

Izračun stroškov emisij toplogrednih plinov zaradi zamud na AC in HC – marec

Dragomelj, 30. 09. 2025

Naziv	Prometno-inženirska operativna podpora v NCUP
Naročnik	Ministrstvo za infrastrukturo, Tržaška cesta 19, 1000 Ljubljana (NCUP)
Št. pogodbe	2430-22-100031
Predstavniki naročnika	dr. Matej Vovk
Izvajalec	Appia d.o.o.
Predstavniki izvajalca	Goran Jovanovič
Trajanje projekta	1.5.2022 – 30.4.2027
Avtorji dokumenta	Jure Dolenc, Gregor Klobčar

1 POVZETEK

S pomočjo programa PTV Optima in podatkovnega skladišča NCUP so v nalogi analizirani zastoji na avtocestnem omrežju v Sloveniji in njihov vpliv zamude in na izpuste CO₂ in z njimi povezane stroške. Hkrati spremljamo tudi število vozil na avtocestnem omrežju in povprečno hitrost, kako se le te spreminjajo skupaj s povprečnimi zamudami. Podatki o številu vozil in o zamudah so podani v enournih intervalih.

Postopek izdelave analize:

- Pridobitev vhodnih podatkov iz podatkovnega skladišča NCUP (število vozil, skupne zamude vseh vozil,...),
- določitev deleža osebnih in tovornih vozil na AC in HC v mesecu marcu 2025,
- določitev deležev vozil po pogonskem gorivu,
- določitev povprečne porabe vozil po posameznem pogonskem gorivu,
- povečati povprečno porabo vozil, tako da ustreza porabi goriva v zastoju,
- izbrati oceno oziroma prag (kdaj je vozilo v zastoju), da dobimo število vozil v zastoju,
- določitev emisijskih faktorjev po posamezni vrsti pogonskega goriva,
- izračun skupnih količin emisij CO₂ (kg) po dani formuli in
- izračun skupnih stroškov emisij (€).

Prišli smo do končnega izračuna, ki za mesec marec 2025 ocenjuje, da je bilo v zastojih »porabljenih« 252,91 ton emisij CO₂ in 17.704 € na prevožen kilometer avtocestnega omrežja. Torej je bila skupna količina emisij na celotnem omrežju 311.583 ton CO₂, kar pomeni, da so skupni stroški zastojev enaki 21,81 milijona evrov.

2 UVOD

Razlog za zamude na cestah so predvsem vsakodnevni prometni zastoji, ki najpogosteje nastanejo zaradi naslednjih dejavnikov:

- **Prekomerna gostota prometa:** Ko število vozil preseže kapaciteto cestne infrastrukture. To se običajno zgodi med prometnimi konicami, na območjih z visoko gostoto prebivalstva.
- **Prometne nesreče:** Nesreče na cesti povzročijo oviranje prometa, zaradi česar vozila ne morejo nemoteno prehitevati in se začnejo zbirati v zastojih.
- **Vreme:** Slabo vreme (dež, sneg, megla) lahko zmanjša vidljivost ali vpliva na oprijem cestišča, kar vodi v počasnejšo vožnjo in posledično nastajajo zastoji.
- **Gradbišča in zapore cest:** Ko so ceste zaprte ali delno zaprte zaradi gradbenih del, zmanjša prehodnost in ustvarja ozke točke, kjer se promet upočasni.
- **Zastoji zaradi vozil, ki se vključujejo v promet:** Nepravilno vključevanje vozil, počasni uvozi iz stranskih cest ali na primer vožnja na prekratek razmik lahko privede do nenadnih upočasnitev prometa.

Zastoji so pogosto tudi posledica kombinacije zgoraj naštetih dejavnikov, zaradi katerih se vozila ne morejo premikati nemoteno. Vse to vodi do nastanka dolgega in počasnega toka vozil, kar ustvarja prometne zastoje. Zastoji, ki se pojavljajo periodično v istem času dneva so posledica prometne ureditve oziroma prekomernih obremenitev posameznega odseka ceste.

Namen naloge je analizirati zamude na avtocestnem omrežju v Sloveniji in kakšne vplive imajo te zamude na izpuste CO₂ in z njimi povezane stroške. Hkrati spremljamo tudi število vozil na avtocestnem omrežju in povprečno hitrost, kako se le-te spreminjajo skupaj s povprečnimi zamudami.

