

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

**DZELZCEĻA RITOŠĀ SASTĀVA RADĪTO EMISIJU ATMOSFĒRĀ  
MATEMĀTISKO NOVĒRTĒŠANAS METOŽU SALĪDZINOŠĀ  
ANALĪZE**

MAĢISTRA DARBS

Autors: Rūta Butāne

Stud. apl.: rb16048

Darba vadītāja: Asoc. Prof., Dr. Geogr. Iveta Šteinberga

RĪGA 2018

## ANOTĀCIJA

Maģistra darbā veikta dzelzceļa transporta (kravas dīzeļlokomotīvu, pasažieru dīzeļvilcienu un elektrovilcienu) analīze un inventarizācija pēc to tehniskās specifikācijas, enerģijas patēriņa un gaisa piesārņojošo vielu emisijām. Izvērtētas Starptautiskās dzelzceļu savienības un Eiropas Vides aģentūras emisiju novērtēšanas aprēķina metodes, kuras metodoloģiski ir līdzīgas (tiek izmantoti emisiju faktori un degvielas patēriņa rādītāji), taču sniedz atšķirīgus rezultātus. Darba rezultāti liecina, ka UIC metode ir piemērotāka dzelzceļa ritošā sastāva emisiju novērtēšanai augstākas detalizācijas pakāpes dēļ. Balstoties uz UIC metodiku un emisiju faktoriem, izstrādāts emisiju kalkulators kravas dīzeļlokomotīvu, pasažieru dīzeļvilcienu un elektrovilcienu radīto emisiju novērtēšanai Latvijas teritorijas dzelzceļa infrastruktūras tīklā.

*Atslēgas vārdi: dzelzceļa transports, emisijas, emisiju faktori, UIC metode, EMEP metode*

## ABSTRACT

The master's thesis deals with the analysis and inventory of rail transport (cargo diesel locomotives, passenger diesel trains and electric trains) according to their technical specifications, energy consumption and air pollutant emissions. Comparison of emission calculation and evaluation methods of the International Union of Railways and the European Environment Agency, which are methodologically similar (emission factors and fuel consumption indicators being used), but yield different results. The results of the work show that the UIC method is more suitable for assessing the emissions of railway rolling stock due to the higher degree of output data detail. Based on UIC methodology and emission factors, an Emission Calculator for assessing emissions from freight diesel locomotives, passenger diesel and electric trains was developed for the railway infrastructure network of the territory of Latvia.

*Keywords: rail transport, emissions, emission factors, UIC method, EMEP method*

# SATURS

APZĪMĒJUMU UN AKRONĪMU SARAKSTS .....	5
IEVADS .....	7
1. LITERATŪRAS APSKATS .....	9
1.1. Dzelzceļa transporta attīstība Latvijā .....	9
1.2. Atmosfēras piesārņojuma avoti un emisijas .....	14
1.2.1. Kopējās piesārņojošo emisiju apjomi gaisā.....	15
1.2.2. Gaisa piesārņotāju emisiju sektoriālais sadalījums .....	18
1.3. Transporta emisiju raksturojums Eiropā.....	19
1.4. Dzelzceļa transporta emisijas .....	22
1.5. Dzelzceļa ritošais sastāvs un tā tehniskā specifikācija .....	25
1.5.1. Dīzeļvilcieni.....	25
1.5.2. Elektrovilcieni .....	26
1.6. Pārvadājumu statistika un struktūra.....	27
1.6.1. Pasažieru pārvadājumi Eiropā .....	27
1.6.2. Pasažieru pārvadājumi un tendences Latvijā.....	29
1.6.3. Kravu pārvadājumu tendences Eiropā.....	31
1.6.4. Kravu pārvadājumu tendences un struktūra Latvijā .....	36
2. MATERIĀLI UN METODES .....	38
2.1. Izmantotie materiāli .....	38
2.2. Emisiju daudzuma novērtēšanas aprēķins dzelzceļa dīzeļvilces ritošajam sastāvam... 39	
2.2.1. Starptautiskās dzelzceļu savienības metode .....	39
2.2.2. Eiropas Vides aģentūras metode.....	44
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA .....	47
3.1. Emisiju aprēķini.....	47
3.1.1. Starptautiskās dzelzceļu savienības metode .....	47
3.1.2. Eiropas Vides aģentūras metode.....	49
3.2. Izplūdes gāzu emisiju aprēķinu metodoloģiju salīdzinājums .....	50
3.3. Emisiju salīdzinošā analīze pēc 2015. gada datiem.....	54
3.4. Emisiju kalkulators .....	57
SECINĀJUMI .....	65
PATEICĪBAS.....	66
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS .....	66
PIELIKUMS.....	73

## APZĪMĒJUMU UN AKRONĪMU SARAKSTS

AS – akciju sabiedrība

As – arsēns

BaP – benzo(a)pirēns

C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> – benzols

CCl<sub>4</sub> – oglekļa tetrahlorīds

Cd – kadmījs

CER – Eiropas Dzelzeļu un Infrastruktūras sabiedrību kopiena

CH – ogļūdeņraži

CH<sub>3</sub>Br – metilbromīds

CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub> – metilhloroforms (trihloretāns)

CH<sub>4</sub> – metāns

CO – tvana gāze

CO<sub>2</sub> – ogļskābā gāze

CO<sub>2</sub> ekv. – ogļskābās gāzes ekvivalents

CSP – Centrālā statistikas pārvalde

EEA – Eiropas Vides aģentūra (angļu valodā: *European Environment Agency*)

EK – Eiropas Komisija

EPA – ASV Vides aizsardzības aģentūra (angļu valodā: *Environment Protection Agency*)

ES – Eiropas Savienība

ES-28 – Eiropas Savienības 28 dalībvalstis

ESRS – UIC Vides stratēģijas ziņošanas sistēma (angļu valodā: *Environment Strategy Reporting System*)

GSP – globālās sasilšanas potenciāls

Hg – dzīvsudrabs

IPCC – Klimata pārmaiņu starpvaldību padome (angļu valodā: *Intergovernmental Panel on Climate Change*)

LDz – VAS “Latvijas dzelzeļš”

LDzB – Latvijas Dzelzceļnieku biedrība

LIAS – Latvijas Ilgtspējīgas attīstības stratēģija līdz 2030. gadam

MO – melnais ogleklis jeb kvēpi

N<sub>2</sub>O – dislāpekļa oksīds

NAP2020 – Latvijas Nacionālās attīstības pamatnostādnes 2014.-2020. gadam

NACE – saimniecisko darbību statistiskā kvalifikācija Eiropas Kopienā

NF<sub>3</sub> – slāpekļa trifluorīds

NH<sub>3</sub> – amonjaks

Ni – niķelis

NMGOS – ne-metāna gaistošie organiskie savienojumi

NO<sub>x</sub> – slāpekļa oksīdi

O<sub>3</sub> – ozons

Pb – svins

PM – cietās daļiņas

PM<sub>10</sub> – cietās daļiņas ar diametru mazāku vai vienādu ar 10 μm

PM<sub>2.5</sub> – cietās daļiņas ar diametru mazāku vai vienādu ar 2,5 μm

SEG – siltumnīcefekta gāzes

SF<sub>6</sub> – sēra heksafluorīds

SIA – sabiedrība ar ierobežotu atbildību

SO<sub>2</sub> – sēra dioksīds

SO<sub>x</sub> – sēra oksīdi

TAP2020 – Transporta attīstības pamatnostādnes 2014.-2020. gadam

TEN-T – Eiropas Transporta tīkls (angļu valodā: *The Trans-European Transport Networks*)

TSP - kopējās suspendētās daļiņas (angļu valodā: *total suspended particles*)

UIC – Starptautiskā dzelzceļu savienība (franču valodā: *Union Internationale des Chemins de fer*)

VAS – valsts akciju sabiedrība

## IEVADS

Eiropas Savienības vides politikas ieviešana gaisa kvalitātes jomā ir ievērojami samazinājusi kaitīgos piesārņotājus, piemēram, cieto daļiņu (PM), sēra dioksīda (SO<sub>2</sub>), svina, slāpekļa oksīdu (NO<sub>x</sub>) un oglekļa monoksīda (CO) emisijas un to koncentrācijas atmosfērā. Tomēr smalkās PM<sub>10</sub> un ļoti smalkās PM<sub>2,5</sub> daļiņas, arī ozona (O<sub>3</sub>) piesārņojums joprojām daudzviet Eiropā ir nepieļaujami augsts, - vismaz 30 % Eiropas iedzīvotāju, kuri dzīvo aglomerācijās ir pakļauti gaisa piesārņojuma līmenim, kas pārsniedz noteiktos ES gaisa kvalitātes standartus.

Transports ir nozīmīgs atmosfēras piesārņojuma avots, - 89% no slāpekļa dioksīda gada normatīva pārsniegumiem 2015. gadā konstatēti tieši transporta ietekmes novērtējuma stacijās (EEA 2017e), galvenokārt to radījis autotransports (automašīnas un mikroautobusi, kuros tiek izmantota dīzeļdegviela). Galvenās piesārņojošās vielas, sadedzinot degvielu, ir NO<sub>x</sub>, PM, CO un gaistošie organiskie savienojumi (GOS). Papildus PM emisijas rodas bremžu, riepu un ceļu virsmu mehāniskā nodiluma dēļ, kas saskaņā ar pašreizējo likumdošanu netiek reglamentētas.

Dzelzceļa satiksmes radītais piesārņojums ir salīdzinoši neliels, atkarībā no piesārņojošās vielas emisiju īpatsvars variē robežās no 0,1 līdz 1 % (EEA 2017f), kas faktiski norāda uz transporta energoefektivitāti. Turklāt dzelzceļa transports ir vienīgais transporta veids, kas kopš 1990. gada ir samazinājis CO<sub>2</sub> emisiju īpatsvaru atšķirībā no citiem transporta veidiem (UIC 2009). Arī kopējās emisijas no dzelzceļa dīzeļvilces liecina par samazināšanās tendenci kopš 1990. gada. Mūsdienās tās ir zemākās visā transporta nozarē, lai gan dīzeļvilciens veido 1/5-daļu no Eiropas dzelzceļa satiksmes. Neņemot vērā jau tā nelielo ietekmi uz vidi, dzelzceļa nozarē joprojām tiek meklētas jaunas iekšdedzes dzinēju tehnoloģijas, efektīvas pārvades sistēmas un izplūdes gāzu pēcapstrādes iespējas, kas nodrošinātu, ka dzelzceļa dīzeļvilces arī nākotnē neradītu būtisku kaitējumu videi salīdzinājumā ar citiem sektoriem (autotransportu vai jūras transportu).

Dzelzceļa tīklu elektrifikācija tiek prognozēta kā viena no efektīvākajām iespējām samazināt izplūdes gāzu emisijas, kas rodas no dīzeļvilces, un paredzams, ka dīzeļvilcieni joprojām būs Eiropas transporta sistēmas neatņemama sastāvdaļa arī nākotnē (UIC 2015).

Jebkura transporta ietekmes uz vidi novērtēšana nereti sākas ar avotu inventarizāciju un detalizētu raksturojumu, atbilstošu emisijas novērtēšanas metožu izvēli un piemērošanu. Ņemot vērā dažādo novērtēšanas metožu klāstu (emisijas faktoru metode, masas bilances metode, tiešo mērījumu metode u.c.), izvēlētā metode nereti ietekmē rezultātu. Lai arī Eiropā tiek rekomendēta vienota Eiropas Vides aģentūras izstrādāta metode – EMEP/CORINAIR, atsevišķas nozares izmanto specifiskus standartus un emisiju novērtēšanas metodes. Šāda situācija novērojama arī dzelzceļa nozarē, kur nacionāla līmeņa novērtējums tiek veikts, izmantojot ieteikto EEA metodiku, savukārt LDz, sagatavojot nozares atskaites, izmanto citu – UIC metodiku. Lai izvērtētu abu iepriekš minēto metodiku izmantošanas iespējas definēts **darba mērķis**: starptautiski atzītu siltumnīcefekta gāzu emisiju metodiku aprobācija un salīdzinošā analīze dzelzceļā ekspluatētajam ritošajam sastāvam Latvijā.

Atbilstoši darba mērķim izvirzīti šādi **uzdevumi**:

- 1) Nozares zinātniskās literatūras analīze;
- 2) Dzelzceļa ritošā sastāva tehniskās specifikācijas datu inventarizācija;
- 3) Eiropas Vides aģentūras un Starptautiskās dzelzceļu savienības emisiju aprēķina metodiku apguve, aprēķini un rezultātu salīdzinājums;
- 4) Emisiju kalkulatora izveide ritošajam sastāvam Latvijā;
- 5) Rezultātu analīze un interpretācija.

**Hipotēze:** Eiropā rekomendētā Eiropas Vides aģentūras metodika EMEP/CORINAIR ir pārāk vispārīga emisiju novērtēšanā, kas hipotētiski liecina par aptuveniem aprēķinu rezultātiem.

Maģistra darbs sastāv no 3 nodaļām un 24 apakšnodaļām, satur 34 attēlus, 14 tabulas, 10 formulas, 1 pielikumu un 76 lappuses.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Dzelzceļa transporta attīstība Latvijā

Eiropas transporta politikas Baltajā grāmatā “Ceļvedis uz Eiropas vienoto transporta telpu – virzība uz konkurētspējīgu un resursefektīvu transporta sistēmu” uzsvērts, ka galvenais izaicinājums ir pārtraukt transporta sistēmas atkarību no naftas, nepasliktinot tās efektivitāti un neapdraudot mobilitāti. Saskaņā ar pamatiniciatīvu “Resursu ziņā efektīva Eiropa”, kas izveidota stratēģijas “Eiropa 2020” ietvarā, un 2011. gada energoefektivitātes plānu Eiropas transporta politikas galvenais mērķis ir palīdzēt izveidot sistēmu, kas atbalsta Eiropas ekonomikas attīstību, paaugstina konkurētspēju un nodrošina augstas kvalitātes mobilitātes pakalpojumus, vienlaikus efektīvāk izmantojot resursus. Praksē tas nozīmē, ka transportam jāpatērē mazāk energoresursu un izmantotajai enerģijai jābūt tīrākai, efektīvāk jāizmanto moderna infrastruktūra un jāsamazina negatīvā ietekme uz vidi un nozīmīgākajiem dabas resursiem.

Baltajā grāmatā noteikti vairāki konkrēti mērķi, kas attiecas uz dzelzceļu, tostarp:

- izveidot pilnībā funkcionālu un ES mēroga TEN-T pamattīklu līdz 2030. gadam un augstas kvalitātes un veiktspējas tīklu līdz 2050. gadam, kā arī nodrošināt tam atbilstošu informācijas pakalpojumu kopumu;
- līdz 2050. gadam savienot visas pamattīkla lidostas ar dzelzceļa, vēlams, ātrgaitas dzelzceļa, tīklu; nodrošināt, ka visas galvenās jūras ostas ir pietiekami savienotas ar dzelzceļa kravu pārvadājumu sistēmu un, kur iespējams, ar iekšzemes ūdensceļu sistēmu.

Savukārt **Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģijā līdz 2030. gadam** noteikts, ka nākotnē par prioritāti jāklūst dzelzceļa transporta attīstībai, jo tas ir perspektīvākais sauszemes transporta veids gan no drošības, gan vides kvalitātes viedokļa, un jāpalielina valsts atbalsts un investīcijas arī pasažieru pārvadājumu nodrošināšanā. Tā kā Latvijas dzelzceļa sistēma ir pilnībā savietojama ar NVS dzelzceļu tīkliem, jāattīsta un jāmodernizē Austrumu – Rietumu dzelzceļa transporta koridors, kā arī transporta koridors Sanktpēterburga – Varšava, ļaujot izmantot Latgales reģiona potenciālu loģistikas pakalpojumu sniegšanā.

LIAS uzsvērts, ka, attīstot videi draudzīgāka un kvalitatīvāka sabiedriskā transporta infrastruktūru, tostarp uzlabojot reģionālo un starptautisko satiksmi, par prioritāru jānosaka sliežu transports un ka svarīgi ir sasaistīt dzelzceļa pasažieru pārvadājumus ar pilsētu sabiedrisko transportu, lielākajās pilsētās Latvijā, it īpaši Rīgā.

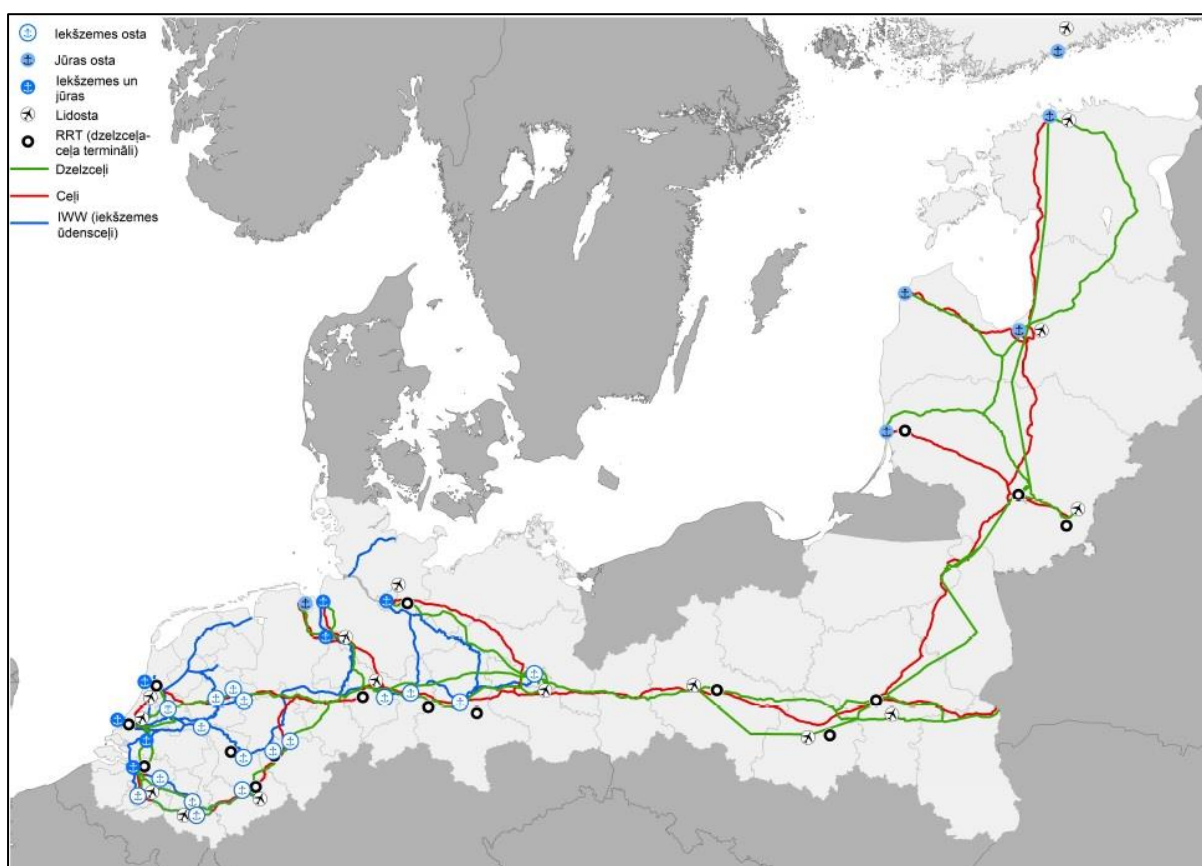
Uzlabojot mobilitāti starp Baltijas jūras reģiona valstīm, īpaši nozīmīgs un prioritārs ir starptautiskā dzelzceļa maršruta “*Rail Baltica*” projekts, kuru īstenojot tiks veicināta Latvijas integrācija vienotā Eiropas dzelzceļa sistēmā un nodrošināta iespēja izmantot dzelzceļa transportu kā līdzvērtīgu alternatīvu gaisa satiksmei, pēc iespējas nodrošinot arī sasaisti ar citiem transporta veidiem.

**Latvijas Nacionālais attīstības plāns 2014.–2020. gadam (NAP 2020)**, konkretizējot LIAS noteikto, NAP 2020 paredzēta “*Rail Baltica*” Latvijas posma tehniskās dokumentācijas izstrāde un izbūves sākšana, Austrumu – Rietumu dzelzceļa infrastruktūras atjaunošana un modernizācija (TEN-T nodrošināšana), nozīmīgāko transporta koridoru infrastruktūras nodrošināšana un attīstība (TEN-T), tostarp pilsētu satiksmes infrastruktūras sasaiste ar TEN-T tīklu un sabiedriskā transporta pakalpojumu organizēšana vienotā autobusu un vilcienu maršrutu tīklā (Indikatīvais dzelzceļa.. S.a.).

**TEN-T** ir svarīgs rīks, ar ko sasniegt transporta politikas vispārīgo mērķi līdz 2050. gadam par 60 % samazināt transporta radīto izmešu daudzumu, kas definēts arī 2011. gadā publicētajā Baltajā grāmatā. TEN-T ir multimodāls transporta tīkls, kas atvieglo ievērojama pasažieru un kravu skaita novirzīšanu no autopārvadājumiem uz dzelzceļu un citiem transporta veidiem. Lai TEN-T projekti varētu saņemt ES līdzekļus, rūpīgi tiek pārbaudīta to ietekme uz vidi. Tiem ir jāatbilst visām plānojuma un ilgtspējas prasībām, kas noteiktas ES tiesību aktos par vides aizsardzību. Tīkla politikas mērķis ir izveidot transporta infrastruktūru un savienojumus, kas stiprina vienotu tirgu, nodrošina preču un cilvēku netraucētu plūsmu un veicina izaugsmi, jaunu darbvietu rašanos un ES konkurētspēju (EK 2013).

TEN-T tīkls sastāv no 8 transporta koridoriem. Vienā no transporta koridoriem – Ziemeļjūras-Baltijas transporta koridorā – ietilpst arī Latvija. Tas ir 3 200 km garš un tam pastāv potenciāls kļūt par vienu no ekonomiski daudzveidīgākajiem transporta koridoriem Eiropas Savienībā.

**Ziemeļjūras-Baltijas koridors** (1.1. attēls) savieno Baltijas jūras austrumu piekrastes ostas ar Ziemeļjūras ostām. Šis koridors savienos Somiju un Igauniju ar prāmi, nodrošinās mūsdienīgus autotransporta un dzelzceļa transporta savienojumus starp trim Baltijas valstīm, no vienas puses, un Poliju, Vāciju, Nīderlandi un Beļģiju, no otras puses. Tas ietvers arī iekšējos ūdensceļus starp Oderas upi un Vācijas, Nīderlandes un Flandrijas ostām, piemēram, Vidus Vācijas kanālu (EK 2013).



1.1. attēls. Ziemeļjūras-Baltijas pamattīkla koridora izvietojuma karte (EK 2014)

Latvijas teritorijā Ziemeļjūras-Baltijas koridors būs virzienā no ziemeļiem uz dienvidiem, no kura atzarasies ceļš uz Ventspils ostu. Ceļi un dzelzceļi vedīs no Igaunijas-Latvijas robežas uz Rīgu, kas ir viens no pilsētu mezgliem. Šobrīd Igaunijas-Latvijas robeža šķērso 1 520 mm dzelzceļa līnija Valkā. Gaidāmā 1 435 mm dzelzceļa līnija vedīs tieši no Rīgas uz Igaunijas-Latvijas robežu Ainažos.

Rīgas–Ventspils posmā atrodas ceļš un 1 520 mm dzelzceļš, kas spēlē nozīmīgu lomu austrumu-rietumu transporta koridorā Latvijā. Savukārt dzelzceļa posms no Rīgas uz Latvijas-Lietuvas robežu iet caur Jelgavu, taču jaunais 1 435 mm sliežu ceļš vedīs tieši no Rīgas uz Latvijas-Lietuvas robežu. Šobrīd tas ved caur Bauskas pilsētu.

Ārpus Pamattīkla koridora savienojumiem Liepājas osta, Rēzeknes un Krievijas pierobežas speciālās ekonomiskās zonas ir starptautiski svarīgi loģistikas centri un spēlē nozīmīgu lomu pārrobežu kravu pārvadājuma plūsmu nodrošināšanā (EK 2014).

TEN-T dzelzceļa pamattīkls Latvijas teritorijā sastāv no četrām dzelzceļa līnijām, kas savienojas mezglos: Ventspils-Jelgava-Rīga, Jelgava-Krustpils, Rīga-Krustpils-Rēzekne-Zilupe (Krievijas robeža) un Rīga-Krustpils-Daugavpils-Indra (Baltkrievijas robeža). Jelgava-Rīga līnija un daļa no Rīga-Krustpils (Rīga-Aizkraukle) līnijas ir elektrificētas. Visi TEN-T pamattīkla dzelzceļa posmi Latvijā tiek atzīmēti kā modernizēti plānotās elektrifikācijas ieviešanas dēļ un tiek paredzēti kā kravu, tā pasažieru pārvadājumu satiksmes nodrošināšanai, izņemot posmu Jelgava-Krustpils, kas paredzēts tikai kravu pārvadājumiem (EK 2014).

Nozīmīgākais projekts ir *“Rail Baltica”* — ātrgaitas dzelzceļa līnija ar Eiropas standarta sliežu platumu 1 435 mm – projektēta ar mērķi kļūt par daļu no ES TEN-T Ziemeļjūras – Baltijas tīkla koridora, kas caur Nīderlandi, Beļģiju, Vāciju un Poliju savienos Eiropas lielākās ostas pilsētas – Roterdamu, Hamburgu un Antverpeni – ar trim Baltijas valstīm (EK 2013).

*“Rail Baltica”* ir jauns dzelzceļa infrastruktūras projekts, kura mērķis ir integrēt Baltijas valstis Eiropas dzelzceļu tīklā. Projektā piedalās piecas Eiropas Savienības valstis – Polija, Lietuva, Latvija, Igaunija un, lai arī netieši, Somija. Paredzēts, ka dzelzceļa līnija savienos Helsinkus, Tallinu, Pērnavu, Rīgu, Paņevežu, Kauņu, Viļņu un Varšavu (skat. 1.2. attēlu).

Tā būs elektrificēta, ar Eiropas Dzelzceļa satiksmes vadības sistēmu aprīkota divceļu dzelzceļa līnija, kuras maksimālais plānotais ātrums ir 240 km/h maršrutā no Tallinas līdz Lietuvas–Polijas robežai caur Pērnavu, Rīgu, Panevėžu un Kauņu, kā arī savienojot Kauņu ar Viļņu.



1.2. attēls. “Rail Baltica” – Igaunija, Latvija, Lietuva, Polija – karte (Rail Baltica S.a.)

**Transporta attīstības pamatnostādnes 2014.–2020. gadam (TAP 2020)** atbilstoši Baltajai grāmatai uzsvēta vairāku dzelzceļa līniju elektrifikācijas nepieciešamība, tādējādi tiktu ne tikai panākta lielāka energoefektivitāte, bet arī būtiski samazināts kaitīgo izmešu daudzums (daļa patlaban pa autoceļiem pārvadāto kravu tiktu pārvadātas pa dzelzceļu, kas ir energoefektīvāks pārvadājumu veids), kā arī “Rail Baltica” dzelzceļa līnijas attīstība. “Rail Baltica” attīstības nozīmīgums uzsvērts arī ES Stratēģijas Baltijas jūras reģionam īstenošanas kontekstā.

