

Ispitivanje usporenja prijevoznih sredstava u svrhu analize prometnih nesreća

Rizvanović, Erna

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:809872>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-01**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Erna Rizvanović

ISPITIVANJE USPORENJA OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA U SVRHU ANALIZE
PROMETNIH NESREĆA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ISPITIVANJE USPORENJA OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA U
SVRHU ANALIZE PROMETNIH NESREĆA**

**TESTING DECELERATION OF ELETRIC SCOOTERS FOR THE
PURPOSE OF ANALYZING TRAFFIC ACCIDENTS**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Željko Šarić

Studentica: Erna Rizvanović

JMBAG: 0135254621

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 11. lipnja 2024.

Zavod: **Zavod za prometno-tehnička vještačenja**
Predmet: **Prometno tehničke ekspertize i sigurnost**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7524

Pristupnik: **Erna Rizvanović (0135254621)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Ispitivanje usporenja prijevoznih sredstava u svrhu analize promrtnih nesreća**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati zakonsku regulativu u području osobnih prijevoznih sredstava te analizirati njihove eksploatacijske značajke. Provesti ispitivanje usporenja kod različitih vrsta osobnih prijevoznih sredstava te analizirati dobivene rezultate. Temeljem provedenog istraživanja, objasniti utjecaj korištenja osobnih prijevoznih sredstava na sigurnost cestovnog prometa.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

izv. prof. dr. sc. Željko Sarić

SAŽETAK

Porast električnih vozila za mikromobilnost kao što su i osobna prijevozna sredstva dovelo je do novih ponašanja, problema s dijeljenjem prostora te prometnih prekršaja. Nedavne analize ukazuju na porast nesreća u kojima su sudjelovali korisnici ove vrste vozila. Stoga, kako bi se bolje razumio način rada osobnih prijevoznih sredstava u svrhu analize prometnih nesreća, provedena su testiranja usporenja. Testiranje je provedena na četiri osobna prijevozna sredstva za četiri različite brzine. Cilj ovog testiranja je utvrditi rezultate ispitivanja usporenja osobnih prijevoznih sredstava koji bi uvelike pomogli pri donošenju točnih i preciznih analiza prometnih nesreća.

KLJUČNE RIJEČI: osobna prijevozna sredstva, dinamika kretanja, prometne nesreće

ABSTRACT

The rise of electric vehicles for micromobility as well as electric scooters has led to new behaviours, problems with space sharing and traffic offenses. Recent analyzes indicate an increase in accidents involving users of this type of vehicles. Therefore, in order to better understand the operation of electric scooters for the purpose of analyzing traffic accidents, deceleration tests were conducted. The testing was performed on four electric scooters at four different speeds. The aim of this testing is to determine the deceleration results of electric scooters, which would greatly assist in making accurate and precise traffic accident analyses.

KEY WORDS: Electric scooters, Deceleration, Accident analyses

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	ZAKONSKA REGULATIVA OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA.....	3
2.1.	Zakonska regulativa osobnih prijevoznih sredstava Republike Hrvatske	3
2.2.	Europska regulativa osobnih prijevoznih sredstava	6
3.	ZNAČAJKE OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA U EKSPLOATACIJI	10
3.1.	Povijest razvoja osobnih prijevoznih sredstava	10
3.2.	Tehnički dijelovi osobnih prijevoznih sredstava	12
3.2.1.	Baterije osobnih prijevoznih sredstava	13
3.2.2.	Kočnice osobnih prijevoznih sredstava	15
3.2.3.	Kotači i gume osobnih prijevoznih sredstava	16
3.2.4.	Motor osobnih prijevoznih sredstava.....	17
3.2.5.	Istosmjerni motor bez četkica osobnih prijevoznih sredstava	17
3.2.6.	Kontroler motora osobnih prijevoznih sredstava	18
3.2.7.	Platforma osobnih prijevoznih sredstava	19
3.2.8.	Stup upravljača osobnih prijevoznih sredstava	19
3.2.9.	Upravljač osobnih prijevoznih sredstava	19
3.2.10.	Svjetla osobnih prijevoznih sredstava	20
3.2.11.	Ovjes osobnih prijevoznih sredstava	21
3.2.12.	Materijal osobnih prijevoznih sredstava	21
4.	ANALIZA SIGURNOSTI OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA	22
5.	ISPITIVANJE USPORENJA OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA.....	27
5.1.	Korištena osobna prijevozna sredstva	28
5.1.1.	Ninebot F25E	28
5.1.2.	MS ENERGY m10.....	29

5.1.3.	Mi Scooter 365	31
5.1.4.	Ninebot MAX G2.....	32
5.2.	Korištena oprema za ispitivanje osobnih prijevoznih sredstava.....	33
6.	ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA.....	35
6.1.	Rezultati ispitivanja na suhom asfaltu	35
6.1.1.	Mi Scooter 365	35
6.1.2.	MS ENERGY m10.....	42
6.1.3.	Ninebot MAX G2.....	47
6.1.4.	Ninebot F25E	54
6.1.5.	Konsolidacija rezultata na suhom kolniku	60
6.2.	Rezultati ispitivanja na mokrom asfaltu	61
6.2.1.	Ninebot MAX G2.....	61
6.2.2.	MS ENERGY m10.....	63
6.2.3.	Ninebot F25E	65
6.2.4.	Konsolidacija rezultata na mokrom asfaltu	67
6.3.	Rezultati ispitivanja tyregrip podlozi	67
6.3.1.	Rezultati ispitivanja na suhoj tyregrip podlozi.....	67
6.3.2.	Rezultati ispitivanja na mokroj tyregrip podlozi.....	68
6.3.3.	Konsolidacija rezultata na tyregrip podlozi	70
7.	ZAKLJUČAK.....	71
	LITERATURA	73
	POPIS SLIKA.....	75
	POPIS TABLICA	77
	POPIS GRAFIKONA	78

1. UVOD

Sve veća ekološka svijest i sve veća politička volja za urbanim planiranjem u korist „čistih“ gradova mijenjaju urbanu mobilnost. To rezultira razvojem novih načina aktivne mobilnosti, s tradicionalnim vozilima, kao što su bicikli i neelektrični skuteri ili novim generacijama vozila kao što su osobna prijevozna sredstva, uključujući električne romobile, električne bicikle, električne monokotače te segway-e. U posljednjem desetljeću broj korisnika električnih romobila se proliferirao, osobito u urbanim sredinama diljem svijeta. Međutim, iako su električni romobili sve prisutniji o njihovim dinamičkim parametrima zna se jako malo. Istraživanja o dinamičkim pokazateljima osobnih prijevoznih sredstava, koja bi uvelike pomogla sudskim vještacima, pri točnoj analizi prometnih nesreća u kojoj su sudjelovali isti, trenutno nisu dovoljno razvijena. Nedostatak ključnih podataka o sudarima s osobnim prijevoznim sredstvima znatno otežava donošenje objektivnih procjena i analiza od strane sudskih vještaka. Stoga je važno provesti daljnja istraživanja kojima bi se prikupili relevantni podaci i omogućilo adekvatno razumijevanje faktora analize prometnih nesreća u kojima su sudjelovali osobna prijevozna sredstva.

Cilj ovog diplomskog rada bio je utvrditi relevantne rezultate ispitivanja osobnih prijevoznih sredstava sa svrhom razumijevanja dinamike električnih romobila koja bi omogućila sudskim vještacima precizniju analizu prometnih nesreća. Poznavanje brzine, usporenja, ubrzanja te zaustavnog puta omogućilo bi lakše utvrđivanje uloge osobnih prijevoznih sredstava u prometnim nesrećama te bi pomoglo pri unaprijeđenju preventivnih čimbenika radi povećanja sigurnosti u prometu. Rad se fokusirao na detaljno ispitivanje usporenja osobnih prijevoznih sredstava u kontekstu prometnih nesreća te je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Zakonska regulativa osobnih prijevoznih sredstava
3. Značajke osobnih prijevoznih sredstava u eksploataciji
4. Analiza sigurnosti kretanja osobnih prijevoznih sredstava
5. Ispitivanje usporenja osobnih prijevoznih sredstava
6. Analiza dobivenih rezultata
7. Zaključak.

U drugom poglavlju ovog rada opisana je zakonska regulativa koja se odnosi na korištenje osobnih prijevoznih sredstava u prometu. To uključuje pregled relevantnih zakona, propisa i pravila koja su postavljena kako bi se osigurala sigurnost i regulirala upotreba istih na prometnicama.

Trećim poglavljem prikazane su značajke osobnih prijevoznih sredstava u eksploataciji, obuhvaćajući njihove tehničke karakteristike i performanse, kao što su vrste motora i kočnica te sam smještaj istih unutar različitih osobnih prijevoznih sredstava uz naglasak na njihovu učinkovitost i sigurnost.

Četvrto poglavlje ovog rada opisuje slučajeve prometnih nesreća u kojima su sudjelovali osobna prijevozna sredstva. Kroz analizu tih nesreća, prikazat će se različiti faktori i okolnosti koji su doprinijeli njihovom nastanku.