Analizirani so podatki v mesecu marcu 2025, po eno-urnem intervalu.

3 ANALIZA

Analiziran je mesec marec 2025, območje obravnave je Slovensko avtocestno omrežje (avtoceste in hitre ceste).

Program PTV Optima beleži podatke o zamudah, številu vozil in povprečni hitrosti, ki se hranijo v podatkovnem skladišču NCUP, kar nam omogoča izvajanje analiz. V sklopu te analize nas zanimajo zamude vozil, hitrost, izpusti CO₂ ter stroški teh izpustov.

Vhodni podatki za izdelavo analize so število vseh vozil na omrežju AC in HC ter skupne zamude vseh vozil na omrežju. Torej nimamo podatka o tem, koliko vozil je dejansko v zastoju in koliko ne. Skupna dolžina AC in HC je ocenjena na 1232 km (Vir: Ministrstvo za infrastrukturo).

Zamude vseh vozil na AC in HC, so v programu PTV Optima definirane kot razlika med dejanskim in optimalnim časom potovanja. Ker nimamo podatka o tem, koliko vozil je dejansko v zastoju (imamo le podatke o številu vseh vozil), je potrebno določiti prag, nad katerim štejemo, da je vozilo v zastoju. Za potrebe analize smo predpostavili prag 30 sekund, kar pomeni, da je vozilo »v zastoju«, ko njegova zamuda znaša več kot 30 sekund. S to predpostavko smo dobili podatek o vozilih, ki so bila v zastoju.

Ta ocena predpostavlja, da so zamude enakomerno porazdeljene med vozili, kar morda ni povsem natančno, a nam služi kot približna ocena.

3.1 Metodologija izračuna

3.1.1 Delež vozil po kategoriji in porabi goriva

Iz podatkov avtocestnih števecv prometa za marec 2025, smo iz števnih podatkov izračunali skupno število osebnih in tovornih vozil zabeleženih na vseh števcih in tako dobili delež osebnih in tovornih vozil. Rezultati so naslednji:

Tabela 1: Kategorizacija prometa na AC in HC

VRSTA VOZIL	DELEŽ (%)
Osebna vozila	86,5
Tovorna vozila	13,5

Pod osebna vozila so upoštevana:

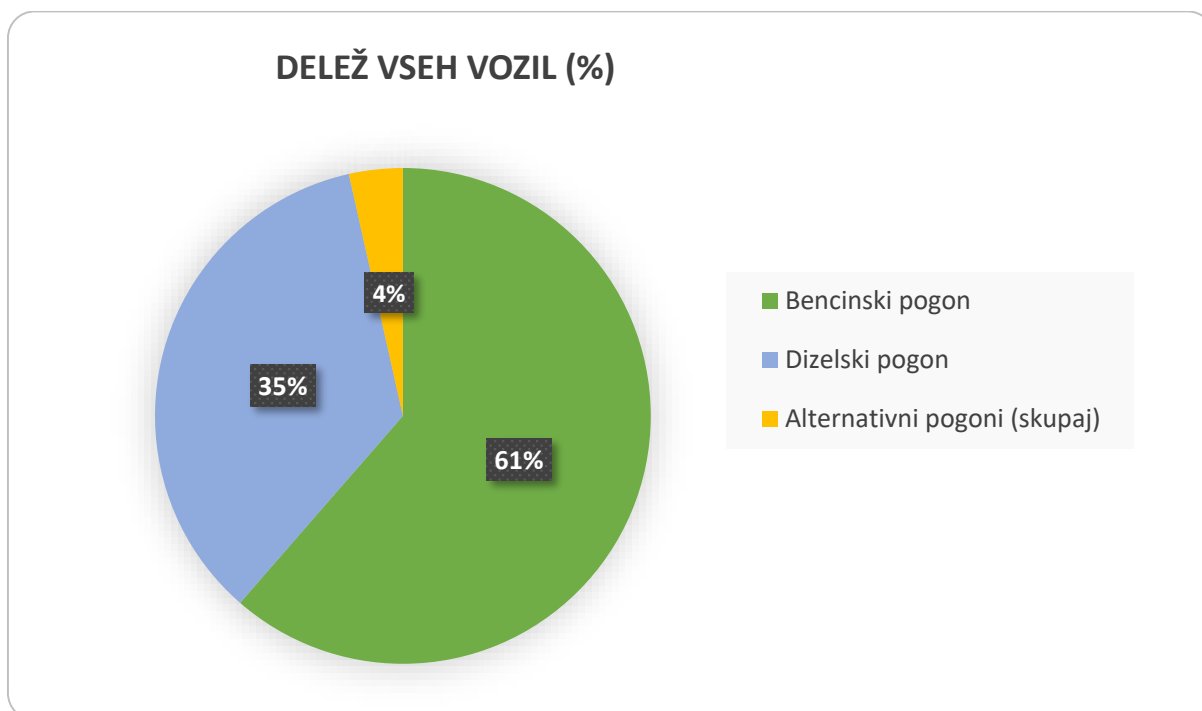
- motorna kolesa (MO),
- osebna vozila (OA),
- lahka tovorna vozila (LT) in
- neprepoznavna vozila (XX).

