844
727D17	A	U-15				0,089969
727D17	A	U-25				0,109535
727D17	D	2				0,0857
727D17	D	5	0,00924	0,409		0,0869
727D17	D	15	0,00826	0,388		0,0929
727D17	D	20	0,007712	0,376653		0,108897
727D17	D	25	0,00763	0,367		0,1112
727D17	D	ZERO				0,0594
727EM1	A	D-25			0,350485	0,128359
727EM1	A	D-30			0,343897	0,145903
727EM1	A	D-40			0,335992	0,186604
727EM1	A	U-15				0,090698
727EM1	A	U-25				0,113154
727EM1	D	2				0,0857
727EM1	D	5	0,008692	0,415048		0,088916
727EM1	D	15	0,008301	0,392649		0,095459

727EM1	D	25	0,007389	0,371567		0,115623
727EM1	D	ZERO				0,0636
727EM2	A	D-25			0,383689	0,109535
727EM2	A	D-30			0,368	0,1437
727EM2	A	D-40			0,36	0,1844
727EM2	A	U-15				0,089969
727EM2	A	U-25				0,109535
727EM2	D	2				0,0857
727EM2	D	5	0,00924	0,409		0,0869
727EM2	D	15	0,00826	0,388		0,0929
727EM2	D	20	0,007712	0,376653		0,108897
727EM2	D	25	0,00763	0,367		0,1112
727EM2	D	ZERO				0,0594
727Q15	A	D-25			0,383689	0,109535
727Q15	A	D-30			0,368	0,1437
727Q15	A	D-40			0,36	0,1844
727Q15	A	U-15				0,089969
727Q15	A	U-25				0,109535
727Q15	D	2				0,0857
727Q15	D	5	0,00924	0,409		0,0869
727Q15	D	15	0,00826	0,388		0,0929
727Q15	D	20	0,007712	0,376653		0,108897
727Q15	D	25	0,00763	0,367		0,1112
727Q15	D	ZERO				0,0594



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
[info@thoriumsoftware.eu](mailto:info@thoriumsoftware.eu);  
[direndulic@gmail.com](mailto:direndulic@gmail.com)

727Q7	A	D-25			0,350485	0,128359
727Q7	A	D-30			0,343897	0,145903
727Q7	A	D-40			0,335992	0,186604
727Q7	A	U-15				0,090698
727Q7	A	U-25				0,113154
727Q7	D	2				0,0857
727Q7	D	5	0,008692	0,415048		0,088916
727Q7	D	15	0,008301	0,392649		0,095459
727Q7	D	25	0,007389	0,371567		0,115623
727Q7	D	ZERO				0,0636
727Q9	A	D-25			0,372885	0,124565
727Q9	A	D-30			0,367614	0,142606
727Q9	A	D-40			0,359182	0,184273
727Q9	A	U-15				0,090523
727Q9	A	U-25				0,109315
727Q9	D	2				0,0857
727Q9	D	5	0,00924	0,409		0,0869
727Q9	D	15	0,00826	0,388		0,0929
727Q9	D	20	0,007712	0,376653		0,108897
727Q9	D	25	0,00763	0,367		0,1112
727Q9	D	ZERO				0,0594
727QF	A	D-15				0,1182
727QF	A	D-25				0,1359
727QF	A	D-30			0,3658	0,1602



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

727QF	A	D-40			0,3568	0,2003
727QF	A	U-05				0,08709
727QF	A	U-15				0,09676
727QF	A	U-25				0,1201
727QF	A	U-ZERO				0,06027
727QF	D	2				0,081
727QF	D	5	0,00849	0,4242		0,0921
727QF	D	15	0,007525	0,412		0,1005
727QF	D	25	0,0069	0,3885		0,1222
727QF	D	ZERO				0,06599
737	A	D-25			0,452885	0,113106
737	A	D-30			0,442783	0,124898
737	A	D-40			0,432682	0,155057
737	A	U-15				0,088617
737	A	U-25				0,097687
737	D	5	0,011593	0,475473		0,085235
737	D	10	0,010935	0,457438		0,093192
737	D	25	0,010293	0,436124		0,109993
737	D	INT				0,07477
737	D	ZERO				0,0643
737300	A	D-15			0,4639	0,1103
737300	A	D-30			0,434	0,1247
737300	A	D-40			0,4215	0,1471
737300	D	1	0,0126	0,4958		0,069



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

737300	D	5	0,0116	0,477215		0,0742
737300	D	15	0,0111	0,4572		0,0872
737300	D	ZERO				0,062
7373B2	A	D-15			0,4639	0,1103
7373B2	A	D-30			0,434	0,1247
7373B2	A	D-40			0,4215	0,1471
7373B2	D	1	0,0124	0,4958		0,0761
7373B2	D	5	0,011511	0,477758		0,0794
7373B2	D	15	0,011	0,4575		0,0872
7373B2	D	T_01				0,067
7373B2	D	T_05				0,074679
7373B2	D	ZERO				0,062
737400	A	D-15			0,4779	0,1079
737400	A	D-30			0,4338	0,1251
737400	A	D-40			0,423	0,151
737400	D	1				0,0713
737400	D	5	0,0117	0,4834		0,0798
737400	D	15	0,0109	0,4596		0,0924
737400	D	ZERO				0,0628
737500	A	D-15			0,4538	0,1084
737500	A	D-30			0,4281	0,1253
737500	A	D-40			0,4166	0,151
737500	D	1				0,0712
737500	D	5	0,01138	0,474697		0,0803

737500	D	15	0,0109	0,4541		0,0925
737500	D	ZERO				0,061
737700	A	A_15			0,4122	0,1048
737700	A	A_30			0,3986	0,1194
737700	A	A_40			0,3907	0,1434
737700	D	T_00H				0,063
737700	D	T_01	0,0097	0,4329		0,062
737700	D	T_05A				0,07
737700	D	T_10	0,0089	0,4112		0,0858
737700	D	T_15	0,0087	0,406		0,0889
737700	D	T_25	0,0086	0,4021		0,0932
737700	D	T_5	0,0093	0,4251		0,0749
737700	D	T_ZERO				0,0552
737800	D	T_00				0,05625
737800	D	T_01				0,06253
737800	D	T_05	0,009633	0,435043		0,0737
737D17	A	D-25			0,451848	0,113169
737D17	A	D-30			0,443779	0,125252
737D17	A	D-40			0,434096	0,156502
737D17	A	U-15				0,106085
737D17	A	U-25				0,097127
737D17	D	5	0,011677	0,473007		0,087424
737D17	D	10	0,010956	0,456114		0,096364
737D17	D	25	0,010406	0,436124		0,10878



**ThoriumSoftware d.o.o.**

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
 Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
 Email:  
[info@thoriumsoftware.eu;](mailto:info@thoriumsoftware.eu)  
[direndulic@gmail.com](mailto:direndulic@gmail.com)