U petom poglavlju rada detaljno je opisano ispitivanje usporenja osobnih prijevoznih sredstava. Metodologija ispitivanja uključivala je precizno mjerenje usporenja električnih romobila pri različitim uvjetima.

Šestim poglavljem analizirani su svi dobiveni rezultati provedenog ispitivanja na različitim električnim romobilima, identificirajući varijacije i trendove u rezultatima. Analizom rezultata dane su ključne značajke za samo vještačenje prometnih nesreća i potencijalne implikacije za sigurnost.

Sedmo poglavlje u radu predstavlja zaključak u kojem su donesena zaključna razmatranja na osnovu provedenih ispitivanja i analiziranih dobivenih rezultata.

2. ZAKONSKA REGULATIVA OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA

U današnjem svijetu, osobna prijevozna sredstva igraju ključnu ulogu u svakodnevnom životu ljudi diljem svijeta. Kako bi se osigurala sigurnost, učinkovitost i održivost ovog segmenta prometa, zakonska regulativa ima ključnu ulogu. Ovo poglavlje o zakonskoj regulativi osobnih prijevoznih sredstava istražuje kompleksnost propisa, normi i standarda koji oblikuju ovu koncepciju cestovnog prijevoza, pružajući uvid u važnost pravilnog reguliranja kako bi se osigurala sigurnost svih sudionika u prometu. Poglavlje analizira relevantne zakone, propise i smjernice te istaknuti njihovu ulogu u oblikovanju budućnosti osobnih prijevoznih sredstava. Osim zakonske regulative u Republici Hrvatskoj, prikazane su pravne norme i propisi pojedinih zemalja unutar Europe, radi identifikacije sličnosti i razlika u pristupima i implementaciji zakonskih odredbi.

2.1. Zakonska regulativa osobnih prijevoznih sredstava Republike Hrvatske

Električni romobili u Republici Hrvatskoj zaživjeli su 2020. godine kada je počelo tzv. dijeljenje romobila, kao još jedan primjer tzv. ekonomije dijeljenja. Budući da su električni romobili bili sve češća pojava na hrvatskim cestama, biciklističkim pa i pješačkim stazama, a kako njihovo korištenje tada nije bilo zakonodavno uređeno, tako su se u prometnom sustavu pojavili problemi.

Zakonska regulativa Republike Hrvatske definira vozilo kao svako prijevozno sredstvo namijenjeno za kretanje po cesti, osim dječjih prijevoznih sredstava, prijevoznih sredstava na osobni ili motorni pogon za osobe s invaliditetom ili starije osobe, ako se pri tom ne kreću brzinom većom od brzine čovječjeg hoda. Dok je motorno vozilo definirano kao svako vozilo koje se pokreće snagom vlastitog motora, osim vozila koja se kreću po tračnicama. No, tada već uvelike korištena vozila mikromobilnosti čije se tehničke značajke često mijenjaju zbog tehnološkog razvoja, se nisu mogla podvesti pod navedene definicije tradicionalnih vozila bez dodatnog normiranja, a vozači takvih vozila nisu bili prekršajno odgovorni kada upravljaju istima. Stoga, zakonodavstvo 2022. godine definira osobna prijevozna sredstva kao vozila koja se kreću na električni pogon, kao što su električni romobili, a koji se svrstavaju u posebnu skupinu vozila za koju je uveden zajednički izraz *osobno prijevozno sredstvo*. Osobno prijevozno sredstvo je vozilo koje nije razvrstano ni u jednu kategoriju vozila sukladno posebnim propisima, bez sjedećeg mjesta, čiji radni obujam motora nije veći od 25 cm³ ili čija trajna snaga

elektromotora nije jača od 0,6 kW i koje na ravnoj cesti ne može razviti brzinu veću od 25 km/h, odnosno čija najveća konstrukcijska brzina ne prelazi 25 km/h. Stoga, osobna prijevozna sredstva podrazumijevaju vozila koja se mogu sama uravnotežiti, monocikl s motornim ili električnim pogonom, romobili s motornim i električnim pogonom i slično [1][2].

Sva motorna vozila uključujući motocikle i mopede moraju biti registrirana kako bi se omogućilo njihovo zakonsko korištenje na javnim cestama. Pravo na registraciju imaju sva motorna vozila za koje se na tehničkom pregledu utvrdi da su ispravna. Za svako registrirano vozilo izdaje se prometna dozvola kojom se dokazuje vlasništvo vozila, pravo označavanja vozila određenim registarskim pločicama i vlasništvo pločica, tehničke i druge osobine i značajke vozila. Međutim, osobna prijevozna sredstva, koja su postala sve popularnija, trenutno nisu obuhvaćena istim zakonskim zahtjevima [1][3].

Donesenim Zakonom 2022. godine i definiranjem kategorije osobnih prijevoznih sredstava, mnogi električni romobili nisu spadali u navedenu kategoriju. Svi oni koji imaju veći radni obujam, koji imaju sjedeće mjesto ili mogu ostvariti brzinu veću od 25 km/h nisu klasificirani kao osobno prijevozno sredstvo te na prijedlog zakonodavstva bi trebali ispuniti uvjete za homologaciju i registraciju [2].

Za uređenje odvijanja prometa osobnih prijevoznih sredstava, a u skladu sa Zakonom dano je jedinicama lokalne i područne samouprave uz prethodnu suglasnost ministarstva nadležnog za unutarnje poslove. Iako je u prometu na cesti biciklom i mopedom dozvoljeno vući prikolicu s dva kotača pričvršćenu tako da je osigurana stabilnost vozila, osobnim prijevoznim sredstvom se prikolica ili neko drugo vozilo ili prijevozno sredstvo ne smije vući. Što se tiče opreme osobnog prijevoznog sredstva, kada je u pitanju upotreba svjetala, ono mora noću, a i uvjetima smanjene vidljivosti imati upaljeno jedno svjetlo bijele boje na prednjoj strani i jedno crveno svjetlo na stražnjoj strani [2].

Novim odredbama definirane su površine kojima se smiju kretati osobna prijevozna sredstva. Naime, vozači osobnih prijevoznih sredstava dužni su se kretati biciklističkom stazom ili biciklističkom trakom u smjeru kretanja, a u slučajevima da biciklističke staze ili trake ne postoje, onda po površinama za kretanje pješaka i zonama smirenog prometa pod uvjetima da vode računa o sigurnosti drugih sudionika u prometu. Iznimno, kada ne postoji mogućnost kretanja osobnih prijevoznih sredstava biciklističkom stazom ili trakom, površinama

namijenjenima za kretanje pješaka te zonama smirenog prometa osobna prijevozna sredstva mogu se kretati dionicama županijskih, lokalnih i nerazvrstanih cesta na kojima je brzina kretanja ograničena na 50 km/h ili manje i gdje je to dopušteno postavljenim prometnim znakom krećući se što bliže desnom rubu kolnika. Po površinama za kretanje vozila i pješaka zabranjeno je kretanje vozilom koje se može samo uravnotežiti, monociklom s motornim ili električnim pogonom, romobilom s motornim ili električnim pogonom i sl., koje ne spada u osobno prijevozno sredstvo i nije razvrstano ni u jednu kategoriju vozila sukladno posebnim propisima. Osobna prijevozna sredstva ne smiju se kretati autocestom, brzom cestom i cestom namijenjenom isključivo za promet motornih vozila [2].

Vozači osobnog prijevoznog sredstva koji se kreću biciklističkom stazom dužni su prije stupanja na kolnik obratiti pažnju na udaljenost i brzinu vozila koja mu se približavaju te kolnik prelaziti nakon što se uvjeri da to može učiniti na siguran način. Pri prelasku kolnika, kada biciklistička staza preko kolnika nije označena, vozač mora zaustaviti osobno prijevozno sredstvo i gurati ga preko obilježenog pješačkog prijelaza ili kolnika ceste. Ako se dva ili više vozača osobnog prijevoznog sredstva kreću u skupini, dužni su se kretati jedan iza drugoga. Svi vozači osobnih prijevoznih sredstava, svoja vozila ne smiju ostavljati bez nadzora na prometnim površinama za kretanje vozila i pješaka, osim na za to posebno uređenim i označenim mjestima. Također, vozač osobnog prijevoznog sredstva mora upravljati vozilom na način kojim se ne umanjuje stabilnost vozila i ne ometaju drugi sudionici u prometu, a osobito ne smije skidati istodobno obje ruke s upravljača, pridržavajući se za drugo vozilo ili ugrožavajući sudionike u prometu. Radi bolje uočljivosti od strane drugih sudionika u prometu, vozači osobnih prijevoznih sredstava moraju noću, ali i danju u uvjetima smanjene vidljivosti biti označeni reflektirajućim prslukom ili reflektirajućom odjećom ili drugom reflektirajućom oznakom. Prilikom vožnje, vozači osobnih prijevoznih sredstava dužni su na glavi nositi zaštitnu kacigu, a osobnim prijevoznim sredstvom ne smiju prevoziti druge osobe. Vozač osobnog prijevoznog sredstva ne smije upravljati vozilom koristeći slušalice na oba uha čime bi umanjili mogućnost reagiranja i sigurnog upravljanja vozilom. Svaki vozač osobnog prijevoznog sredstva bit će kažnjen ako u krvi ima alkohola iznad 0,50 g/kg odnosno odgovarajući iznos miligrama u litri izdahnutog zraka ili ako je pod utjecajem droga ili lijekova. Vožnja osobnih prijevoznih sredstava dozvoljena je osobama od 14 godina pa više[2].