Pod tovorna vozila so upoštevana:

- srednja tovorna vozila (ST),
- težka tovorna vozila (TT),
- tovorna vozila s priklopnikom (TP),
- vlačilci (TTP) in
- avtobusi (BUS).

V naslednjem koraku smo določili delež osebnih vozil po vrsti pogonskega goriva. Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije (SURS) za leto 2022, je bilo v Sloveniji registriranih približno 1.207.755 osebnih vozil.

Graf 1: Grafični prikaz deleža vozil po vrsti pogonskega goriva

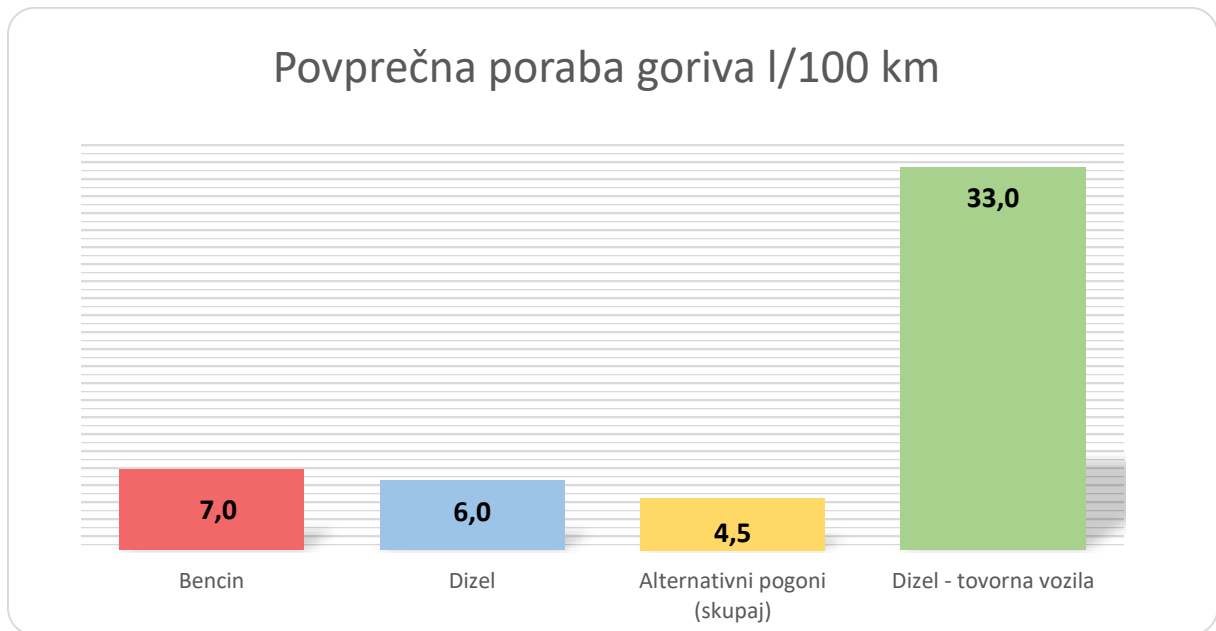


V podatkih Evropske okoljske agencije (Vir: [EEA Guidebook 2019](#)) je zapisano, da delež dizelskih pogonskih goriv v tovornem prometu znaša 95%. Razlogi za to so visoka energijska gostota, dobra razpoložljivost in optimalen navor za težke tovore. Navajajo, da se povprečna poraba teh vozil giblje med 28–40 l/100 km za tipične 40-tonske vlačilce. Povprečna poraba variira glede na težo tovora, tipa terena, hitrosti vožnje,...