TAP 2020 kā būtiskas risināmas problēmas norādītas:

- publiskās lietošanas dzelzceļa infrastruktūras uzturēšana patlaban notiek minimāli iespējamā (nepietiekamā) apjomā, jo nav ieviests ilgtspējīgs, ES tiesību aktiem un labākajai praksei atbilstošs finansēšanas mehānisms publiskās lietošanas dzelzceļa infrastruktūras uzturēšanai un atjaunošanai;
- nav skaidras politikas attiecībā uz maznoslogotām dzelzceļa līnijām un pievedceļiem, kas sadārdzina infrastruktūru kopumā un rada potenciālu konkurences priekšrocību klientiem, kuru pieslēgumus stratēģiskās nozīmes dzelzceļa tīklam daļēji uztur uz kravu pārvadājumu rēķina galvenajos maršrutos;

- nav noteiktas politikas attiecībā uz tām dzelzceļa līnijām, kurās kustība pārtraukta, tādējādi radot izmaksas, kuras nevar attiecināt uz saimniecisko darbību;
- zems dzelzceļa tīkla elektrifikācijas īpatsvars un augsts esošās sistēmas nolietojums, kas sadārdzina pārvadājumus (augstākas degvielas un ritošā sastāva ekspluatācijas izmaksas) un negatīvi ietekmē vidi (augstāks kaitīgo izmešu apjoms uz vienu pakalpojuma vienību);
- nav sliežu ceļa savienojuma ar starptautisko lidostu "Rīga", kā dēļ tiek samazināta lidostas pievilcība ilgtermiņā;
- mūsdienu prasībām neatbilstoša pasažieru apkalpošanai paredzētā dzelzceļa infrastruktūra.

Lai risinātu šīs problēmas, paredzēti konkrēti pasākumi, tostarp TEN-T tīklā esošā dzelzceļa tīkla infrastruktūras attīstība ("*Rail Baltica*", Austrumu – Rietumu dzelzceļa koridora un Pierīgas pasažieru vilcienu maršrutu tīkla elektrifikācija ar 25 kV maiņspriegumu, dzelzceļa pasažieru infrastruktūras modernizācija, nozīmīgāko dzelzceļa mezglu rekonstrukcija u.c.), ilgtspējīga publiskās lietošanas dzelzceļa infrastruktūras uzturēšanas un atjaunošanas finansēšanas mehānisma izstrāde, paredzot valsts budžeta finansējumu un ieviešot Direktīvas, ar ko izveido vienotu Eiropas dzelzceļa telpu (pārstrādāta redakcija), prasības, kā arī valsts politikas (īpašumtiesības, finansējums utt.) izstrādi kustībai slēgtu vai maznoslogotu transporta infrastruktūras (ceļu, dzelzceļa) posmu un dzelzceļa pievedceļu apsaimniekošanā. Pašlaik notiek TAP2020 vidus posma izvērtēšana.

## **1.2. Atmosfēras piesārņojuma avoti un emisijas**

Atmosfēras piesārņojuma avots ir vieta, no kuras tas tiek emitēts. Piesārņojuma avotiem var būt gan biogēna jeb dabiska, gan antropogēna izcelsme. Biogēnas izcelsmes emisijas ir tādas emisijas, kas ir atrodamas dabā vai arī tās tiek emitētas no dabīgiem avotiem, piemēram, vulkāniskā darbība vai smilšu putekļi. Savukārt antropogēnas izcelsmes emisijas ir emisijas, kuras rodas cilvēka darbības rezultātā, piemēram, rūpnieciskā darbība (Stapleton 2004; Vallero 2014).

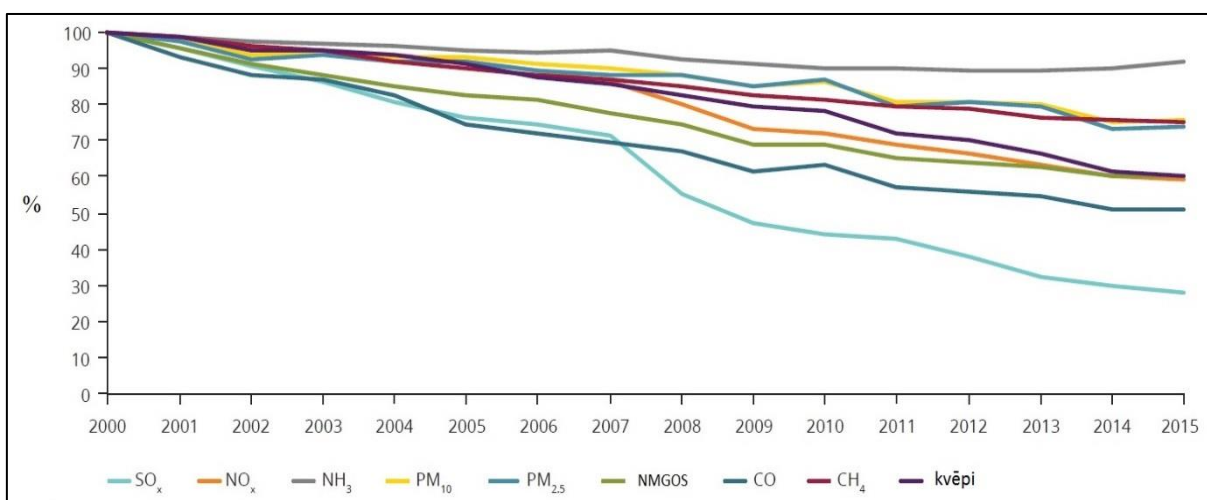
Gaisa piesārņotāji tiek iedalīti 2 grupās: primārie un sekundārie piesārņotāji. Primārie piesārņotāji atmosfērā nonāk kā tiešās emisijas, bet sekundārie – rodas atmosfērā primārajiem piesārņotājiem, ķīmiski reaģējot ar citiem atmosfēras komponentiem.

Kopumā kontrolēt primāro piesārņotāju emisiju apjomu ir vieglāk nekā sekundāro, jo iespējams piemērot dažādus normatīvus vai izveidot ekodizainu, kā arī izmantot dažādas “*end-of-pipe*” metodes izmešu attīrīšanai pirms to emitēšanās atmosfērā (Donahue 2018).

Primārie gaisa piesārņotāji ir cietās daļiņas (PM), melnais ogleklis (MO), sēra oksīdi (SO<sub>x</sub>), slāpekļa oksīdi (NO<sub>x</sub>), amonjaks (NH<sub>3</sub>), oglekļa oksīds (CO), metāns (CH<sub>4</sub>), ne-metāna gaistošie organiskie savienojumi (NMGOS), benzols (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), toksiskie metāli (As, Cd, Ni, Hg, Pb) un policikliskie aromātiskie ogļūdeņraži, piemēram, benzo(a)pirēns (BaP). Pie sekundārajiem piesārņotājiem pieder sekundārie PM, O<sub>3</sub> un NO<sub>2</sub>. (Harrison 2001; Stapleton 2004).

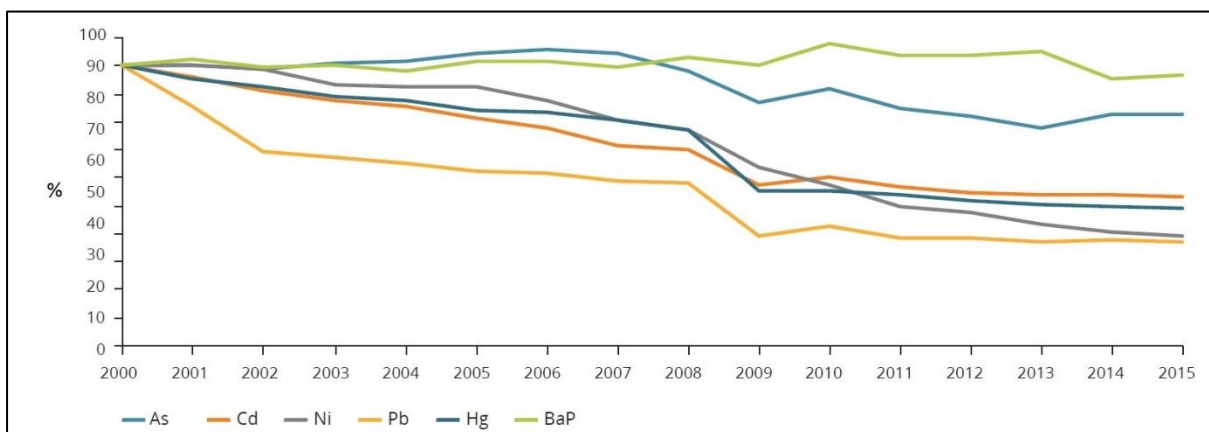
### 1.2.1. Kopējās piesārņojošo emisiju apjomi gaisā

Primārās un prekursoru emisijas apjomiem, kas saistīti ar PM, O<sub>3</sub> un NO<sub>2</sub> koncentrāciju gaisā, ES-28 valstīs no 2000. līdz 2015. gadam ir novērojams samazinājums (skat. 1.3. attēlu) (EEA 2017a). Vismazākais apjomu samazinājums ir NH<sub>3</sub> (ES-28 valstīs – 8%). Turpretim līdz šim lielākais apjoma samazinājums ir SO<sub>x</sub> emisijām – 72%.



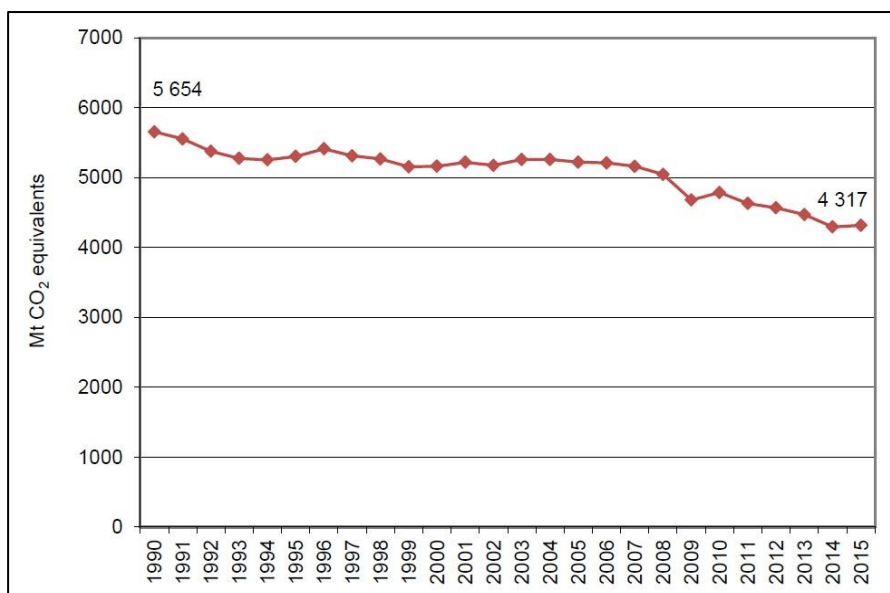
1.3. attēls. ES-28 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NMGOS, CO, CH<sub>4</sub> un kvēpi emisiju tendences no 2000. līdz 2015. gadam (% no 2000.gada) (EEA 2017a; 2017b)

Attiecībā uz pārējiem piesārņotājiem (As, Cd, Ni, Pb, Hg un BaP) 1.4. attēls parāda to emisiju samazinājumu no 2000. līdz 2015. gadam, lai gan to apjomi ir stabilizējušies kopš 2011. gada. Lielākā emisiju samazināšana ES-28 valstīs ir Pb (63% emisiju samazinājums) un Ni (61% emisiju samazinājums). Mazākais emisiju apjoma samazinājums ir BaP, kas samazināts tikai par 3% ES-28 valstīs. Lai gan benzols nav iekļauts kā atsevišķs piesārņotājs Eiropas emisiju inventarizācijā, tā apjomi ir būtiski kritušies kopš Degvielas kvalitātes direktīvas pārskatīšanas.



1.4. attēls. ES-28 As, Cd, Ni, Pb, BaP emisiju tendences no 2000. līdz 2015. gadam (% no 2000. gada) (EEA 2017a; 2017b)

Ja produkts sava dzīves cikla laikā emitē tādas SEG emisijas kā metānu un slāpekļa oksīdus, to kopējo ieguldījumu var izteikt kā CO<sub>2</sub> ekvivalenta summu, ņemot vērā noteiktās emisijas globālās sasilšanas potenciāla vērtību (McIntosh, Pontius 2017). CO<sub>2</sub> ekvivalents ir tādu tiešo emisiju summa kā CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> un N<sub>2</sub>O, taču tajā neiekļauj CO, NO<sub>x</sub> un NMGOS (Mulley et al. 2017). 1.5. attēlā parādītas SEG izmešu tendence ES-28 valstīs un Islandē no 1990. gada līdz 2015. gadam.



1.5. attēls. ES-28 valstu un Islandes SEG emisijas 1990-2015, Mt CO<sub>2</sub> ekv. (EEA 2017c)

Globālās sasilšanas potenciāls ļauj salīdzināt dažādu gāzu ietekmi uz globālo sasilšanu. Respektīvi, tā ir vērtība, kas parāda, cik daudz enerģijas uz vienu tonnu noteiktās gāzes absorbējas noteiktā laika periodā, salīdzinot ar 1 tonnu CO<sub>2</sub> emisiju. Jo lielāks ir GSP, jo vairāk dotā gāze sasilda Zemi, salīdzinot ar CO<sub>2</sub> dotajā laika periodā, kas parasti ir 100 gadi. GSP ir vienota mērvienība, kas ļauj zinātniekiem un analītiķiem sastādīt dažādu gāzu emisiju novērtējumus, piemēram, valsts SEG inventarizācijas (EPA S.a.). SEG emisiju globālās sasilšanas potenciāli doti 1.1. tabulā. Treknrakstā izceltās SEG emisijas ir tās, kuras rodas transporta sektorā.

1.1. tabula

Globālās sasilšanas potenciālu vērtības (sastādījusi autore pēc IPCC 2007; 2013)

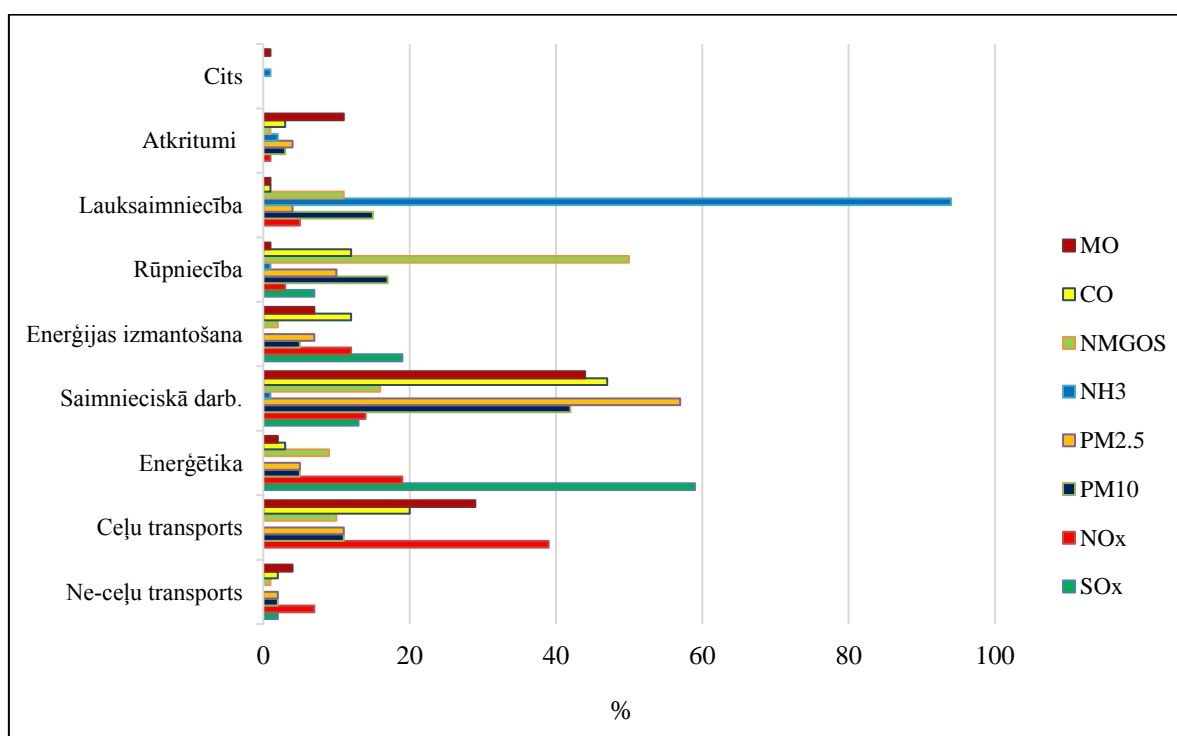
Nosaukums	Ķīmiskā formula	GSP, 100 gados (IPCC 2007)	GSP, 100 gados (IPCC 2013)
<b>Oglekļa dioksīds</b>	CO <sub>2</sub>	1	1
Metāns	CH <sub>4</sub>	25	28
<b>Slāpekļa oksīds</b>	N <sub>2</sub> O	298	265
Oglekļa tetrahlorīds	CCl <sub>4</sub>	1 400	1 730
Metilbromīds	CH <sub>3</sub> Br	5	2
Metilhloroforms	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	146	160
Sēra heksafluorīds	SF <sub>6</sub>	22 800	23 500
Slāpekļa trifluorīds	NF <sub>3</sub>	17 200	16 100

### 1.2.2. Gaisa piesārņotāju emisiju sektorālais sadalījums

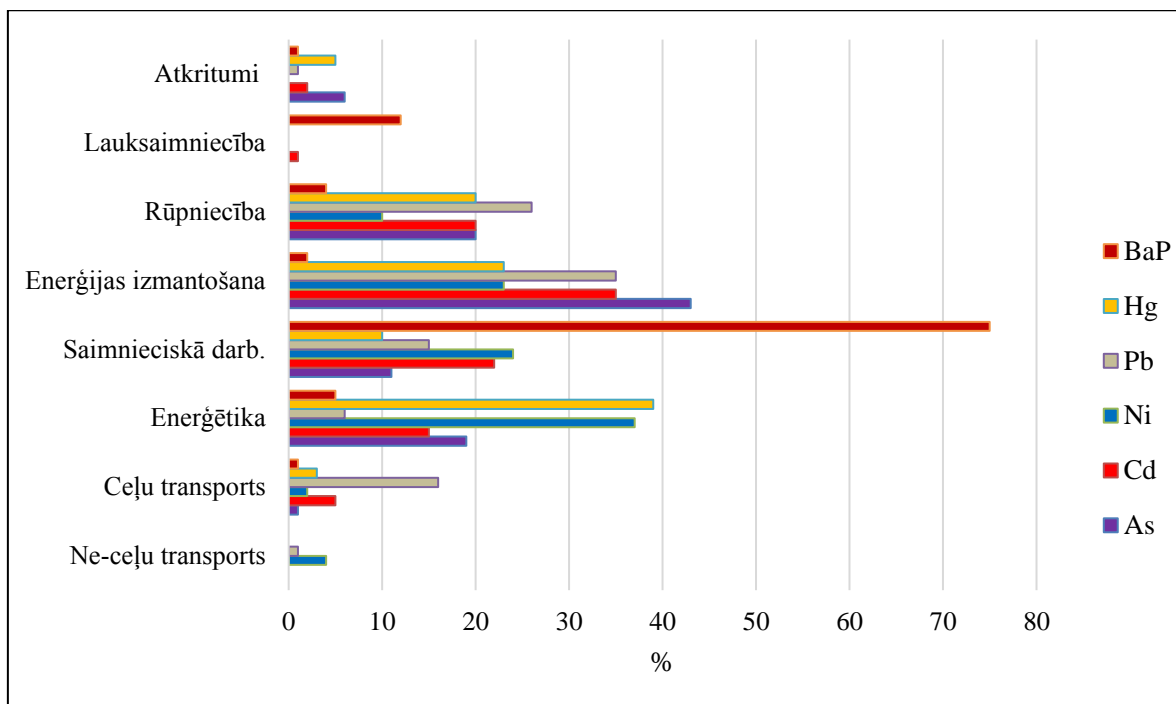
Galvenie sektori, kas ir atbildīgi par gaisa piesārņojumu Eiropā ir “ne-ceļu” un ceļu transports, saimnieciskā darbība, kas sastāv no komerciālā, institucionālā un mājsaimniecību sektora, enerģētikas, enerģijas izmantošanas, rūpniecības, lauksaimniecības un atkritumu sektora (EEA 2017a).

1.6. un 1.7. attēlā redzams, ka ceļu transporta sektors 2015. gadā bija lielākais NO<sub>x</sub> emitētājs kopējā NO<sub>x</sub> emisiju apjomā un otrs lielākais melnā oglekļa (MO) jeb kvēpu emitētājs, taču savu devumu BaP, As, Hg un Cd ES-28 kopējā emisiju apjomā devis maz.

Savukārt “ne-ceļu” transporta (aviācija (nolaišanās un pacelšanās laikā), dzelzceļš, kuģošana) sektora ieguldījums kopējā emisiju apjomā ir relatīvi neliels.



1.6. attēls. ES-28 emisiju (MO, CO, NMGOS, NH<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) sektorālais sadalījums 2015. gadā, % (izstrādājusi autore pēc EEA 2017a)



1.7. attēls. ES-28 emisiju (BaP, Hg, Pb, Ni, Cd, As) sektorālais sadalījums 2015. gadā, % (izstrādājusi autore pēc EEA 2017a)

### 1.3. Transporta emisiju raksturojums Eiropā

Transports ir viens no galvenajiem gaisa piesārņotājiem Eiropā, it īpaši pilsētās un to aglomer ācijās. Transporta – automašīnu, dzelzceļa un gaisa transporta – emisijas lielākoties rodas iekšdedzes dzinējos, izmantojot fosilo degvielu. Galvenās transporta izplūdes gāzu emisijas ir NO<sub>x</sub>, PM, CO<sub>2</sub>, CH un CO (Vallero 2014), taču pastāv arī ne-izplūdes gāzu emisijas, kā, piemēram, PM, kas galvenokārt rodas mehāniskā nodiluma – bremzēšanas, riepu nodiluma un ceļu seguma nolietojuma – rezultātā, taču pagaidām šīs emisijas netiek regulētas (UIC, CER 2015).

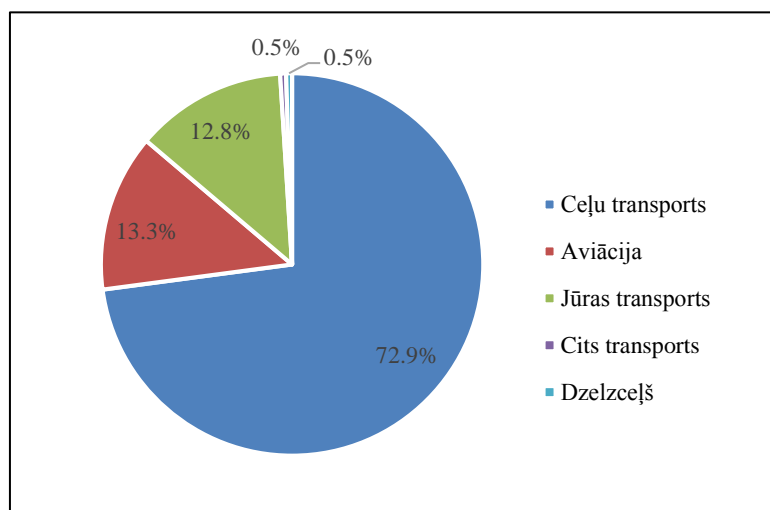
Pēdējos gados arvien vairāk tiek lietots tāds jēdziens kā bez-emisiju jeb “*zero emission*” transportlīdzekļi. Lai gan par šo jēdzienu vairāk tiek runāts autotransporta kontekstā (hibrīdauto, elektroautomobilis), taču arvien vairāk zinātniskie pētījumi pierāda, ka šādi transportlīdzekļi netiek uzskatīti par veidu, kā tiks samazināts gaisa piesārņojums, ja elektroenerģiju, ko izmantos elektrotransportlīdzekļos tiks iegūta no spēkstacijām, kurās izmanto fosilo kurināmo. Pat ūdeņraža, saules un vēja enerģijas sistēmas nav uzskatāmas par emisiju brīvām sistēmām, jo to ražošanai nepieciešama enerģija un materiāli, kas ir bīstami kā vides, tā cilvēka veselībai (Vallero 2014).

ES-28 valstīs no 1990. līdz 2014. gada periodam SEG apjomi ir sarukuši par 22,4%. Visi avotu sektori veicināja šo samazinājumu, izņemot transporta sektors, kas parādījis pretēju tendenci. Iepriekš minētajā periodā transporta sektors par 13,3% palielinājis savas emisijas (Eurostat 2016). Līdz ar to transporta sektora ieguldījums kopš 1990. gada ir ievērojami palielinājies, sasniedzot 20,8% no kopējām siltumnīcefekta gāzu emisijām 2014. gadā. Transporta sektors pašlaik ir otrais nozīmīgākais emisiju avots ES-28 enerģijas sektorā.

Pieaugošā emisiju tendence ES-28 valstīs transporta sektorā ir saistīta ar tā enerģijas patēriņa palielināšanos par 24,2%. Laikā no 1990. līdz 2007. gadam, kad tika novērota augsta ekonomikas attīstība, ES-28 enerģijas patēriņš transporta sektorā pieauga par 34,8% un tā emisijas par 25,9%, turpretim posmā no 2007. līdz 2014. gadam, kura laikā notika ekonomiskā lejupslīde un lēnāka tās attīstība, – enerģijas patēriņš kritās par 7,9% un emisijas par 10% (Andres, Padilla 2018).

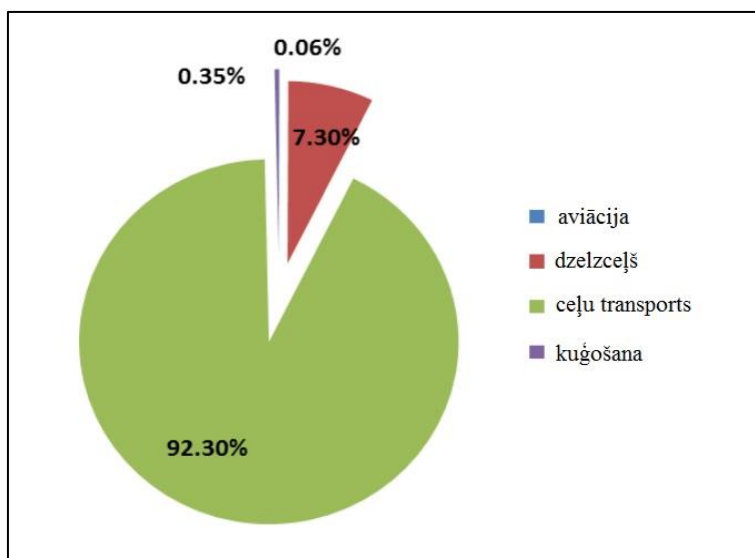
2015. gadā transports (tajā skaitā aviācija un kuģošana) bija atbildīgs par 25,8% no kopējā SEG emisiju apjoma ES-28 valstīs. Šis skaitlis samazinās līdz 21%, ja kopējā rezultātā netiek ņemta vērā kuģošana.

1.8. attēlā redzams, ka 2015. gadā ceļu transports emitēja gandrīz 73% no kopējā transporta sektora SEG emisiju apjoma. Redzams, ka dzelzceļa transports no kopējā SEG emisiju apjoma sastāda tikai 0,5% (EEA 2017c). Tomēr, neskatoties uz to, ES dalībvalstis vēl aizvien turpina samazināt dzelzceļa transporta radītās SEG emisijas.