Iznajmljivanje osobnih prijevoznih sredstava u Republici Hrvatskoj je dozvoljeno te za njih vrijede ista pravila iz zakonodavstva. Odnosno, vlasnici unajmljivačkih tvrtki, također su morali prilagoditi osobna prijevozna sredstva donesenim odrednicama, glede tehničkih uvjeta i ograničenja brzine. Istraživanja o električnim romobilima u Hrvatskoj dosad nisu rađena, ali privatna tvrtka Bolt, koja se u cjelini, bavi i iznajmljivanjem električnih romobila, provela je istraživanje u travnju 2022. godine u pet velikih hrvatskih gradova. Istraživanje je provela agencija Ipsos pomoću svog CAWI sustava (*Computer-Assisted Web Interviewing*). Uzorak istraživanja uključivao je 302 korisnika osobnih prijevoznih sredstava u dobi od 18 do 54 godine koji su barem jednom koristili osobno prijevozno sredstvo. Istraživanje je pokazalo da 32% ispitanika koristi romobil na dnevnoj ili tjednoj bazi. Također, dokazano je da samo 25% korisnika posjeduje i isključivo koristi vlastito osobno prijevozno sredstvo, dok čak 66% ne posjeduje vlastito već isključivo iznajmljuje. Glavnu pogodnost pri korištenju ove vrste vozila, korisnici su naveli praktičnost korištenja, koja je na prvom mjestu sa 72% glasova. Što se tiče svrhe putovanja korisnika s osobnim prijevoznim sredstvom, rekreativno putovanje je zauzelo drugo mjesto sa 54%, a putovanja u poslovne ili obrazovne svrhe treće mjesto sa 43%. Najviše je ispitanika navelo da koriste osobno prijevozno sredstvo iz zabave (74%). Istraživanje je također prikazalo da od 87% korisnika koji posjeduju osobni automobil, njih 77% odabire korištenje osobnog prijevoznog sredstva [4].

Donesene odrednice 2022. godine imale su pozitivan utjecaj na razumijevanje električnih romobila kao nove vrste vozila. Unatoč postignutim koracima, po uzoru na druge europske države, postoji prostor za napredak. S porastom broja korisnika osobnih prijevoznih sredstava, potrebno je kontinuirano nadograđivati zakonodavstvo kako bi se odgovorilo na nove izazove i promjene u prometnom sustavu.

2.2. Europska regulativa osobnih prijevoznih sredstava

Sa sve većim brojem električnih romobila na cestama diljem svijeta, potreba za jasnim međunarodnim zakonskim normama postaje ključna. Njihova praktičnost, ekološka prihvatljivost i sve veća dostupnost potiču njihovu upotrebu širom svijeta, no rastući broj korisnika također postavlja pitanje regulacije i sigurnosti. Zakonski propisi za osobna prijevozna sredstva razlikuju se od države do države, a u ovom poglavlju istražiti će se evolucija međunarodnih normi koje oblikuju upotrebu električnih romobila, analizirajući trendove i

perspektive u njihovoj regulaciji. Poglavlje će pružiti uvid u kompleksnost reguliranja električnih romobila u različitim zemljama Europe.

Kako se električni romobili uvode na ad hoc način, europske institucije i tijela za standardizaciju nisu dogovorile jedinstvene sigurnosne standarde za mikromobilnost. Zakoni za električne romobile počeli su se izrađivati u Europi tijekom 2018. i 2019. godine, kada su pojedine države Europe počele legalizirati ovu vrstu vozila. Stoga, *European Transport Safety Council* (ETSC) 2023. godine objavljuje opće odrednice i preporuke o sigurnosti električnih romobila iznoseći već neka provedena istraživanja te savjete za povećanje sigurnosti, koje su pojedine države prihvatile [5].

Prve države u Europi koje su legalizirale električne romobile bile su Njemačka i Belgija, a to su napravile u lipnju 2019. godine, a u Francuskoj su propisi stupili na snagu u rujnu te godine. No, tijekom godina mnoge države počinju i sa zabranama korištenja ili iznajmljivanja električnih romobila [5].

Iako je Francuska bila jedna od prvih država koja je legalizirala električne romobile i uvela njihovo iznajmljivanje, 2023. godine u rujnu, na referendumu u Parizu zabranili su iznajmljivanje električnih romobila u tom gradu. Preteča ovoj odluci bile su brojne nezgode sa velikim brojem ozlijeđenih te ishodi sa smrtno stradalim osobama. Potaknuti da bi se i u ostalim gradovima unutra Francuske, ali i Europe moglo dogoditi isto, pojedini iznajmljivači uveli su obvezno skeniranje osobnih iskaznica kako bi se maloljetnicima i osobama s postojećim prometnim prekršajima onemogućilo iznajmljivanje. Zabrana električnih romobila u Parizu se ne odnosi na privatne električne romobile. Minimalna dob za korištenje električnih romobila je 14 godina, ograničenje brzine je na 25 km/h na biciklističkim stazama i trakama. Gibanje po površini namijenjenoj za pješake dozvoljeno je samo uz ograničenje brzine do 6 km/h. Također, na snazi je i zabrana prevoženja osoba na električnim romobilima. Nošenje zaštitne kacige nije obavezno, osim ako se vozači gibaju na cestama gdje je ograničenje brzine 50 km/h. Kako je zakonodavstvo Francuske električne romobile priznalo kao motorna vozila, time je stupilo na snagu i obvezno sklapanje ugovora o osiguranju od odgovornosti za štetu koju uzrokuje to vozilo. Električni romobil mora biti opremljen kočnim mehanizmom, posjedovati zvučno upozorenje te posjedovati svjetla na prednjoj i stražnjoj strani, a sa strane reflektirajuće upozorenje [5][6].

Njemačka je savezna vlada u lipnju 2019. godine donijela uredbu *Verordnung über Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Strassenverkehr* (eKFV) odnosno Pravilnik o sudjelovanju malih električnih vozila u cestovnom prometu kojim se uređuje korištenje električnih romobila u prometu. Tim pravilnikom se električni romobili već smatraju novom kategorijom vozila i moraju biti homologirani te vozači moraju imati osiguranje za električni romobil. Tehnički zahtjevi za osobno prijevozno sredstvo su posjedovanje dvije neovisne kočnice, svjetla na prednjoj i stražnjoj strani te zvučno upozorenje. Ograničenje brzine električnih, legaliziranih romobila je maksimalnih 20 km/h, a snaga na 500W. Rukohvat odnosno upravljač od minimalno 500mm za vozilo s odnosno 700 mm za vozila bez sjedišta. Visina električnog romobila ne smije biti viša od 1400mm, a širina ne šira od 700 mm. Vožnja električnih romobila je propisana strogo po biciklističkoj stazi, a ako ista ne postoji moraju se gibati po kolniku. U slučaju kada postoji zabrana vožnje na nekom području za sve vrste vozila, električnim romobilom se smije upravljati samo ako je tako posebno naznačeno znakom. Također, Njemačka je odlučila da zabrani svako kretanje električnih romobila po nogostupima smatrajući da su električni romobili iznimno opasni za pješake te da ovim korakom smanjuju broj mogućih nezgoda. Prilikom osiguranja vozila, isto se mora i označiti malom naljepnicom radi potvrde o osiguranju. Najmanja dob za vožnju osobnog prijevoznog sredstva je 14 godina te posjedovanje vozačke dozvole nije obvezno. No, nulta granica alkohola u krvi vrijedi za sve mlađe od 21 godinu te za mlade vozače. A ako se ugrozi sigurnost ostalih sudionika u prometu, ostali vozači će biti kažnjeni ako imaju 0,3 g/kg alkohola u krvi. Po uzoru na Pariz, pojedini Njemački gradovi također zabranjuju iznajmljivanja električnih romobila vodeći se velikim brojem ozljeda, ali i ogromnim brojem korisnika ove vrste vozila te nepostojećom infrastrukturom [5] [7].

Iako su u svim europskim državama pravila za električne romobile jako slična u vidu minimalne korisničke dobi, definiranim mjestima kretanja, brzinama i tehničkim zahtjevima, u Nizozemskoj električni romobili klasificirani su kao mopedi. Vozila moraju biti pojedinačno odobrena od strane nadležnog tijela za motorna vozila kao „specijalni mopedi“ [5].

U Velikoj Britaniji trenutno ne postoji zakon koji se odnosi na električne romobile pa za njih vrijede ista pravila kao i za motorna vozila te podliježu svim istim zakonskim propisima. Kako električni romobili nemaju uvijek vidljiva stražnja crvena svjetla, registracijsku oznaku i mogućnost signalizacije zabranjeno je njihovo korištenje na cestama, drugim riječima voziti

električni romobil po javnim cestama i površinama je ilegalno u Velikoj Britaniji. Električni romobili se mogu koristiti na privatnim posjedima i zemljištima ako su u vlasništvu privatne osobe [8].