Podobno porabo goriva je zabeležila tudi študija Nemške okoljske agencije (UBA) iz leta 2015, kjer povprečna poraba goriva za nova tovorna vozila EURO VI znaša približno 34,5 litra na 100 km. Neodvisni testi pa kažejo, da dejanska poraba v praksi znaša med 33 in 36 litrov na 100 km. Za potrebe analize smo predpostavili, da je delež vseh dizelskih tovornih vozil na slovenskem avtocestnem omrežju 100%, njihova povprečna poraba goriva pa je ocenjena na 33 l/100 km.

Za potrebe izračuna emisij CO₂ potrebujemo tudi povprečno porabo osebnih vozil.

Graf 2: Povprečna poraba goriva (Vir: MZI, International Energy Agency)



Podatki, predstavljeni v Graf 2, prikazujejo povprečje različnih testiranj in statističnih analiz za osebna vozila, ki vozijo predvsem po avtocestah. Alternativna goriva vključujejo električna vozila, hibridna vozila in plinska vozila (LPG, CNG).

Za potrebe računanja izgub emisij CO₂ v zastoju je povprečno porabo vozil potrebno prilagoditi za primer, ko se vozilo nahaja v zastoju. Študij in raziskav na to temo je zelo veliko in tudi ugotovljeni rezultati, za koliko se poraba goriva poveča, zelo variirajo.

Tabela 2: Povečanje porabe goriva zaradi zastojev

Vozila	Povečanje porabe goriva (%)	Vir
Osebna vozila	≈ 40 %	Evropska agencija za okolje (EEA), Transport Research Laboratory (TRL)
Tovorna vozila	50 % do 70 % ali več	Združenje evropskih proizvajalcev avtomobilov (ACEA)

Za potrebe analize smo za osebna vozila izbrali povečanje za 40%, za tovorna vozila pa povečanje za 70%.

Povečana povprečna poraba goriv za posamezna vozila so prikazana v Tabela 3.

Tabela 3: Povečana povprečna poraba goriva vozil zaradi zastoja

Tip goriva	Povečana povprečna poraba (l/100 km)
Bencin	9,8
Dizel	8,4
Alternativna goriva (ekvivalent l/100 km)	6,3
Dizel (tovorna vozila)	56,1

3.1.2 Izračun emisij CO₂

Osnovna enačba za izračun emisij CO₂:

$$\text{Emisije CO}_2 = \text{Poraba goriva} \times \text{Emisijski faktor}$$

- Emisije CO₂ – količina ogljikovega dioksida, izražena običajno v kilogramih (kg) ali tonah (t).
- Poraba goriva – količina porabljenega goriva (litri/100 kilometrov).
- Emisijski faktor (EF) – količina CO₂, ki nastane pri zgorevanju enote goriva (izražen v kg CO₂/enoto goriva).

Za potrebe izračuna smo določili še emisijske faktorje (Tabela 4) za vsako pogonsko gorivo vozil.

Tabela 4: Emisijski faktorji

Gorivo	Emisijski faktor CO ₂	Vir
Bencin	2,31 kg CO ₂ /l	IPCC Guidelines 2006, EEA Guidebook 2023
Dizel	2,68 kg CO ₂ /l	IPCC Guidelines 2006, EEA Guidebook 2023
Alternativni pogoni (skupaj)	1,38 kg CO ₂ /l	EEA Guidebook 2019

Opomba: Emisijski faktor za dizelski pogon je enak, tako za osebna vozila, kot tudi za tovorna vozila. Pri izračunu emisij dizelskega goriva, se torej razlikujeta zaradi povprečne porabe goriva za osebni in tovorni promet.

Cilj je izračunati skupno količino emisij, po obeh kategorijah vozil (osebni, tovorni) in tudi po pogonskem gorivu.