737D17	D	INT				0,07586
737D17	D	ZERO				0,0643
737N17	A	D-25			0,451848	0,113169
737N17	A	D-30			0,443779	0,125252
737N17	A	D-40			0,434096	0,156502
737N17	A	U-15				0,106085
737N17	A	U-25				0,097127
737N17	D	5	0,011677	0,473007		0,087424
737N17	D	10	0,010956	0,456114		0,096364
737N17	D	25	0,010406	0,436124		0,10878
737N17	D	INT				0,07586
737N17	D	ZERO				0,0643
737N9	A	D-25			0,452885	0,113106
737N9	A	D-30			0,442783	0,124898
737N9	A	D-40			0,432682	0,155057
737N9	A	U-15				0,088617
737N9	A	U-25				0,097687
737N9	D	5	0,011593	0,475473		0,085235
737N9	D	10	0,010935	0,457438		0,093192
737N9	D	25	0,010293	0,436124		0,109993
737N9	D	INT				0,07477
737N9	D	ZERO				0,0643
737QN	A	D-25			0,452885	0,113106
737QN	A	D-30			0,442783	0,124898



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

737QN	A	D-40			0,432682	0,155057
737QN	A	U-15				0,088617
737QN	A	U-25				0,097687
737QN	D	5	0,011593	0,475473		0,085235
737QN	D	10	0,010935	0,457438		0,093192
737QN	D	25	0,010293	0,436124		0,109993
737QN	D	INT				0,07477
737QN	D	ZERO				0,0643
74710Q	A	D-20			0,217555	0,109467
74710Q	A	D-25			0,210537	0,116953
74710Q	A	D-30			0,202116	0,142564
74710Q	A	U-20				0,091737
74710Q	D	5				0,07456
74710Q	D	10	0,002333	0,212212		0,092196
74710Q	D	20	0,002187	0,202456		0,099504
74710Q	D	ZERO				0,05693
747200	A	D-20			0,217555	0,109467
747200	A	D-25			0,210537	0,116953
747200	A	D-30			0,202116	0,142564
747200	A	U-20				0,091737
747200	D	5				0,074042
747200	D	10	0,00235	0,211659		0,091154
747200	D	20	0,002207	0,203133		0,098616
747200	D	ZERO				0,05693

74720A	A	D-25			0,2105	0,118
74720A	A	D-30			0,2017	0,1438
74720A	D	5				0,0722
74720A	D	10	0,00234	0,2115		0,08917
74720A	D	20	0,002186	0,2029		0,09728
74720A	D	ZERO				0,05524
74720B	A	D-25			0,2113	0,1207
74720B	A	D-30			0,2016	0,1444
74720B	D	5				0,07276
74720B	D	10	0,002351	0,213		0,0886
74720B	D	20	0,002196	0,2045		0,09867
74720B	D	ZERO				0,05693
747400	A	D-25			0,2143	0,1171
747400	A	D-30			0,2064	0,141
747400	D	5				0,069
747400	D	10	0,002104	0,21338		0,0823
747400	D	20	0,0021	0,2062		0,0916
747400	D	T_00H				0,053
747400	D	T_01				0,057691
747400	D	T_05				0,071
747400	D	T_05C				0,057569
747400	D	T_10	0,002101	0,207131		0,110782
747400	D	T_10H				0,1
747400	D	ZERO		0,3111		0,0508



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

7478	A	F_20			0,192660	0,128462
7478	A	F_30			0,189605	0,143406
7478	D	F_0				0,052717
7478	D	F_1				0,064841
7478	D	F_10	0,002000	0,204760		0,083321
7478	D	F_5				0,073443
747SP	A	D-20			0,216415	0,110347
747SP	A	D-25			0,209991	0,116897
747SP	A	D-30			0,202497	0,143096
747SP	A	U-20				0,092569
747SP	D	5				0,076123
747SP	D	10	0,002357	0,210572		0,095316
747SP	D	20	0,002179	0,201901		0,103296
747SP	D	ZERO				0,05693
757300	D	T_00				0,05554
757300	D	T_01				0,05943
757300	D	T_05	0,006931	0,38754		0,07993
757PW	A	D-25			0,3234	0,1186
757PW	A	D-30			0,3179	0,1342
757PW	D	5	0,006243	0,360271		0,0722
757PW	D	15	0,00611	0,3454		0,0782
757PW	D	20	0,00573	0,33		0,0864
757PW	D	T_00				0,055346
757PW	D	T_01				0,0609

757PW	D	T_05		0,360271		0,0682
757PW	D	ZERO		0,4699		0,0548
757RR	A	D-25			0,3238	0,1178
757RR	A	D-30			0,3191	0,1337
757RR	D	5	0,006319	0,36165		0,07
757RR	D	15	0,00614	0,3454		0,0758
757RR	D	20	0,0057	0,33		0,0847
757RR	D	INT				0,0621
757RR	D	T_00				0,0525
757RR	D	T_01				0,058316
757RR	D	T_05				0,0635
757RR	D	ZERO		0,4699		0,0541
767300	A	D-25			0,2627	0,121
767300	A	D-30			0,2555	0,1329
767300	D	5	0,00409	0,297		0,075
767300	D	15	0,00381	0,2853		0,0824
767300	D	20	0,00367	0,2788		0,0866
767300	D	INT				0,0641
767300	D	ZERO				0,0531
767400	A	L_25_D			0,2601	0,1156
767400	A	L_30_D			0,2536	0,1265
767400	D	T_00_U				0,0492
767400	D	T_05_U	0,0043	0,2972		0,0674
767400	D	T_05A				0,055

767400	D	T_05B				0,06
767400	D	T_15_U	0,0041	0,2876		0,0736
767400	D	T_20_U	0,003624	0,2775		0,0794
767CF6	A	D-25			0,29009	0,1075
767CF6	A	D-30			0,28096	0,1232
767CF6	D	1	0,00557	0,31625		0,0646
767CF6	D	5	0,0053	0,30576		0,0685
767CF6	D	15	0,00504	0,29249		0,074
767CF6	D	20	0,0049	0,28496		0,0779
767CF6	D	ZERO				0,0489
767JT9	A	D-25			0,29009	0,1085
767JT9	A	D-30			0,28096	0,1258
767JT9	D	1	0,00504	0,31625		0,0658
767JT9	D	5	0,00472	0,30576		0,0705
767JT9	D	15	0,00436	0,29249		0,0756
767JT9	D	20	0,00417	0,28496		0,0802
767JT9	D	ZERO				0,052
777200	A	D20			0,2204	0,09765
777200	A	D25			0,2133	0,1158
777200	A	D30			0,203	0,133
777200	D	15	0,002867	0,2299		0,07432
777200	D	20	0,002751	0,2239		0,08186
777200	D	T_00		0,3218		0,05065
777200	D	T_00H				0,052