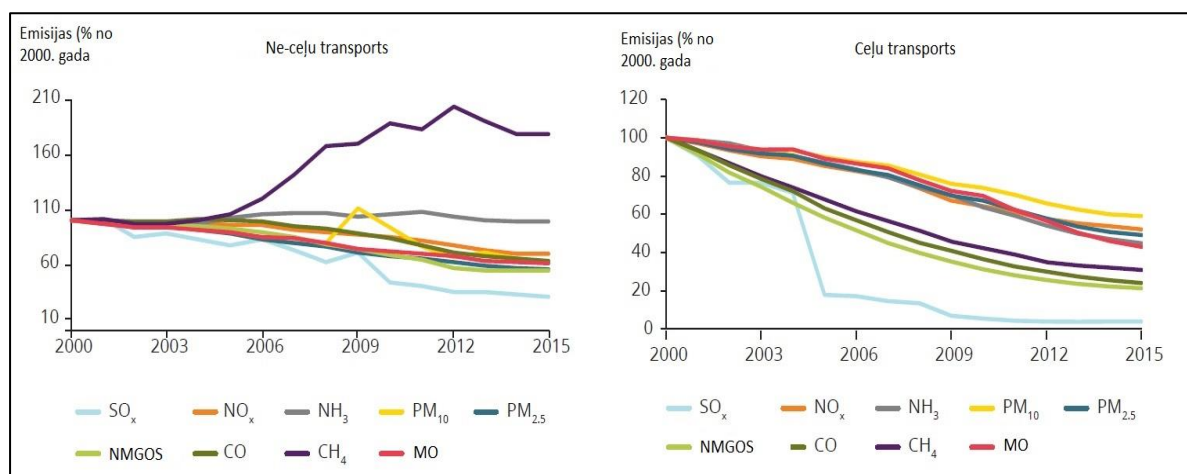
1.8. attēls. Transporta sektora SEG emisiju procentuālais sadalījums Eiropā 2015. gadā (EEA 2017c)

Savukārt 1.9. attēls parāda transporta sektora SEG emisiju procentuālo sadalījumu Latvijā 2015. gadā. Salīdzinot 1.8. attēlu un 1.9. attēlus, redzams, ka gan Eiropā, gan Latvijā primārais SEG emisiju piesārņojuma avots transporta sektorā ir ceļu transports jeb autotransports (Eiropā – 72,9%, Latvijā – 92,3%). Tomēr salīdzinājumā ar Eiropu, Latvijā kā otrs lielākais gaisa piesārņojuma emitētājs ir dzelzceļa transports (7,3%), kamēr Eiropā tas sastāda tikai 0,5% no visa kopējā gaisa emisiju apjoma.

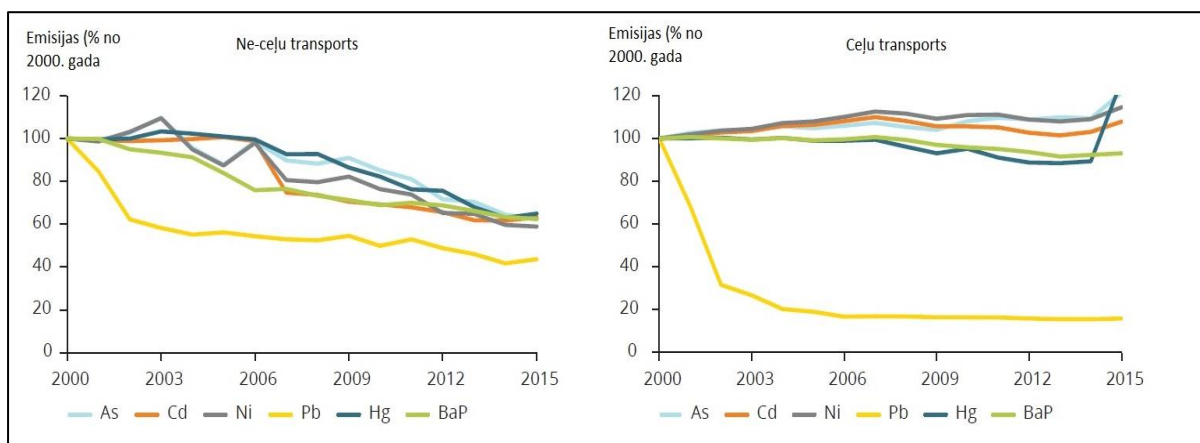


1.9. attēls. Transporta sektora SEG emisiju procentuālais sadalījums Latvijā 2015. gadā (Gancone et al. 2017)

Kā parāda 1.10. un 1.11. attēli, emisijas no ceļu transporta ir būtiski mazinājušās par vairāk kā 25% kopš 2000. gada, izņemot As, Hg, Ni un Cd emisijas. Lielākais emisiju samazinājums no 2000. līdz 2015. gadam bija SO<sub>x</sub>, Pb un NMGOS.



1.10. attēls. Emisiju tendences ES-28 “ne-ceļu” un ceļu transportam no 2000. līdz 2015. gadam (EEA 2017c; d)



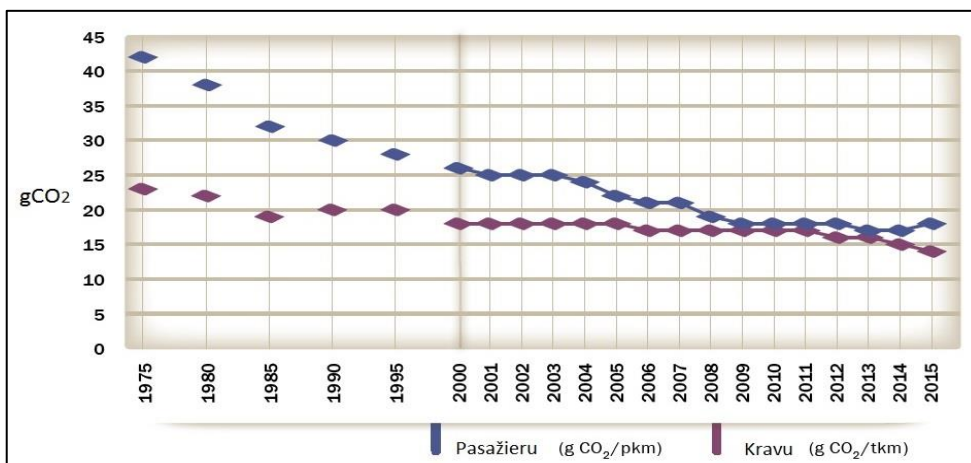
1.11. attēls. Smago metālu un BaP emisiju tendences ES-28 “ne-ceļu” un ceļu transportam no 2000. līdz 2015. gadam (EEA 2017c; d)

## 1.4. Dzelzceļa transporta emisijas

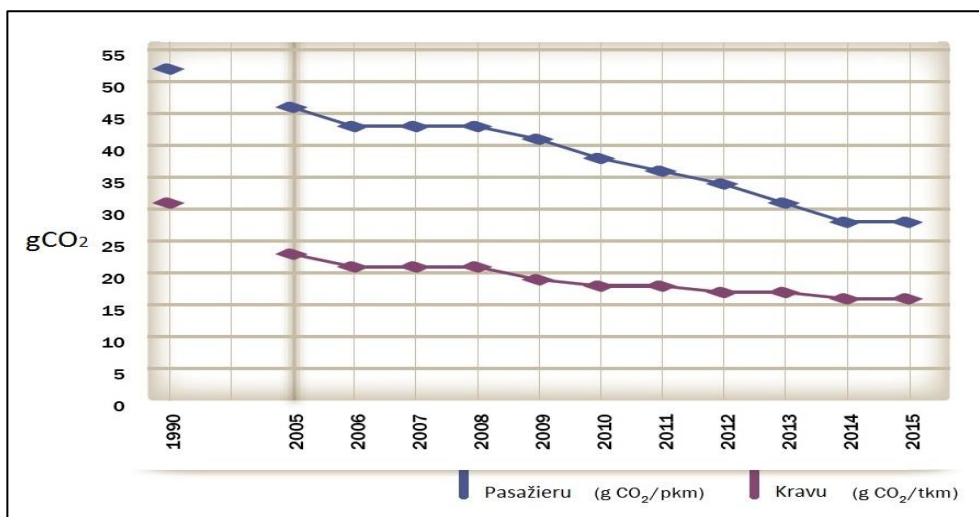
Dzelzceļa transporta emisijas var iedalīt 3 avotos: dīzeļvilcienu iekšdedzes dzinēju darbības rezultātā radušās emisijas; emisijas, kuras tiek netieši producētas no elektrovilcieniem – bremzēšanas rezultātā radušais PM, kā arī elektroenerģijas radītais CO<sub>2</sub> un emisijas, kuras emitē stacionārie avoti, piemēram, dzelzceļa stacijas vai pieturas punkti. Dīzeļvilcieni tieši emitē visus tos piesārņotājus, kas raksturīgi dīzeļdegvielas sadegšanas procesam (Hobson, Smith 2001).

Dīzeļdzinēja (kompresijas aizdedze) ciklu regulē nemainīga sastāva degvielas un gaisa maisījuma plūsmas padeve, kas ir atkarīga no dzinēja ātruma. Dīzeļdzinējs normālos apstākļos darbojas uz tāda stehiometriskā maisījuma, kura gaisa un degvielas noteiktā proporcija ir 40:1, kas nozīmē, ka sadegšanas procesi ir pilnīgāki un ūdeņraža un oglekļa monoksīda emisijas tiek samazinātas. Reālās emisijas no dīzeļdzinējiem ir (1) slāpekļa oksīdi dzirksteļzādzdedzes dzinējiem; (2) cietās daļiņas, kas lielākoties ir nesadedzis ogleklis; (3) daļēji sadeguši organiskie savienojumi, kas izraisa acu un augšējo elpceļu kairinājumu; un (4) sēra oksīdi, kas rodas no degvielas izmantošanas, kas satur sēra savienojumus. No tā izriet, ka būtiskākās gaisa piesārņojošo vielu emisijas no dzelzceļa transporta ir CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> un PM un SO<sub>2</sub> (Vallero 2008), taču tiek emitētas arī tādas emisijas kā CO, CH, NMGOS, NH<sub>3</sub> un TSP.

Dzelzceļa transports ir vienīgais no galvenajiem transporta veidiem, kas var lepoties ar efektīvu enerģijas izmantošanu. Vēl jo vairāk, dzelzceļa transports ir vienīgais transporta veids, kas samazinājis savas CO<sub>2</sub> emisijas Pasaules mērogā kopš 1975. gada, ar izņēmumu 2014. gadā, kad emisijas šķietami sāka pieaugt. Tas izskaidrojams ar enerģijas lietojuma palielināšanos (skat. 1.12. attēlu). Eiropas mērogā emisiju samazinājums tiek novērots kopš 1990. gada, kas ir parādīts 1.13. attēlā. Citi motorizētie transporta līdzekļi ir paaugstinājuši savu devumu kopējā SEG emisiju apjomā.



1.12. attēls. Pasažieru un kravu pārvadājumu specifiskās CO<sub>2</sub> emisijas no 1975. līdz 2015. gadam (UIC 2017)



1.13. attēls. Pasažieru un kravu pārvadājumu specifiskās CO<sub>2</sub> emisijas no 1990. līdz 2015. gadam (UIC 2017)

No vides viedokļa tiek uzskatīts, ka dzelzceļa pārvadājumiem ir daudz mazāka ietekme uz vidi, kas izskaidrojams ar dzelzceļa transporta ievērojamo energoefektivitāti, salīdzinot ar autotransportu (Behrends 2017). Zināms, ka dzelzceļa transporta CO, NO<sub>x</sub> un PM emisiju apjomi ir daudz mazāki, nekā no autotransporta, aviācijas vai kuģošanas sektora (Fuglestvedt et al. 2008; Uherek et al. 2010).

Kā vides kvalitātes uzlabojošs un dzelzceļa emisiju samazinošs risinājums tiek minēts dzelzceļu tīkla elektrifikācija un tāda ritošā sastāva ekspluatēšana, kuros kā galvenā enerģija tiek izmantota elektroenerģija kā pasažieru, tā kravu pārvadājumiem (Van Essen 2008). Taču citi zinātniskie pētījumi šo apgalvojumu noliedz, sakot, ka elektrovilcieni un elektrolokomotīves nav uzskatāmi par no emisijām pilnīgi brīviem transportlīdzekļiem, jo tie netieši emitē PM, kas rodas abrāzijas un mehāniskā nodiluma rezultātā – dzelzceļa sliežu nolietojums, bremzēšana, riteņu un oglekļa kontaktsloksnes (Fridell et al. 2010; Thorpe, Harrison 2008, Silkāns 2017). Ne-izplūdes jeb mehāniskā nodiluma rezultātā radušās emisijas ir liels dzelzceļa transporta trūkums, jo to kontrole ir daudz komplicētāka nekā izplūdes gāzu emisijām (Abbasi et al. 2013).

Ne-izplūdes gāzu emisijas paaugstina tādi dzelzceļa infrastruktūras rādītāji un faktori kā ass slodzes palielināšanās un vilciena braukšanas ātrums, kā arī vilcienu kustības intensitāte. Transportlīdzekļa tehniskā specifikācija – ass slodze, riteņu un bremžu materiāli un to īpašības, bremzēšanas sistēma un shēma – arī ir būtiski faktori dzelzceļa ritošā sastāva emisijām. Jāņem vērā arī dzelzceļu infrastruktūras specifikāciju un nolietojuma apstākļus (Abbasi et al. 2012; Maricq 2007; Nieuwenhuijsen et al. 2007; Salma 2009). Tiek minēts, ka mehāniskā nodiluma emisijas ietekmē arī transportlīdzekļa svars (Timmers, Achten 2016).

## 1.5. Dzelzceļa ritošais sastāvs un tā tehniskā specifikācija

### 1.5.1. Dīzeļvilcieni

Dīzeļvilcienus pēc to kalpošanas veida iedala kravas, pasažieru un manevru dīzeļlokomotīves. Par dīzeļvilcienu sauc patstāvīgi saformētu sastāvu ar vienu vai diviem motorvagoniem un dīzeļa spēkiekārtu (Greckis, 1996).

Darbā apskatīti tieši kravas un pasažieru dīzeļvilcieni. Kravas dīzeļlokomotīvju tehniskā specifikācija ir apkopota 1.2. tabulā. Savukārt dīzeļvilcienu – 1.3. tabulā. Redzams, ka pasažieru tehniskā specifikācija ir atkarīga arī no vagonu skaita. Pēc AS “Pasažieru vilciens” informācijas šobrīd ekspluatējamo dīzeļvilcienu parkā ir 22 sastāvi. Tabulās dotie dati tiek ņemti vērā, aprēķinot izplūdes gāzes emisijas darba 3. nodaļā par rezultātiem.

1.2. tabula

Kravas dīzeļlokomotīvju tehniskā specifikācija (apkopojusi autore, izmantojot LDzB 2017, Кузьмич 2011, Иванова 1974, Ветров 2008, Тищенко 1976, CZ Loko S.a., Тепловоz M62 1974, Тепловоz 2ТЭ116 1996, Тепловозы 2ТЭ10М и 3ТЭ10М 1986, Тищенко 1976)

Sērija	Svars, t	Jauda, kW	Dzinēja ieviešanas ekspluatācijā gads	Sekciju skaits 2017. gadā <sup>1</sup>
M62	119	1 270	1996 un vecākas	14
2M62	2x120	2x1 270		18
2M62U	2x126	2x1 270		40
2M62UM mod.	2x138	2x2 200	2011 un jaunākas	14
2TE10M	2x138	2x2 200	1996 un vecākas	18
2TE10U	2x138	2x2 200		28
2TE116	2x138	2x2 250		8

<sup>1</sup> 2017. gadā ekspluatēto sekciju skaits. SIA “LDZ CARGO” dati.

Pasažieru dīzeļvilcienu tehniskā specifikācija (apkopojusi autore, izmantojot Бетров 2008 un AS “Pasažieru vilciens” datus)

Sērija	Vagonu skaits	Vilciena svars (ekipēta), t	Jauda, kW	Dzinēja ieviešanas ekspluatācijā gads
DR1A	3	132	736	1996 un vecākas
	6	256	1 472	
DR1AM	3	135	745	2006-2010
	6	262	1490	
DR1AC mod.	3	146,9	835,9	2011 un jaunākas
	4	205,1	1 671,8	
	6	293,8	1 671,8	

### 1.5.2. Elektrovilcieni

Piepilsētas pasažieru kustībā elektrificētajās līnijās tiek izmantoti elektrovilcieni, kas sastāv no motoru un piekabes elektrovagoniem. Motorvagona jauda aprēķināta, izejot no tā pārvietošanās iespējām kopā ar vienu vai diviem piekabes vagoniem. Atkarībā no pasažieru plūsmas izmēriem vilcieni tiek formēti no 4, 6, 8, 10 vai 12 vagoniem. Ar līdzstrāvu elektrificētajās piepilsētas līnijās izmanto arī vēlāk darbā apskatītos ER1 un ER2 sēriju pasažieru elektrovilcienus (Greckis 1996).

1.4. tabulā ir apkopota informācija par elektrovilcienu tehnisko specifikāciju. Tāpat kā pasažieru dīzeļvilcieniem, arī elektrovilcieniem tehniskā specifikācija tiek iedalīta pēc vagonu skaita vienā sastāvā.

Pēc AS “Pasažieru vilciens” informācijas šobrīd ekspluatējamo elektrovilcienu parkā ir 25 sastāvi.

Elektrovilcienu tehniskā specifikācija (apkopojusi autore, izmantojot AS “Pasažieru vilciens” datus; Просви́рин 2001)

Sērija	Vagonu skaits	Svars, t	Jauda, kW	Spriegums, V	Paātrin., $m/s^2$	Bremz., $m/s^2$
ER2	4	191	1 600	3000	0,6	0,8
	6	286	1 800			
ER2T	4	191	1 880		0,72	0,8
	6	286	2 820			

## 1.6. Pārvadājumu statistika un struktūra

Transports tūlīt pēc iegūstošās rūpniecības, zemkopības un apstrādājošās rūpniecības pieder pie materiālās ražošanas sfēras. Tomēr atšķirībā no citām rūpniecības nozarēm transports neražo jaunu produkciju. Transporta produkcija ir pasažieru un kravu pārvadāšana.

Pasažieru un kravu pārvadāšanā tiek izmantoti dažādi savstarpēji saistīti un mijiedarbīgi transporta veidi.

Atkarībā no tā funkcijām ražošanas procesā transports iedalāms šādi:

- *iekšējais* jeb *rūpnieciskais*, kurš nodrošina galvenokārt attiecīgās nozares tehnoloģiskās vajadzības (kravas pārvadājumi uzņēmuma robežās; izejvielu, degvielas, materiālu piegāde no maģistrālā ceļa un gatavās produkcijas un tukšo vagonu nogāde pretējā virzienā);
- *ārējais* jeb *maģistrālais*, kurš nodrošina ekonomiskos sakarus starp produkcijas ražotājiem un patērētājiem un pasažieru pārvadājumus.

*Maģistrālais* transports iedalāms dzelzceļa, ūdens (upju un jūras), auto, gaisa un cauruļvadu (naftas produktu un gāzes) transportā. Kopējā transporta sistēmā ietilpst arī elektropārvades līnijas (Greckis 1996).

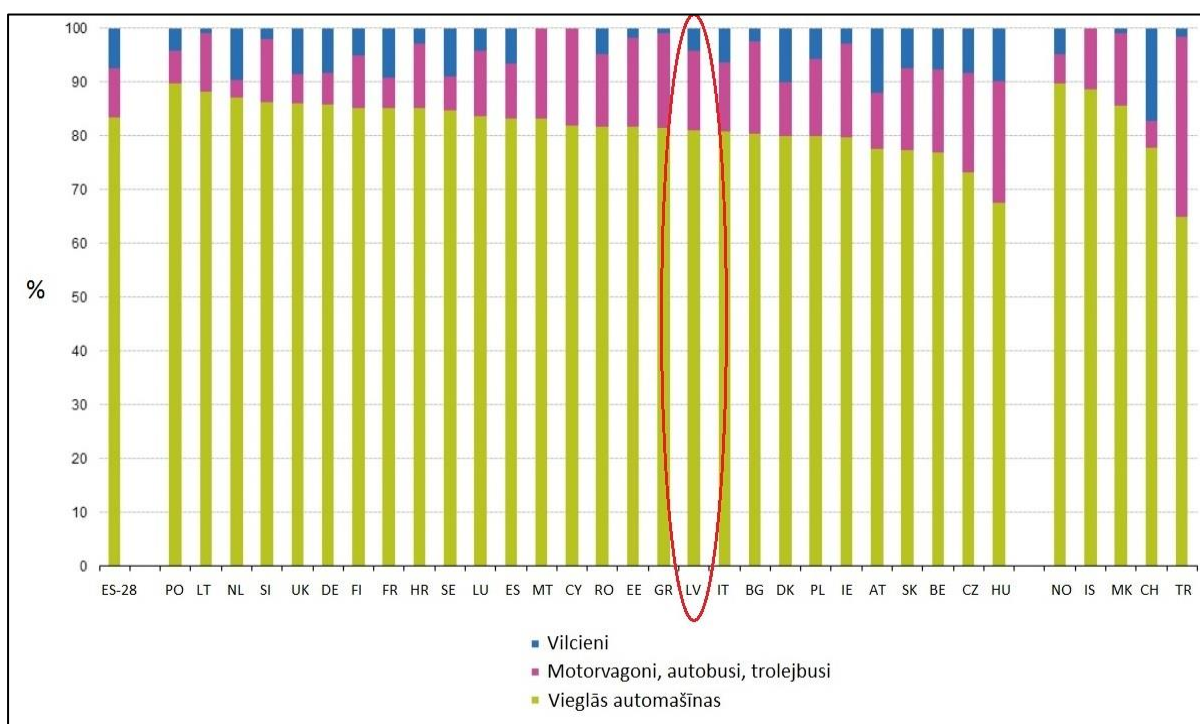
Dzelzceļa transports ir transporta veids, kurš ir visvairāk piemērots masveida pārvadājumiem, funkcionē dienu un nakti neatkarīgi no gadalaika un laika apstākļiem. Kā arī salīdzinājumā ar citiem transporta veidiem, dzelzceļam ir mazāka ietekme uz vidi; tam ir zemāka pārvadāšanas darba energoietilpība un augstāka drošības pakāpe.

### 1.6.1. Pasažieru pārvadājumi Eiropā

2014. gadā ES-28 valstīs vieglās automašīnas sastādīja 83,4% no iekšzemes pasažieru pārvadājumiem pēc transporta veida, taču ar motorvagoniem, autobusiem un trolejbusiem tie bija 9,1%, ar vilcieniem – 7,6%, kas nozīmē, ka ar šiem transportlīdzekļiem pārvietojas mazāk nekā desmitā daļa no visa iekšzemes transporta satiksmes (rēķināta kā vērtība no iekšzemes pasažieru-kilometra, kas veikta katrā transportlīdzeklī). Šī informācija apskatāma 1.14. attēlā.

No 2004. līdz 2014. gadam vieglo automašīnu pasažieru pārvadājumi bija relatīvi stabili un variēja no 83% līdz 83,7%. Šajā periodā nepārtraukti pieauga arī ar vilcienu pārvadāto pasažieru daudzums (lai gan starp 2008. un 2009., 2012. un 2013. gadu novērojami nelieli kritumi) no 6,7% perioda sākumā līdz pat 7,6% tā beigās. Savukārt motorvagoni, autobusi un

trolejbusi piedzīvoja lejupslīdi – no 9,9% 2004. gadā līdz 9,1% 2014. gadā, kad vislielākā lejupslīde novērota tieši starp 2008. un 2009. gadu.



1.14. attēls. Iekšzemes pasažieru pārvadājumu mainība ar dažādiem transporta līdzekļiem 2014. gadā, % no kopējā iekšzemes pasažieru-kilometra (Eurostat 2017a)

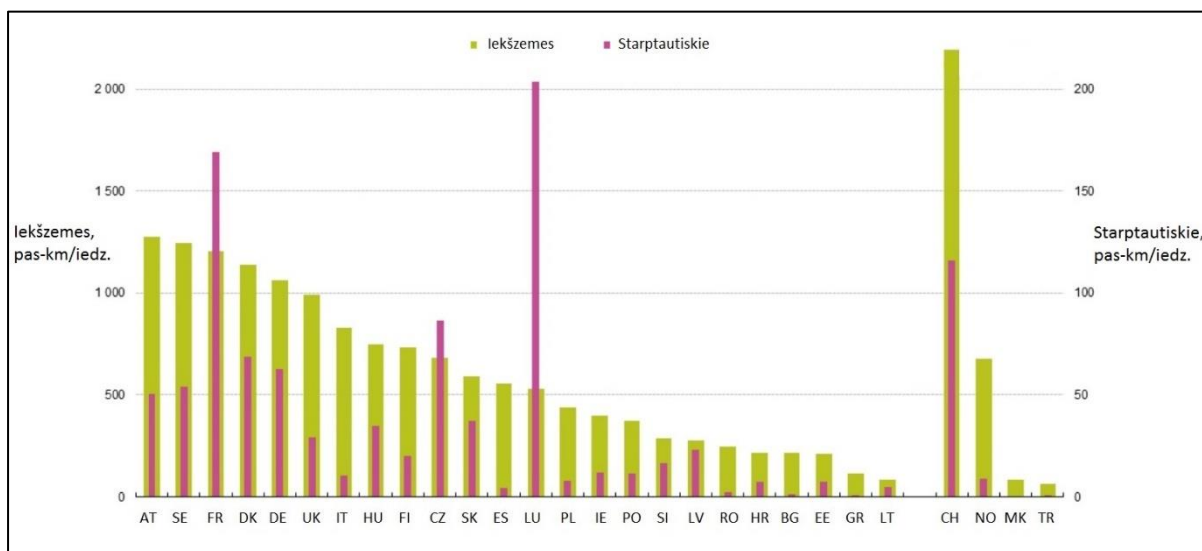
Salīdzinot iekšzemes pasažieru pārvadājumu situāciju Latvijā 2014. gadā ar pārvadājumiem Eiropas Savienības dalībvalstīs, redzams, ka Latvijā tikai par dažiem % mazāk iekšzemes pasažieru pārvadājumos tiek izmantots vieglais autotransports nekā vidēji ES (attiecīgi ~81% Latvijā un ~83% ES). Kā arī ES ir lielāks % pasažieru pārvadājumos, izmantojot vilcienus (~7%) nekā Latvijā (~4%) 2014. gadā. Neskatoties uz to, Latvijā iekšzemes pasažieru pārvadājumos vairāk tiek izmantoti autobusi (~13%), kamēr ES tie tiek izmantoti tikai ~8%.

Lai salīdzinātu dzelzceļa transporta nozīmi valstīs, dati var tikt normalizēti, izsakot pasažieru skaitu attiecībā pret valsts populāciju kā parādīts 1.15. attēlā. Iekšzemes pārvadājumos pa dzelzceļu tīklu Austrijā, Zviedrijā, Francijā, Dānijā (2014. gada dati) un Vācijā (2014. gada dati) tika veikti vidēji vairāk nekā 1 000 pkm/iedz., kas bija daudz zemāk nekā tas bija Šveicē – 2 193 pkm/iedz.