Torej je enačba za izračun skupnih emisij naslednja:

$$\text{Skupne emisije CO}_2 = (\text{Pb} \times \text{EFb}) + (\text{Pd} \times \text{EFd}) + (\text{Pa} \times \text{EFa}) + (\text{Pt} \times \text{EFd})$$

Pomen oznak v enačbi:

- Pb → povprečna poraba bencina (l/100km)
- EFb → emisijski faktor za bencin
- Pd → povprečna poraba dizelskega goriva (l/100km)
- EFd → emisijski faktor za dizel
- Pa → povprečna poraba alternativnih goriv (ekvivalent l/100km)
- EFa → emisijski faktor za alternativna goriva
- Pt → povprečna poraba dizla – težka tovorna vozila (l/100km)

3.1.3 Stroški emisij CO₂

Trenutna cena (marec 2025) emisij CO₂, v okviru Evropskega sistema trgovanja z emisijami (EU ETS), se giblje okoli 70 € na tono, ki smo jo privzeli za potrebe analize in primerjave stroškov emisij CO₂ za vse mesece v letu 2025. To je povprečna cena, ki jo plačujejo podjetja za emisijske enote, potrebne za pokritje njihovih emisij CO₂. Cena se lahko spreminja glede na tržne razmere in politiko EU.

Za izračun stroškov emisij, lahko uporabimo naslednjo enačbo:

$$\text{Stroški emisij} = \text{Emisije CO}_2 \text{ (v kg)} \times (\text{Cena CO}_2 \text{ (€/tono)})/1000$$

Pojasnilo delov enačbe:

- Emisije CO₂ (v kg) – skupna količina izpustov CO₂, ki jih povzročijo vozila pri vožnji ali v zastoju.
- Cena CO₂ (€/tono) – tržna cena emisij CO₂ na trgu EU ETS (marec 2025).

Tako bomo za posamezna vozila določili mesečno količino emisij CO₂, ki nastaja zaradi zastojev in s pomočjo zgornje enačbe določili stroške emisij celega meseca na kilometer.

Izračunane stroške pomnožimo z dolžino celotnega avtocestnega omrežja in tako določimo skupno količino emisij in stroškov le-teh.

3.2 Rezultati

- Vhodni podatki

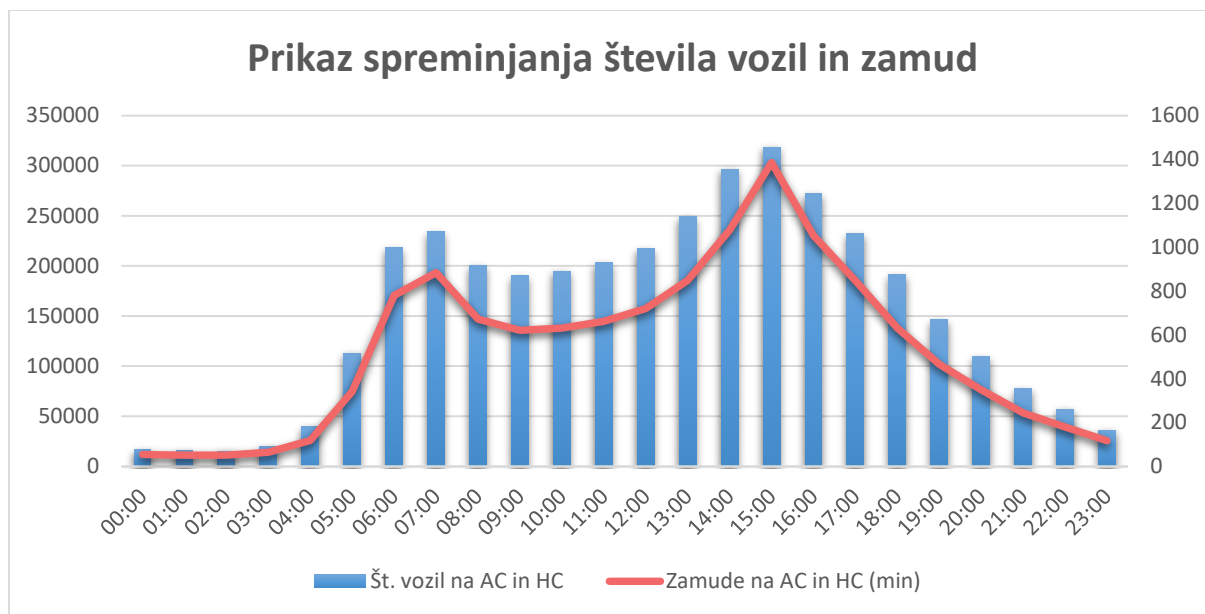
Podatki so skladiščeni v podatkovni bazi NCUP. Za to analizo smo, prenesli število vseh vozil po urnem intervalu na avtocestnem omrežju in skupno vrednost zamud teh vozil v minutah.