777200	D	T_00L				0,048
777200	D	T_01		0,2921		0,05555
777200	D	T_01H				0,06
777200	D	T_05	0,002475	0,239429		0,06898
777200	D	T_05A				0,063456
777200	D	T_05C				0,092
777200	D	T_05CH				0,085
777300	A	L_25_D			0,2156	0,116
777300	A	L_30_D			0,2071	0,1322
777300	D	T_00_U				0,0504
777300	D	T_05_U	0,0031	0,2586		0,0645
777300	D	T_15_U	0,0028	0,2454		0,0704
777300	D	T_20_U	0,0027	0,2363		0,0783
7773ER	A	F_20			0,225340	0,104970
7773ER	A	F_30			0,209490	0,134910
7773ER	D	FLAP_0				0,050171
7773ER	D	FLAP_1				0,054934
7773ER	D	FLAP_5	0,002710	0,240000		0,066100
7878R	A	F_00			0,393870	0,045060
7878R	A	F_01			0,329760	0,047700
7878R	A	F_05			0,288410	0,067150
7878R	A	FLAP20			0,260280	0,088050
7878R	A	FLAP30			0,246840	0,105000
7878R	D	FLAP_0				0,050055

7878R	D	FLAP_1				0,052026
7878R	D	FLAP_5	0,002949	0,256410		0,071636
A300-622R	A	1				0,071539
A300-622R	A	2_D				0,094763
A300-622R	A	2_U				0,072592
A300-622R	A	3_D			0,274926	0,102372
A300-622R	A	FULL_D			0,253296	0,125036
A300-622R	A	ZERO				0,052053
A300-622R	D	0				0,053127
A300-622R	D	1500	0,004121	0,292		0,072348
A300B4-203	A	D-15			0,28237	0,10607
A300B4-203	A	D-25			0,27151	0,125568
A300B4-203	D	1	0,005307	0,324359		0,090223
A300B4-203	D	8	0,004239	0,291059		0,093067
A300B4-203	D	15	0,00402	0,278999		0,102935
A300B4-203	D	ZERO				0,063491
A310-304	A	1				0,068197
A310-304	A	2_D				0,096731
A310-304	A	2_U				0,072778
A310-304	A	3_D			0,274926	0,106084
A310-304	A	FULL_D			0,253296	0,129438
A310-304	A	ZERO				0,054935
A310-304	D	0				0,055191
A310-304	D	1500	0,004875	0,313705		0,072016

A319-131	A	1_A				0,06317
A319-131	A	2_D				0,098119
A319-131	A	2_U				0,071826
A319-131	A	3_D			0,379931	0,098121
A319-131	A	FULL_D			0,355927	0,124534
A319-131	A	ZERO_A				0,056446
A319-131	D	1				0,071598
A319-131	D	1+F	0,007077	0,376764		0,072635
A319-131	D	ZERO				0,05429
A320-211	A	1_A				0,061662
A320-211	A	2_D				0,096267
A320-211	A	2_U				0,067463
A320-211	A	3_D			0,385223	0,101204
A320-211	A	FULL_D			0,37052	0,11586
A320-211	A	ZERO_A				0,057558
A320-211	D	1				0,066827
A320-211	D	1+F	0,007701	0,394884		0,071403
A320-211	D	ZERO				0,056281
A320-232	A	1_A				0,059086
A320-232	A	2_D				0,095899
A320-232	A	2_U				0,06679
A320-232	A	3_D			0,379853	0,100263
A320-232	A	FULL_D			0,369833	0,121141
A320-232	A	ZERO_A				0,054309



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

A320-232	D	1				0,065822
A320-232	D	1+F	0,007626	0,395674		0,069873
A320-232	D	ZERO				0,05332
A321-232	A	1_A				0,064258
A321-232	A	2_D				0,101798
A321-232	A	2_U				0,074849
A321-232	A	3_D			0,368096	0,112676
A321-232	A	FULL_D			0,357761	0,119073
A321-232	A	ZERO_A				0,057183
A321-232	D	1				0,071631
A321-232	D	1+F	0,007524	0,390238		0,075946
A321-232	D	ZERO				0,056647
A330-301	A	1_A				0,057783
A330-301	A	2_D				0,081654
A330-301	A	2_U				0,064098
A330-301	A	3_D			0,229065	0,092737
A330-301	A	FULL_D			0,222802	0,100779
A330-301	A	ZERO_A				0,047685
A330-301	D	1				0,059866
A330-301	D	1+F	0,002905	0,247076		0,061736
A330-301	D	ZERO				0,046057
A330-343	A	1_A				0,055464
A330-343	A	2_D				0,083569
A330-343	A	2_U				0,063042



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

A330-343	A	3_D			0,229705	0,092555
A330-343	A	FULL_D			0,222498	0,10202
A330-343	A	ZERO_A				0,046224
A330-343	D	1				0,05926
A330-343	D	1+F	0,0029	0,245211		0,062365
A330-343	D	ZERO				0,044593
A340-211	A	1_A				0,063657
A340-211	A	2_D				0,092945
A340-211	A	2_U				0,071673
A340-211	A	3_D			0,224603	0,101734
A340-211	A	FULL_D			0,220432	0,108554
A340-211	A	ZERO_A				0,051221
A340-211	D	1				0,068547
A340-211	D	1+F	0,002605	0,223635		0,073134
A340-211	D	ZERO				0,048646
A340-642	A	1_A				0,054416
A340-642	A	2_D				0,087508
A340-642	A	2_U				0,067996
A340-642	A	3_D			0,213821	0,100473
A340-642	A	FULL_D			0,20733	0,105616
A340-642	A	ZERO_A				0,051608
A340-642	D	1				0,06118
A340-642	D	1+F	0,002423	0,225716		0,06743
A340-642	D	ZERO				0,051433



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
[info@thoriumsoftware.eu](mailto:info@thoriumsoftware.eu);  
[direndulic@gmail.com](mailto:direndulic@gmail.com)

A380-841	A	A_1+F				0,055657
A380-841	A	A_2_D				0,081906
A380-841	A	A_2_U				0,064109
A380-841	A	A_3_D			0,154745	0,101662
A380-841	A	A_FULL			0,154745	0,107331
A380-841	A	ZERO_A				0,050279
A380-841	D	D_1				0,053173
A380-841	D	D_1+F	0,00125	0,159626		0,068055
A380-841	D	ZERO				0,050472
A380-861	A	A_1+F				0,058557
A380-861	A	A_2_D				0,081967
A380-861	A	A_2_U				0,065558
A380-861	A	A_3_D			0,154745	0,101738
A380-861	A	A_FULL			0,154745	0,108118
A380-861	A	ZERO_A				0,048776
A380-861	D	D_1				0,053241
A380-861	D	D_1+F	0,00125	0,159567		0,070602
A380-861	D	ZERO				0,049623
BAC111	A	D-45			0,49076	0,139207
BAC111	A	U-INT				0,106398
BAC111	D	8	0,01569	0,54382		0,082179
BAC111	D	INT1				0,07359
BAC111	D	ZERO				0,065
BAE146	A	D-18			0,61667	0,119715