Na cestama se mogu koristiti samo električni romobili koje je moguće iznajmiti na posebnim postajama u gradovima u sklopu probnih projekata koje podupire država kako bi se smanjio promet i zagađenje okoliša. Za korištenje javnih električnih romobila potrebno je da vozači na svojim dozvolama imaju Q kategoriju, no ukoliko imaju dozvolu AM, A ili B kategorije uključena je i Q kategorija. Za Q kategoriju potrebno je završiti online tečaj. Za vozače električnih romobila zaštitne kacige nisu obvezne, no svakako se preporučuju. Nije dopušteno koristiti mobitel prilikom vožnje, kažnjava se vožnja u pijanom stanju [8].

Odbor zastupnika za promet je pozvao na legalizaciju električnih romobila, ali samo za vožnju po kolniku, nikako na pješačkim površinama. Pravila će, po uzoru na ostale europske države, ići u smjeru određivanja najveće dopuštene brzine, kao što je određeno za javne električne bicikle, 24,9 km/h. Osim toga, propisat će se obveza svjetlosnih signala na vozilima te obvezno nošenje kacige [8].

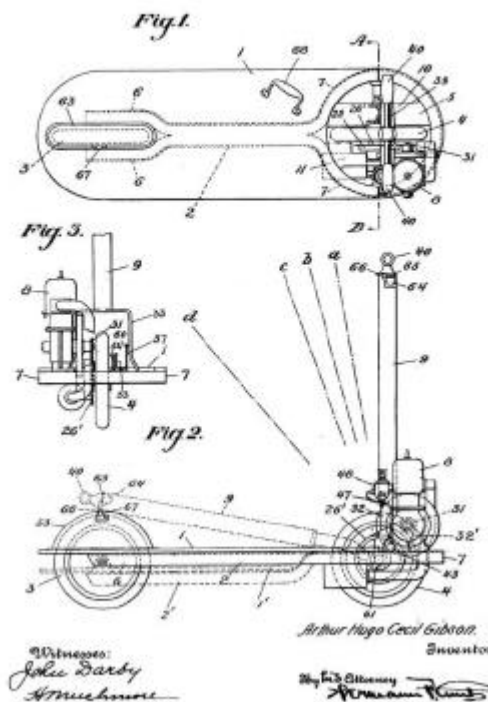
3. ZNAČAJKE OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA U EKSPLOATACIJI

U ovom poglavlju opisana je povijest razvoja električnih romobila, prateći njihov razvoj od prvih prototipova do modernih, tehnološki naprednih modela koji se danas koriste. Kroz povijest, osobna prijevozna sredstva su se razvijala paralelno s napretkom u tehnologiji baterija i električnih motora, što je omogućilo značajna poboljšanja u njihovoj učinkovitosti i performansama. Stoga, detaljno su analizirani tehnički dijelovi koji čine osobna prijevozna sredstva. Analiziran je svaki ključni dio osobnih prijevoznih sredstava, objašnjavajući njegovu funkciju i značaj.

3.1. Povijest razvoja osobnih prijevoznih sredstava

Početak pa do sredine 1800-ih, željeznice su brzo postajale novi oblik prijevoza, zamijenivši tradicionalne konje i kola. Industrijska revolucija dovela je do mnogih razvoja. Jedno od njih je bilo vozilo na dva kotača na ljudski pogon nazvano „draisine“, koje je predstavio barun Karl Freiherr von Drais 1817. godine. Nije imao pedale ni kočnice, a konstrukcija mu je bila drvena. Smatra se pretečom tradicionalnih bicikala i romobila. Tijekom sljedećeg stoljeća njegov je izum nadahnuo nekoliko drugih izumitelja za proizvodnju motoriziranih osobnih vozila. Godine 1895. Ogden Bolton Jr. dobio je prvi patent za bicikl na baterije, što je potaknulo razvoj motoriziranih romobila, odnosno osobnih prijevoznih sredstava [9].

Prvi motorizirani, masovno proizvedeni romobil za odrasle izumio je 1913. godine izumitelj Arthur Hugo Cecil Gibson te je prijavio patent za vozilo s vlastitim pogonom, koje kasnije naziva Autoped. Dizajn Autopeda vrlo je sličan modernom električnom romobilu (Slika 1). U odnosu na današnje električne romobile bio je glomazniji zbog tehnoloških ograničenja te je koristio motor s unutrašnjim izgaranjem, ali konstrukcija je vrlo slična. Dizajniran je isključivo za kratke udaljenosti. Kako su motorizirani bicikli i motocikli postajali sve popularniji, Autoped se teško borio s konkurencijom i bio je ispred svog vremena na mnogo načina [10].



Slika 1 Patent za vozilo s vlastitim pogonom

Izvor: [10]

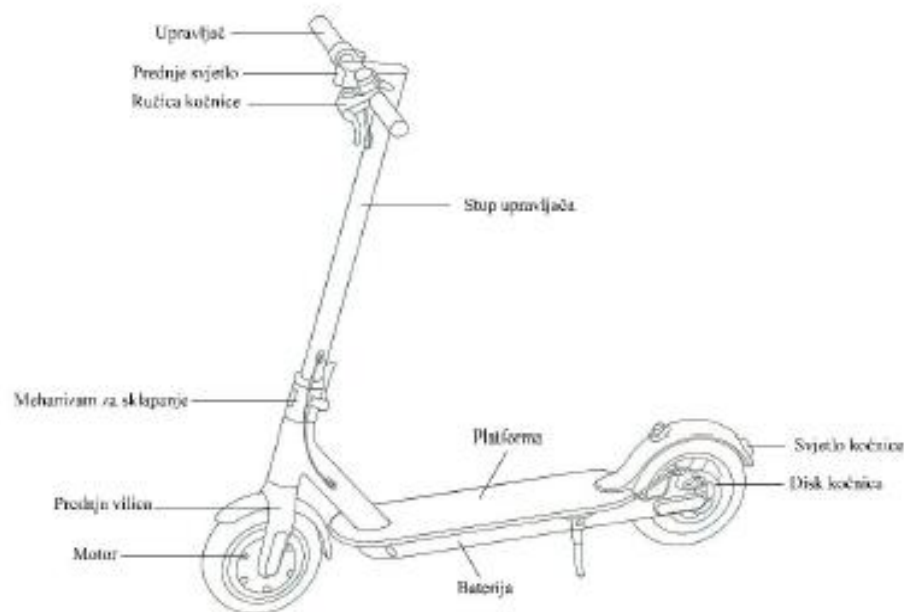
Tijekom sljedećih sedam desetljeća bilo je različitih koncepata za motorizirani romobil. Svaki je projekt donosio manja poboljšanja u tehnologiji i dizajnu u odnosu na prethodni, ali niti jedan nije postao uspješan, sve do 90-tih godina kada je nemotorizirani romobil doživio revoluciju. Iste godine, švicarski poduzetnik Wim Ouboter izumio je jednostavni, prijenosni model romobila koji se mogao sklapati. Napravio ga je od aluminijske konstrukcije i kotača za skateboard. Godine 1998. inačica romobila s tri kotača puštena je u prodaju i vrlo dobro prihvaćena što je omogućilo Ouboteru osnivanje sistema, *Micromobility Systems*, 1999. godine, proizvođača posvećenog proizvodnji i razvoju njegovog koncepta romobila na dva kotača. Potražnja za romobilima je bila toliko velika da je Ouboter dopustio tajvanskom proizvodnom partneru da distribuira romobile u Sjedinjene Države pod nazivom „Razor“, a 2003. godine popularna marka dodala je električni motor. Priča o električnom romobilu počinje

2009. godine kada tehnologija litij-ionske baterije postaje dovoljno napredna da se može integrirati u mala vozila poput romobila koji se mogu puniti kod kuće [10].

3.2. Tehnički dijelovi osobnih prijevoznih sredstava

Osnovni i najvažniji dijelovi koje osobno prijevozno sredstvo mora posjedovati su: baterije, kočnice, kontroler, platforma, upravljač, stup upravljača, svjetla, elektromotor i kotači. Baterija je ključni dio svakog osobnog prijevoznog sredstva. Njezin napon i koncept je dominantan čimbenik u određivanju najvažnijih značajki osobnih prijevoznih sredstava, a to su ukupne performanse i najveća udaljenost koju može prijeći s jednim punjenjem. Motor je jednako važan kao i baterija jer njegova snaga i kvaliteta određuju mnogo o performansama osobnih prijevoznih sredstava, prvenstveno o njegovoj brzini, okretnom momentu, sposobnosti vožnje uz uzbrdice u njegovom dometu u manjoj mjeri [11].

Većina osobnih prijevoznih sredstava ima sličnu konstrukciju kao na slici ispod (Slika 2). Ovisno o modelu mnoga osobna prijevozna sredstva su sklopivi za lakše prenošenje te imaju prednji i stražnji ovjes.