Primer podatkov iz tabele je prikazan na Tabela 5.

Tabela 5: Izsek dela vhodnih podatkov po intervalu 1h (7.3.2025)

startTs	endTs	Št. vozil na AC in HC	Zamude na AC in HC (min)
07.03.2025 00:00	07.03.2025 01:00	16608	55
07.03.2025 01:00	07.03.2025 02:00	15365	52
07.03.2025 02:00	07.03.2025 03:00	15198	51
07.03.2025 03:00	07.03.2025 04:00	19776	64
07.03.2025 04:00	07.03.2025 05:00	40122	119
07.03.2025 05:00	07.03.2025 06:00	112965	341
07.03.2025 06:00	07.03.2025 07:00	218326	780
07.03.2025 07:00	07.03.2025 08:00	233909	883
07.03.2025 08:00	07.03.2025 09:00	199970	672
07.03.2025 09:00	07.03.2025 10:00	190662	621
07.03.2025 10:00	07.03.2025 11:00	194610	630
07.03.2025 11:00	07.03.2025 12:00	203458	661
07.03.2025 12:00	07.03.2025 13:00	217287	719
07.03.2025 13:00	07.03.2025 14:00	249070	848
07.03.2025 14:00	07.03.2025 15:00	296592	1078
07.03.2025 15:00	07.03.2025 16:00	318592	1385
07.03.2025 16:00	07.03.2025 17:00	272076	1052
07.03.2025 17:00	07.03.2025 18:00	232255	847
07.03.2025 18:00	07.03.2025 19:00	191619	630
07.03.2025 19:00	07.03.2025 20:00	146142	466
07.03.2025 20:00	07.03.2025 21:00	109384	349
07.03.2025 21:00	07.03.2025 22:00	77354	243
07.03.2025 22:00	07.03.2025 23:00	57130	180
07.03.2025 23:00	08.03.2025 00:00	36154	117

Graf 3: Prikaz spreminjanja števila vozil in zamud na omrežju (7.3.2025)



- **Dopolnitev podatkov tabele z izračuni**

V tem sklopu smo določili delež osebnih in tovornih vozil na AC in HC v celotnem mesecu, delež vozil po pogonskem gorivu in izbrali oceno oziroma prag (kdaj je vozilo v zastoju), da smo dobili število vozil v zastoju.

Tabela 6: Izsek dela izračuna po urnem interval (7.3.2025)

startTs	Št. vozil v zastoju	Št. OA	Št. TV	Št. - Bencin	Št. - Dizel	Št. - Alt. pogon
07.03.2025 00:00	110	95	15	58	33	3
07.03.2025 01:00	103	89	14	55	31	3
07.03.2025 02:00	102	88	14	54	31	3
07.03.2025 03:00	128	111	18	68	39	4
07.03.2025 04:00	238	206	33	127	72	7
07.03.2025 05:00	682	590	94	362	207	21
07.03.2025 06:00	1561	1350	215	829	474	47
07.03.2025 07:00	1766	1528	244	938	536	53
07.03.2025 08:00	1344	1162	185	714	408	41
07.03.2025 09:00	1241	1074	171	659	377	38
07.03.2025 10:00	1261	1091	174	670	383	38
07.03.2025 11:00	1323	1144	183	702	402	40
07.03.2025 12:00	1439	1245	199	764	437	44
07.03.2025 13:00	1696	1467	234	901	515	51
07.03.2025 14:00	2156	1865	298	1145	655	65
07.03.2025 15:00	2770	2396	382	1471	841	84
07.03.2025 16:00	2105	1821	290	1118	639	64
07.03.2025 17:00	1693	1465	234	899	514	51
07.03.2025 18:00	1260	1090	174	669	383	38
07.03.2025 19:00	933	807	129	495	283	28
07.03.2025 20:00	698	604	96	371	212	21
07.03.2025 21:00	487	421	67	259	148	15
07.03.2025 22:00	360	311	50	191	109	11
07.03.2025 23:00	234	203	32	125	71	7