Savukārt starp ES valstīm 2015. gadā vidēji visīsākās distances iekšzemes dzelzceļa tīklā tika veiktas Grieķijā (116 pkm/iedz.) un Lietuvā (85 pkm/iedz.), kamēr vidējā vērtība Turcijā (61 pkm/iedz.) aizvien bija mazāka nekā vidēji Maķedonijā (85 pkm/iedz.), kas ir vienāda ar vērtību Lietuvā.

Analizējot starptautiskos pārvadājumus, vienīgās ES dalībvalstis, kas sasniegušas vairāk nekā 100 pkm/iedz. 2015. gadā ir Luksemburga (2014 pkm/iedz.), Francija (169 pkm/iedz.) un Šveice (116 pkm/iedz.). Tas izskaidrojams ar šo valstu ģeogrāfisko novietojumu, starptautiskā darbaspēka nozīmi valstī un pieeju ātrvilcienu dzelzceļa līnijām, kā arī īpašu lomu spēlē tas, ka vismaz viens transporta koridors iet caur kādu no iepriekš minētajām valstīm.

1.15. attēls. Dzelzceļa pasažieru transporta iekšzemes un starptautiskie pārvadājumi Eiropā

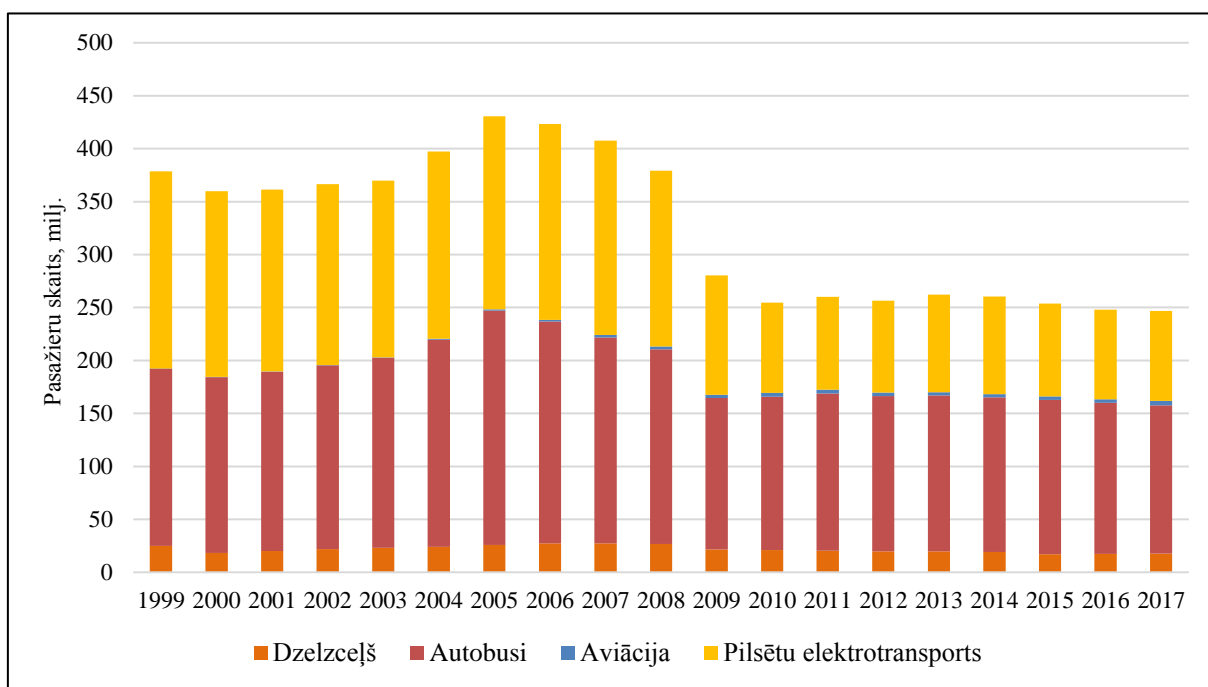


2015. gadā, pasažieru-km uz iedzīvotāju (Eurostat 2017a)

### 1.6.2. Pasažieru pārvadājumi un tendences Latvijā

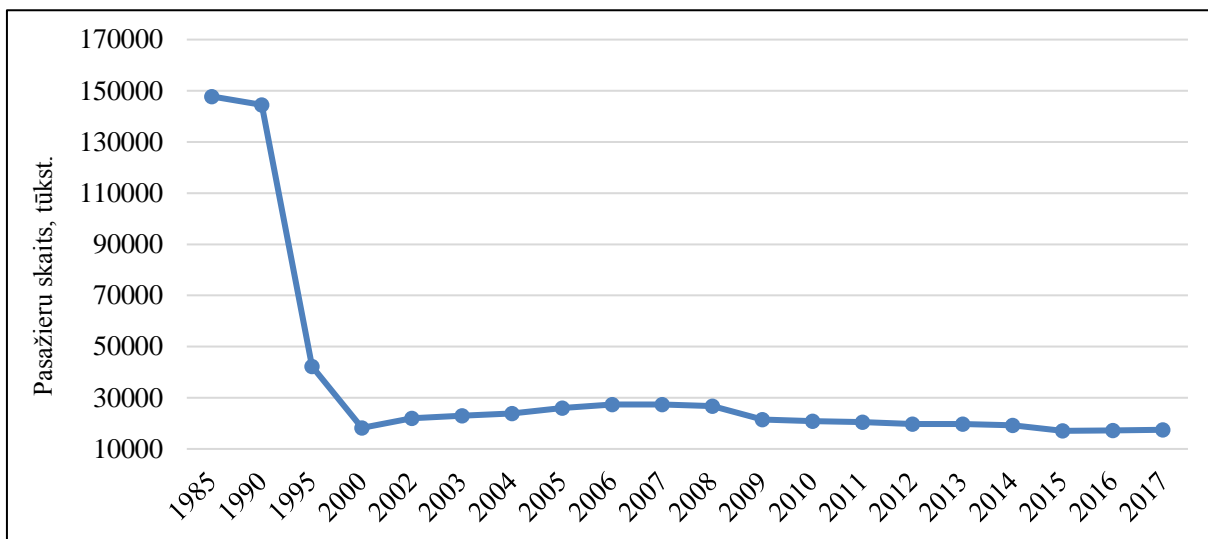
2017. gadā valsts dzelzceļu līniju kopgarums bija 1 860 km, no kurām elektrificētas ir 251 km jeb 13,5% (CSP 2018). Savukārt valsts auto ceļu garums pērn bija ~20 000 km, kas ir vairāk nekā 10 reizes vairāk nekā dzelzceļi, kas izskaidro arī lielos pasažieru skaita pārvadājumus autobusos, salīdzinot tos ar dzelzceļa pasažieru pārvadājumiem Latvijā (skat. 1.16. attēlu).

1.16. attēlā ir parādīts galveno transporta veidu pasažieru pārvadājumu salīdzinājums Latvijā no 1999. līdz 2017. gadam. Redzams, ka pasažieru pārvadājumi autobusos kopš 1999. gada nemainīgi ir bijuši līderi pasažieru pārvadājumu apjomos. Savukārt dzelzceļa pasažieru pārvadājumi, lai gan stabili, tomēr kopš 2008. gada turpina piedzīvot lejupslīdi pārvadāto pasažieru apjomos.



1.16. attēls. Galveno transporta veidu pasažieru pārvadājumu salīdzinājums no 1999. līdz 2017. gadam (izstrādājusi autore pēc LDz Galvenajiem darba rādītājiem 2004-2017 un CSP datiem)

1.17. attēlā redzams dzelzceļā pārvadāto pasažieru skaits no 1985. līdz 2017. gadam. Pasažieru pārvadājumi piedzīvoja līdz šim lielāko un dramatiskāko kritumu 1990. gadu beigās, kas izskaidrojams ar varas maiņu Latvijas valsts teritorijā. Kopš šī lielā krituma ir vērojams neliels pieaugums pārvadāto pasažieru apjomā, taču pēc tam līdz pat 2017. gadam tas ir turpinājies stabili un lēni samazināties vēl vairāk.

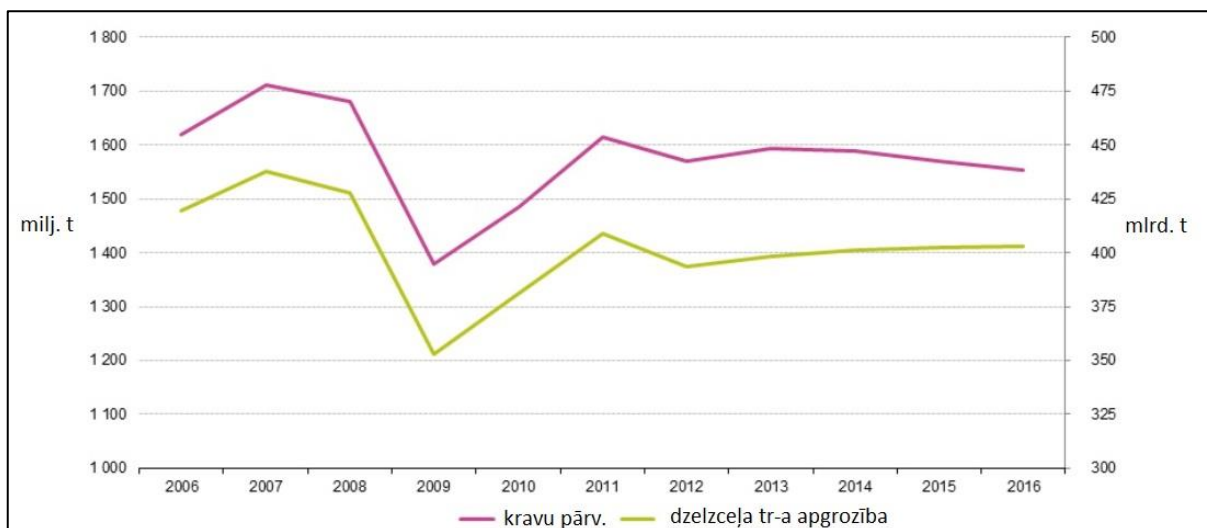


1.17. attēls. Dzelzceļa pasažieru pārvadājumi no 1985. līdz 2017. gadam (izstrādājusi autore pēc LDz Galvenajiem darba rādītājiem 2004-2017)

### 1.6.3. Kravu pārvadājumu tendences Eiropā

Dzelzceļa kravu transporta pārvadājumu attīstība ES-28 valstīs no 2006. līdz 2016. gadam ir parādīta 1.18. attēlā gan miljonos tonnu, gan miljardos tonnkilometru. Abas pozīcijas – miljoni tonnu un miljardi tonnkilometru – līdz 2013. gadam ir parādījušas līdzīgu tendenci. Laika grafiks parāda to, ka, sākot no 2014. gada, tonnkilometriem ir lēna tendence pieaugt, savukārt tonnām – samazināties. Tas var tikt izskaidrots ar to, ka kravu pārvadājumu apjomi samazinās, bet palielinās kravu pārvadājumu veiktie attālumi.

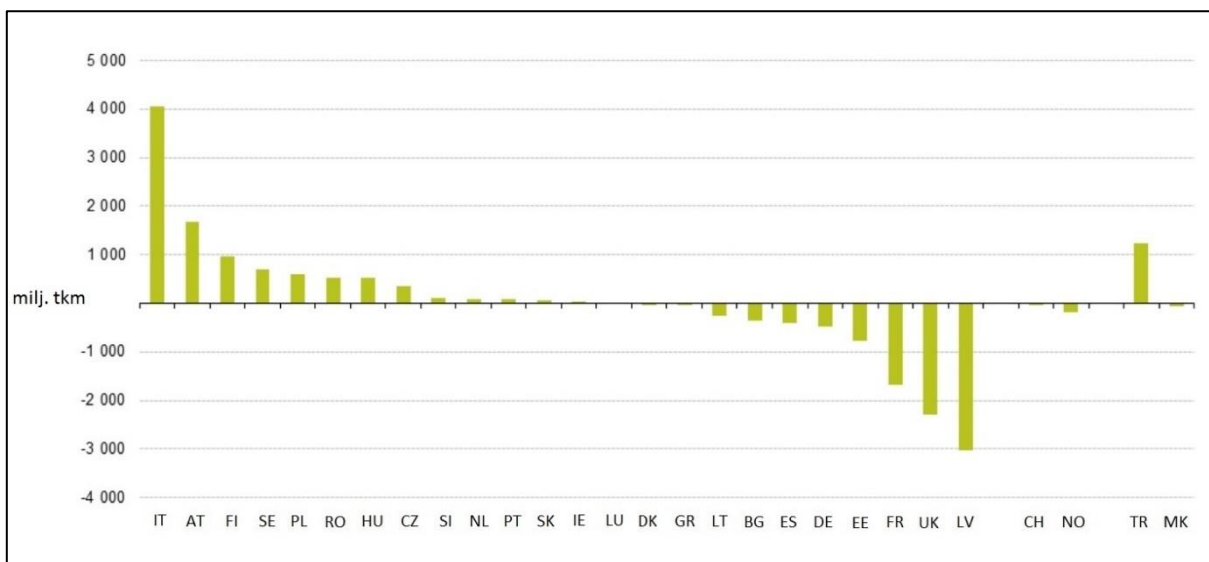
ES-28 dzelzceļu kravu pārvadājumi savu vislielāko apjomu – 438 miljardus tonnkilometru un 1 710 miljonu tonnu – sasniedza 2007. gadā pēc attiecīgi 4,4% un 5,6% kāpuma salīdzinājumā ar 2006. gadu. Tomēr tika novēroti arī strauji kritumi ekonomiskās krīzes rezultātā starp 2008. un 2009. gadu (-17,4% tonnkilometriem; -17,8% tonnām), kas samazināja kravu pārvadājumu apjomus līdz 353 miljardiem tonnkilometru un 1 380 miljoniem tonnu. Taču jau 2010. un 2011. gadā tika novērots vienmērīgs un stabils pieaugums (+8% un +7,3% tonnkilometriem; +7,7% un 8,7% tonnām). Pēc krituma 2012. gadā (attiecīgi -3,8% un -2,7% tonnkilometriem un tonnām) dzelzceļa kravu transporta pārvadājuma tonnkilometros no 2013. līdz 2016. gadam saglabājās relatīvi stabili (+1,1%), savukārt dzelzceļa transporta kravu pārvadājumi tonnās piedzīvoja kritumu par 2,5%.



1.18. attēls. ES-28 valstu dzelzceļa transporta apgrozības un kravu pārvadājumu izmaiņas no 2006. līdz 2016. gadam, miljardos tonnkilometru un miljonus tonnu (Eurostat 2017b)

Transporta apgrozības salīdzinājums katrai valstij starp 2015. un 2016. gadu ir parādīts 1.19. attēlā. Apgrozības pieaugums iepriekš minētajā periodā ir novērojams 13 ES dalībvalstīm un Turcijai. Proti, Latvija piedzīvoja lielāko kritumu starp 2015. un 2016. gadu (-3 miljardu tonnkilometru), kam seko Lielbritānija ar -2,3 miljardu un Francija ar -1,7 miljardu tonnkilometru kritumu. Savukārt divas valstis parādījušas absolūtu ar vairāk nekā 1 miljarda tonnkilometra pieaugumu tajā pašā periodā – Itālija (+4,1 miljardu tkm) un Austrija (+1,7 miljardu tkm).

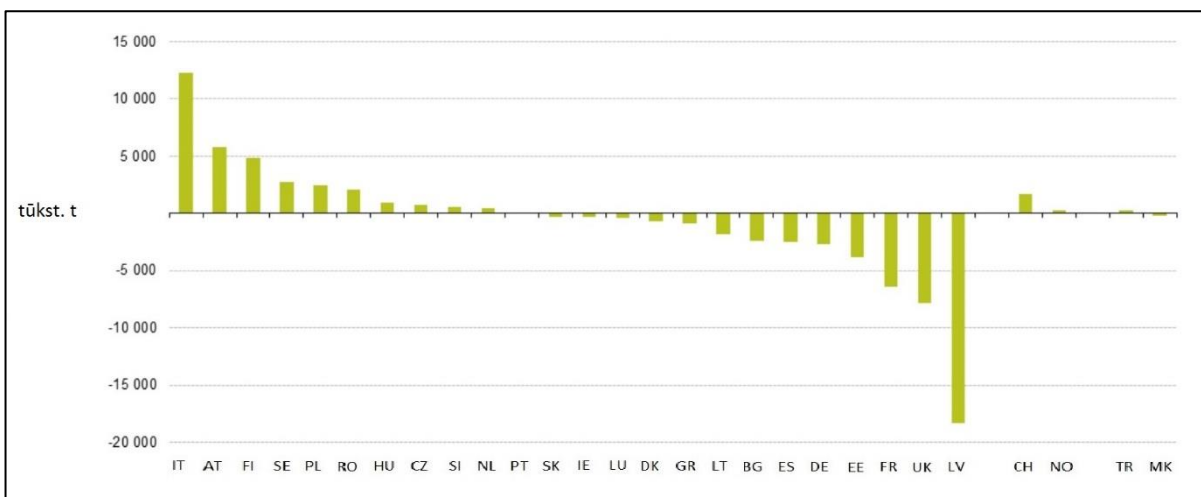
Augstākais kopējais pieaugums dzelzceļa transporta apgrozībā ir Itālijai (+22,1%), kam seko Somija (+11,5%) un Austrija (+8,7%). Turpretim vislielākie kritumi starp 2015. un 2016. gadu novērojami Igaunijā (+24,9%), kam seko Maķedonija (-20%), Latvija (-16%) un Grieķija (-13,7%).



1.19. attēls. ES-28 valstu dzelzceļa apgrozības 2015. un 2016. gadā izmaiņu salīdzinājums, miljonos tonnkilometru (Eurostat 2017b)

Kravu apjomu (tūkstošos tonnu) izmaiņas dotajām valstīm starp 2015. un 2016. gadu dotas 1.20. attēlā. Tajā redzams, ka vienpadsmit ES dalībvalstīm, Norvēģijai, Šveicei un Turcijai reģistrēti kāpumi starp 2015. un 2016. gadu. Savukārt kritumi redzami trīspadsmit ES dalībvalstīm un Maķedonijai.

Proti, Lielbritānija piedzīvoja lielāko kravu apjoma samazinājumu iepriekš minētajā periodā (-18,2 miljardi tonnu), kam seko Latvija (-7,8 miljardi tonnas) un Francija (-6,4 miljardi tonnu). Savukārt kāpumu par vairāk nekā 2 miljardiem tonnu tajā pašā periodā piedzīvoja sešas valstis – Itālija (+12,2 mlrd.t.), Austrija (-5,8 mlrd.t.), Polija (+4,8 mlrd.t.), Somija (+2,8 mlrd.t.), Zviedrija (+2,5 mlrd.t.) un Slovākija (+2,1 mlrd.t.).



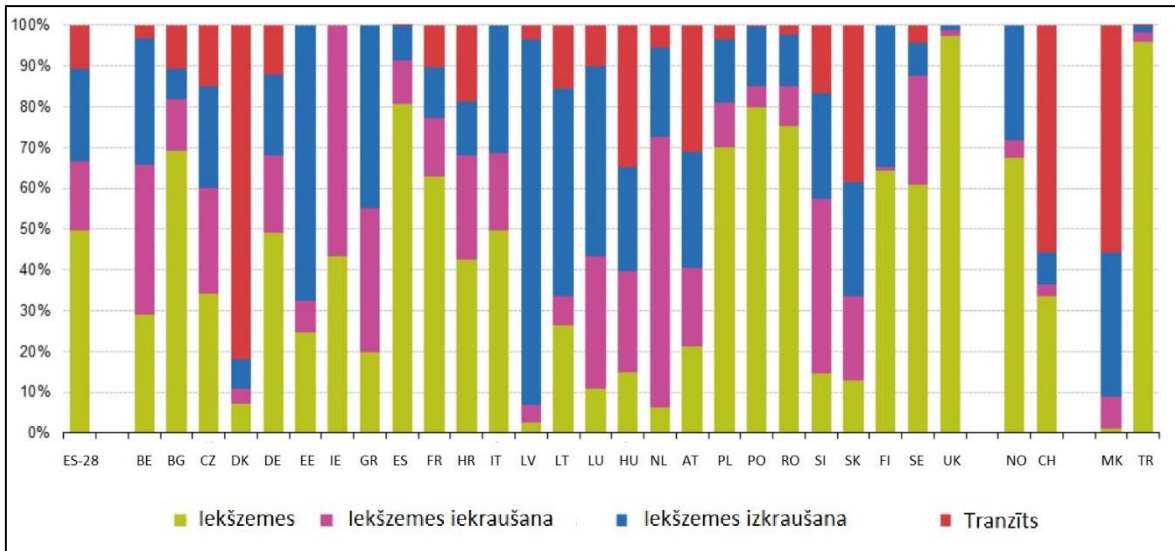
1.20. attēls. ES-28 valstu dzelzceļa pārvadāto kravu apjoma izmaiņu salīdzinājums starp 2015. un 2016. gadu, tūkstoš tonnu (Eurostat 2017b)

Dzelzceļa kravu kopējie pārvadājumi procentos no kopējā tonnkilometru apjoma pēc pārvadājuma veida (iekšzemes, starptautiskā iekraušanas/izkraušana un tranzīts) parādīti 1.21. attēlā, savukārt 1.20. attēlā ir parādīta tā pati informācija tikai izteikta procentos no kopējā pārvadājumu apjoma tonnās.

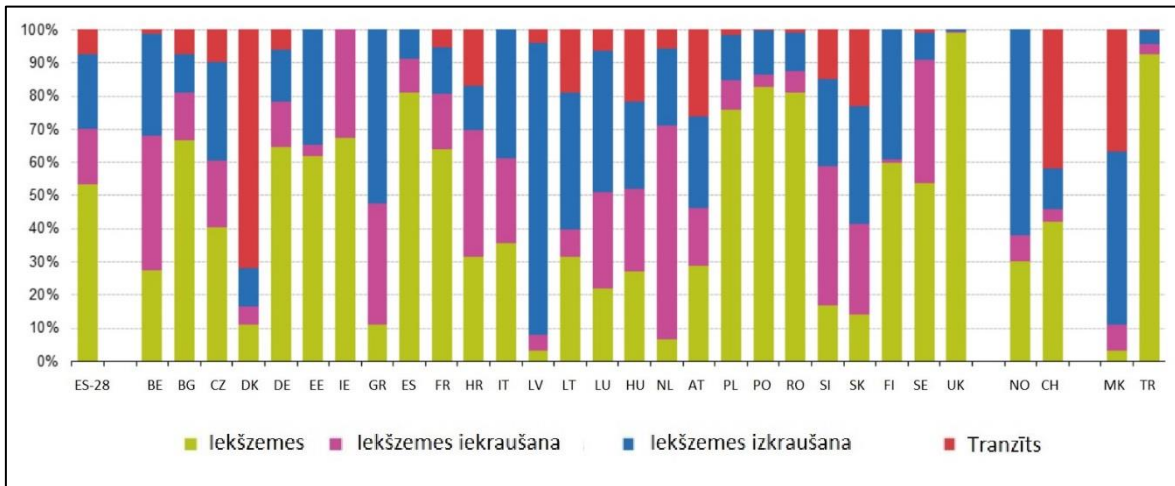
1.21. attēlā redzams, ka starptautisko pārvadājumu apjomi dažām valstīm ir cieši saistīti ar to ģeogrāfisko novietojumu Eiropā. ES-28 dalībvalstis kopumā atbild par 17% no kopējās starptautiskās iekraušanas 2016. gadā, starptautiskās izkraušanas – 23%, tranzīts – 11% un iekšzemes pārvadājumiem gandrīz 50%.

Valstīm, kurām ir vislielākie starptautiskie pārvadājumu apjomi, atrodas galvenajos Eiropas tirgus transporta koridoros. Piemēram, Baltijas valstu sastāvā esošās Latvija un Lietuva, kuras robežojas ar Eiropu un Krieviju, starptautiskie izkraušanas apjomi ir attiecīgi 90% un 68% no kopējā pārvadājumu apjoma 2016. gadā. Tāpēc ir droši sacīt, ka Latvijas nozīme kā Eiropas, tā Baltijas valstu pārvadājumos ir liela sava izdevīgā ģeogrāfiskā novietojuma dēļ, ņemot vērā arī to, ka Latvijai ir savas ostas un pieeja jūrai. Taču iekšzemes kravu pārvadājumi Latvijā sasniedza tikai 2% no kopējā kravu pārvadājumu apjoma 2016. gadā, kas parāda to, ka Latvijas galvenais kravu pārvadājumu veids ir tieši starptautiskie pārvadājumi.

Arī 1.22. attēlā situācija ir līdzīga, un Latvijai ir lielākie apjomi starptautiskajos izkraušanas pārvadājumos, kas, salīdzinot ar citu valstu kravu apjomiem, sasniedz 88% no kopējā pārvadājumu apjoma tonnās.