Slika 2 Konstrukcija osobnog prijevoznog sredstva

Izvor: [11]

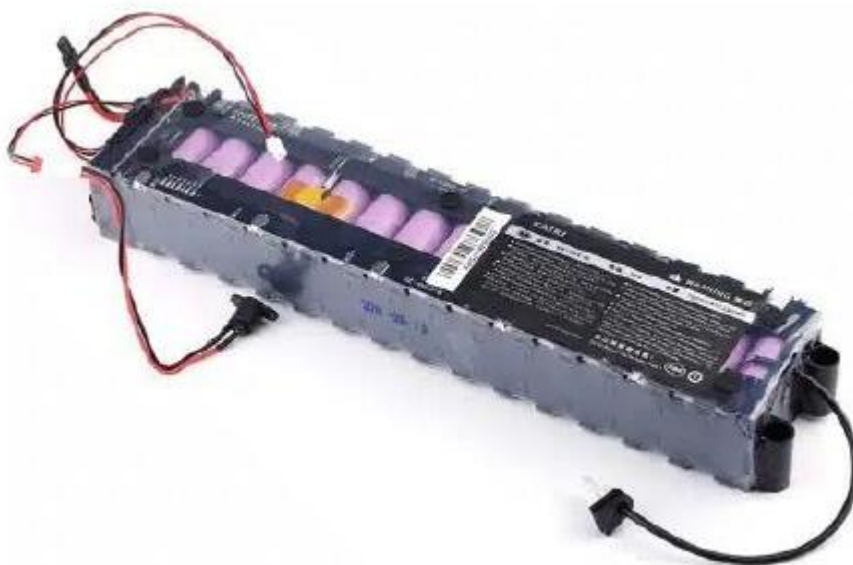
Budući da se radi o električnim vozilima mikromobilnosti, električni sustav ima važnu ulogu u njihovom dizajnu i izradi. Električni sustav sastoji se od baterije, motora, kontrolera motora i drugih elektroničkih dijelova. Glavna funkcija električnog sustava je da daje snagu motoru koji pomaže u radu romobila. Najčešće se koristi DC motor bez četkica pričvršćen na glavčinu stražnjeg kotača romobila. Motor dobiva snagu iz baterije koja pohranjuje električnu energiju koju osim motora koriste svjetla i ostali uređaju na osobnom prijevoznom sredstvu [11].

3.2.1. Baterije osobnih prijevoznih sredstava

Baterije za osobna prijevozna sredstva sastoje se od mnogo pojedinačnih ćelija koje su međusobno povezane. Postoje razne vrste baterija s različitim značajkama. Dobre baterije trebaju biti što manje i lakše, s što bržim punjenjem i pohranjivanjem što je više moguće električne energije [11]

Većina osobnih prijevoznih sredstava danas dolazi s litij-ionskim baterijama, koje su se pokazale kao najučinkovitiji izbor za električne romobile jer nude visoku gustoću energije dok su relativno lagane i kompaktne što omogućuje prelaženje većih udaljenosti. Osim toga, one imaju izvrsnu trajnost što znači da se mogu puniti i prazniti relativno velik broj ciklusa i još uvijek zadržati svoj kapacitet pohrane. Nedostatak ovih baterija je to što se ne mogu potpuno isprazniti te se posljedično mogu zapaliti [9].

Baterije u osobnom prijevoznom sredstvu dolaze u obliku baterijskog paketa (Slika 3), sastavljenog od pojedinačnih ćelija i elektronike koja se zove sustav upravljanja baterijom (*Battery management system*) koji osigurava siguran rad. Baterije se u paketu spajaju serijski ili paralelno gdje sustav upravljanja baterijom nadzire i regulira svaku ćeliju [11].



Slika 3 Baterija osobnog prijevoznog sredstva

Izvor: [9]

Baterijski paketi izrađeni su od 18650 litij-ionskih ćelija cilindričnog oblika i dimenzija 18*65 mm koje daju 3,6 V uz kapacitet otprilike od 1800 do 3600 mAh. Radni napon im varira od 3,0 V kada su prazne do 4,2 V pri 100% napunjenosti. Pojedinačne litij-ionske ćelije u paketu baterija za osobna prijevozna sredstva proizvodi samo nekoliko različitih međunarodno poznatih tvrtki. Najkvalitetnije ćelije proizvode LG, Samsung, Panasonic i Sanyo. Ove vrste ćelija obično se nalaze samo u baterijama romobila više klase [12] [13].

Kapacitet baterijskih paketa izražen u Wh (vatsat) jedan je od najvećih čimbenika koji određuju domet osobnog prijevoznog sredstva. Veći kapacitet znači i veći domet, koji kod standardnih osobnih prijevoznih sredstava iznosi oko 205 Wh dok oni napredniji mogu postići vrijednosti blizu 3000 Wh. Tipična litij-ionska baterija moći će podnijeti od 300 do 500 ciklusa punjenja i pražnjenja prije nego joj se kapacitet smanji za 10 do 20% [12].

3.2.2. Kočnice osobnih prijevoznih sredstava

Općenito, kočnice se koriste za kontrolu ili regulaciju brzine nekog vozila te njegovo zaustavljanje. Ključne su za sigurnu i pouzdanu vožnju osobnim prijevoznim sredstvom. Postoje dvije vrste kočnica kod ovakvih vozila, a to su [11]:

- mehaničke,
- električne.

Mehaničke kočnice se za usporavanje osobnih prijevoznih sredstava oslanjaju na fizičke mehanizme kao što su [11]:

- disk,
- bubanj,
- nožne kočnice.

Nožne kočnice zahtijevaju da jedna noga bude postavljena na blatobran stražnjeg kotača, što ograničava način stajanja na vozilu. One se najsporije aktiviraju u odnosu na druge vrste kočnica, također njihov učinak se značajno smanjuje kada je površina mokra. Ovakav tip kočnica se rijetko koriste [11].

Bubanj kočnice su najrobusnije, na njih ne utječu vremenski uvjeti, ali imaju najlošiju kontrolu jer sila kočenja samo raste nakon određene točke, što može lako uzrokovati blokiranje i klizanje kotača [11].

Disk kočnice, od svih navedenih, imaju najbolje performanse uključujući snagu zaustavljanja i mogućnost kontrole kočenja. Ovaj tip kočnica podložen je oštećenju diska u slučaju pada ili kod nošenja ili spremanja osobnog prijevoznog sredstva bez opreza [11].

Tehnološki napredak doveo je do razvoja najnaprednijeg kočionog sustava, električne kočnice. One koriste sam motor za kočenje i funkcioniraju suprotno od procesa ubrzanja te sprječavaju kretanje motora. Osobna prijevozna sredstva s ovom vrstom sustava kočenja također koriste i regenerativno kočenje. Ovaj kočioni sustav ima sposobnost malog punjenja baterije svaki put kada se aktivira, čime se povećava domet vožnje [14].

3.2.3. Kotači i gume osobnih prijevoznih sredstava

Dobra kvaliteta kotača važna je za postizanje dobrih performansi i uvelike doprinosi kvaliteti vožnje. Ovisno o modelu, promjer kotača je između 12 i 30 cm. Kako bi električni romobil bio što kompaktniji poželjno je imati što manje kotače dok se s druge strane povećanje kotača dobiva na stabilnosti, udobnosti i sigurnosti vožnje [14].

Postoje dvije vrste guma (Slika 4) koje može imati osobno prijevozno sredstvo [14]:

- pune,
- zračne (pneumatske).

Prilikom korištenja punih guma vožnja je mnogo neudobnija zbog čega osobna prijevozna sredstva u tim slučajevima najčešće koriste neku vrstu ovjesa [14].

Najčešća vrsta gume su pneumatske gume koje nude mnogo veću udobnost pri vožnji te imaju mnogo bolja svojstva apsorpcije udarca zbog čega nema potrebe za dodatnim amortizerom. Također, mogu se napuhati ili ispuhati do željene razine kako bi se vožnja prilagodila prema brzini ili kontroli [14].



Slika 4 Pneumatske gume (lijevo) i zračne gume (desno)

Izvor: [14]

3.2.4. Motor osobnih prijevoznih sredstava

Osobna prijevozna sredstva imaju gas, koji potisnut od strane vozača, šalje električne signale uz pomoć žica do kontrolera koji bateriji omogućava oslobađanje električne energije prema motoru. Motor pretvara tu energiju u mehaničku energiju i prosljeđuje ju kotačima čime ih pokreće prema naprijed. Postoje dvije izvedbe motora romobila [11]:

- motor montiran unutar platforme, s kotačem povezan lancima ili zupčanicima,
- motor integriran u sam kotač, što je modernije i boljeg dizajna.

Danas, većina osobnih prijevoznih sredstava ima motore ugrađene u glavčinu kotača vozila, mogu biti motori u prednjem, stražnjem ili oba kotača. Uobičajena osobna prijevozna sredstva imaju snagu od 250 do 600 vata. Noviji modeli obično će imati istosmjerne motore bez četkica (*eng. BLDC- Brushless DC Motor*), budući da ta tehnologija pruža neke prednosti u odnosu na starije motore s četkicama [15].