- **Izračun količine emisij CO₂ (v kg) in stroškov teh emisij (v €)**

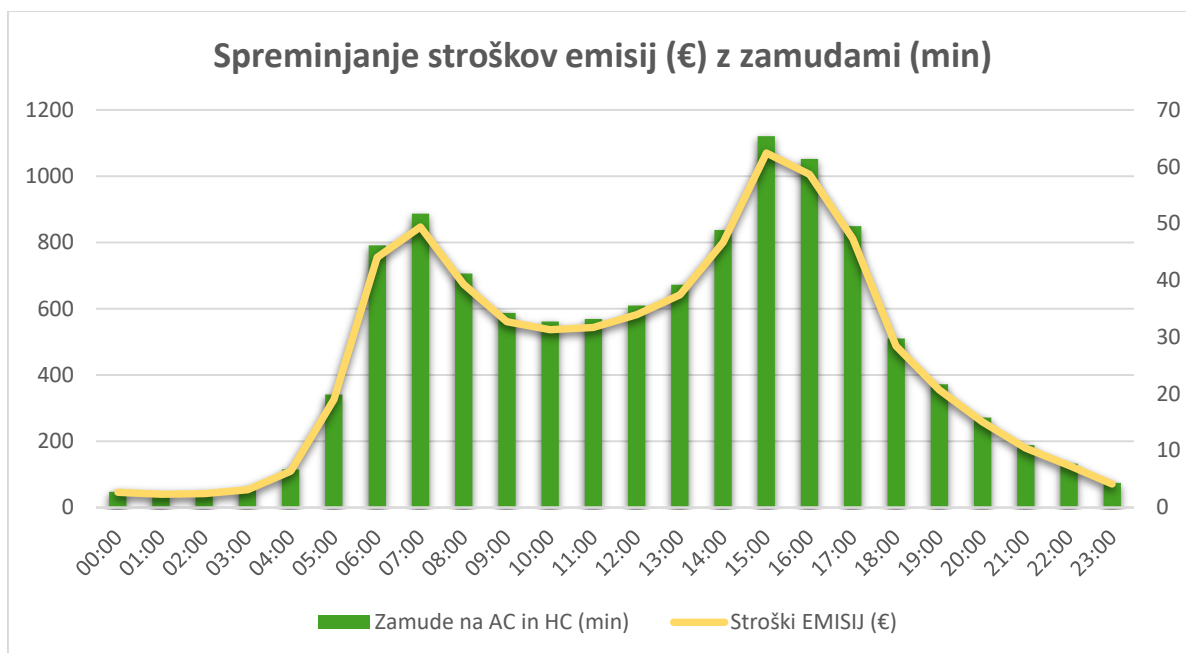
Obstoječi tabeli smo dodali še dva stolpca, in sicer za izračun količin emisij (kg) po dani formuli in izračun skupnih stroškov emisij (€). Primer izračuna je prikazan na Tabela 7.

Tabela 7: Izsek dela izračuna emisij in stroškov po urnem interval (7.3.2025)

startTs	Št. Vozil	Zamude na AC (min)	Št. vozil v zastoju	Količina EMISIJ CO ₂ (kg)	Stroški EMISIJ (€)
07.03.2025 00:00	16608	55	110	44	3
07.03.2025 01:00	15365	52	103	41	3
07.03.2025 02:00	15198	51	102	41	3
07.03.2025 03:00	19776	64	128	51	4
07.03.2025 04:00	40122	119	238	95	7
07.03.2025 05:00	112965	341	682	272	19
07.03.2025 06:00	218326	780	1561	622	44
07.03.2025 07:00	233909	883	1766	704	49
07.03.2025 08:00	199970	672	1344	536	38
07.03.2025 09:00	190662	621	1241	495	35
07.03.2025 10:00	194610	630	1261	503	35
07.03.2025 11:00	203458	661	1323	527	37
07.03.2025 12:00	217287	719	1439	574	40
07.03.2025 13:00	249070	848	1696	676	47
07.03.2025 14:00	296592	1078	2156	860	60
07.03.2025 15:00	318592	1385	2770	1104	77
07.03.2025 16:00	272076	1052	2105	839	59
07.03.2025 17:00	232255	847	1693	675	47
07.03.2025 18:00	191619	630	1260	503	35
07.03.2025 19:00	146142	466	933	372	26
07.03.2025 20:00	109384	349	698	278	19
07.03.2025 21:00	77354	243	487	194	14
07.03.2025 22:00	57130	180	360	144	10
07.03.2025 23:00	36154	117	234	93	7