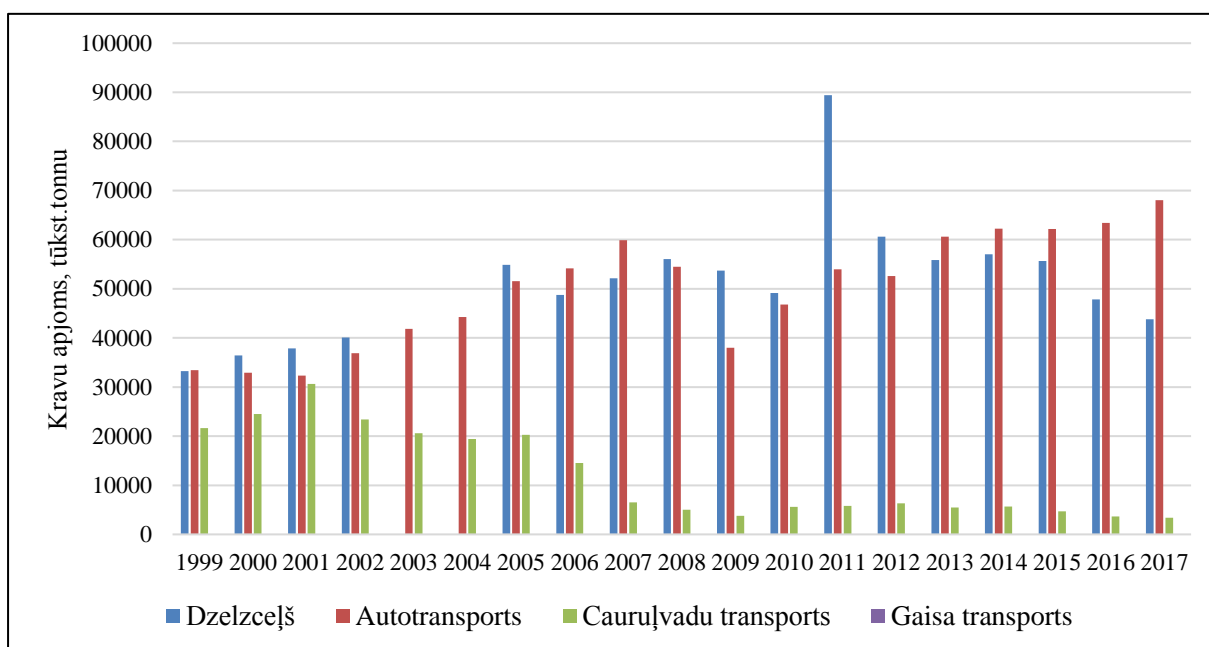
1.21. attēls. Dzelzceļa kravu kopējie pārvadājumi pēc pārvadājuma veida Eiropā 2016. gadā, % no kopējiem tonnkilometriem (Eurostat 2017b)



1.22. attēls. Dzelzceļa kravu kopējie pārvadājumi pēc pārvadājuma veida Eiropā 2016. gadā, % no kopējā apjoma tonnās (Eurostat 2017b)

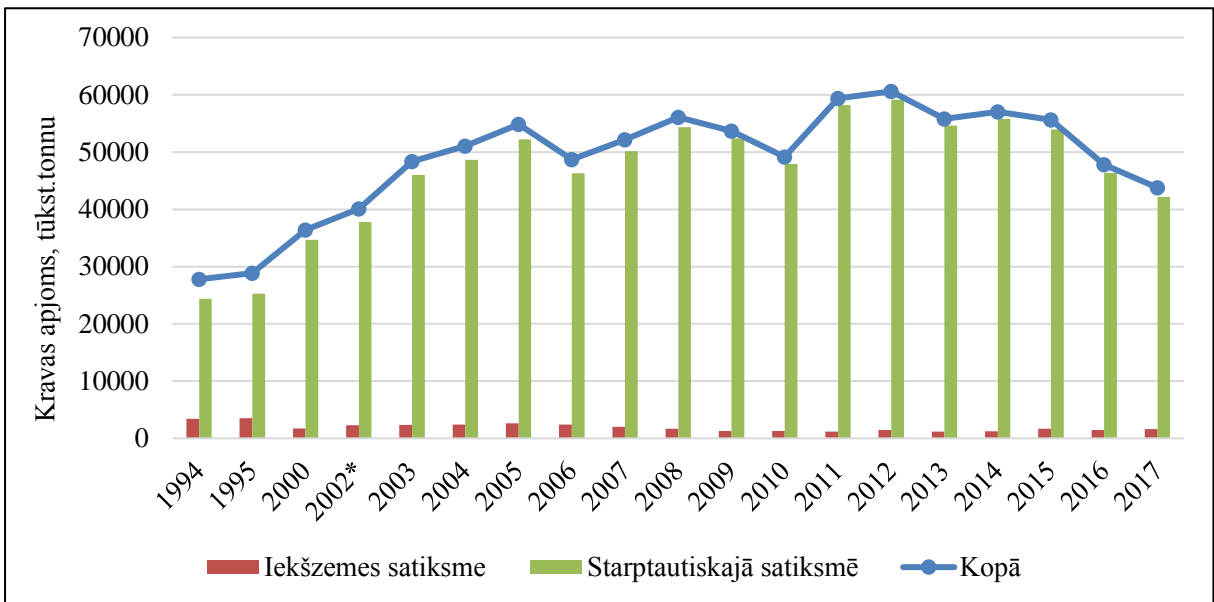
#### 1.6.4. Kravu pārvadājumu tendences un struktūra Latvijā

1.23. attēlā ir parādīti galveno transporta veidu kravu pārvadājumi Latvijā kopš 1999. gada. Redzams, ka dzelzceļa un autotransporta kravu pārvadājumu apjomi katru gadu ir ļoti līdzīgi, taču līdz pat 2012. gadam ar dzelzceļu pārvadāto kravu apjoms bija lielāks nekā ar autotransportu pārvadātie. 2011. gadā dzelzceļš piedzīvoja savu visu laiku lielāko kāpumu kravu apjomu pārvadājumos - ~90 000 tūkst. t. Tomēr pēc tā dzelzceļa kravu pārvadājumu apjomi piedzīvoja lejupslīdi, kamēr autotransporta pārvadājumi tikai pieauga. Arī pērn autotransporta kravu pārvadājumi ir ar daudz lielāku apjomu nekā tas bija dzelzceļam. Tas var tikt izskaidrots ar pārvadājumu izmaksām un tarifiem – kā viens no pārvadājumiem kļūst dārgāks, citi pārvadājumi piedzīvo pārvadāto kravu apjomu pieaugumu.



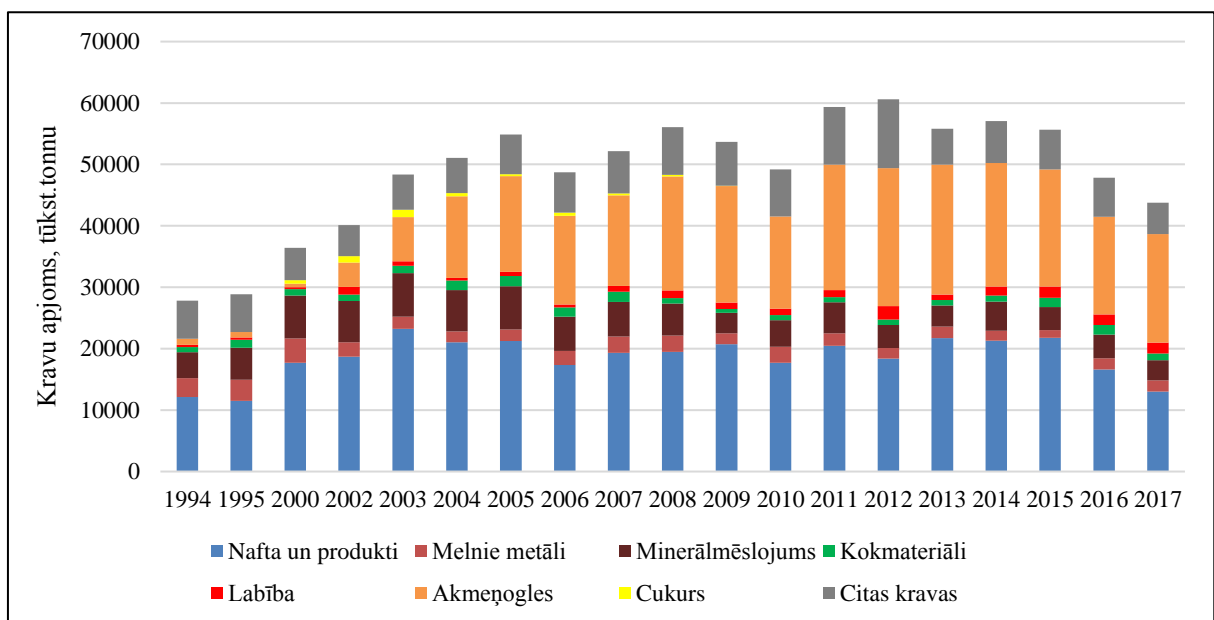
1.23. attēls. Galveno transporta veidu kravu pārvadājumu salīdzinājums Latvijā no 1999. līdz 2017. gadam (izstrādājusi autore pēc LDz Galvenajiem darba rādītājiem 2004-2017 un CSP datiem)

Starptautiskie dzelzceļa kravu pārvadājumi Latvijā kopš 1994. gada katru gadu ir lielākos apjomos nekā iekšzemes kravu pārvadājumi. To iespējams izskaidrot ar to Latvijai izdevīgo ģeogrāfisko novietojumu pie jūras ar vairākām ostām, tāpēc Austrumu valstis un Krievija kravas pārvadā ar dzelzceļa starpniecību un caur Latviju (skat. 1.24. attēlu).



1.24. attēls. Dzelzceļa kravu pārvadājumi Latvijā no 1994. līdz 2017. gadam (izstrādājusi autore pēc LDz Galvenajiem darba rādītājiem 2004-2017) \*sākot ar 2001. gadu mainījās aprēķinu metodika pārvadājumu apjoma noteikšanai iekšzemes un starptautiskajā (eksporta un importa satiksmē)

Savukārt, analizējot kravu struktūru, redzams, ka pārvadāta galvenokārt tiek nafta un naftas produkti, kā arī akmeņogles. Nafta un tās produkti nemainīgi kopš 1994. gada ir bijušas kravas ar lielākajiem pārvadājumu apjomiem Latvijā.



1.25. attēls. Dzelzceļa kravu pārvadājumu struktūra no 1994. līdz 2017. gadam, tūkstošos tonnu (izstrādājusi autore pēc LDz Galvenajiem darba rādītājiem 2004-2017)

## 2. MATERIĀLI UN METODES

### 2.1. Izmantotie materiāli

Maģistra darbs sastāv no divām daļām: teorētiskās daļas, kurā veikts zinātniskās un nozares literatūras apskats par gaisa piesārņotāju emisijām, kā arī to raksturojumu, uzsverot emisijas, kas rodas transporta sektora, it īpaši, dzelzceļa transporta ietekmē, izmantojot *Eurostat* un Centrālās statistikas pārvaldes datubāzes, kā arī Eiropas Vides aģentūras un Starptautiskās dzelzceļu savienības (UIC), un Latvijas nacionālās inventarizācijas atskaišu datus par ikgadējām transporta emisijām un enerģijas patēriņu. Savukārt zinātniskie pētījumi un literatūra tika meklēta pēc tādiem atslēgas vārdiem, kā *rail emissions, railway emissions, electrification, exhaust emissions, non-exhaust emissions, electric vehicles, ambient air quality, transport impact assessment on environment*. Zināms, ka emisiju apjomi ir atkarīgi no kravas un pasažieru pārvadājumiem, tāpēc darba ietvaros būtiski bija novērtēt kravas un pasažieru pārvadājumu apjomus kā Eiropā, tā Latvijā, izmantojot *Eurostat* datubāzē pieejamos izejas datus, kā arī VAS “Latvijas dzelzceļš” mājaslapā pieejamos Galvenos darba rādītājus kopš 2004. gada, kuros ir atspoguļoti dati par kravu un pasažieru pārvadājumu apjomiem un to struktūru.

Savukārt darba otrā daļa ir praktiskā pētījuma daļa, kurā tika salīdzinātas UIC un EEA dzelzceļa emisiju daudzuma novērtēšanas aprēķina metodikas, jo VAS “Latvijas dzelzceļš” emisiju novērtēšanai izmanto UIC metodiku un tikai pēc nepieciešamības emisijas tiek aprēķinātas, izmantojot EEA metodiku. Metodes tiek salīdzinātas, lai novērtētu to atšķirības un iespējamās neatbilstības, kā arī katras metodes piemērotību dzelzceļa ritošā sastāva emisiju novērtēšanas aprēķinam. Papildus tam bija nepieciešams veikt dzelzceļa ritošā sastāva inventarizāciju, apkopojot informāciju par to tehnisko specifiku un degvielas patēriņu 2017. gadā, pēc kura tika veikts tālākais to emisiju aprēķins un izveidots CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> un PM emisiju kalkulators šobrīd ekspluatētajam ritošajam sastāvam Latvijā – dīzeļlokomotīvēm, pasažieru dīzeļvilcieniem un elektrovilcieniem. Par emisiju kalkulatoru stāstīts darba 3. nodaļā.

## 2.2. Emisiju daudzuma novērtēšanas aprēķins dzelzceļa dīzeļvilces ritošajam sastāvam

### 2.2.1. Starptautiskās dzelzceļu savienības metode

Lai nodrošinātu vienotu pieeju ar vides un ilgtspējas saistītiem jautājumiem Eiropas dzelzceļa sektorā, Starptautiskā dzelzceļu savienība (UIC) un Eiropas dzelzceļu un infrastruktūras sabiedrību kopiena (CER) Ģenerālās asamblejas 2010. gada decembrī nāca klajā ar jaunu stratēģiju “*Moving towards Sustainable Mobility: Rail Sector Strategy 2030 and beyond*”.

Stratēģijas ietvaros tika izveidota Vides stratēģijas ziņošanas sistēma (ESRS), kas vienlaicīgi ir gan vides politika, gan emisiju novērtēšanas aprēķina metodoloģija (UIC 2013). Metodoloģijas pamatā ir piecu dažādu kategoriju datu inventarizācija: enerģijas patēriņš, tirdzniecība, elektroenerģija un tās CO<sub>2</sub> emisijas, CO<sub>2</sub>, PM un NO<sub>x</sub> izplūdes gāzu emisijas, vilcienu vadītāju apmācība energoefektivitātes paaugstināšanai, ko katru gadu ar 2 gadu nobīdi ir jāiesniedz UIC, izmantojot speciāli tam izstrādātu inventarizācijas datu lapu.

Šajā metodes pārskatā uzmanība tiks vērsta tieši uz izplūdes emisiju – CO<sub>2</sub>, PM, un NO<sub>x</sub> – novērtēšanas aprēķiniem un to inventarizāciju.

ESRS CO<sub>2</sub> emisiju faktori doti gan dīzeļdegvielai, gan biodīzeļdegvielai kā nemainīgas vērtības (skat. 2.1. tabulu), taču salīdzinājumā ar citām metodēm, UIC izstrādātā ņem vērā biodīzeļdegvielas piejaukumu, kam ir jābūt vismaz 5%. Šādā gadījumā dota formula, pēc kuras iespējams aprēķināt CO<sub>2</sub> emisijas faktoru degvielai, kurai ir biodīzeļdegvielas piejaukums:

$$EFD_{kopā} = EFD_{standarta} \times (1 - Sh_B) + EFD_{biodīzeļdegviela} \times Sh_B \quad (1)$$

Kur:

$EFD_{kopā}$  – CO<sub>2</sub> emisiju faktors dīzeļdegvielas sajaukumam, ko izmanto dzelzceļš;

$EFD_{standarta}$  – CO<sub>2</sub> emisiju faktors standarta dīzeļdegvielai;

$Sh_B$  – lietotās biodīzeļdegvielas daudzums procentos;

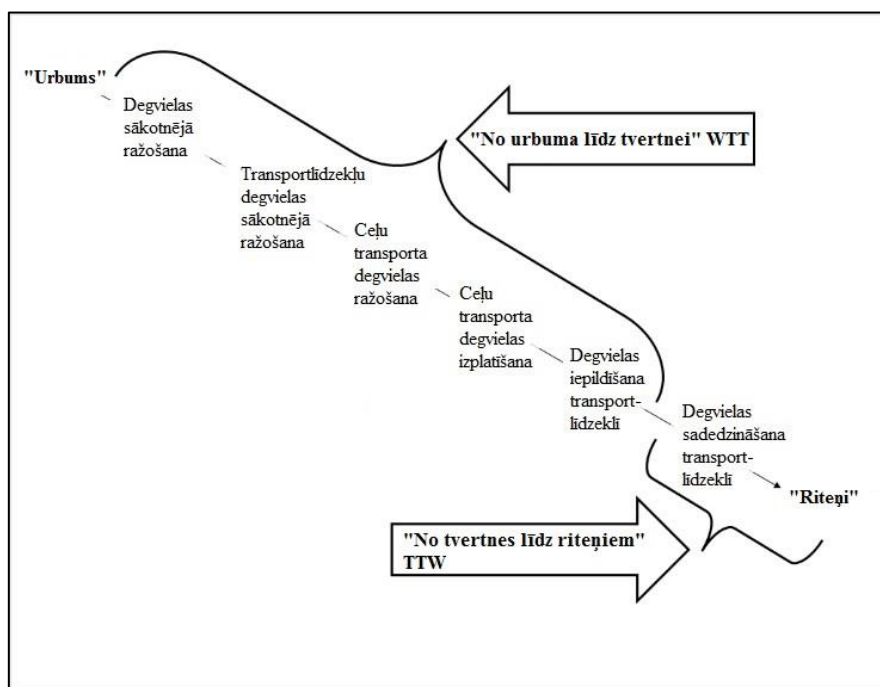
$EFD_{biodīzeļdegviela}$  – CO<sub>2</sub> emisijas faktors biodīzeļdegvielai.

CO<sub>2</sub> emisiju faktori dīzeļdegvielai, gCO<sub>2</sub>/kg dīzeļdegvielas (UIC 2013)

Dīzeļdegvielas veids	CO <sub>2</sub> emisiju faktors, gCO <sub>2</sub> /kg dīzeļdegvielas
Standarta dīzeļdegviela	<b>3 582</b> (UIC 2008a)
Biodīzeļdegviela	<b>2 130</b> (pēc Joint Research Centre 2011)

Standarta dīzeļdegvielas CO<sub>2</sub> emisiju faktors dots UIC 2008. gadā izstrādātajā brošūrā par Dzelzceļa specifiskajiem vides snieguma indikatoriem (UIC 2008a).

Savukārt biodīzeļdegvielas CO<sub>2</sub> emisiju faktors ticis aprēķināts, izmantojot JEC 2011. gada pētījumus (JEC 2011). Pētījumu pamatā ir nākotnes automobiļu degvielu un spēkpiedziņas dzīves cikla analīze “No urbuma līdz riteņiem” jeb *Well-to-wheel* (WTW) (JEC 2011; EK 2009b). Dzīves cikla analīzē novērtē SEG emisijas, energoefektivitāti un rūpnieciskās izmaksas plašam transportlīdzekļu degvielu un spēkpiedziņu spektra iespējām nākotnē. WTW paskaidrojošā shēma ir attēlota 2.1. attēlā.



2.1. attēls. WTW jeb “No urbuma līdz riteņiem” dzīves cikla analīzes shēma (pēc Eiropas Savienība 2016)

ESRS **PM** un **NOx** emisiju novērtēšanas aprēķinus var veikt trīs dažādos līmeņos, kuri atšķiras pēc ievades datu apjoma un detalizācijas pakāpes.

1. *Līmenis* (eksperts): dzelzceļa operators iesniedz kopējā apjoma PM un NOx emisijas, neizmantojot UIC metodi.

2. *Līmenis* (vidējs): ja dzelzceļa operators nespēj nodrošināt datus par tā kopējo PM un NOx emisiju apjomu, taču spēj nodrošināt datus par tā ritošo sastāvu, tiek izmantota “*proxy*” jeb “starpnieka” metode, balstoties uz dīzeļdegvielas patēriņu un ritošā sastāva sadalījumu pēc dīzeļdzinēju jaudas un atbilstošā izplūdes gāzu emisiju regulējuma, kas iedalās Pre-UIC, UIC I, UIC II, IIIA un IIIB<sup>2</sup>, izmantojot noteiktos PM un NOx emisiju faktoros (skat. 2.2. tabulu).

3. *Līmenis*: ja dzelzceļa operators nespēj nodrošināt datus nedz par tā kopējo emisiju apjomu, ne ritošo sastāvu, tiks izmantota jau iepriekš pieminētā *proxy* metode, lai aprēķinātu PM un NOx kopējo emisiju apjomu, ņemot vērā standartizētu un nemainīgu kopējo dīzeļdegvielas patēriņu un vidējo ritošā sastāva sadalījumu Eiropā.

2.2. tabulā redzami emisijas faktori tiek lietoti, piemērojot 2. līmeņa emisiju novērtēšanas metodi, kas tiks izmantota arī šī darba ietvaros, jo ir pieejami nepieciešamie izejas dati – ritošā sastāva tehniskā specifikācija un degvielas patēriņš.

2.2. tabula

Emisiju faktori dīzeļvilcei (UIC 2013)

Izplūdes gāzu emisiju faktori	g/kWh		g/t	
	NOx	PM	NOx	PM
Pre-UIC	15,4	0,34	66 158,4	1 460,64
UIC I	12	0,25	51 552	1 074
UIC II	9,9	0,25	42 530,4	1 074
IIIA	3,7	0,20	15 895,2	859,2
IIIB	3,7	0,025	15 895,2	107,4

<sup>2</sup> Kategorijas Pre-UIC, UIC I, UIC II, IIIA un IIIB ir izplūdes emisiju normatīvu regulējums dīzeļdzinējiem. Kategorijai UIC I un II to nosaka UIC (2012), IIIA un IIIB – EK (1997). Termins Pre-UIC lietots visiem tiem dzelzceļa dīzeļdzinējiem, kuri neattiecas uz emisiju regulējumiem, kas noteikti UIC (2012) un EK (1997), un to ekspluatācija ir sākta pirms UIC I ieviešanas. Jaudas gradācija ir izstrādāta pēc EK (1997) un tā vēl joprojām ir aktuāla (UIC 2013).

Emisiju faktori (g/kWh) tika iegūti, veicot UIC dalībvalstu un to dzelzceļa operatoru aptauju pētījuma Halder et al. 2005 – *The Rail Diesel Study* ietvaros. Aptauja tika balstīta uz jautājumiem par dalībvalstu dzelzceļa dīzeļvilces ritošā sastāva vecumu, skaitu, jaudu, tehnisko specifikāciju, kā arī degvielas patēriņu un izplūdes gāzu emisijām. Jāpiemin, ka aptaujā piedalījās arī VAS “Latvijas dzelzceļš” (Halder, Löchter 2005).

Emisiju faktori sākotnēji tika iegūti un izteikti gramos uz kWh (skat. 2.2. un 2.3. attēlus), taču metodoloģijas ietvaros tie tika pārrēķināti uz g/t, ņemot vērā enerģijas konversijas faktoru, kas 1 kg dīzeļdegvielas ir 11,93 kWh, kā arī transmisijas konversijas faktoru – 0,36 (Halder et al. 2005) (skat. 2. formulu).

Emisiju faktora pārrēķins ir veikts pēc sekojošas formulas:

$$EF_D = EW_{kWh} \times EC_D \times CF_{ME} \quad (2)$$

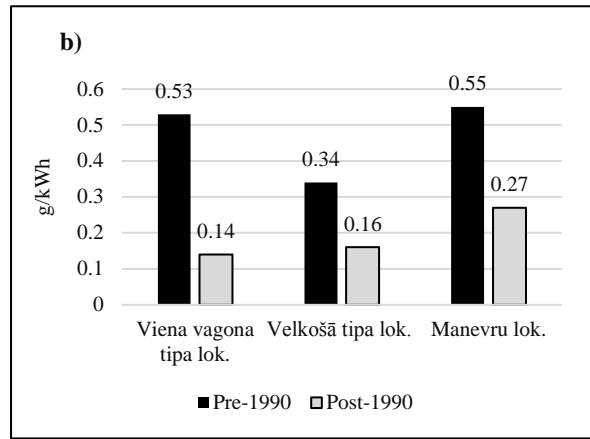
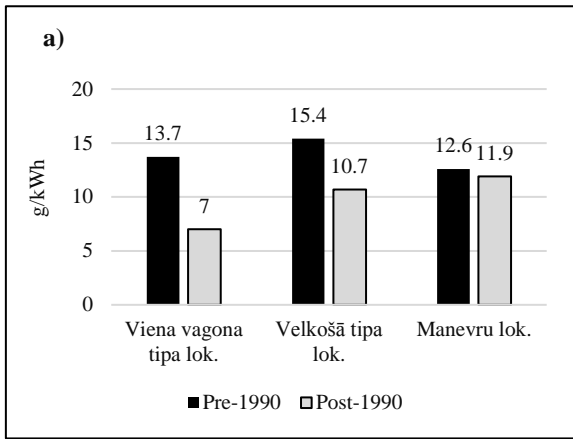
Kur:

$EF_D$  – emisijas faktors, g/t;

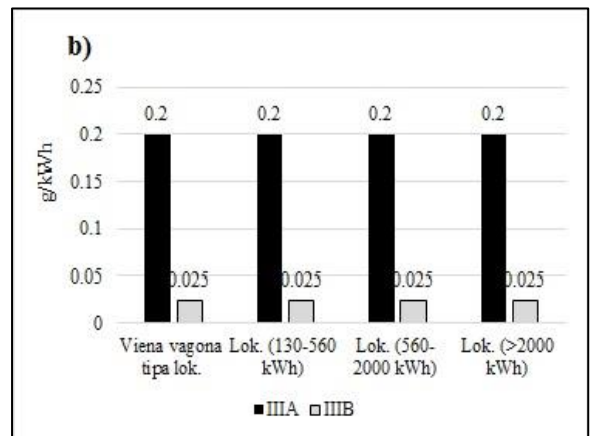
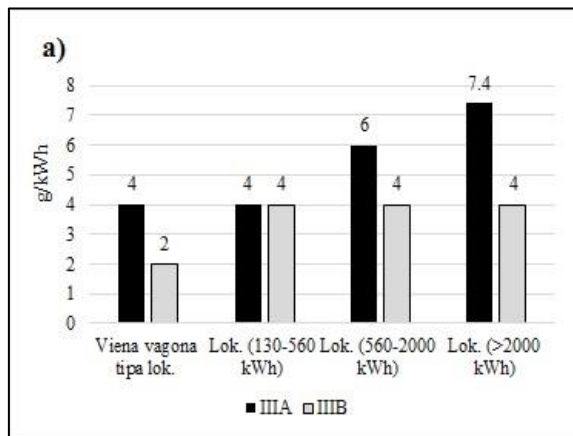
$EF_{kWh}$  – emisijas faktors, g/kWh;

$EC_D$  – enerģijas konversijas faktors – no kg uz kWh (1 kg dīzeļdegvielas = 11,93 kWh);

$CF_{ME}$  – ETW (*engine-to-wheel*) transmisijas efektivitātes konversijas faktors ir noteikts 0,36 (UIC 2013).



2.2. attēls. Vidējie emisiju faktori Pre-1990 un Post-1990 transportlīdzekļiem pēc UIC aptaujā:  
a) NO<sub>x</sub>; b) PM<sub>10</sub> (Halder et al. 2005).



2.3. attēls. IIIA un IIIB emisiju klašu limiti: a) NO<sub>x</sub>; b) PM<sub>10</sub> (Halder et al. 2005; NRMM direktīva 97/68/EC).

Balstoties uz ESRS metodoloģijas līmeņiem, kas paredzēti, lai novērtētu darbā apskatītā dīzeļvilces ritošā sastāva emisijas, tiks izmantota 2. līmeņa metode. Kopējās emisijas pēc to klases un ritošā sastāva veida tiek summētas, lai aprēķinātu kopējās piesārņotāju emisijas (PM un NO<sub>x</sub>):

$$Em_{kopā} = \sum_{klasei} Em_{klasei} \quad (3)$$

Kur:

$Em_{kopā}$  – kopējās piesārņotāja emisijas (NO<sub>x</sub>, PM);

$Em_{klasei}$  – kopējās piesārņotāja emisijas (NO<sub>x</sub>, PM) transportlīdzekļa emisiju klasei.

Kopējais emisiju aprēķins katrai ritošā sastāva emisiju klasei un piesārņotāja emisijai (NO<sub>x</sub> un PM) tiek iegūts:

$$Em_{klasei} = C_{DEC} \times EF_{DEC} \quad (4)$$

Kur:

$Em_{klasei}$  – transportlīdzekļa klases kopējās piesārņotāja emisijas (NO<sub>x</sub>, PM);

$CD_{EC}$  – kopējais dīzeļdegvielas patēriņš tonnās pēc emisijas klases un transportlīdzekļa veida;

$EF_{DEC}$  – emisijas faktors g/t vai kg/t dīzeļdegvielas patēriņam katrai emisiju klasei un transportlīdzekļa veidam.

### 2.2.2. Eiropas Vides aģentūras metode

Eiropas Vides aģentūra ir Eiropas Savienības aģentūra, kuras mērķis ir sniegt drošu un neatkarīgu informāciju par vidi. Tās uzdevumi ir palīdzēt kopienai un dalībvalstīm pieņemt atbildīgus lēmumus vides uzlabošanai, integrējot vides apsvērumus ekonomikas politikā, dodoties pretim ilgtspējīgai attīstībai.

Viena no darbā apskatītajām un analizētajām emisiju daudzuma novērtēšanas aprēķina metodēm ir EEA gaisa piesārņotāju emisiju inventarizācijas ceļvedis, kas izdots 2016. gadā un kas ir jaunākā šāda veida rokasgrāmata, lai aprēķinātu gaisa piesārņotāju emisijas.