3.2.5. Istosmjerni motor bez četkica osobnih prijevoznih sredstava

Istosmjerni motor bez četkica je sinkroni električni motor koji se napaja istosmjernom električnom energijom i koji ima električni upravljani komutacijski sustav umjesto mehaničkog komutacijskog sustava koji se temelji na četkicama. U takvim motorima, struja i moment, napon i broj okretaja su linearno povezani. Sastoji se od rotora u obliku permanentnog magneta, a stator je napravljen od zavojnica koje pod naponom postaju elektromagnet. Interakcija između permanentnog magneta i elektromagneta uzrokuje rotaciju rotora. Kada je jedan svitak pod naponom, suprotni polovi rotora i statora se međusobno privlače. Kako se rotor okreće, zavojnica pod naponom se isključuje, ali susjedna zavojnica dolazi pod napon. Kako se ovaj proces ponavlja, tako se rotor nastavlja okretati [15].

Motori bez četkica imaju nekoliko prednosti u odnosu na motore s četkicama [15]:

- bolji omjer zakretnog momenta i mase,
- pouzdaniji su i lakše se održavaju,
- stvaraju manje buke,
- dužeg su životnog vijeka,
- ne proizvode iskre.

3.2.6. Kontroler motora osobnih prijevoznih sredstava

Kontroler motora (Slika 5) je poveznica između kontrola za ubrzanje i kočenje te motora i baterije što ga čini centralnom komponentom sustava. To je uređaj ili skupina uređaja koji služe za upravljanje performansama elektromotora na unaprijed određen način. Dizajniran je da djeluje kao sustav za upravljanje i regulaciju istosmjernih motora bez četkica i kao takav je neophodan za bilo koji uređaj s takvim motorom. Svaki put kada je gas pritisnut, signal prolazi kroz žice i kroz kontroler, koji „govori“ bateriji da pusti više ili manje energije u motor [14].

Kontroler motora ima različite funkcije, kao što su pokretanje i zaustavljanje motora, odabir i kontrolu brzine, ograničavanje ili regulaciju zakretnog momenta te zaštitu od preopterećenja i greški. Vrlo su korisni za sigurnu i učinkovitu vožnju osobnog prijevoznog sredstva. Ako su loše kvalitete, mogu iznenada prestati raditi tijekom vožnje ili onemogućiti motoru isporučivanje stabilne snage [16].



Slika 5 Kontroler motora

Izvor: [16]

3.2.7. Platforma osobnih prijevoznih sredstava

Kvalitetno izrađena platforma važna je za udobnu i stabilnu vožnju jer je to dio osobnog prijevoznog sredstva na kojem vozač stoji. Mora biti dovoljno čvrsta da bi podnijela masu vozača u različitim uvjetima vožnje kako se ne bi slomila ili savila. Platforma ima nekoliko značajki koje treba uzeti u obzir. Najvažnija od njih je veličina površine. Najčešća duljina platforme je oko 40 cm, a širina između 10 i 20 cm. Također, vrlo važna značajka je i visina platforme, odnosno njezina udaljenost od tla. Visina platforme od tla obično iznosi oko 15 cm. Iako bi višlja platforma omogućila lakše savladavanje nekih prepreka, također bi povećala težište i smanjila stabilnost pri vožnji. Većina platformi osobnih prijevoznih sredstava dolazi s nekom vrstom teksturirane ili gumene podloge koje pružaju bolje trenje stopala. Unutar platforme se najčešće nalazi baterija, kontroler i ostale električne komponente [11][14].

3.2.8. Stup upravljača osobnih prijevoznih sredstava

Stup upravljača je obično metalna cijev koja povezuje upravljač s prednjim kotačima osobnog prijevoznog sredstva to je dio vozila koji se najčešće može sklopiti kako bi se olakšalo nošenje i spremanje jer na taj način zauzima mnogo manje prostora. Od iznimne je važnosti da mehanizam za preklapanje i zaključavanje stupa upravljača bude kvalitetan kako bi se lakše izveo proces zaključavanje i otključavanja te kako bi vozilo držao stabilnim prilikom vožnje [14].

3.2.9. Upravljač osobnih prijevoznih sredstava

Upravljač je glavna poveznica između vozila i vozača. Osim što služi za upravljanje kotačima, on sadrži i sve potrebne kontrole osobnog prijevoznog sredstva. Na sredini upravljača nalazi se upravljački ekran s informacijama kao što su brzina, kapacitet baterije te obično daje mogućnost paljenja rasvjete i odabira načina vožnje, što je prikazano slikom ispod (Slika 6). Gas se obično nalazi na desnoj strani, a kočnica na lijevoj. Ručke su najčešće izrađene od gume ili neke vrste silikona [14].



Slika 6 Upravljač osobnog prijevoznog sredstva

Izvor: [14]

3.2.10. Svjetla osobnih prijevoznih sredstava

Svjetla su jedna od važnijih značajki i sigurnosnih komponenti osobnog prijevoznog sredstva. Neophodna su za sigurnu vožnju noću. Danas, svako moderno osobno prijevozno sredstvo dolazi sa LED (*eng. Light Emitting Diode*) prednjim i stražnjim svjetlom, a neki imaju LED svjetla sa strane ili na dnu platforme koja omogućuju bolju uočljivost noću od strane drugih sudionika u prometu. Najčešći tipovi svjetala u osobnih prijevoznih sredstava su [17]:

- glavna prednja svjetla,
- stražnje svjetlo za kočenje,
- LED trake,
- pokazivači smjera,
- reflektirajuće naljepnice.

3.2.11. Ovjes osobnih prijevoznih sredstava

Sustav ovjesa za bilo koje vozilo omogućuje vozaču mirniju vožnju. Neka osobna prijevozna sredstva imaju sustave ovjesa na kotačima za veću udobnost vožnje i manje podrhtavanja. Ovjes se često montira na osobna prijevozna sredstva s čvrstim gumama, kako bi se nadoknadila smanjena stabilnost i udobnost koju pružaju iste. Tri su vrste ovjesa koji se koriste, a to su: hidraulični, opružni i gumeni ovjes. Opružni ovjesi su jednostavniji, ali dobro funkcioniraju na mnogima modelima. Sustav ovjesa od gume ili elastomera su vrlo slični opružnima, ali koriste gumene jastuke umjesto metalnih opruga za ublaživanje udara. Hidraulični ovjes je dosta kompleksniji i skuplji tako da se koristi samo na vrlo kvalitetnim električnim romobilima [14][16].

3.2.12. Materijal osobnih prijevoznih sredstava

Za stabilnu i sigurnu vožnju važno je da platforma i stup upravljača budu napravljeni od čvrstog i kvalitetnog materijala. Također, materijal mora biti što lakši da bi se smanjilo opterećenje motora i ostvarila što bolja autonomija vožnje. Većina osobnih prijevoznih sredstava za navedene dijelove koriste aluminijsku leguru industrijske kvalitete zbog dobrog omjera čvrstoće i mase. Jedna od najznačajnijih prednosti ovog materijala je njegova svestranost i jedinstvena obradivost, a također može izdržati teške vremenske uvjete, otporan je na UV zrake i koroziju. Čelik je također jedan od korištenih materijala, ali samo za dijelove koji moraju biti posebno čvrsti. Ostali dijelovi vozila mogu biti izrađeni od različitih materijala kao što su različiti metali, plastika, guma, silikon [9][16].

4. ANALIZA SIGURNOSTI OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA

Promet je vrlo složena pojava pri kojoj dolazi do mnogih konfliktnih situacija. Kako bi se povećala sigurnost prometa potrebno je provesti brojne mjere, čiji je cilj otklanjanje, odnosno smanjenje opasnosti. Opasnost od prometnih nesreća koje nastaju u prometnom sustavu mogu se opisati sustavom čimbenika koji se pritom pojavljuju. Osnovni čimbenici sigurnosti cestovnog prometu su [18]:

- čovjek,
- cesta,
- vozilo,
- ostalo.

Navedene kategorije čimbenika na mikro razini čine cjelinu pod nazivom DVR jedinica (*Driver-vozač, Vehicle-vozilo i Road-cesta*). Svaki od navedenih čimbenika ima svoj utjecaj na nastanak prometne nesreće, tako na primjer jedni od najbitnijih čovjekovih uzroka su brzina, pretjecanje i obilaženje, prvenstvo prolaza, psihofizičko stanje i sl. Najbitnija karakteristika vozila kao čimbenika je njegovo tehničko stanje, dok cestu opisuju nepreglednost, oprema ceste, stanje kolnika, nizak koeficijent prijanjanja i sl. [18].

Zakonom o sigurnosti prometa na cestama prometnu nesreću definira kao događaj na cesti izazvan kršenjem prometnih propisa, u kojem je sudjelovalo najmanje jedno vozilo u pokretu i u kojem je najmanje jedna osoba ozlijeđena ili poginula ili u roku od 30 dana preminula od posljedica prometne nesreće ili je nastala materijalna šteta [1].

Iako su prometne nesreće složeni i slučajni događaji, one su predvidive i moguće ih je spriječiti. To dokazuju visokorazvijene zemlje svojim opsežnim strategijama, koje uključuju provedbu zakona o kontroli brzine i konzumiranju alkohola, promicanje uporabe pojaseva i kaciga te sigurnijeg oblikovanja i korištenja cesta i vozila, koje su se pokazale učinkovitima u sprječavanju prometnih nesreća [19].