BAE146	A	D-24			0,61667	0,138371
BAE146	A	D-33			0,45555	0,153186
BAE146	A	U-18				0,0818
BAE146	A	U-24				0,095298
BAE146	D	18	0,009678	0,49296		0,13241
BAE146	D	24	0,008979	0,45846		0,1412
BAE146	D	30	0,008173	0,43179		0,15287
BAE146	D	ZERO				0,083096
BAE300	A	D-18			0,60557	0,116925
BAE300	A	D-24			0,60557	0,134808
BAE300	A	D-33			0,4511	0,149009
BAE300	A	U-18				0,08058
BAE300	A	U-24				0,093519
BAE300	D	18	0,009449	0,49847		0,1279
BAE300	D	24	0,008341	0,462		0,1352
BAE300	D	30	0,00775	0,43351		0,14711
BAE300	D	ZERO				0,081866
BEC58P	A	D-15				0,14885
BEC58P	A	D-30			1,33492	0,16
BEC58P	D	TO	0,100258	1,28098		0,1377
BEC58P	D	ZERO				0,125381
CIT3	A	D-40			0,966375	0,147159
CIT3	A	D-INTR				0,130842
CIT3	D	10				0,092263

CIT3	D	20	0,04284	0,947523		0,114525
CIT3	D	ZERO				0,07
CL600	A	D-45			0,766248	0,169002
CL600	A	D-INTR				0,128747
CL600	D	10				0,079246
CL600	D	20	0,028225	0,780719		0,088492
CL600	D	ZERO				0,07
CL601	A	D-45			0,769487	0,163669
CL601	A	D-INTR				0,122639
CL601	D	10				0,075805
CL601	D	20	0,032183	0,780565		0,081609
CL601	D	ZERO				0,07
CNA172	A	10-D			1,3132	0,0994
CNA172	A	30-D			1,2526	0,1516
CNA172	A	ZERO-D				0,096
CNA172	D	10-C	0,0992	1,0304		0,1446
CNA172	D	CRUISE				0,096
CNA172	D	ZERO-C	0,1025	1,1112		0,0831
CNA182	A	F10APP				0,122
CNA182	A	F30APP			1,285	0,151
CNA182	D	F-20D	0,058	1,204		0,17
CNA182	D	ZERO				0,127
CNA182	D	ZERO-A				0,127
CNA182	D	ZERO-C				0,097

CNA182	D	ZERO-T				0,103
CNA206	A	10_D				0,105632
CNA206	A	40_D			1,23852	0,169084
CNA206	D	20_T	0,055005	1,02562		0,136998
CNA206	D	ZERO_C				0,09563
CNA206	D	ZERO_T	0,055005	1,02562		0,106327
CNA208	A	F30APP			0,867722	0,099468
CNA208	A	ZERO-A				0,089802
CNA208	D	F-20D	0,033202	0,74833		0,105087
CNA208	D	ZERO	0,05003	0,887307		0,089802
CNA208	D	ZERO-C				0,087252
CNA208	D	ZERO-T				0,060282
CNA20T	A	10_D				0,109615
CNA20T	A	40_D			1,32574	0,211577
CNA20T	D	20_T	0,054669	1,045287		0,13795
CNA20T	D	ZERO_C				0,101535
CNA20T	D	ZERO_T	0,054669	0,959417		0,099791
CNA441	A	D-INTR				0,141579
CNA441	A	D-L			1,02329	0,162936
CNA441	D	TO	0,072722	1,10834		0,120222
CNA441	D	ZERO				0,096518
CNA500	A	D-35			0,991547	0,147335
CNA500	A	D-INTR				0,113809
CNA500	D	1				0,080282

CNA500	D	12	0,054342	0,956752		0,090564
CNA500	D	ZERO				0,07
CNA510	A	A_15			1,073624	0,088506
CNA510	A	A_35			1,002913	0,126185
CNA510	D	D_15	0,07051	1,179843		0,097415
CNA510	D	ZERO_C				0,088914
CNA510	D	ZERO_D	0,090811	1,347624		0,103158
CNA525C	A	A_15			1,012614	0,106795
CNA525C	A	A_35			0,946574	0,126615
CNA525C	D	D-15	0,053355	0,993147		0,096525
CNA525C	D	ZERO_C				0,085
CNA525C	D	ZERO_D	0,061279	1,065348		0,09129
CNA55B	A	A_15			1,01427	0,118086
CNA55B	A	A_35			0,9553	0,200794
CNA55B	D	D_15	0,05628	1,080923		0,128052
CNA55B	D	ZERO_C				0,10833
CNA55B	D	ZERO_D	0,063189	1,159835		0,119835
CNA560E	D	15	0,054336	1,014289		0,122203
CNA560E	A	15 U			0,919106	0,099403
CNA560E	A	35 D			0,870372	0,130841
CNA560E	D	7	0,059522	1,061591		0,11951
CNA560E	D	ZERO				0,122635
CNA560U	D	15	0,038136	1,069934		0,13523
CNA560U	D	7	0,041179	1,10518		0,12699



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

CNA560U	A	7_APP				0,12699
CNA560U	A	D 15			0,86464	0,088125
CNA560U	A	D 35			0,811918	0,132402
CNA560U	D	ZERO				0,07
CNA560XL	D	15	0,030657	1,045811		0,13852
CNA560XL	D	7	0,035712	1,095308		0,13505
CNA560XL	A	D 15U			0,91189	0,08555
CNA560XL	A	D 35D			0,86179	0,126192
CNA560XL	D	ZERO				0,074551
CNA680	D	15	0,027468	0,725152		0,127804
CNA680	A	15 GU			0,717794	0,093247
CNA680	A	35 GD			0,662727	0,146827
CNA680	D	7	0,030105	0,764412		0,122083
CNA680	D	ZERO				0,105329
CNA750	A	15_GD			0,753068	0,174519
CNA750	A	15_GU			0,753068	0,146147
CNA750	A	35_GD			0,714646	0,250382
CNA750	A	5_GU			0,799175	0,118139
CNA750	D	5	0,038446	0,82511		0,122657
CNA750	D	15	0,034761	0,787004		0,12822
CNA750	D	ZERO				0,096475
CONCRD	A	D-L			0,349148	0,205927
CONCRD	A	U-L				0,183067
CONCRD	D	CL1				0,13294



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
[info@thoriumsoftware.eu](mailto:info@thoriumsoftware.eu);  
[direndulic@gmail.com](mailto:direndulic@gmail.com)

CONCRD	D	TO	0,008051	0,338363		0,13294
CONCRD	D	ZERO				0,13294
CRJ9-ER	A	20				0,0976
CRJ9-ER	A	D-45			0,5801	0,1551
CRJ9-ER	A	U-45				0,1504
CRJ9-ER	A	ZERO				0,0655
CRJ9-ER	D	0-204				0,0599
CRJ9-ER	D	0-250				0,0641
CRJ9-ER	D	D-8	0,0177	0,5902		0,0978
CRJ9-ER	D	U-8				0,0775
CRJ9-LR	A	20				0,0976
CRJ9-LR	A	D-45			0,5801	0,1551
CRJ9-LR	A	U-45				0,1504
CRJ9-LR	A	ZERO				0,0655
CRJ9-LR	D	0-204				0,0599
CRJ9-LR	D	0-250				0,0641
CRJ9-LR	D	D-8	0,0177	0,5902		0,0978
CRJ9-LR	D	U-8				0,0775
CVR580	A	D-28			0,51972	0,118937
CVR580	A	D-40			0,49138	0,124222
CVR580	D	10	0,028303	0,540116		0,130717
CVR580	D	INTR				0,102858
CVR580	D	ZERO				0,075
DC1010	A	D-35			0,251236	0,132645