Na vseh treh zgornjih slikah je lepo razvidno, kako se v času popoldanske prometne konice, poveča število vozil in s tem tudi časovne zamude na avtocestnem omrežju. Tekom meseca je bilo tako največ zamud vsakodnevno generiranih med 6:00 – 9:00 in med 14:00 – 17:00.

Graf 4: Prikaz spreminjanja stroškov emisij z zamudami na obravnavanem omrežju (7.3.2025)



V zadnjem koraku smo sešteli vse urne intervale v mesecu in dobili skupno količino emisij in pripadajoče stroške na kilometer prevožene razdalje.

Tabela 8: Količina in stroški emisij

Količina EMISIJE CO₂:	252,91 ton/km
Stroški EMISIJE CO₂:	17.704 €/km

Če želimo dobiti skupne emisije in stroške, moramo zgornja rezultata pomnožiti s skupno dolžino avtocestnega omrežja, v obe smeri vožnje (1232 km) in dobimo končno oceno stroškov.

Tabela 9: Skupna količina in skupni stroški emisij

Skupna količina EMISIJE CO₂:	311.583 ton
Skupni stroški EMISIJE CO₂:	21.810.777 €

4 ZAKLJUČEK

S pomočjo programa PTV Optima in podatkovnega skladišča NCUP so bile v nalogi analizirane zamude na avtocestnem omrežju v Sloveniji, ocenjen pa je bil tudi njihov vpliv na izpuste CO₂ in z njimi povezane stroške. Analizirali smo število vozil na avtocestnem omrežju in povprečno hitrost, ki se spreminja skupaj s povprečnimi zamudami. Podatki o številu vozil in o zamudah so podani po intervalu 1h.

Zamude vseh vozil na AC in HC, so v programu PTV Optima definirane kot razlika med dejanskim in optimalnim časom potovanja. Ker nimamo podatka o tem, koliko vozil je dejansko v zastoju (imamo le podatke o številu vseh vozil), smo določili prag, nad katerim štejemo, da je vozilo v zastoju.

Predpostavili smo prag 30 sekund, kar pomeni, da je vozilo »v zastoju« ko njegova zamuda znaša več kot 30 sekund. Ocena predpostavlja, da so zamude enakomerno porazdeljene med vsemi vozili na celotnem obravnavanem omrežju.

Za mesec marec 2025 ocenjujemo, da je bilo v zastojih »porabljenih« 252,91 ton emisij CO₂ in 17.704,00 € na prevožen kilometer avtocestnega omrežja. Torej je bila skupna količina emisij na celotnem omrežju 311.583 ton CO₂, kar pomeni, da so skupni stroški zastojev znašali 21,81 milijona evrov.

VIRI:

<https://www.researchgate.net/publication/242637915> Methods for the Calculation of CO₂ Emissions in Logistics Activities

<https://www.researchgate.net/publication/271499870> CO₂ emissions calculation models for green supply chain management

<https://www.researchgate.net/publication/355091154> Recommendations for a future global CO₂-calculation standard for transport and logistics

<https://www.researchgate.net/publication/320928076> Calculation of Selected Emissions from Transport Services in Road Public Transport

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>

<https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023>

https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/france-demands-eu-restricts-co2-emissions-price-document-shows-2025-03-27/?utm_source=chatgpt.com

https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/12821?utm_source=chatgpt.com&utm_source=chatgpt.com

https://te-cdn.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com/files/2015_06_Comparing_US_EU_truck_fuel_economy_explanatory_note_Final.pdf?utm_source=chatgpt.com

(PDF) ASSESSING THE EFFECT OF TRAFFIC CONGESTION ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Efficiency of the Consumption of Energy in the Road Transport of Goods in the Context of the Energy Crisis

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920915002163>