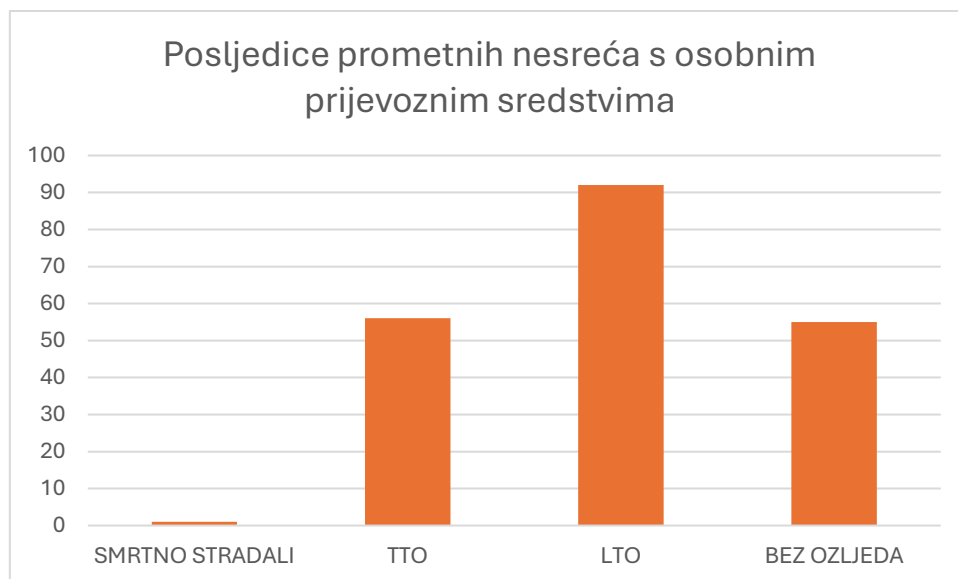
Prometne nesreće iskazuju se [19]:

- brojem poginulih u prometu,
- brojem ozlijeđenih u prometu,

- razinom materijalne štete.

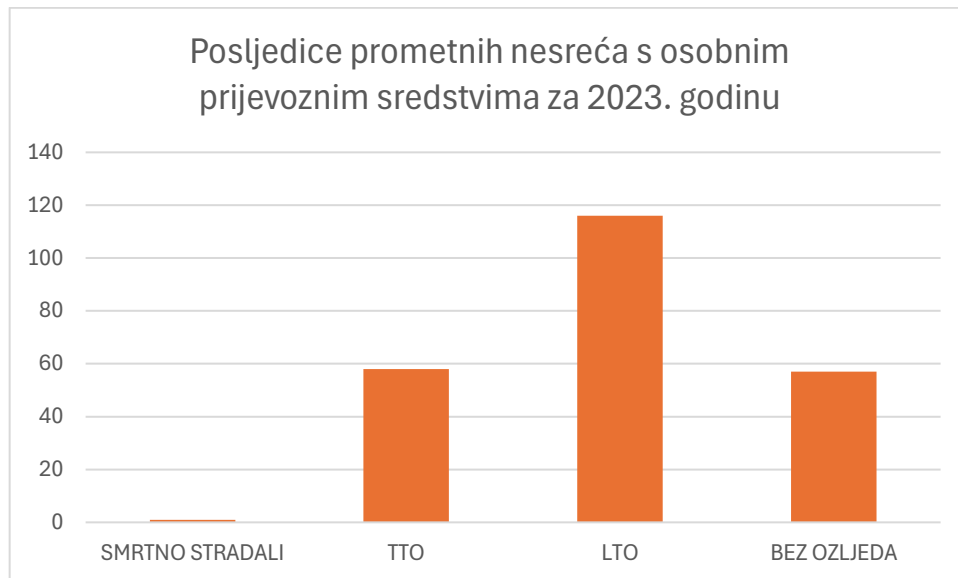
Vjerojatnost bilo kojeg ishoda pa tako i prometnih nesreća, iskazuje se odnosom broja ishoda u odnosu na ukupan broj mogućih ishoda. U skladu s tim, može se odrediti rizik nastanka prometnih nesreća iz omjera prometnih nesreća i njihovih posljedica i izloženosti riziku. Stoga se društveni rizik najčešće iskazuje u odnosu na broj registriranih vozila u odnosu na prijeđene kilometre te na broj stanovnika, ali može se iskazivati i na dnevnoj, tjednoj, mjesečnoj i godišnjoj razini [19].

Kako je već navedeno, pojavom osobnih prijevoznih sredstava pojavili su se mnogi problemi. Velikim porastom njihovih korisnika, porastao je i broj prometnih nesreća u kojima su sudjelovali isti. Grafikonom ispod (Grafikon 1) prikazan je omjer posljedica sudionika prometnih nesreća u kojima su sudjelovala osobna prijevozna sredstva u razdoblju od 13 mjeseci, odnosno od srpanja 2022. godine kada je donesen Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o sigurnosti prometa na cestama pa do kolovoza 2023. godine. U navedenom razdoblju smrtno je stradala jedna osoba, 56 osoba je teško ozlijeđeno, 92 osobe lako ozlijeđeno te bez ozljeda je bilo 55 osoba [20].



Grafikon 1 Posljedice prometnih nesreća osobnih prijevoznih sredstava

Dok je drugim grafikonom (Grafikon 2) prikazan broj posljedica sudionika u prometnim nesrećama s osobnim prijevoznim sredstva za cijelu 2023. godinu. Broj teško ozlijeđenih porastao je na 58, a broj lako ozlijeđenih na 116, dok je broj sudionika bez ozljeda je porastao na 57 [20].

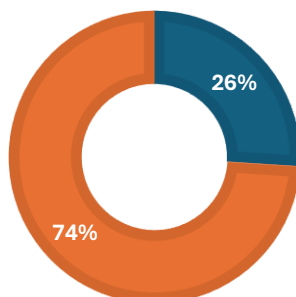


Grafikon 2 Posljedice prometnih nesreća s osobnim prijevoznim sredstvima za 2023. godinu

Grafikonom 3 prikazana je struktura prometnih nesreća prema njihovim ishodima. Većina prometnih nesreća koje uključuju osobna prijevozna sredstva, čak 74% imala je posljedicu ozljede, dok je samo 24% nesreća prošlo bez ozljeda. Ovi podaci ukazuju na to da su vozači osobnih prijevoznih sredstava izloženi visokim rizicima i opasnostima. Činjenica da je 74% nesreća rezultiralo ozljedama ukazuje na problem u pogledu sigurnosti u prometu korisnika osobnih prijevoznih sredstava [20].

STRUKTURA PROMETNIH NESREĆA S OSOBNIM PRIJEVOZNIH SREDSTVIMA

■ Bez ozljeda ■ S ozljedama

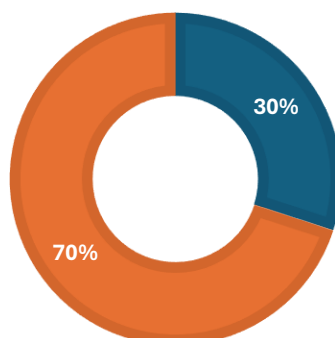


Grafikon 3 Struktura prometnih nesreća s osobnim prijevoznim sredstvima

Radi usporedbe, grafikonom 4 prikazana je struktura svih evidentiranih nesreća motornih vozila u 2023. godini. Uviđa se kako je 70% sudionika zadobilo ozlijede, dok 30% sudionika nije imalo ozlijede. Prema navedenom, za 4 % veći rizik od ozljeda imaju osobna prijevozna sredstva te ih to čini manje sigurnim sudionicima u prometu zbog nekoliko faktora. Naime, treba uzeti u obzir da vozači osobnih prijevoznih sredstava nemaju zaštitu karoserije, osobna prijevozna sredstva su lakša i manje stabilna u usporedbi s motornim vozilima te nemaju sigurnosne pojaseve, zračne jastuke i slične mjere zaštite [20].

STRUKTURA PROMETNIH NESREĆA

■ Bez ozljeda ■ S ozljedama



Grafikon 4 Struktura prometnih nesreća u 2023. godini

Iako je u 2022. i 2023. godini zabilježen po jedan slučaj smrtno stradalih vozača osobnih prijevoznih sredstava, u prvoj polovici 2024. godine zabilježena su dva smrtno stradala vozača osobnih prijevoznih sredstava. Osobna prijevozna sredstva iako jesu praktičnija i ekološki prihvatljivija, nose značajne rizike za sigurnost svojih korisnika.

5. ISPITIVANJE USPORENJA OSOBNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA

Ispitivanja dinamičkih sposobnosti osobnih prijevoznih sredstava prilično je rijetko u literaturi. Nekoliko je stranih istraživača proučavalo razine prakticirane brzine, uspoređujući osobna prijevozna sredstva sa tradicionalnim romobilima ili biciklima. Neke od tih studija se odnose na dinamičke performanse, ali u kontroliranom okruženju.