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

DC1010	A	D-50			0,244243	0,164729
DC1010	A	U-35				0,127457
DC1010	A	U-50				0,161155
DC1010	D	5				0,079893
DC1010	D	10	0,00356	0,261942		0,101376
DC1010	D	INT				0,068522
DC1010	D	ZERO				0,057149
DC1030	A	D-35			0,2534	0,13
DC1030	A	U-20				0,104
DC1030	D	20	0,003091	0,2434		0,104
DC1030	D	INT1				0,09454
DC1030	D	INT2				0,07307
DC1030	D	ZERO				0,06519
DC1040	A	D-35			0,254879	0,121114
DC1040	A	D-50			0,247241	0,151007
DC1040	A	U-35				0,114222
DC1040	A	U-50				0,145481
DC1040	D	5				0,082503
DC1040	D	15	0,004009	0,272697		0,111044
DC1040	D	INT				0,071264
DC1040	D	ZERO				0,060025
DC3	A	D-45			0,597793	0,155222
DC3	A	U-INT				0,133361
DC3	D	TO	0,019837	0,619256		0,123784



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

DC3	D	ZERO				0,1115
DC6	A	D-INTR				0,10199
DC6	A	D-L			0,294594	0,125979
DC6	D	TO	0,007829	0,430006		0,08204
DC6	D	ZERO				0,078
DC850	A	D-35			0,328558	0,129965
DC850	A	D-50			0,313281	0,149354
DC850	A	U-35				0,126751
DC850	A	U-50				0,145337
DC850	D	15	0,005206	0,323443		0,090417
DC850	D	25	0,004708	0,315832		0,103092
DC850	D	INT				0,074401
DC850	D	ZERO				0,058535
DC860	A	D-35			0,312879	0,117758
DC860	A	D-50			0,304526	0,130913
DC860	A	U-35				0,115049
DC860	A	U-50				0,12766
DC860	D	12	0,004899	0,320082		0,090214
DC860	D	23	0,004572	0,304797		0,095953
DC860	D	INT				0,071703
DC860	D	ZERO				0,05319
DC870	A	D-35			0,312879	0,117758
DC870	A	D-50			0,304526	0,130913
DC870	A	U-35				0,115049



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

DC870	A	U-50				0,12766
DC870	D	12	0,004899	0,320082		0,090214
DC870	D	23	0,004572	0,304797		0,095953
DC870	D	INT				0,071703
DC870	D	ZERO				0,05319
DC8QN	A	D-35			0,312879	0,117758
DC8QN	A	D-50			0,304526	0,130913
DC8QN	A	U-35				0,115049
DC8QN	A	U-50				0,12766
DC8QN	D	12	0,004899	0,320082		0,090214
DC8QN	D	23	0,004572	0,304797		0,095953
DC8QN	D	INT				0,071703
DC8QN	D	ZERO				0,05319
DC910	A	D-35			0,480101	0,134177
DC910	A	D-50			0,445486	0,157948
DC910	A	U-15				0,087963
DC910	A	U-35				0,130625
DC910	A	U-50				0,153365
DC910	D	5	0,012996	0,49557		0,07757
DC910	D	15	0,010618	0,477234		0,087963
DC910	D	INT				0,076753
DC910	D	ZERO				0,075935
DC930	A	D-35			0,470211	0,135075
DC930	A	D-50			0,438965	0,165052



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

DC930	A	U-15				0,092489
DC930	A	U-35				0,131559
DC930	A	U-50				0,155925
DC930	D	5	0,012098	0,4899		0,084985
DC930	D	15	0,010507	0,471774		0,092489
DC930	D	INT				0,076701
DC930	D	ZERO				0,068416
DC93LW	A	D-35			0,470211	0,135075
DC93LW	A	D-50			0,438965	0,165052
DC93LW	A	U-15				0,092489
DC93LW	A	U-35				0,131559
DC93LW	A	U-50				0,155925
DC93LW	D	5	0,012098	0,4899		0,084985
DC93LW	D	15	0,010507	0,471774		0,092489
DC93LW	D	INT				0,076701
DC93LW	D	ZERO				0,068416
DC950	A	D-35			0,468147	0,135234
DC950	A	D-50			0,442406	0,160018
DC950	A	U-15				0,092489
DC950	A	U-35				0,131677
DC950	A	U-50				0,155399
DC950	D	5	0,012098	0,4899		0,084985
DC950	D	15	0,010507	0,471774		0,092489
DC950	D	INTR				0,076701

DC950	D	ZERO				0,068416
DC95HW	A	D-35			0,468147	0,135234
DC95HW	A	D-50			0,442406	0,160018
DC95HW	A	U-15				0,092489
DC95HW	A	U-35				0,131677
DC95HW	A	U-50				0,155399
DC95HW	D	5	0,012098	0,4899		0,084985
DC95HW	D	15	0,010507	0,471774		0,092489
DC95HW	D	INTR				0,076701
DC95HW	D	ZERO				0,068416
DC9Q7	A	D-35			0,480101	0,134177
DC9Q7	A	D-50			0,445486	0,157948
DC9Q7	A	U-15				0,087963
DC9Q7	A	U-35				0,130625
DC9Q7	A	U-50				0,153365
DC9Q7	D	5	0,012996	0,49557		0,07757
DC9Q7	D	15	0,010618	0,477234		0,087963
DC9Q7	D	INT				0,076753
DC9Q7	D	ZERO				0,075935
DC9Q9	A	D-35			0,470211	0,135075
DC9Q9	A	D-50			0,438965	0,165052
DC9Q9	A	U-15				0,092489
DC9Q9	A	U-35				0,131559
DC9Q9	A	U-50				0,155925

DC9Q9	D	5	0,012098	0,4899		0,084985
DC9Q9	D	15	0,010507	0,471774		0,092489
DC9Q9	D	INT				0,076701
DC9Q9	D	ZERO				0,068416
DHC6	A	D-INTR				0,125975
DHC6	A	D-L			0,577068	0,176949
DHC6	D	INTR				0,090222
DHC6	D	TO	0,031032	0,787095		0,105443
DHC6	D	ZERO				0,075
DHC6QP	A	D-INTR				0,125975
DHC6QP	A	D-L			0,577068	0,176949
DHC6QP	D	INTR				0,090222
DHC6QP	D	TO	0,031032	0,787095		0,105443
DHC6QP	D	ZERO				0,075
DHC7	A	D-25			0,51353	0,127688
DHC7	A	D-INTR				0,117133
DHC7	D	10				0,117133
DHC7	D	25	0,009556	0,466702		0,159266
DHC7	D	ZERO				0,075
DHC8	A	D-15			0,54969	0,092335
DHC8	A	D-35			0,50961	0,10086
DHC8	A	D-5			0,60123	0,087745
DHC8	A	U-15				0,080204
DHC8	A	U-5				0,073647