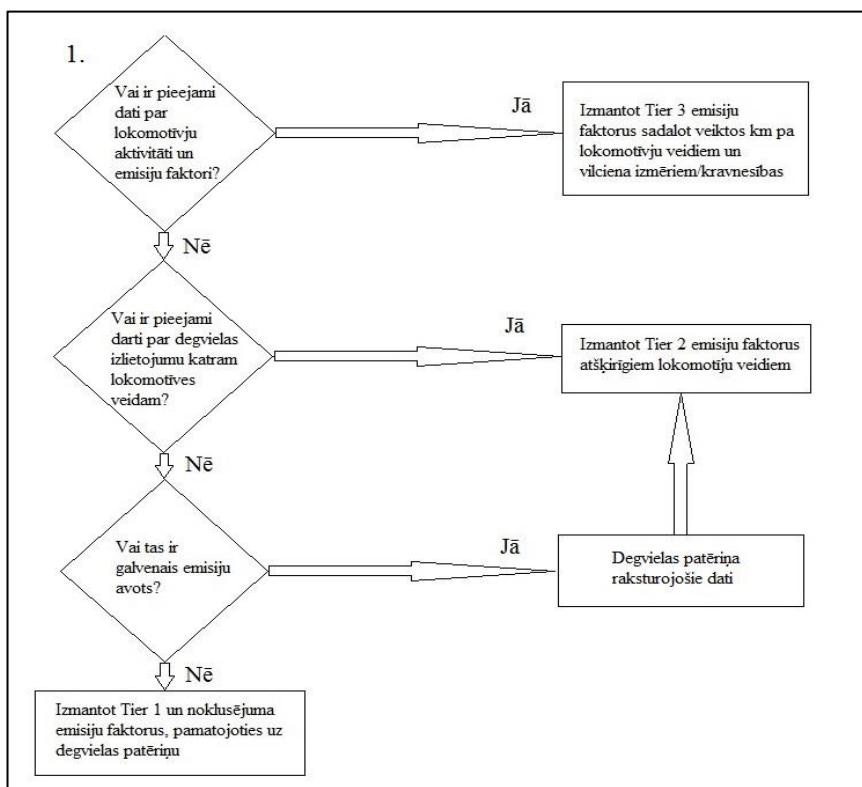
Rokasgrāmata apraksta daudzpakāpju metodoloģijas emisiju novērtēšanai:

*Tier 1* metode pielieto vienkāršu lineāru sakarību starp darba rādītājiem un emisiju faktoriem. Darba rādītāju informācija tiek iegūta no jau iepriekš sastādītas statistikas. Standarta *Tier 1* emisiju faktori tiek izvēlēti tā, lai tie atspoguļotu tipiskos jeb vidējos procesa apstākļus, kas mēdz būt tehnoloģiski neatkarīgi (Norris, Ntziachristos 2016).

*Tier 2* metode pielieto tādus pašus vai līdzīgus darba rādītājus kā *Tier 1*, taču lieto katrai valstij specifiskus emisiju faktorus; valstij specifiskos emisiju faktorus nepieciešams iegūt, izmantojot informāciju par katras valsts procesa apstākļiem, degvielas kvalitāti un tehnoloģijām. Daudzos gadījumos šīs metodes var tikt pielietotas arī tad, ja pieejama detālāka informācija nekā tas prasīts, kur darba rādītāji ir sadalīti darba apakšrādītājos ar vairāk vai mazāk homogēnām procesa iezīmēm (Norris, Ntziachristos 2016).

Savukārt, *Tier 3* metode ir sarežģītāka metode nepieciešamo datu dēļ. Šo metodi pielieto, ja lokomotīvu darba rādītājiem ir detāla kvantitatīvā analīze – procentuāls un nobraukuma sadalījums katram lokomotīves veidam, kā arī tam atbilstošais emisijas faktors. Protams, šī metode sniedz precīzākos emisiju daudzuma novērtēšanas rezultātus.

Lai atvieglotu metodes izvēli dzelzceļa transportam, izveidota metodes izvēles shēma (skat. 2.4. attēlu).



2.4. attēls. Metodes izvēles shēma (izstrādājusi autore pēc Norris, Ntziachristos 2016)

Pēc dotās izvēles shēmas, izriet, ka, lai novērtētu emisijas, tiks izmantota *Tier 2* metode, jo ir zināms degvielas patēriņa sadalījums dažādiem lokomotīvu veidiem emisiju novērtēšanai ritošajam sastāvam.

*Tier 2* pieejas pamatā ir dati par degvielas patēriņu dažāda veida lokomotīvēm. Metode pieņem, ka degvielas patēriņš var tikt sadalīts, piemēram, izmantojot lokomotīvu skaitu, sadalot tās kategorijās un vidējos darba rādītājos, un izmantošanā. Metode pielieto šādu formulu:

$$E_i = \sum_m \sum_j (FC_{j,m} \times EF_{i,j,m}) \quad (5)$$

Kur:

$E_i$  – piesārņotāja  $i$  emisijas noteiktā laika periodā, kg vai g

$FC_{j,m}$  – degvielas patēriņš degvielai  $m$ , kas lietota noteiktā kategorijā  $j$  noteiktā laika periodā un vietā, tonnas

$EF_{i,j,m}$  – emisijas faktors piesārņotājam  $i$  katrai degvielas vienībai  $m$ , kas lietota noteiktā kategorijā  $j$ , kg/t

$m$  – degvielas veids (dīzeļdegviela)

$j$  – lokomotīves kategorija (manevru, viena vagona tipa, velkošā)

Darbā apskatītais dzelzceļa dīzeļvilces ritošais sastāvs ir maģistrālās jeb velkošā tipa lokomotīves, kas tiek izmantotas gan kravu, gan pasažieru pārvadājumiem. Emisiju faktori velkošā tipa lokomotīvēm parādīti 2.3. tabulā.

2.3. tabula

*Tier 2* metodes emisiju faktori velkošā tipa lokomotīvēm (Norris, Ntziachristos 2016)

Piesārņojošā emisija	Emisijas faktors, kg/t	95% ticamības intervāls		Atsauce
		Apakšējais	Augšējais	
NO <sub>x</sub>	63	29	93	Halder et al. 2005
PM <sub>10</sub>	1,2	0,45	3	Halder et al. 2005
PM <sub>2,5</sub>	1,1	0,42	3	95% no PM <sub>10</sub> vērtības
CO <sub>2</sub>	3 140	3 120	3 160	Swertz et al. 2017

Dotie NO<sub>x</sub> un PM<sub>10</sub> emisiju faktori iegūti pētījumā, ko 2005. gadā ir izstrādājis UIC (Halder et al. 2005). Šis pētījums nodrošina Eiropas dīzeļlokomotīvu parka novērtējumu un to vidējos emisiju faktoros. *Tier 2* emisiju faktori aprēķināti, mērogojot dzinēju jaudu katram lokomotīvu veidam, ņemot vērā to vecuma izplatību.

### 3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

#### 3.1. Emisiju aprēķini

##### 3.1.1. Starptautiskās dzelzceļu savienības metode

Lai novērtētu ritošā sastāva emisijas, ir jāiegūst atbilstošs CO<sub>2</sub> emisijas faktors patērētajai dīzeļdegvielai ar biodīzeļdegvielas piejaukumu, izmantojot 1. formulu. Darbā apskatītajās un ekspluatācijā esošajās kravas dīzeļlokomotīvēs (M62, 2M62, 2M62U, 2M62UP, 2M62UM, 2TE10U, 2TE10M un 2TE116) tiek lietots 5% biodīzeļdegvielas piejaukums<sup>3</sup>. CO<sub>2</sub> emisijas faktors šādai dīzeļdegvielai ir:

$$EFD_{kopā} = 3\,582 \times 95\% + 2\,130 \times 5\% = 3\,509,4 \frac{gCO_2}{kg_{Dīzeļdegv.}} = 3\,509,4 \frac{kgCO_2}{t_{Dīzeļdegv.}}$$

Savukārt pasažieru dīzeļvilcienos (DR1A, DR1AM un DR1AC) izmanto 100% standarta dīzeļdegvielu<sup>4</sup>, kas nozīmē, ka CO<sub>2</sub> emisiju faktoru nav nepieciešams aprēķināt; tas jau ir dots – **3 583 gCO<sub>2</sub>/kg** jeb **3 583 kgCO<sub>2</sub>/t**.

Nepieciešamie izejas dati emisiju daudzuma novērtēšanas aprēķiniem dīzeļvilces ritošajam sastāvam – ritošā sastāva modeļi, atbilstošās emisiju klases un to emisiju faktori, kā arī degvielas patēriņš 2017. gadā – pārskatāmā veidā apkopoti 3.1. tabulā.

<sup>3</sup> VAS “Latvijas dzelzceļš” informācija.

<sup>4</sup> AS “Pasažieru vilciens” informācija.

Dzelzceļa ritošais sastāva atbilstošās izplūdes gāzu emisiju klases, to emisiju faktori un dīzeļdegvielas patēriņš 2017. gadā velkošā tipa lokomotīvēm (sastādījusi autore pēc UIC 2013, LDz un PV dotās informācijas)

Veids	Modelis	Emisiju klase	Emisiju faktori, g/t dīzeļdegvielas			Dīzeļdegvielas patēriņš 2017. gadā, tonnās <sup>5</sup>
			NOx	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	
Kravas dīzeļlokomotīves	M62	Pre-UIC	66 158,4	1 460,64	3 509,4	1 447,43
	2M62	Pre-UIC	66 158,4	1 460,64		1 595,90
	2M62U	Pre-UIC	66 158,4	1 460,64		6 421,30
	2M62UP	IIIA	15 895,2	859,2		6 12,67
	2M62UM	IIIB	15 895,2	107,4		1 542,36
	2TE10U	Pre-UIC	66 158,4	1 460,64		7 439,83
	2TE10M	Pre-UIC	66 158,4	1 460,64		4 730,83
	2TE116	Pre-UIC	66 158,4	1 460,64		1 976,85
Pasažieru dīzeļvilcieni	DR1A	Pre-UIC	66 158,4	1 460,64	3 583	2 212,2 <sup>6</sup>
	DR1AM	IIIA	15 895,2	859,2		
	DR1AC	IIIB	15 895,2	107,4		
<b>Kopā:</b>						<b>27 979,37</b>

Dīzeļdegvielas patēriņš pasažieru dīzeļvilcieniem dots kā kopējais patērētais dīzeļdegvielas daudzums 2017. gadā – 2 212,2 tonnas visām emisiju klasēm kopā, tāpēc darba ietvaros un emisiju aprēķinam tiek pieņemts, ka patērētais dīzeļdegvielas daudzums katrai emisiju klasei ir vienāds, proti, 707,4 tonnas dīzeļdegvielas.

**NOx emisiju daudzuma aprēķins kravas un pasažieru dīzeļvilcei dažādām emisiju klasēm 2017. gadā, pēc 4. formulas un 3.1. tabulas izejas datiem:**

$$Em_{NOxPre-UIC} = 24\,319,54 \, t_{dīzeļdegv.} \times 66,2 \frac{kg}{t} = 1\,609\,954 \, kg$$

$$Em_{NOxIIIA} = 1\,320,07 \, t_{dīzeļdegv.} \times 15,9 \frac{kg}{t} = 20\,989 \, kg$$

$$Em_{NOxIIIB} = 2\,249,76 \, t_{dīzeļdegv.} \times 15,9 \frac{kg}{t} = 35\,771 \, kg$$

<sup>5</sup> AS "LDZ CARGO" un AS "Pasažieru vilciens" dati.

<sup>6</sup> Degvielas patēriņš pieejams apkopotā veidā.

Lai iegūtu visu emisijas klašu kopējās NO<sub>x</sub> emisijas, tiek izmantota 3. formula:

$$Em_{NOx\ kopā} = 1\ 609\ 954 + 20\ 989 + 35\ 771 = 1\ 666\ 714\ kg = 1\ 667,14\ t$$

**PM<sub>10</sub> emisiju daudzuma aprēķins kravas un pasažieru dīzeļvilcei dažādām emisiju klasēm 2017. gadā, pēc 4. formulas un dotajiem datiem 3.1. tabulā:**

$$Em_{PM10Pre-UIC} = 24\ 319,54\ t_{dīzeļdegv.} \times 1,5\ \frac{kg}{t} = 36\ 479\ kg$$

$$Em_{PM10IIIA} = 1\ 320,07\ t_{dīzeļdegv.} \times 0,86\ \frac{kg}{t} = 1\ 135\ kg$$

$$Em_{PM10IIIB} = 2\ 249,76\ t_{dīzeļdegv.} \times 0,11\ \frac{kg}{t} = 247\ kg$$

$$Em_{PM10\ kopā} = 36\ 479 + 1\ 135 + 247 = 37\ 861\ kg = 37,86\ t$$

**CO<sub>2</sub> emisiju daudzuma aprēķins kravas un pasažieru dīzeļvilcei dažādām emisiju klasēm 2017. gadā aprēķināts zemāk esošajā formulā, izmantojot 3. formulu, jo CO<sub>2</sub> emisiju faktors visām emisiju klasēm kā kravas vilcieniem, tā pasažieru vilcieniem ir vienāds – attiecīgi 3 509,4 kg/t un 3 583 kg/t. Kopējais dīzeļdegvielas patēriņš kravas dīzeļlokomotīvēm visās emisiju klasēs ir 25 767,17 tonnas, savukārt pasažieru vilcienam – 2 212,5 tonnas. Līdz ar to kopējais CO<sub>2</sub> emisiju apjoms kravas un pasažieru vilcieniem ir:**

$$\begin{aligned} Em_{CO2\ kopā} &= (25\ 767,17 \times 3\ 509,4) + (2\ 212,5 \times 3\ 583) \\ &= 90\ 427\ 306,4 + 7\ 927\ 387,5 = 98\ 354\ 694\ kg = 98\ 355,47\ t \end{aligned}$$

### 3.1.2. Eiropas Vides aģentūras metode

**NO<sub>x</sub>, PM un CO<sub>2</sub> emisiju daudzuma aprēķins pēc 6. formulas parādīts zemāk:**

$$E_{NOx} = 27\ 979,37\ t \times 63\ \frac{kg}{t} = 1\ 762\ 700\ kg = 1\ 762,70\ t$$

$$E_{PM10} = 27\ 979,37\ t \times 1,2\ \frac{kg}{t} = 33\ 575\ kg = 33,57\ t$$

$$E_{PM2.5} = 27\ 979,37\ t \times 1,1\ \frac{kg}{t} = 30\ 777\ kg = 30,77\ t$$

$$E_{CO2} = 27\ 979,37\ t \times 3\ 140\ \frac{kg}{t} = 87\ 855\ 222\ kg = 87\ 855,22\ t$$

### 3.2. Izplūdes gāzu emisiju aprēķinu metodoloģiju salīdzinājums

Būtiski ir tas, ka gan UIC, gan EEA izplūdes gāzu emisiju novērtēšanas aprēķinu metodoloģijas ir faktiski balstītas uz vienu un to pašu UIC pētījumu Halder et al. 2005. Taču, neskatoties uz to, vērojamas atšķirības aprēķināto emisiju apjomos, kā arī, vēl svarīgāk – emisiju faktoros un tā interpretācijā. Tāpēc UIC un EEA izplūdes gāzu emisiju aprēķinu metodoloģiju salīdzinājums veikts, ņemot vērā to nepieciešamo izejas datu detalizācijas pakāpi, emisiju faktoros un aprēķināto emisiju apjomus, kas parādīti 3.1. tabulā.

3.1. tabula

Aprēķināto izplūdes gāzu emisiju apjomi 2017. gadā pēc UIC un EEA metodēm (sastādījusi autore pēc 2.2. nodaļā veiktajiem aprēķiniem)

	UIC	EEA	$\left(\frac{EEA}{UIC} - 1\right) \times 100, \%$
NO <sub>x</sub> , t	1 667,14	1 762,70	+5,42
PM <sub>10</sub> , t	37,86	33,57	-11,33
PM <sub>2,5</sub> <sup>7</sup> , t	-	30,77	-
CO <sub>2</sub> , t	98 355,47	87 855,22	-10,67

Pēc 3.1. tabulas aprēķināto emisiju apjomiem 2017. gadā redzams, ka izmantojot UIC metodi izplūdes gāzu emisiju apjomi ir lielāki nekā EEA metodes aprēķinātie, izņemot NO<sub>x</sub> emisijas; pēc EEA metodes NO<sub>x</sub> emisiju apjomi ir 1 762,70 t, bet UIC – 1 667,14 t. Savukārt PM<sub>10</sub> emisiju apjomi ir ļoti līdzīgi, kaut gan EEA PM emisijas ir par 11% mazākas nekā UIC emisijas. PM<sub>2,5</sub> emisijas apjomus salīdzināt nevar, jo UIC metode paredz tikai PM<sub>10</sub> emisiju aprēķinus, savukārt EEA PM<sub>2,5</sub> emisiju faktoru pieņēma kā 95% no PM<sub>10</sub> emisiju faktora (Norris, Ntziachristos 2016). CO<sub>2</sub> emisijām starp metodēm ir vislielākā atšķirība – teju 10 000 tonnu jeb gandrīz 11%. UIC CO<sub>2</sub> emisijas apjomi ir lielāki nekā EEA; 98 355,47 t un 87 855,22 t. Redzams, ka abu metožu rezultātu lielākā atšķirība ir vairāk nekā 11% CO<sub>2</sub> un PM<sub>10</sub> emisijām, bet nedaudz vairāk kā 5% - NO<sub>x</sub> emisijām. Izplūdes gāzu emisijas apjomu rezultātu atšķirības var tikt izskaidrotas ar aprēķinos izmantoto emisiju faktoru vērtībām un to, kā šie emisiju faktori tika iegūti.

<sup>7</sup> PM<sub>2,5</sub> emisiju faktors tika pieņemts kā 95% no PM<sub>10</sub> emisiju faktora (Norris, Ntziachristos 2016).

Abu metožu emisiju faktori doti 3.2. tabulā un izteikti kilogramos uz vienu tonnu dīzeļdegvielas (kg/t).

3.2. tabula

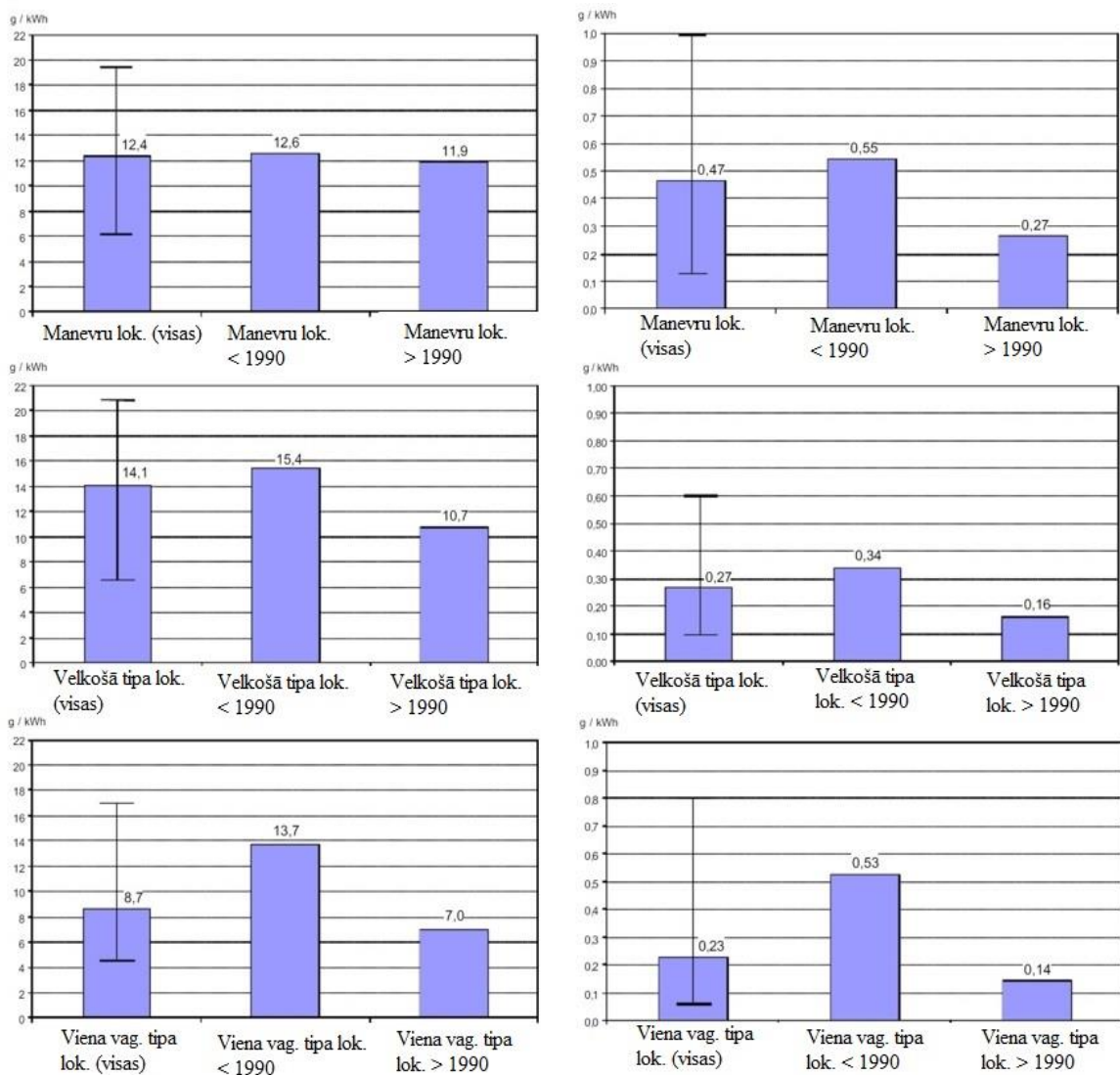
UIC un EEA izplūdes gāzu emisiju faktori (izstrādājusi autore pēc UIC 2013 un Norris, Ntziachristos 2016)

Emisiju aprēķinu metodes	UIC			EEA		
				Tier 2 – velkošā tipa lokomotīvēm	95% ticamības intervāls	
	Pre-UIC	IIIA	IIIB		Apakšējais	Augšējais
Izplūdes gāzu emisijas	kg/t dīzeļdegvielas					
NO <sub>x</sub>	66,2	15,9	15,9	63	29	93
PM <sub>10</sub>	1,5	0,86	0,11	1,2	0,45	3
PM <sub>2,5</sub>	-	-	-	1,1	0,42	3
CO <sub>2</sub>	3 509,4			3 140 (Swertz et al. 2017)	3 120	3 160

3.2. tabulā redzams, ka neskatoties uz to, ka abas izplūdes gāzu emisiju aprēķinu metodes ir balstītas uz vienu pētījumu, ir novērojamas emisijas faktoru atšķirības, līdz ar to emisiju aprēķinu rezultāti nav vienādi. Sākotnēji emisiju faktori tika iegūti pētījumā, izmantojot kvalitatīvu metodi – UIC dalībvalstu aptauju – par to ritošo sastāvu, jaudu, vecumu, dzinējiem un emisijām. NO<sub>x</sub> un PM emisiju faktori parādīti 3.1. un 3.2. attēlā.

Aptaujas lapā dzelzceļa pārvadātājiem tika lūgts nosaukt un aprakstīt piemērus par dzelzceļa ritošā sastāva parka reprezentatīvajiem transportlīdzekļiem. Kā viens no prasītajiem raksturlielumiem bija NO<sub>x</sub> un PM emisijas koeficienti g/kWh, kurus vajadzēja nosaukt 3 dažādiem lokomotīvu veidiem: manevru, velkošā tipa lokomotīves jeb maģistrālās lokomotīves un viena vagona tipa lokomotīves. 3.1. attēlā parādīti rezultāti, kas iegūti no 12 viena vagona tipa, 18 velkošā tipa un 11 manevru lokomotīvu dzinējiem NO<sub>x</sub> emisijām g/kWh.

3.2. attēlā rezultāti PM emisijām iegūti no 9 viena vagona tipa, 10 velkošā tipa un 7 manevru lokomotīvēm. Salīdzinoši zemās PM vērtības ir galvenokārt saistīts ar bieži vien nepieejamām vērtībām, kas izteiktas g/kWh. paziņoto PM vērtības ir galvenokārt saistīts ar biežāk nepieejamām vērtībām vienībā g/kWh. Agrāk PM vērtības parasti mērīja Bosch vienībās. Skaitļi parāda aptuveno vērtību diapazonu ar apmēram +/- 50%, salīdzinot ar vidējo NO<sub>x</sub> un pat lielāku vidējo PM emisijas faktoru diapazonu. Pēc attēliem var redzēt, ka ievērojami zemākas emisiju faktoru vērtības ir dzinējiem, kas būvēti pēc 1990. gada, salīdzinājumā ar dzinējiem, kas būvēti pirms 1990. gada (Halder, Lochter 2005).



3.1. attēls. NOx vidējie emisiju faktori un intervāls reprezentējošām viena vagona tipa, velkoša tipa un manevru lokomotīvu dzinējiem, g/kWh (Halder, Lochter 2005)

3.2. attēls. PM vidējie emisiju faktori un intervāls reprezentējošām viena vagona tipa, velkoša tipa un manevru lokomotīvu dzinējiem, g/kWh (Halder, Lochter 2005)

Šīs atšķirības var tikt izskaidrotas ar vairākiem aspektiem:

Pirmkārt, kā būtisku un uzreiz pamanāmu atšķirību var minēt to, ka EEA metode izmanto tos emisiju faktorus, kuriem ir norādīts arī 95% augšējie un apakšējie ticamības intervāli. Šādi intervāli ir noderīgi, nav iespējams veikt mērījumus ar absolūtu precizitāti, tāpēc dodot ticamības intervālus, lietotājs spēj noteikt emisijas faktora un aprēķināto emisijas daudzumu ticamību. Šie intervāli, ņemot vērā to izkliedi, parāda to, cik uzticams un patiess ir pats emisijas faktors.

Respektīvi – jo lielāka ir ticamības intervāla izkliede, jo mazāka ticamība ir dotajam emisijas faktoram, proti, iespējamā emisijas faktora vērtības diapazons ir pietiekami liels, lai tas spētu būtiski ietekmēt gala rezultātus. Savukārt no tā, cik liela ir ticamības intervāla izkliede, var secināt, ka ir bijis grūtāk precizēt emisijas faktoru. Kā piemēru var apskatīt NO<sub>x</sub> emisijas faktoru un tā 95% ticamības intervālu. NO<sub>x</sub> emisijas faktors pēc EEA ir 63 kg/t, taču 95% ticamības intervāls ir no 29 līdz 93, kas nozīmē to, ka emisijas faktors var būt no 29 kg/t līdz pat 93 kg/t. Lai gan ticamības intervāla izkliede NO<sub>x</sub> emisijām ir liela, tomēr 3.1. tabulā redzams, ka NO<sub>x</sub> EEA metodes izplūdes gāzu emisijas ir tikai par 5% lielākas. Tāpēc 5% atšķirība starp metodēm ir nenozīmīga, jo ir liels ticamības intervāls. Savukārt pretēja situācija ir CO<sub>2</sub> emisiju faktoram. EEA metodei tas ir 3 140 kg/t, bet 95% ticamības intervāls ir starp 3 120 un 3 160. Šis emisiju faktors ir daudz uzticamāks un precīzāks nekā tas ir, piemēram, NO<sub>x</sub> emisijām, līdz ar to arī matemātiskie aprēķini būs ticamāki un tuvāki reālajai situācijai dabā jeb situācijai, ja tiktu veikti emisiju mērījumi.