DHC8	D	5	0,017289	0,61342		0,07808
DHC8	D	15	0,017361	0,56668		0,08519
DHC8	D	ZERO				0,072424
DHC830	A	D-10			0,62986	0,091024
DHC830	A	D-15			0,60123	0,094958
DHC830	A	D-35			0,55542	0,103483
DHC830	A	U-10				0,079221
DHC830	A	U-15				0,084139
DHC830	D	5	0,017836	0,61764		0,070652
DHC830	D	10	0,015165	0,570532		0,076309
DHC830	D	15	0,014403	0,549595		0,080292
DHC830	D	INT	0,019987	0,659514		0,067572
DHC830	D	ZERO				0,068308
DO228	A	F30APP			0,75885	0,11911
DO228	A	ZERO-A				0,10717
DO228	D	FLAPS1	0,02196	0,80401		0,09042
DO228	D	ZERO	0,02745	0,86388		0,10717
DO228	D	ZERO-C				0,14459
DO228	D	ZERO-T				0,09218
DO328	A	F32APP			0,638	0,0961
DO328	A	ZERO-A				0,0916
DO328	D	F12-D	0,016	0,666		0,0664
DO328	D	ZERO				0,0916
DO328	D	ZERO-C				0,1206

ECLIPSE500	A	A_A_DN			1,273746	0,133462
ECLIPSE500	A	A_T_DN				0,178304
ECLIPSE500	D	TO_DN	0,100203	1,381422		0,105314
ECLIPSE500	D	TO_UP		1,381422		0,086185
ECLIPSE500	D	UP_DN		1,690947		0,103009
ECLIPSE500	D	UP_UP		1,690947		0,073313
EMB120	A	D-25			0,837	0,0801
EMB120	A	D-45			0,782	0,1305
EMB120	D	15	0,0297	0,82		0,1014
EMB120	D	ZERO		0,929		0,0834
EMB145	A	D-22			0,6836	0,1291
EMB145	A	D-45			0,6811	0,1809
EMB145	D	9		0,6503		0,0825
EMB145	D	9-GEAR	0,0218	0,6562		0,1048
EMB145	D	ZERO				0,0691
EMB14L	A	D-22			0,6836	0,1291
EMB14L	D	9		0,6503		0,083
EMB14L	D	9-GEAR	0,0212	0,6562		0,083
EMB14L	D	D-45		0,6811		0,1809
EMB14L	D	ZERO				0,0694
EMB170	D	1	0,015720	0,579870		0,076830
EMB170	A	FULL			0,498900	0,145550
EMB170	D	ZERO				0,066180
EMB175	D	1	0,015900	0,578990		0,077300

EMB175	A	FULL			0,498200	0,145800
EMB175	D	ZERO				0,066000
EMB190	D	1	0,012300	0,494610		0,082600
EMB190	A	FULL			0,434400	0,137100
EMB190	D	ZERO				0,066400
EMB195	D	1	0,012200	0,494520		0,083100
EMB195	A	FULL			0,433600	0,137400
EMB195	D	ZERO				0,067400
F10062	A	D-42			0,4731	0,1565
F10062	A	U-INT				0,1124
F10062	D	INT2				0,0904
F10062	D	TO	0,0122	0,5162		0,0683
F10062	D	ZERO				0,0683
F10065	A	D-42			0,4731	0,1565
F10065	A	U-INT				0,1129
F10065	D	INT2				0,0911
F10065	D	TO	0,0123	0,521		0,0693
F10065	D	ZERO				0,0693
F28MK2	A	D-42			0,5334	0,1677
F28MK2	A	U-INTR				0,1248
F28MK2	D	6	0,0171	0,6027		0,0793
F28MK2	D	INT2				0,1033
F28MK2	D	ZERO				0,0819
F28MK4	A	D-42			0,5149	0,1619

F28MK4	A	U-INTR				0,1187
F28MK4	D	6	0,01515	0,5731		0,0749
F28MK4	D	INT2				0,0971
F28MK4	D	ZERO				0,0755
FAL20	A	D-25			0,804634	0,117238
FAL20	A	D-40			0,792624	0,136348
FAL20	D	10	0,035696	0,807797		0,098781
FAL20	D	INTR				0,084391
FAL20	D	ZERO				0,07
GII	A	L-0-U				0,0751
GII	A	L-10-U				0,0852
GII	D	L-20-D				0,1138
GII	D	L-39-D		0,5822		0,1742
GII	D	T-0-U				0,0814
GII	D	T-10-U				0,0884
GII	D	T-20-D	0,02	0,634		0,1159
GIIB	A	L-0-U				0,0722
GIIB	A	L-10-U				0,0735
GIIB	D	L-20-D				0,1091
GIIB	D	L-39-D		0,562984		0,1509
GIIB	D	T-0-U				0,0738
GIIB	D	T-10-U				0,0729
GIIB	D	T-20-D	0,0162	0,583		0,1063
GIV	A	L-0-U				0,06



ThoriumSoftware d.o.o.

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
info@thoriumsoftware.eu;  
direndulic@gmail.com

GIV	A	L-39-D			0,5805	0,1403
GIV	D	L-20-D				0,1063
GIV	D	T-0-U				0,0586
GIV	D	T-10-U				0,0666
GIV	D	T-20-D	0,0146	0,5798		0,1035
GIV	D	T-20-U				0,0797
GV	A	L-20-D				0,0974
GV	A	L-20-U				0,0749
GV	A	L-39-D			0,4908	0,1328
GV	D	L-0-U				0,0617
GV	D	T-0-U				0,058
GV	D	T-10-U				0,0606
GV	D	T-20-D	0,01178	0,516		0,0953
GV	D	T-20-U				0,0743
HS748A	A	D-30			0,45813	0,13849
HS748A	A	D-INTR				0,106745
HS748A	D	INTR				0,088176
HS748A	D	TO	0,012271	0,542574		0,101351
HS748A	D	ZERO				0,075
IA1125	A	D-40			0,967478	0,136393
IA1125	A	D-INTR				0,118618
IA1125	D	12	0,040745	0,963488		0,100843
IA1125	D	INTR				0,085422
IA1125	D	ZERO				0,07

L1011	A	D-33			0,286984	0,137671
L1011	A	D-42			0,256389	0,155717
L1011	D	10	0,004561	0,265314		0,093396
L1011	D	22	0,004759	0,251916		0,105083
L1011	D	INTR				0,07959
L1011	D	ZERO				0,06243
L10115	A	D-33			0,262728	0,140162
L10115	A	D-42			0,256123	0,155644
L10115	D	10	0,004499	0,265314		0,093396
L10115	D	22	0,004695	0,251916		0,105083
L10115	D	INTR				0,07959
L10115	D	ZERO				0,06243
L188	A	D-100			0,436792	0,174786
L188	A	D-78-%			0,456156	0,122326
L188	D	39-%	0,009995	0,420533		0,142992
L188	D	78-%	0,010265	0,404302		0,159974
L188	D	INTR				0,120987
L188	D	ZERO				0,082
LEAR25	A	D-40			1,28239	0,176632
LEAR25	A	D-INTR				0,149986
LEAR25	D	10				0,09667
LEAR25	D	20	0,082866	1,27373		0,12334
LEAR25	D	ZERO				0,07
LEAR35	A	D-40			1,08756	0,150688

LEAR35	A	D-INTR				0,129456
LEAR35	D	10				0,089112
LEAR35	D	20	0,043803	1,05985		0,108224
LEAR35	D	ZERO				0,07
MD11GE	D	10	0,003812	0,2648		0,0843
MD11GE	D	15	0,003625	0,2578		0,0891
MD11GE	D	20	0,003509	0,2524		0,0947
MD11GE	D	25	0,003443	0,2481		0,1016
MD11GE	D	0/EXT				0,0692
MD11GE	D	0/RET				0,0551
MD11GE	D	ZERO				0,0551
MD11PW	D	10	0,003829	0,265		0,08425
MD11PW	D	15	0,003675	0,2576		0,08877
MD11PW	D	20	0,003545	0,2526		0,09472
MD11PW	D	25	0,003494	0,2487		0,1018
MD11PW	D	0/EXT				0,0691
MD11PW	D	0/RET				0,05512
MD11PW	D	ZERO				0,05512
MD81	D	11	0,009276	0,4247		0,07719
MD81	D	INT1				0,07643
MD81	D	INT2				0,06313
MD81	D	INT3				0,06156
MD81	D	INT4				0,06366
MD81	D	T_15	0,009369	0,420798		0,0857

MD81	D	T_INT				0,0701
MD81	D	T_ZERO				0,061
MD81	D	ZERO				0,06761
MD82	D	11	0,009248	0,4236		0,07969
MD82	D	INT1				0,07625
MD82	D	INT2				0,06337
MD82	D	INT3				0,06196
MD82	D	INT4				0,0634
MD82	D	T_15	0,009267	0,420216		0,086
MD82	D	T_INT				0,065
MD82	D	T_ZERO				0,061
MD82	D	ZERO				0,06643
MD83	D	11	0,009301	0,4227		0,0798
MD83	D	INT1				0,07666
MD83	D	INT2				0,0664
MD83	D	INT3				0,06247
MD83	D	INT4				0,06236
MD83	D	T_15	0,009384	0,420307		0,086
MD83	D	T_INT				0,0664
MD83	D	T_ZERO				0,0611
MD83	D	ZERO				0,06573
MD9025	A	D-28			0,4118	0,1181
MD9025	A	D-40			0,4003	0,1412
MD9025	A	U-0			0,4744	0,0876

MD9025	D	EXT/06	0,010708	0,458611		0,070601
MD9025	D	EXT/11	0,009927	0,441118		0,073655
MD9025	D	EXT/18	0,009203	0,421346		0,083277
MD9025	D	EXT/24	0,008712	0,408301		0,090279
MD9025	D	RET/0				0,05186
MD9028	A	D-28			0,4118	0,1181
MD9028	A	D-40			0,4003	0,1412
MD9028	A	U-0			0,4744	0,0876
MD9028	D	EXT/06	0,010993	0,463088		0,070248
MD9028	D	EXT/11	0,010269	0,446501		0,072708
MD9028	D	EXT/18	0,009514	0,426673		0,082666
MD9028	D	EXT/24	0,008991	0,413409		0,090018
MD9028	D	RET/0				0,05025
MU3001	A	D-30			1,07308	0,147487
MU3001	A	D-INTR				0,114684
MU3001	D	1	0,065703	1,1529		0,08188
MU3001	D	10	0,055318	1,0729		0,09285
MU3001	D	ZERO				0,07
PA30	A	27-A			1,316667	0,104586
PA30	A	ZERO-A				0,078131
PA30	D	15-D	0,100146	1,166667		0,154071
PA30	D	ZERO-D				0,067504
PA42	A	30-DN			1,09213	0,14679
PA42	A	ZERO-A				0,087856

PA42	D	ZER-DN	0,06796	1,011055		0,08088
PA42	D	ZERO				0,087856
PA42	D	ZERO-C				0,139096
PA42	D	ZERO-T				0,07651
SD330	A	D-15			0,746802	0,109263
SD330	A	D-35			0,702872	0,143475
SD330	D	10	0,031762	0,727556		0,138193
SD330	D	INTR				0,106596
SD330	D	ZERO				0,075
SF340	A	D-35			0,75674	0,147912
SF340	A	D-INTR				0,111456
SF340	D	5				0,105831
SF340	D	15	0,026303	0,746174		0,136662
SF340	D	ZERO				0,075

Pravilnik - karta buke dio 2

### PRILOG III.

Tablica 1. – Boje za prikaz ocjenskih razina buke u grafičkim dijelovima karata buke i akcijskih planova

Ocjenska razina LR/dB(A)	Naziv boje	Oznaka boje prema DIN 6164, Dio 1 T:S:D	Odgovarajuća boja u registru boja
LR ≤ 35	svijetlo-zelena	22,9:2,0:1,3	RAL 6019

35 < LR ≤ 40	zelena	23,0:7,3:3,1	RAL 6018
40 < LR ≤ 45	tamno-zelena	20,8:6,2:5,2	RAL 6016
45 < LR ≤ 50	žuta	24,8:5,9:0,7	RAL 1016
50 < LR ≤ 55	oker	2,8:4,3:2,9	RAL 1011
55 < LR ≤ 60	pastelno-narančasta	5,1:6,0:1,1	RAL 2003
60 < LR ≤ 65	crvena	7,4:8,6:2,0	RAL 3020 – F 81
65 < LR ≤ 70	rubinsko-crvena	7,8:8,9:3,6	RAL – 3003
70 < LR ≤ 75	purpurna	10,3:5,7:3,9	RAL 4006 – F 81
75 < LR ≤ 80	svijetlo-plava	17,3:4,4:2,2	RAL 5012
80 < LR	tamno-plava	17,3:5,7:4,0	RAL 5019

Tablica 2. – Boje za prikaz razlika razina buke u grafičkim dijelovima konfliktnih karata buke

Razlika razina $\Delta L/dB(A)$	Naziv boje	Oznaka boje prema DIN 6164, Dio 1 T:S:D	Odgovarajuća boja u registru boja
$\Delta L \leq -9$	svijetlo-zelena	22,9:2,0:1,3	RAL 6019