Otrkārt, kā iepriekš minēts, tad sākotnēji UIC pētījumā emisiju faktori iegūti g/kWh, taču tā kā metode ir balstīta uz dīzeļdegvielas patēriņu nevis patērētās jaudas daudzumu, tad, izmantojot formulu (2) un dažādus konversijas faktoros, g/kWh tika pārrēķināts uz g/t dīzeļdegvielas. Tā kā transmisijas efektivitātes konversijas faktors ir dots kā intervāls (0,34 – 0,38), tad var tikt pieņemts, ka abas metodes savos pārrēķinos izmantojusi citu konversijas faktoru, proti, EEA savas metodes pārrēķinos izmantojusi mazāku konversijas faktoru nekā UIC, kas izmantoja 0,36.

Treškārt, pētījumā, uz kura balstās salīdzināmās metodes, NO<sub>x</sub> un PM emisiju faktori tika iegūti dažādiem lokomotīvu veidiem dažādām emisiju klasēm (Pre-UIC un Post-UIC) (skat. 3.1. un 3.2. attēlus). Salīdzinot UIC un EEA emisiju faktoros, redzams, ka UIC izmantojis detalizētākus emisiju faktoros, ņemot vērā dzelzceļa ritošā sastāva emisiju klasi (< 1990 un > 1990) un tā vecumu. Savukārt EEA par pamatu emisiju faktoriem izmantojusi vidējās vērtības, kas raksturo katru ritošā sastāva veidu kopumā un varēja radīt atšķirību aprēķinātajos emisiju apjomos.

Ceturtkārt, UIC un EEA izplūdes gāzu emisiju aprēķina novērtēšanas metodēs emisiju faktori tiek izteikti dažādās mērvienībās. UIC tas ir g/t, taču EEA – kg/t. Iespējamās atšķirības var būt radušās, noapaļojot gala rezultāta vērtības.

Piektkārt, jāņem vērā tas, ka abas metodikas izmanto dažādus CO<sub>2</sub> emisijas faktorus. UIC metodoloģijā tiek piedāvāta formula, lai katrs dzelzceļa operators spētu aprēķināt sava uzņēmuma radītās CO<sub>2</sub> emisijas, ņemot vērā patērēto dīzeļdegvielu.

Būtiski ir tas, ka UIC paredz arī biodīzeļdegvielas izmantošanu un tam ir mazāks CO<sub>2</sub> emisijas faktors nekā standarta dīzeļdegvielai. Savukārt EEA savā metodoloģijā min to, ka biodīzeļdegviela vēl netiek izmantota pietiekami intensīvi, lai tā izmantošana spētu ietekmēt CO<sub>2</sub> izplūdes gāzu emisijas. EEA CO<sub>2</sub> emisiju faktoru ņem no 2017. gadā izdotā *Adjustment of heating values and CO<sub>2</sub> emission factors of petrol and diesel*.

### 3.3. Emisiju salīdzinošā analīze pēc 2015. gada datiem

Nacionālajos emisiju pārskatos to novērtēšanai Eiropas Savienības valstīm, tai skaitā Latvijai, ir jāizmanto metode, kura tikusi adaptēta no Eiropas Vides aģentūras emisiju novērtēšanas aprēķinu metodes. Savukārt VAS “Latvijas dzelzceļš” emisiju novērtēšanas aprēķinus galvenokārt veic pēc UIC metodes, tāpēc ir lietderīgi salīdzināt to, kādas ir emisiju apjomu atšķirības. Tas ir būtiski, jo gan EEA, gan UIC ņem vērā šīs emisijas ikgadējo atskaišu sagatavošanā, kā arī šie dati un informācija kalpo kā izejas dati citiem nozīmīgiem pētījumiem un diskusijām.

3.3. tabulā ir redzami transporta emisiju apjomi Latvijā 2015. gadā pēc *Eurostat* datubāzē pieejamajiem NACE datiem. Ņemot vērā to, ka detalizētāks transporta sektora emisiju sadalījums valstiskā līmenī nebija pieejams, tāpēc emisiju apjomi dzelzceļa transportam aprēķināti no transporta kopējiem emisiju apjomiem, ņemot vērā to, ka 2015. gadā Latvijā dzelzceļa transports bija atbildīgs par 7,3% izplūdes gāzu emisiju (Gancone et al. 2017).

3.3. tabula

Transporta un attiecīgi dzelzceļa radītās emisijas Latvijā 2015. gadā (sastādījusi autore pēc *Eurostat* NACE 2015. gada datiem)

	NO <sub>x</sub> , t	PM <sub>10</sub> , t	PM <sub>2.5</sub> , t	CO <sub>2</sub> , t
Transporta emisijas	16 309,51	537,39	448,44	2 039 655
<i>Dzelzceļa transporta emisijas – 7,3%</i>	<i>1 191</i>	<i>39</i>	<i>33</i>	<i>148 895</i>

2015. gadā kravas lokomotīvu dīzeļdegvielas patēriņš bija 37 861 tonna dīzeļdegvielas, no kuras 5% ir biodīzeļdegvielas piejaukums. Savukārt pasažieru dīzeļvilcieniem 2015. gadā patēriņš bija 2 108,9 tonnas<sup>8</sup>, taču tā kā dati ir pieejami tikai apkopotī un 2015. gadā pasažieru dīzeļvilcieniem bija tikai divas emisiju klases – Pre-UIC un IIIA, tad kopējais dīzeļdegvielas patēriņš tiks dalīts divās vienādās daļās, pieņemot, ka katrā emisiju klasē patērētais dīzeļdegvielas daudzums ir vienāds – 1 054,45 t. Kopējais dīzeļdegvielas patēriņš 2015. gadā kravas un pasažieru dīzeļvilcieniem – 39 969,9 tonnas.

Dzelzceļa transporta emisijas 2015. gada tiek aprēķinātās pēc 2.2.1. apakšnodaļā dotās 3. un 4. formulas, izmantojot katras emisiju klases atbilstošos emisiju faktoros:

$$Em_{NOxPre-UIC} = 38\,180,45 \text{ t}_{dīzeļdegv.} \times 66,2 \frac{kg}{t} = 2\,527\,545,79 \text{ kg}$$

$$Em_{NOxIIIA} = 1\,789,45 \text{ t}_{dīzeļdegv.} \times 15,9 \frac{kg}{t} = 28\,452,25 \text{ kg}$$

$$Em_{NOx kopā} = 2\,527\,545,79 + 28\,452,25 = 2\,555\,998,04 \text{ kg} = 2\,556 \text{ t}$$

$$Em_{PM10Pre-UIC} = 38\,180,45 \text{ t}_{dīzeļdegv.} \times 1,5 \frac{kg}{t} = 57\,270,68 \text{ kg}$$

$$Em_{PM10IIIA} = 1\,789,45 \text{ t}_{dīzeļdegv.} \times 0,86 \frac{kg}{t} = 1\,538,93 \text{ kg}$$

$$Em_{PM10 kopā} = 57\,270,68 + 1\,538,93 = 58\,809,61 \text{ kg} = 58,81 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} Em_{CO2 kopā} &= (37\,861 \times 3\,509,4) + (2\,108,9 \times 3\,583) = \\ &= 132\,869\,393,34 + 7\,556\,188,7 = 140\,425\,582,04 \text{ kg} = \\ &= 140\,425,58 \text{ t} \end{aligned}$$

3.4. tabulā pārskatāmā veidā attēlotas 2015. gada pēc UIC metodes aprēķinātās un no Eurostat datubāzes atvasināto datu emisijas.

<sup>8</sup> VAS "Latvijas dzelzceļš" dati.

Dzelzceļa transporta UIC un *Eurostat* emisiju salīdzinājums Latvijā 2015. gadā (pēc *Eurostat* un autores aprēķiniem)

	UIC	<i>Eurostat</i>	$\frac{\textit{Eurostat}}{\textit{UIC}} \times 100, \%$
NO <sub>x</sub> , t	2 556	1 191	-53
PM <sub>10</sub> , t	58,81	39	-34
PM <sub>2.5</sub> , t <sup>9</sup>	-	33	-
CO <sub>2</sub> , t	140 425,58	148 895	+6

3.4. tabulā redzams, ka katrs emisiju avots uzrāda dažādus emisiju apjomus. Piemēram, pēc UIC metodes aprēķinātais NO<sub>x</sub> dzelzceļa transportam 2015. gadā ir 2 556 tonnas, taču pēc *Eurostat* datubāzē atrodamās informācijas, dzelzceļa transporta NO<sub>x</sub> emisijas ir 1 191 tonna, kas ir par 53% mazāk nekā UIC aprēķinātās emisijas. Līdzīga situācija ir arī PM<sub>10</sub> emisijām, kur UIC tās uzrāda lielākos apjomos nekā *Eurostat*. Neskatoties uz to, CO<sub>2</sub> emisijas katram avotam atšķiras tikai par 6% - *Eurostat* uzrāda lielāku CO<sub>2</sub> apjomu nekā UIC.

Šādas atšķirības var tikt izskaidrotas ar dažādu pielietoto metodoloģiju specifiskāciju, rezultātu interpretācijas atšķirībām, kā arī izmantoto izejas datu un emisijas faktoru dažādību. Būtiski ir tas, ka UIC dzelzceļa emisiju apjomi tiek balstīti uz degvielas patēriņu gadā, savukārt *Eurostat* emisiju apjomi doti pēc tādiem NACE klasifikācijas ekonomiskajiem parametriem kā pievienotās vērtības un produktu izlaides, kas nacionālās atskaites sistēmās ir daudz piemērotāks rīks emisiju novērtēšanai, nekā dīzeļdegvielas patēriņš dzelzceļa transportam, kas arī rada emisiju apjomu atšķirības 2015. gadā.

<sup>9</sup> PM<sub>2.5</sub> emisiju faktors tika pieņemts kā 95% no PM<sub>10</sub> emisiju faktora (Norris, Ntziachristos 2016).

### 3.4. Emisiju kalkulators

Viens no galvenajiem darba uzdevumiem bija emisiju kalkulatora izstrāde ekspluatētajam dzelzceļa ritošajam sastāvam – kravas dīzeļlokomotīvēm un pasažieru dīzeļvilcieniem un elektrovilcieniem. Tā sākotnējais mērķis ir noteikt, cik liels izplūdes gāzu emisiju ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  un  $\text{CO}_2$ ) apjoms tiek emitēts, veicot kādu noteiktu attālumu Latvijas teritorijas robežās ar kravas vai pasažieru dīzeļvilcieniem. Ņemot vērā to, ka 2016. gada pavasarī "LDZ Ritošā sastāva serviss" sadarbībā ar Čehijas uzņēmumu "CZ LOKO" pabeidza darbu pie pirmās jaunās paaudzes kravas dīzeļlokomotīves 2M62UM izgatavošanas uz padomju laikā ražoto 2M62U sērijas lokomotīvu bāzes (LDzB 2017), tad kalkulators ir efektīvs rīks, lai salīdzinātu modernizēto lokomotīvu izplūdes gāzu emisijas ar lokomotīvēm, kuras nav modernizētas.

Būtiski ir arī tas, ka emisiju kalkulators rēķina arī ne-izplūdes gāzu  $\text{PM}_{10}$  emisijas elektrovilcieniem, kas rodas abrāzijas un mehāniskā nodiluma rezultātā. Tas ir īpaši svarīgi, jo viens no Latvijas dzelzceļa infrastruktūras indikatīvajiem nākotnes attīstības plāniem ir dzelzceļa tīklu elektrifikācija, kas, kā apgalvots Latvijas dzelzceļa tīkla elektrifikācijas ietekmes uz vidi novērtējuma 1. sējumā "Elektrolokomotīves nerada izmešus gaisā" (SIA "Projekts 3i" 2014). Jau darba 1.3. apakšnodaļā stāstīts par elektrovilcieniem un to, ka, neskatoties uz elektroenerģijas izmantošanu kā primāro enerģijas avotu, to nevar uzskatīt par dzelzceļa transportlīdzekli, kas ir brīvs no emisijām. Lai gan tam nav izplūdes gāzes, elektrovilcieni rada ne-izplūdes gāzu emisijas, kas rodas abrāzijas un mehāniskā nodiluma rezultātā (Fridell et al. 2010; Thorpe, Harrison 2008; Silkāns 2017). Bez tam, pierādīts  $\text{PM}_{10}$  emisija palielinās līdz ar elektrovilciena svaru – jo lielāks tas ir, jo lielāks cieta daļiņu apjoms tiek emitēts gaisā. Protams, ietekme uz vidi ir mazāka, salīdzinot ar dīzeļlokomotīvēm un to emisiju dažādību un apjomus, taču apgalvot, ka elektrovilcieni nerada izmešus, nevar.

Jāpiezīmē, ka lai gan elektroenerģijas  $\text{CO}_2$  tiek aprēķināts enerģijas ražošanas posmā, taču kalkulators paredz arī to aprēķināšanu elektroenerģijas izmantošanas posmā, lai aptuveni tiktu noteikts, cik daudz  $\text{CO}_2$  izmešus emitē elektrovilciens.

Izplūdes gāzu emisijas gaisā kalkulators rēķina, balstoties uz UIC metodes dotajiem emisiju faktoriem NO<sub>x</sub>, PM un CO<sub>2</sub>, veikto attālumu un degvielas patēriņu. Šī metode īpaši izvēlēta kalkulatora izstrādei, jo ir piemērotāka ritošā sastāva emisiju raksturošanai nekā EEA. UIC metode ņem vērā lokomotīvu un vilcienu dzinēju vecumu, iedalot tos dažādās emisiju klasēs, kurām atbilst dažādi izplūdes gāzu emisiju faktori, kā arī degvielas patēriņu kādā posmā. Tātad nepieciešamie izejas dati ir lokomotīvu un dīzeļvilcienu tehniskā specifikācija un degvielas patēriņš, kas izriet no ritošā sastāva jaudas un veiktā attāluma.

Lai gan UIC metode tika atzīta par piemērotāku ritošā sastāva izplūdes gāzu emisiju novērtēšanai, taču ne UIC, nedz Eiropas Vides aģentūra dzelzceļa transporta emisiju daudzuma novērtēšanas metodoloģijas nav paredzējušas abrāzijas un mehāniskā nodiluma rezultātā radušās PM<sub>10</sub> daļiņas un elektroenerģijas patēriņa rezultātā radušos CO<sub>2</sub> daudzuma novērtēšanu elektrificētam ritošajam sastāvam, kas Latvijā pagaidām tiek ekspluatēti pasažieru pārvadājumu nodrošināšanai pa elektrificētajām dzelzceļa līnijām, taču nākotnē arī “*Rail Baltica*”. Tāpēc kā CO<sub>2</sub> emisiju faktors elektrovilcieniem tiek izmantots AS “Latvenergo” īpatnējā CO<sub>2</sub> emisija uz galalietotājiem piegādātās elektroenerģijas vienību 2017. gadā – 60 gCO<sub>2</sub>/kWh (AS “Latvenergo” S.a.).

Lai aprēķinātu vienā stundā radītās CO<sub>2</sub> ne-izplūdes gāzu emisijas elektrovilcieniem, kura jauda ir 1000 kWh, tiek izmantots šāds vienādojums:

$$Em_{CO_2\text{elektro.}} = Em_{CO_2f} \times 1000 \text{ kWh} \quad (6)$$

Kur:

$Em_{CO_2\text{elektro.}}$  – kopējā CO<sub>2</sub> emisija piegādātai elektroenerģijai, g/kWh;

$Em_{CO_2f}$  – piegādātās elektroenerģijas faktors – 60 gCO<sub>2</sub>/kWh;

1000 kWh – elektrovilciena jauda vienā stundā.

Savukārt PM<sub>10</sub> abrāzijas un mehāniskā nodiluma rezultātā radušās emisijas faktors pieņemts 0,48 g/vilciens-km pēc Fridell et al. 2010. gadā veiktā zinātniskā pētījuma. PM<sub>10</sub> cieta daļiņu apjoms palielinās līdz ar elektrovilciena veiktā attāluma garumu un tieši tāpēc cieta daļiņu emisija dota vienam vilciens-kilometram. Respektīvi, jo lielāks ir attālums, ko veic elektrovilciens, jo abrāzijas un nodiluma rezultātā radušās PM<sub>10</sub> apjoms būs lielāks. Šī pētījuma ietvaros PM<sub>10</sub> abrāzijas un mehāniskā nodiluma cietās daļiņas mērītas tunelī, kas nozīmē, ka mērījumu rezultātus un izrietošos emisiju faktorus nav ietekmējis fona piesārņojums.

Elektrovilcienam PM<sub>10</sub> abrāzijas un mehāniskā nodiluma emisijas, nobraucot, piemēram, 100 km lielu attālumu, tiek aprēķināts ar vienādojumu:

$$Em_{PM_{10}elektro.} = Em_{PM_{10}f} \times 100 \text{ km} \quad (7)$$

Kur:

$Em_{PM_{10}elektro.}$  – PM<sub>10</sub> emisijas kopējais apjoms, g

$Em_{PM_{10}f}$  – PM<sub>10</sub> emisijas faktors – 0,48 g/km

100 km – elektrovilciena veiktais attālums

Pēc formulām (6) un (7) PM<sub>10</sub> un CO<sub>2</sub> emisijas elektrovilcieniem, kuru jauda ir 1000 kWh un veikts 100 km liels attālums, ir:

$$Em_{CO_2elektro.} = 60 \text{ g/kWh} \times 1000 \text{ kWh} = 60\,000 \text{ g}$$

$$Em_{PM_{10}elektro.} = 0,48 \text{ g/km} \times 100 \text{ km} = 48 \text{ g}$$

Lai noteiktu patērētās dīzeļdegvielas daudzumu, no kā savukārt tiek aprēķinātas emisijas, bija nepieciešami dati par dzelzceļa staciju un pieturas punktu attālumiem vienam no otra. Būtiski un vērā ņemami ir tas, kravas vilcienu un pasažieru vilcienu dzelzceļu tīkls ir atšķirīgs. Proti, pasažieru vilciena tīklā ir daudz vairāk dzelzceļa staciju un pieturas punktu, savukārt kravas vilcienam tādu ir mazāk, ko ietekmē dzelzceļa stacijas lielums, funkcija un tai pieguļošo dzelzceļu garums. Kā arī Latvijas dzelzceļa tīklā pastāv līnijas, pa kurām kursē tikai kravas vilcieni, piemēram Jelgava – Daugavpils un Rīga – Ventspils.

Interesanti ir arī tas, ka kravas vilcienu attālumi starp stacijām netiek mērīti pēc ģeogrāfiskā attāluma. Tas tiek mērīts kā attāluma tarifs, kas nozīmē, ka, ja dabā starp divām stacijām reālais attālums ir 50 km, tad pēc kravas vilcienu tarifu attālumiem tas var būt pat daudz lielāks. Šāda specifikācija ir izskaidrojama ar to, ka katrai stacijai, kurā kravas vilciens var apstāties, ir savas funkcijas un iespējamās operācijas. Kalkulators ņem vērā šo kravas vilcienu attālumu tarifus un kravas dīzeļlokomotīvu izplūdes gāzu emisijas tiek rēķinātas pēc tiem, jo reālais attālums dabā nesakrīt ar darba attālumu, ko veicis kravas dīzeļvilciens.

Attālumu aprēķins starp pasažieru vilcienu stacijām izrādījās sarežģītāks kā kravas pārvadājumu gadījumā, jo no VAS “Latvijas Dzelzceļš” saņemtajiem datiem tiešā veidā nebija iespējams noteikt attālumu starp jebkurām divām stacijām. Tādēļ bija nepieciešams izveidot jaunu virtuālu rīku nepieciešamajam attālumu aprēķinam starp jebkurām divām pasažieru stacijām. Pasažieru dzelzceļa staciju un pieturas punktu attāluma aprēķina rīka izveides soļi parādīti 1. pielikumā.

Saņemtie dati no VAS “Latvijas dzelzceļš” sākotnēji ir noformēti MS Word tabulu formā. Katrā tabulā ir norādīts attālums starp divām secīgām robežstacijām, kā arī attālumi starp divām secīgām stacijām uz šīs līnijas. Kā piemēru skatīt 3.5. tabulu – šajā gadījumā līnijas robežstacijas ir “Krustpils” un “Rēzekne II parks” un tās garums ir 95 km. Var redzēt, ka attālums starp blakus esošajām stacijām, piemēram, “Kūkas” un “Mežāre” ir 11 km. Šāda attāluma noteikšana starp divām stacijām, kuras atrodas vienā un tajā pašā līnijā, ir salīdzinoši vienkārša (nepieciešams secīgi saskaitīt attālumus starp stacijām). Savukārt, ja nepieciešams noteikt attālumu starp stacijām, kuras atrodas uz dažādām līnijām, starp kurām atrodas arī citas līnijas, tad kļūst acīmredzami, ka attāluma aprēķins starp divām pasažieru stacijām vai pieturas punktiem kļūst laikietilpīgs un neērts lietotājam.

3.5. tabula

Krustpils – Rēzekne II parks līnijas attālumi starp pasažieru stacijām un pieturas punktiem  
(LDz Infrastruktūras tīkla pārskats 2018)

<b>Krustpils – Rēzekne II parks (95 km)</b>	<b>Attālums starp staciju vai pieturas punktu, km</b>
Krustpils	-
P.p. Zilāni	4
Kūkas	9
Mežāre	11
Atašiene	16
Stirniene	8
Varakļāni	10
Viļāni	14
Sakstagals	10
Rēzekne II parks	12

Lai izveidotu emisiju kalkulatoru, pirmais, kas bija jāizdara, bija staciju un pieturas punktu, kas atrodas uz vienas līnijas, attāluma aprēķina atvieglošana. Tas tika paveikts, modificējot datus – aprēķinot katras stacijas, kas atrodas uz noteiktas līnijas, attālumu līdz kādai no līnijas robežstacijām. 3.5. tabula ir modificēta 3.6. tabulā.

3.6. tabula

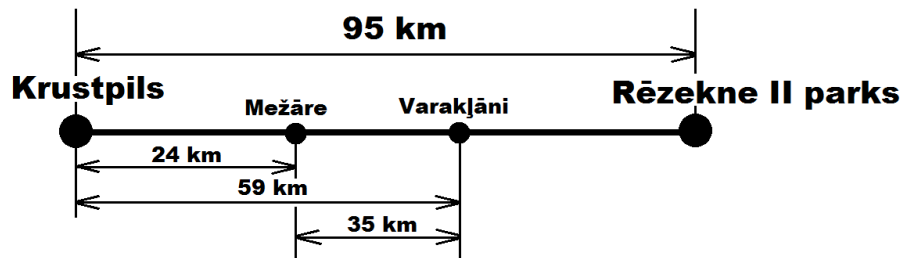
Krustpils – Rēzekne II parks līnijas pasažieru staciju un pieturas punktu attālums no Krustpils (izstrādājusi autore pēc LDz Infrastruktūras tīkla pārskata 2018)

<b>Stacija vai pieturas punkts</b>	<b>Attālums no Krustpils, km</b>
Krustpils	0
Zīlāni*	4
Kūkas	13
Mežāre	24
Atašiene	35
Stirniene	51
Varakļāni	59
Viļāni	69
Sakstagals	83
Rēzekne II parks	95

Veicot šādas izeju datu izmaiņas, aprēķināt attālumu starp jebkurām divām stacijām vai pieturas punktiem uz līnijas kļūst vienkāršāk. Piemēram, attāluma aprēķins starp stacijām “Mežāre” un “Varakļāni”:

$$S_{Mežāre-Varakļāni} = |S_{Krustpils-Mežāre} - S_{Krustpils-Varakļāni}| = |24 - 59| = 35 \text{ km} \quad (8)$$

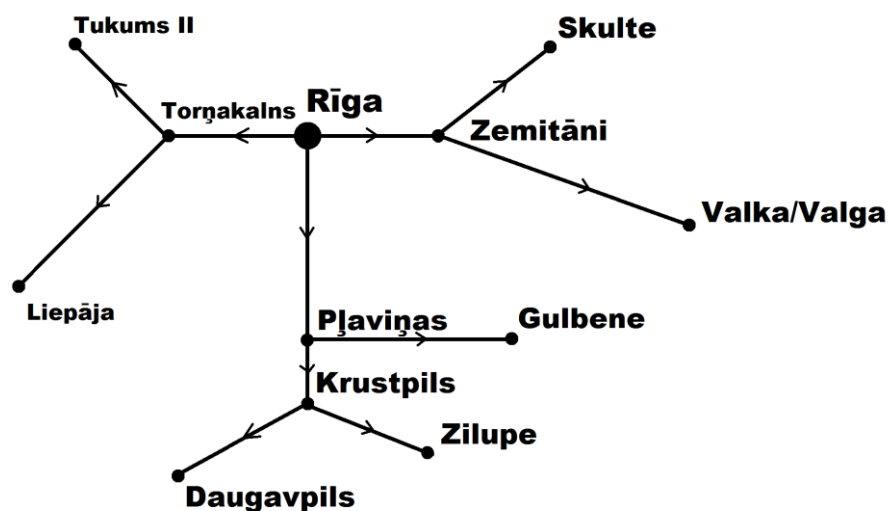
Augstāk redzamajā 8. formulā modulis tiek lietots, lai netiktu iegūts negatīvs attālums, kas nav fizikāls lielums. Var secināt, ka atņemt divus skaitļus ir daudz ērtāk nekā secīgi saskaitīt vairākus citus. Grafiski attēlot šo darbību var šādi (3.3. attēls):



3.3. attēls. Grafisks attēlojums attāluma aprēķinam starp divām stacijām uz vienas līnijas (izstrādājusi autore)

Izstrādātajam paņēmienam otrs labums ir tāds, ka šādu aprēķinu ir viegli “paskaidrot” MS Excel programmai, līdz ar to jau šobrīd ir panākts progress viegla rīka izveidei. Šādā veidā tika transformētas visas esošās pasažieru staciju un pieturas punktu attālumu tabulas. Papildus tika apvienotas līnijas, kurām bija tās pašas robežstacijas, no kurām neatzarojās citas pasažieru dzelzceļa līnijas. Piemēram, tika apvienotas līnijas “Krustpils – Rēzekne II parks” un “Rēzekne II parks – Zilupe”, izveidojot “Krustpils – Zilupe” līniju. Tas samazina efektīvo līniju skaitu un atvieglo turpmākos aprēķinus.

Kā jau iepriekš minēts šāda transformācija tika veikta visām nepieciešamajām līnijām; tika iegūtas 11 līnijas, kuras grafiski attēlotas 3.4. attēlā. Bultiņas uz līnijām atbilst virzienam no izvēlētās robežstacijas, no kuras tiek aprēķināti attālumi visām stacijām, kas atrodas uz noteiktās līnijas.