- 9 < ΔL ≤ -6	zelena	23,0:7,3:3,1	RAL 6018
-6 < ΔL ≤ -3	tamnozelena	20,8:6,2:5,2	RAL 6016
-3 < ΔL ≤ 0	žuta	24,8:5,9:0,7	RAL 1016
0 < ΔL ≤ 3	oker	2,8:4,3:2,9	RAL 1011
3 < ΔL ≤ 6	pastelno-narančasta	5,1:6,0:1,1	RAL 2003
6 < ΔL ≤ 9	crvena	7,4:8,6:2,0	RAL 3020 – F 81
9 < ΔL ≤ 12	rubinsko-crvena	7,8:8,9:3,6	RAL – 3003
12 < ΔL ≤ 15	purpurna	10,3:5,7:3,9	RAL 4006 – F 81
15 < ΔL ≤ 18	svijetloplava	17,3:4,4:2,2	RAL 5012
18 < ΔL	tamnoplava	17,3:5,7:4,0	RAL 5019

## PRILOG V.

### PODACI KOJI SE DOSTAVLJAJU EUROPSKOJ KOMISIJI

Europskoj komisiji dostavljaju se sljedeći podaci:

1. Za naseljena područja
  - 1.1. Sažeti opis naseljenog područja: položaj, veličina, broj stanovnika.
  - 1.2. Nadležno tijelo.
  - 1.3. Programi kontrole buke koji su provedeni u prošlosti i mjere protiv buke u tijeku.
  - 1.4. Metode proračuna ili mjerena koje su se koristila.

1.5. Procijenjeni broj ljudi (u stotinama) koji žive u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji su izloženi svakom od sljedećih pojasa vrijednosti  $L_{den}$  u dB, na visini 4 m iznad tla na fasadi najizloženijoj buci: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, > 75, odvojeno za buku od cestovnog, pružnog ili zračnog prometa i od industrijskih izvora. Brojke se moraju zaokružiti na najbližu stoticu (npr. 5.200 = između 5.150 i 5.249; 100 = između 50 i 149; 0 = manje od 50).

Osim toga, treba navesti, gdje je to prikladno i gdje je takav podatak dostupan, koliko ljudi u gore navedenim kategorijama živi u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji imaju:

- posebnu izolaciju od predmetne buke, što znači posebnu izolaciju zgrade od jedne ili više vrsta buke okoliša, kombinirane s takvim ventilacijskim ili uređajima za kondicioniranje zraka da se mogu održati visoke vrijednosti izolacije od buke okoliša,
- tihu fasadu označava fasadu stana gdje je vrijednost  $L_{den}$ , mjerena četiri metra iznad tla i dva metra ispred fasade, za buku emitiranu iz specifičnog izvora, za više od 20 dB niža nego na fasadi koja ima najvišu vrijednost  $L_{den}$ .

Također bi trebalo navesti koliko gore navedenom pridonose glavne ceste, glavne željezničke pruge i glavne zračne luke.

1.6. Procijenjeni ukupni broj ljudi (u stotinama) koji žive u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji su izloženi svakom od sljedećih pojaseva vrijednosti  $L_{night}$  u dB, mjereno 4 m iznad tla, na fasadi najizloženijoj buci: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, > 70, odvojeno za cestovni, željeznički i zračni promet i industrijske izvore.

Ovi se podaci također mogu utvrditi i za pojas vrijednosti 45-49).

Osim toga, treba navesti, gdje je to prikladno i gdje je takav podatak dostupan, koliko ljudi u gore navedenim kategorijama živi u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji imaju:

- posebnu izolaciju od predmetne buke, kako je definirano u stavku 1.5.,
- tihu fasadu, kako je definirano u stavku 1.5.

Također se mora navesti koliko gornjemu doprinose glavne ceste, glavne željezničke pruge i glavne zračne luke.

1.7. U slučaju grafičkog prikazivanja, strateške karte buke moraju pokazati barem konture od 60, 65, 70 i 75 dB.

1.8. Sažetak akcijskog plana na najviše deset stranica koji obuhvaća sve značajne aspekte iz članka 31. ovoga Pravilnika.

2. Za glavne ceste, glavne željezničke pruge i glavne zračne luke

- 2.1. Opći opis cesta, željezničkih pruga ili zračnih luka: položaj, veličina i podaci o prometu.
- 2.2. Karakteristike njihovog okoliša: naseljena područja, sela, prirode ili drugo, podaci o korištenju zemljišta, drugi glavni izvori buke.
- 2.3. Programi kontrole buke koji su bili provedeni u prošlosti i mjere protiv buke koje su u tijeku.
- 2.4. Metode proračuna ili mjerjenja koje su se koristile.
- 2.5. Procijenjeni ukupni broj ljudi (u stotinama) koji žive izvan naseljenih područja u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji su izloženi svakom od sljedećih pojasa vrijednosti Lden u dB, mjereno 4 m iznad tla i na fasadi najizloženijoj buci: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, > 75.

Osim toga, treba navesti, gdje je to prikladno i gdje je takav podatak dostupan, koliko ljudi u gore navedenim kategorijama živi u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji imaju:

- posebnu izolaciju od predmetne buke, kako je definiрано u stavku 1.5.,
- tihu fasadu, kako je definirano u stavku 1.5.

- 2.6. Procijenjeni ukupni broj ljudi (u stotinama) koji žive izvan naseljenog područja u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji su izloženi svakom od sljedećih pojasa vrijednosti Lnigh u dB, mjereno 4 m iznad tla i na fasadi najizloženijoj buci: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, > 70. Ovi se podaci također mogu procijeniti za pojase vrijednosti 45-49, prije datuma utvrđenog u članku 11.(1).

Osim toga, treba navesti, gdje je to prikladno i gdje je takav podatak dostupan, koliko ljudi u gore navedenim kategorijama živi u stambenim jedinicama za stalno stanovanje koji imaju:

- posebnu izolaciju od predmetne buke, kako je definirano u stavku 1.5.,
- tihu fasadu, kako je definiрано u stavku 1.5.

- 2.7. Ukupno područje (u km<sup>2</sup>) izloženo vrijednostima Lden većima od 55, 65 odnosno 75 dB.

Također treba navesti procijenjeni ukupni broj stanova (u stotinama) i procijenjeni ukupni broj ljudi (u stotinama) koji žive u svakom od tih područja. Ove brojke moraju uključivati naseljena područja.



**ThoriumSoftware d.o.o.**

Mobile: +385 (0) 95 8 70 50 70  
Kontakt: Dario Ilija Rendulić  
Email:  
[info@thoriumsoftware.eu](mailto:info@thoriumsoftware.eu);  
[direndulic@gmail.com](mailto:direndulic@gmail.com)

Konture od 55 i 65 dB također se moraju prikazati na jednoj ili više karata koje daju podatak o položaju sela, gradova i naseljenih područja unutar tih kontura.

2.8. Sažetak akcijskog plana na najviše deset stranica koji obuhvaća sve značajne aspekte iz članka 31. ovoga Pravilnika.