3.4. attēls. Pasažieru dzelzceļa līniju shēma (izstrādājusi autore)

Nākošais risināmais uzdevums ir attāluma aprēķins starp divām brīvi izvēlētām pasažieru stacijām vai pieturas punktiem, ja tās atrodas uz dažādām līnijām. Pirmais solis ir noskaidrot, cik daudz veidos ir iespējams izvēlēties sākuma un gala līnijas. To iespējams viegli aprēķināt, izmantojot kombinatoriku. Tā kā nav nozīmes, vai vilciens brauc no “Krustpils – Zilupe” līnijas uz “Torņakalns – Liepāja” līniju vai otrādāk (attālums nemainās), tad ir jāaprēķina, cik kombinācijās no vienpadsmit līnijām var izvēlēties divas:

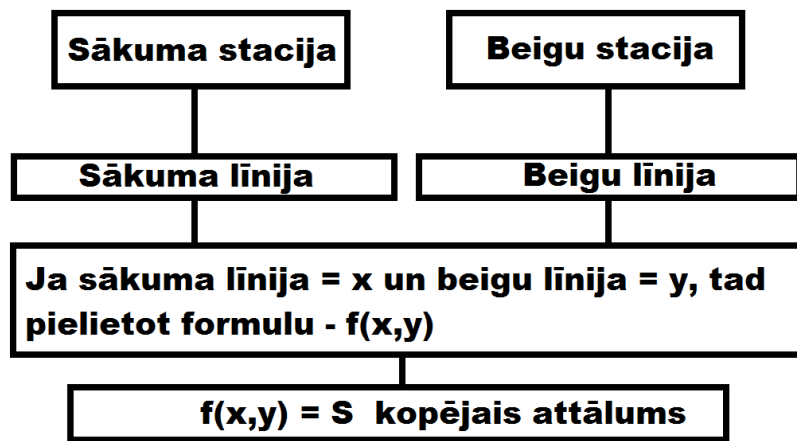
$$C_2^{11} = \frac{11!}{2!(11-2)!} = \frac{11!}{2!9!} = \frac{11 \cdot 10 \cdot 9!}{2 \cdot 9!} = \frac{110}{2} = 55 \quad (9)$$

Tātad ir 55 dažādi gadījumi, kā savienot divas līnijas, kā arī jāpieskaita vēl 11 gadījumi, ja gala un sākuma stacijas atrodas uz viena un tās pašas līnijas (tādā gadījumā tiek izmantota 8. formula), tātad kopā ir 66 varianti.

Visus šos gadījumus var samērā vienkārši atrast sistemātiski izrakstot visus iespējamus savienojumus starp līnijām. Veicot šo izrakstu, tika arī atrasti visi iepriekš minētie 66 varianti, kā arī katram variantam tika atrasta pareiza ceļa aprēķina formula. Piemēram, ja sākuma stacija atrodas uz līnijas “Torņakalns – Tukums II” (piemēram, “Majori”) un gala stacija ir “Rēzekne II” (“Krustpils – Zilupe” līnija), tad kopējais attālums būtu jāaprēķina šādi:

$$S = S_{Torņakalns-Majori} + S_{Torņakalns-Rīga} + S_{Rīga-Pļaviņas} + S_{Pļaviņas-Krustpils} + S_{Krustpils-Rēzekne II} = 21 + 3 + 112 + 17 + 95 = 248 \text{ km} \quad (10)$$

Līdzīgas formulas ir atrastas katram no 66 variantiem. Ceļu aprēķina rīks ir izveidots MS Excel vidē. Lietotājs ar ērta filtra palīdzību izvēlas sev interesējošo sākuma un gala staciju. Izvēloties stacijas, protams, notiek arī interesējošo līniju atlase, tā kā ir zināmas gala un beigu līnijas, tad ar IF funkcijas palīdzību tiek izvēlēta atbilstošā formula kopējā ceļa aprēķinam. Grafiski to var attēlot šādi (3.5. attēls):



3.5. attēls. Blokshēma pareizas formulas izvēlei MS Excel (izstrādājusi autore)

Pirmkārt, veidojot ceļu aprēķinu rīku MS Excel, tika konstatēts, ka nav iespējams veiksmīgi pielietot parastos filtrus, lai rīks strādātu adekvāti. Tāpēc tiek izmantoti nestandarta risinājumi. Otrkārt, veidojot rīku tika pārbaudīts, vai attālumi starp divām stacijām uz divām dažādām līnijām tiek aprēķināti pareizi (sagrīt aprēķināto attālumu uz papīra), līdz ar to ar lielu pārliecību var teikt, ka šis rīks rēķina attālumus bez kļūdām Treškārt, izveidotā IF funkcija, kas izvēlas pareizu formulu ceļa aprēķinam, izrādījās tik gara, ka visus gadījumus nevar ietilpināt vienā šūnas formulā, tāpēc tika izveidots viens nestandarta gadījums, ja lietotājs vēlas aprēķināt attālumu starp stacijām, kuras atrodas uz “Krustpils – Zilupe” un “Krustpils – Daugavpils” līnijām. Attāluma rezultāts tiks attēlots šūnā, kura atrodas blakus galvenajai šūnai attālumu aprēķina rīkā.

Var rasties jautājums, kāpēc neizmantot parastos un jau pieejamos MS Excel filtrus. Atbilde ir vienkārša – ja tos izmanto, tad tie spēj tikai filtrēt datus, bet aprēķinus veikt ar filtrētajiem datiem ir praktiski neiespējami, jo MS Excel parastais filtrs nevis “izceļ” konkrētas vērtības no tabulām, bet virtuāli paslēpj tabulu rindas, kuras neatbilst filtra nosacījumam, līdz ar to mainot konkrētās šūnas adresi. Šūnas adreses maiņa liedz iespēju uzrakstīt formulu un veikt aprēķinus ar datiem, kas tiek filtrēti ar MS Excel standarta filtriem.

## SECINĀJUMI

Dzelzceļa transporta nozare ir vienīgā transporta joma, kurai novērojama emisiju samazināšanās Pasaulē kopš 1975. gada. Lai gan dzelzceļa tīkla elektrifikācija, salīdzinot ar dīzeļvilces ritošo sastāvu, samazina ietekmi uz vidi, to nevar uzskatīt par bez izmešiem brīvu risinājumu gaisa kvalitātes uzlabošanai.

Elektrificēto dzelzceļa transportu mūsdienās vairāk raksturo cieto daļiņu ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ) emisijas, kas rodas abrāzijas un detaļu, sliežu mehāniskā nodiluma rezultātā un tās pozitīvi korelē ar vilciena masu un vecumu. Šādu emisiju kontrole un samazināšana ir daudz sarežģītāka salīdzinājumā ar emisijām, kuras atmosfērā nonāk sadegot degvielai.

Dzelzceļa ritošā sastāva tehniskā inventarizācija 2017. gadā liecina, ka Latvijā dominē lokomotīves un vilcieni, kuri nodoti ekspluatācijā līdz 1997.gadam, kas liecina par novecojušu ritošo sastāvu.

Abu emisiju novērtēšanas metodiku salīdzinošā analīze liecina par datu nepilnībām abās metodikās; konstatēts, ka faktiski tiek izmantots viens 2005.gadā veikts plašāks pētījums, kurā uzsvērtas tikai elektrotransporta priekšrocības, daļa izejas datu iegūti aptaujas veidā, liek apšaubīt emisiju faktoru precizitāti un patiesumu. Lai arī EVA ieteiktā metodika sākotnēji šķiet jaunāka, jo izdota 2016.gadā, tomēr pēc detalizētas analīzes konstatēts, ka tiek izmantoti 2005.gada dati.

2017.gada datu analīze liecina par vidēji 5-10 % atšķirībām emisiju novērtēšanā, tomēr būtiskas atšķirības konstatētas analizējot 2015.gada nacionālo ziņojumu Eiropas Vides Aģentūrai salīdzinājumā, šajā gadījumā konstatēts, ka metodikas ietekme uz aprēķinu rezultātiem rada atšķirības pat 53 % apmērā.

Darba hipotēze ir apstiprinājusies – Eiropā rekomendētā Eiropas Vides aģentūras metodika EMEP/CORINAIR ir pārāk vispārīga emisiju novērtēšanā. Metode neņem vērā ritošā sastāva vecumu un tam atbilstošos emisiju faktorus, kas hipotētiski liecina par aptuveniem aprēķinu rezultātiem.

## PATEICĪBAS

Maģistra darba autore vēlās izteikt vislielāko pateicību maģistra darba vadītājai Ivetai Šteinbergai par idejām un ierosinājumiem darba izstrādes laikā un uzmundrinājumu brīžos, kad likās, ka nav tik labi kā gribētos. Paldies arī VAS “Latvijas dzelzceļš” Attīstības direkcijas Vides pārvaldības daļas kolēģiem Kārlim Dreimanim un Daigai Helēnai Žideļūnei par atbalstu un sapratni. Kā arī autore izsaka lielu pateicību Šveices Federālā tehnoloģiju institūta Inženierijas skolas, Materiālu zinātnes un inženierijas institūta INE laboratorijas doktorantam-asistentam Reinim Ignatānam par palīdzību emisiju kalkulatora izstrādē.

## IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

### Publicētie materiāli

- Abbasi S., Jansson A., Sellgren U., Olofsson U. 2013. Particle Emissions From Rail Traffic: A Literature Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43 (23), 2511-2544.
- Abbasi, S., Jansson, A., Olander, L., Olofsson, U., Larsson, C., and Sellgren, U. 2012. A field test study of airborne wear particles from a running regional train. *Journal of Rail and Rapid Transit* 226, 95–109.
- Andres, L., Padilla, E. 2018. Driving factors of GHG emissions in the EU transport activity. *Transport policy*, 61, 60-74.
- AS "Latvenergo". S.a. Īpatnējā oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) emisija uz galalietotājiem piegādātās elektroenerģijas vienību 2017. gadā. Sk. 18.05.2018. Pieejams: [https://www.latvenergo.lv/lat/par\\_mums/pardosana/elektroenerģijas\\_tirgus\\_shema/elektroenerģijas\\_izcelsme/](https://www.latvenergo.lv/lat/par_mums/pardosana/elektroenerģijas_tirgus_shema/elektroenerģijas_izcelsme/)
- Behrends, S. 2017. Burden or opportunity for modal shift? – Embracing the urban dimension of intermodal road-rail transport. *Transport Policy*. 59, 10-16.
- Donahue, N., M. 2018. Air Pollution and Air Quality. *Green chemistry*. 151-176.
- Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva (2009/30/EK), ar ko groza Direktīvu 98/70/EK attiecībā uz benzīna, dīzeļdegvielas un gāzeļļas specifikācijām un ievieš mehānismu autotransporta līdzekļos lietojamās degvielas radītās siltumnīcefekta gāzu emisijas kontrolei un samazināšanai, groza Padomes Direktīvu 1999/32/EK attiecībā uz tās degvielas specifikācijām, kuru lieto iekšējo ūdensceļu kuģos, un atceļ Direktīvu 93/12/EEK. Pieņemti 23.04.2009.
- Eiropas Komisija (EK). 2013. Pamatinformācija par jauno ES transporta infrastruktūras politiku. Informatīvs paziņojums. Sk. 25.04.2018. Pieejams: [europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-13-897\\_lv.doc](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-897_lv.doc)
- EK. 2014. North Sea – Baltic Core Network Corridor Study. Final Report. Sk. 24.04.2018. Pieejams: [https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/north\\_sea-baltic\\_study\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/north_sea-baltic_study_0.pdf)

- Eiropas Savienība. 2016. Well-to-Wheels Analysis. Sk. 10.05.2018. Pieejams: <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw>
- European Environment Agency (EEA). 2017a. Air quality in Europe – 2017. Report. Sk. 13.03.2018. Pieejams: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>
- EEA. 2017b. Greenhouse gas emissions from transport. Sk. 09.04.2018. Pieejams: <https://www.eea.europa.eu/downloads/28da20e34ff54fb7ae05a2eca8a9aad8/1508758152/transport-emissions-of-greenhouse-gases-10.pdf>
- EEA. 2017c. *European Union emission inventory report 1990-2015 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.*
- EEA 2017d. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2015 and inventory report. Sk. 13.04.2018. Pieejams: <http://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2017>.
- EEA 2017e. Exceedances of air quality objectives due to traffic. Sk. 04.06.2018. Pieejams: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/exceedances-of-air-quality-objectives-7/assessment>
- EEA 2017f. Emissions of air pollutants from transport. Sk. 04.06.2018. Pieejams: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-5/#emissions-of-air-pollutants-from-transport>
- Environmental Protection Agency. S.a. Understanding Global Warming Potentials. Sk. 01.05.2018. Pieejams: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Eurostat. 2017a. Passenger transport statistics. Sk. 22.04.2018. Pieejams: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger\\_transport\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Passenger_transport_statistics) Atsauce tekstā (Passenger transport statistics 2017).
- Eurostat. 2017b. Railway freight transport statistics. Sk. 22.04.2018. Pieejams: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Railway\\_freight\\_transport\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Railway_freight_transport_statistics) Atsauce tekstā (Railway freight transport statistics 2017).

- Eurostat. 2018. Air emissions accounts by NACE Rev. 2 activity. Sk. 15.04.2018. Klasifikācijas kods: env\_ac\_ainah\_r2.
- Fridell, E., Ferm, M., Ekberg, A. 2010. Emissions of particulate matters from railways – emission factors and condition monitoring. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 15, 240 – 245
- Fuglestvedt, J. S., Shine, K. P., Berntsen, T., Cook, J., Lee, D. S., Stenke, A. D., Skeie, R. B., Velders, G. J. M., and Waitz, I. A. 2008. Climate forcing from the transport sectors. *PNAS* (105), 454–458.
- Gancone, A., Skrebele, A., Rubene, L., Ratniece, V., Cakars, I., Siņics, L., Klāvs, G., Gračkova, L., Lazdiņš, A., Butlers, A., Bārdule, A., Lupiķis, A., Bērziņa, L., Degola, L., Priekulis, J. 2017. Latvia's National Inventory Report 1990-2015. Submission under UNFCCC and the Kyoto Protocol. Sk. 20.05.2018. Pieejams: [https://www.meteo.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Vide/Klimats/Zin\\_starpt\\_org/LV\\_NIR\\_UNFCCC\\_13042017.pdf](https://www.meteo.lv/fs/CKFinderJava/userfiles/files/Vide/Klimats/Zin_starpt_org/LV_NIR_UNFCCC_13042017.pdf)
- Greckis, V. 1996. *Dzelzceļi. Vispārīgais kurss*. Rīga, VAS “Latvijas dzelzceļš”.
- Halder M., Löchter, A. 2005. Status and future development of the diesel fleet. Rail diesel study, WP1 final report. Sk. 08.05.2018. <https://www.scribd.com/document/233657977/Status-and-Future-Development-of-Diesel-Fleet>
- Halder, M.<sup>1</sup>, Schwarz, H.<sup>2</sup>, Kollamthodi, S.<sup>3</sup> S.a. *The Rail Diesel Study*. <sup>1</sup>Swiss Federal Railways SBB, Rail Environmental Center, Bern, Switzerland, <sup>2</sup>Deutsche Bahn AG, Railway Environmental Centre, Berlin, Germany, <sup>3</sup>AEA Technology Environment, Didcot, UK.
- Harrison, R., M. 2001. *Pollution: Causes, Effects and Control. Fourth edition*.
- Hobson, M., Smith, A. 2001. *Rail and road emission model*. AEA Technology Environment. Abingdon, Lielbritānija.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Fourth Assessment Report: Climate Change. Sk. 01.05.2018. Pieejams: [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html)

- IPCC 2013. Fifth Assessment Report: Climate Change. The Physical Science Basis. Sk. 01.05.2018. Pieejams: [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_ALL\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf)
- Joint Research Centre. 2011. *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context Version*. JEC-EUCAR-CONCAWE, Luksemburga. Sk. 09.05.2018. Pieejams: [https://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/wtw3\\_wtw\\_report\\_eurformat.pdf](https://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/wtw3_wtw_report_eurformat.pdf)
- LR Centrālā statistikas pārvalde. 2017. Satiksmes ceļu garums gada beigās. Sk. 03.06.2018. Pieejams: [http://data.csb.gov.lv/pxweb/lv/transp/transp\\_\\_ikgad\\_\\_transp/TR0010.px/table/tableViewLayout2/?rxid=cdbc978c-22b0-416a-aacc-aa650d3e2ce0](http://data.csb.gov.lv/pxweb/lv/transp/transp__ikgad__transp/TR0010.px/table/tableViewLayout2/?rxid=cdbc978c-22b0-416a-aacc-aa650d3e2ce0)
- LR Centrālā statistikas pārvalde. 2017a. Transports Latvijā. Sk. 31.06.2017. Pieejams: [http://www.csb.gov.lv/sites/default/files/nr\\_27\\_transports\\_latvija\\_2017\\_17\\_00\\_lv\\_en\\_0](http://www.csb.gov.lv/sites/default/files/nr_27_transports_latvija_2017_17_00_lv_en_0).
- Maricq, M. M. 2007. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Aerosol Science* 38, 1079–1118.
- McIntosh, A., Pontius, J. 2017. *Science and the Global Environment. Case Studies for Integrating Science and the Global Environment*. 70-76.
- Mulley, C., Hensher, D., A., Cosgrove, D. 2017. Is rail cleaner and greener than bus? *Transportation Research Part D* 51, 14-28.
- Nieuwenhuijsen, M. J., Gómez-Perales, J. E., and Colvile, R. N. 2007. Levels of particulate air pollution, its elemental composition, determinants and health effects in metro systems. *Atmospheric Environment*. 41, 7995–8006.
- Norris, J., Ntziachristos, L. 2016. *EMEP/EEA emission inventory guidebook 2016*.
- Salma, I., Weidinger, T., Maenhaut, W. 2007. Time-resolved mass concentration, composition and sources of aerosol particles in a metropolitan underground railway station. *Atmospheric Environment* 41, 8391–8405.
- SIA “Projekts 3i”. 2014. Latvijas dzelzceļa tīkla elektrifikācijas Ietekmes uz vidi novērtējuma ziņojums. Sk. 31.05.2018. Pieejams: <http://www.vpvpb.gov.lv/lv/ivn/projekti/?status=3&id=1689> Atsauce tekstā (SIA “Projekts 3i” 2014).

- Stapleton, R., M. 2004. *Pollution A to Z*. 30-37.
- Swertz, O., Brummelkamp, S., Klein, J., Ligterink, N. 2017. *Adjustment of heating values and CO<sub>2</sub> emission factors of petrol and diesel*.
- The International Railway Association (UIC), The Community of European Railway and Infrastructure Companies (CER). 2015. *Railway and Environment, Facts & Figures*. Parīze, CER.
- The International Railway Association (UIC), The Community of European Railway and Infrastructure Companies (CER). 2009. *Railways and the Environment. Building on the Railways' strengths*. Brisele, CER.
- The International Railway Association (UIC). 2013. Environment Strategy Reporting System. Methodology and Policy. Sk. 11.05.2018. Pieejams [https://uic.org/IMG/pdf/1990-2030\\_environment\\_strategy\\_reporting\\_system.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/1990-2030_environment_strategy_reporting_system.pdf)
- The International Railway Association (UIC). 2017. Railway Handbook. Energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. Sk. 10.04.2018. Pieejams: <https://uic.org/uic-iea-railway-handbook> Atsauce tekstā (UIC 2017).
- Thorpe, A., Harrison, R. 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. *Sci. Total Environ.* 400 (1-3), 270-282.
- Timmers, V., Achten, P. 2016. Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment* 34, 10-17.
- Uherek, E., Halenka, T., Borcken-Kleefeld, J., Balkanski, Y., Berntsen, T., Borrego, C., Gauss, M., Hoor, P., Juda-Rezler, K., Lelieveld, J., Melas, D., Rypdal, K., and Schmid, S. 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. *Atmospheric Environment* 44, 4772–4816.
- Vallero, D. 2008. *Fundamentals of Air Pollution. Fourth Edition*.
- Vallero, D. 2014. *Fundamentals of Air Pollution. Fifth Edition*. 43-46, 789-792, 814-815.
- Van Essen, H., P. 2008. The Environmental Impacts of Increased International Road and Rail Freight Transport. Past trends and future perspectives. *Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World*. Guadalajara, Mexico.

VAS "Latvijas dzelzceļš". 2004-2017. Galvenie darba rādītāji.

Ветров, Ю.Н. 2008. *Конструкция тепловозов и дизель-поездов*. учебник для сред. проф. Образования. Москва.

Иванова, В.Н. 1974. *Конструкция и динамика тепловозов*. Москва.

Кузьмич, В.Д. 2011. *Локомотивы*. Общий курс. Москва.

Просвирин, Б.К. 2001. *Электропоезда постоянного тока*. Учеб. пособие. Москва.

Тищенко, А.И. 1976. *Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам*. Москва.

Тепловоз 2ТЭ116 : Dīzeļlokomotīve 2TE116. - Москва : Транспорт, 1996. - 334 с. : ил., схем. 9-10.

Тепловоз М62 : Руководство по эксплуатации и обслуживанию: Dīzeļlokomotīves M62 ekspluatācija un apkore. - Москва : Транспорт, 1974. - 304 с. 7-14.

Тепловозы 2ТЭ10М и 3ТЭ10М : Dīzeļlokomotīves 2TE10M, 3TE10M : Устройство и работа. - Москва : Транспорт, 1986. - 288 с. : ил. 3-7.

### **Nepublicētie materiāli**

CZ Loko. S.a. Tehniskais apraksts. Lokomotīve 2M62UM.

Rail Baltica. S.a. Par projektu. Sk. 27.04.2018. Pieejams: <http://www.railbaltica.org/lv/par-projektu/>

Silkāns, V. 2017. *Elektrovilcienu radīto cieto daļiņu emisija gaisā novērtējums Rīgas centrā*. Maģistra darbs. Rīga, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.

## PIELIKUMS

## Attāluma starp pasažieru dzelzceļa stacijām un pieturas punktiem aprēķina rīka apraksts

- Izveido katrai līnijai tabulu, kas ir analoga 3.6. tabulai. Kopā tiek izveidotas 11 šādas tabulas. Katrai tabulai tiek pievienota papildus kolonna, kurā tiek norādīts stacijas piederīgums konkrētai līnijai. Tiek iegūta šāda tabula:

Stacija	Līnija	Attālums no Krustpils, km
Krustpils	Krustpils_Rezekne	0
Zīlāni*	Krustpils_Rezekne	4
Kūkas	Krustpils_Rezekne	13
Mežāre	Krustpils_Rezekne	24
Atašiene	Krustpils_Rezekne	35
Stirniene	Krustpils_Rezekne	51
Varakļāni	Krustpils_Rezekne	59
Viļāni	Krustpils_Rezekne	69
Sakstagals	Krustpils_Rezekne	83
Rēzekne II parks	Krustpils_Rezekne	95

- Visas 11 tabulas tiek apvienotas vienā lielā tabulā, izmantojot standarta MS „Excel” filtru, tabula tiek sakārtota alfabētiskā secībā pēc staciju nosaukumiem. Pievēršam uzmanību, ka papildus kolonna tabulā ar līnijas nosaukumu ļauj uzreiz noteikt stacijas piederību konkrētai līnijai;
- Iezīmējam kolonnu ar nosaukumu stacija, izmantojot taustiņu kombināciju Ctrl+Shift+F3, izveido sarakstu ar nosaukumu “Stacijas”, kas satur visas stacijas alfabētiskā secībā;
- Var veikt pārbaudi, vai ir izdevies izveidot sarakstu veiksmīgi, spiežot Ctrl+F3;
- Izvēlas šūnu, kurā varēs veikt sākuma stacijas izvēli, tad spiež Alt – D – L (nevis kopā, bet secīgi), parādās logs ar nosaukumu *Data Validation*.
- Šajā logā iekš izvēlnes *Allow* izvēlas *List*, klikšķis iekš mazā lodziņa ar nosaukumu *Source*, tad nospiež pogu F3 un parādās sarakstu izvēlnes logs, izvēlamies sarakstu ar nosaukumu stacijas. Šādā veidā tiek radīta šūna, kurā var izvēlēties stacijas nosaukumu, analogiski soļi tiek veikti, lai izveidotu beigu stacijas izvēles šūnu, šoreiz gan Staciju saraksts nav jāveido no jauna, izmanto esošo.

- Lai varētu veikt datu filtrēšanu no staciju un distanču tabulas, tai tiek pievienotas divas blakus kolonnas – šajā gadījumā nosauktas par *Helper 1* un *Helper 2*.
- *Helper 1* palīdz filtrēt galveno tabulu, lai iegūtu datus par sākuma staciju (uz kuras līnijas atrodas un kāda ir distance līdz pirmajai robežstacijai), *Helper 2* dara to pašu, bet beigu stacijai.
- *Helper* kolonnās darbojas AND funkcija, kas pārbauda, kura stacija atbilst stacijai no saraksta, kuru ir izvēlējis lietotājs =AND([@Stacija]=Sheet2!\$A\$2); Šajā gadījumā iekš lapas divi šūnas A2 atrodas izvēlnē, kurā izvēlas sākuma staciju, bet @Stacija atbilst galvenās tabulas kolonnai ar nosaukumu stacija. *Helper 1* kolonnā visām stacijām, kuru nosaukums neatbilst izvēlētajai stacijai no lietotāja puses, parādās uzraksts FALSE, tai stacijai, kura atbilst lietotāja izvēlētajai, kolonnā *Helper 1* – parādās ieraksts TRUE. Analogiski ar beigu staciju un *Helper 2* kolonnu.
- Blakus izvēlnēm, kurās lietotājs izvēlas sev interesējošās stacijas, izveido kolonnas ar nosaukumiem: “Sākuma līnija”, ”Pirmā distance”, “Beigu līnija” un “Beigu distance”.
- Lai varētu veikt aprēķinu, ir jāzina, uz kurām līnijām atrodas sākuma un beigu stacijas un to distancēs līdz pirmajai robežstacijai.
- Lai atgrieztu interesējošās stacijas līnijas nosaukumu, izmanto šādu funkciju:

=INDEX(Table1[Līnija];MATCH(TRUE;Table1[Helper 1];0))

INDEX – atgriež izvēlētajā šūnā kādas citas tabulas (masīva) vērtību;

Table1[Līnija] – izvēlēta tabula ir saraksts ar līnijām;

MATCH – funkcija, kas atgriež relatīvo pozīciju tabulā meklējamajam vārdam vai skaitlim;

TRUE – meklējamais vārds;

Table1[Helper 1] – tabula, kurā tiks meklēts vārds TRUE

0 – nulle norāda uz to, ka nepieciešama tieša sakritība meklējamajam vārdam ar vārdu tabulā;

- Līdz ar to, šādā veidā tiek atgriezts līnijas nosaukums stacijai, kuras *Helper 1* kolonnā ir ieraksts TRUE.

- Analógiski tiek atgriezti no galvenās tabulas ieraksti par beigu stacijas līniju un distanci līdz pirmajai robežstacijai.
- Kopējais ceļa garums ir atkarīgs no tā, uz kurām līnijām atrodas stacijas, to aprēķina ar salīdzinoši garu IF funkciju rindu.
- Īsumā to var aprakstīt šādi:

Ja stacija **a** atrodas uz līnijas **X** un stacija **b** atrodas uz līnijas **Y**, izmanto funkciju **f(X,Y)** ceļa aprēķinam, citādi, ja stacija **a** atrodas uz līnijas **Z** un stacija **b** atrodas uz līnijas **V**, izmanto funkciju **f(Z,V)**...

- Kā minēts iepriekš, kopumā ir 55 veidi kā savienot divas dažādas līnijas un 11 gadījumi, ja izvēlētas stacijas atrodas uz tās pašas līnijas (jo ir 11 līnijas);
- Katra līniju kombinācija ir vismaz vienu reizi pārbaudīta un dod pareizu rezultātu.