Za potrebe diplomskog rada ispitivanje usporenja osobnih prijevoznih sredstava provedeno je na Znanstveno Učilišnom Kampusu Borongaj, dana 7. lipnja 2024. godine. Ispitivanje se vršilo na dvije vrste podloga pri dvama različitim uvjetima podloga:

- suhom asfaltu,
- mokrom asfaltu,
- suhoj tyregrip podlozi,
- mokroj tyregrip podlozi.

U ispitivanju su korištena četiri različita osobna prijevozna sredstva. Sudionici, odnosno vozači osobnih prijevoznih sredstava su bila dva muškarca. Za svako vozilo provedena su ispitivanja usporenja za brzine od 10 do 25 km/h.

Cilj ovog ispitivanja bio je odrediti dinamičke performanse četiri različita osobna prijevozna sredstva posebno u situacijama usporavanja. Također, razumjeti u kojoj mjeri dinamičke izvedbe usporenja mogu objasniti pojavu velikog broja kritičnih interakcija i nesreća. Osim toga, kvantitativni podaci također mogu pomoći u analizi i rekonstrukciji nesreća koje uključuju osobna prijevozna sredstva.

5.1. Korištena osobna prijevozna sredstva

Kao što je već navedeno za ovo testiranje korištena su četiri različita osobna prijevozna sredstva, kako bi se osigurala reprezentativnost i preciznost dobivenih rezultata. Sredstva koja su se koristila su: Ninebot F25E, MS ENERGY m10, Ninebot MAX G2 te Mi Scooter 365.

5.1.1. Ninebot F25E

Jedan od korištenih osobnih prijevoznih sredstava je Ninebot F25E (Slika 7). Njegove tehničke karakteristike su prikazane tablicom ispod (Tablica 1). Karakterizira ga maksimalna brzina od 25 km/h te maksimalni domet od 25 km. Jedna od važnijih značajki je to da ovaj model ima kombinirani kočioni sustav, odnosno prednja kočnica je električna, a stražnja kočnica je disk kočnica.



Slika 7 Ninebot F25E

Izvor: [21]

Tablica 1 Tehničke specifikacije Ninebot F25E

Brzina	do 25 km/h
Domet	do 25 km
Uspón	do 10%
Kapacitet baterije	275 Wh
Nazivna snaga	250 W
Maksimalna snaga	500 W
Maksimalna nosivost	100 kg
Dimenzije	1160*1143*480 mm
Masa	15,3 kg
Veličina gume	254 mm
Kočnice	Kombinirani sustav

Izvor: [21]

5.1.2. MS ENERGY m10

MS ENERGY m10 (Slika 8) je drugi korišteni električni romobil za ispitivanje usporenja. Njegove tehničke specifikacije prikazane su tablicom 2. Kočioni sustav mu je na prednjem kotaču te se sastoji od električne kočnice. Također mu je maksimalna brzina 25 km/h, a domet nešto malo veći, odnosno 28 km. Nagib koji može savladati je 15%, a maksimalna nosivost koju može podnijeti je 120 kg.



Slika 8 MS ENERGY m10

Izvor: [22]

Tablica 2 Tehničke specifikacije MS ENERGY m10

Brzina	25 km/h
Domet	28 km
Uspón	15%
Kapacitet baterije	36 V
Nazivna snaga	350 W
Maksimalna nosivost	120 kg
Dimenzije	1130*550*1150 mm
Masa	12.6 kg
Koćnice	Elektrićna

Izvor:[22]

5.1.3. Mi Scooter 365

Mi Scooter 365 (Slika 9) svojim tehničkim specifikacijama (Tablica 3) sličan je MS ENERGY m10 osobnom prijevoznom sredstvu. Za razliku od, Mi Scooter 365 ima na stražnjem kotaču disk kočnicu. Savladivi uspon mu je od 12%, a snaga motora 250 W.



Slika 9 Mi Scooter 365

Izvor: [23]

Tablica 3 Tehničke specifikacije Mi Scooter 365

Brzina	25 km/h
Domet	30 km
Uspon	12%
Kapacitet baterije	36 V
Nazivna snaga	250 W
Maksimalna nosivost	100 kg
Masa	12,5 kg
Vrsta kočnice	Disk kočnica

Izvor: [23]

5.1.4. Ninebot MAX G2

Četvrto osobno prijevozno sredstvo je bilo Ninebot MAX G2 (Slika 10) kojeg karakterizira najveći teoretski domet do 70 km te savladivi uspon od 22%. Teoretski domet testiran je tijekom vožnje s punom baterijom, opterećenjem od 75 kg, pri temperaturi od 25°C te prosječnom brzinom od 16 km/h na kolniku. Također, posjeduje dvostruki kočni mehanizam, odnosno stražnji kotač s elektroničko regenerativnim kočenjem i prednji kotač s bubanj kočnicom. Za apsorpciju udarca posjeduje hidraulički prednji ovjes i stražnji ovjes s dvostrukom oprugom.



Slika 10 Ninebot MAX G2

Izvor: [24]

Tablica 4 Tehničke specifikacije Ninebot MAX G2

Brzina	25 km/h
Domet	70 km
Uspon	22%
Baterija	551 Wh
Nazivna snaga	450 W
Maksimalna snaga	900 W
Maksimalna nosivost	100 kg
Vrsta kočnog mehanizma	Dvostruki kočni mehanizam

Veličina gume	25,4 cm
Sustav kontrole proklizavanja	Da
Pogon	Stražnji kotač
Načini vožnje	Eco, Drive, Sport

Izvor: [24]

5.2. Korištena oprema za ispitivanje osobnih prijevoznih sredstava

Prilikom ispitivanja osobnih prijevoznih sredstava, odnosno mjerenja njihovog usporenja, korišten je uređaj XL Meter™ koji je bio pričvršćen za platformu svakog osobnog prijevoznog sredstva.

XL Meter™ je baterijski uređaj (Slika 11) za mjerenje ubrzanja i usporenja s LCD-om, integriranim programom za procjenu IBM PC kompatibilnom opcijom povezivanja na osobno računalo, a koje se najčešće primjenjuje kod motornih vozila. S tehničkog gledišta, struktura uređaja podijeljena je u tri podjedinice, a to su: kućište koje sadrži elektroničku jedinicu, usisna glava koja osigurava priključak i zglobna struktura koja povezuje navedeno.



Slika 11 XL Meter™

Uređajem se može upravljati pomoću tri gumba:

- gumbom za napajanje (crni gumb),
- gumbom za promjenu mjerenja (zeleni gumb),
- gumbom za početak mjerenja (crveni gumb).

Gumb za napajanje ima dvije funkcije, u jednom slučaju se koristi za prebacivanje napona napajanja, u drugom se koristi za kontrolu pozadinske jačine svjetlosti LC zaslona.

Prikupljanje podataka počinje pritiskom na gumb za početak mjerenja. Crveni gumb također se može koristiti za izlaz iz načina rada kalibracije. Prikupljanje podataka moguće je samo u načinu rada prikaza podataka. Kada se podaci prikupe, potrebno je rezultate prepisati.

Uz pomoć gumba za promjenu mjerenja, rezultati mjerenja prikazuju se na zaslonu. Također, u načinu rada prikaza podataka, moguće je prebacivanje s jednog mjerenja na drugo pomoću gumba. Kada se potrebni podaci prikupe, prikupljanje se prekida pritiskom na gumb. Nakon završetka mjerenja uređaj se vraća u način rada s prikazom podataka i na zaslonu se pojavljuju rezultati upravo provedenog mjerenja.

XL Meter TM mjeri vrijednosti ubrzanja koje djeluju na uređaj u smjeru X i Y osi, odnosno uzdužno i bočno ubrzanje i usporenje istovremeno. Prikupljanje podataka može se pokrenuti samo u načinu rada prikaza podataka pritiskom na gumb za početak mjerenja. Izmjerene vrijednosti ubrzanja spremaju se u memoriju od početka prikupljanja podataka. Nevažno koliko je trajalo prikupljanje podataka prije kočenja, jer se u memoriji može pristupiti podacima mjerenja zadnjih 40(80)³ sekundi. Uređaj ima kapacitet pohrane podataka i rezultata iz osam različitih mjerenja istovremeno. Pohranjeni podaci iz uređaja se zatim prenose na računala pomoću XL Vision aplikacije. Cilj ovog programa je pomoći stručnjacima u procjeni sposobnosti ubrzanja i usporenja različitih vozila.

6. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

U ovom poglavlju prikazani su svi prikupljeni podaci testiranja na sva četiri osobna prijevozna sredstva. Kako je već navedeno, podaci su se prikupljali na suhom i mokrom asfaltu te na suhoj i mokroj tyregrip podlozi pri različitim brzinama. Testirane brzine iznosile su 10,15,20 i 25 km/h.

6.1. Rezultati ispitivanja na suhom asfaltu

Prilikom provođenja testiranja, sva četiri osobna prijevozna sredstva testirana su na suhom asfaltu. Prilikom testiranja stanje kolničkog zastora je bilo dobro, stanje površine suho i čisto, a testiranje se provodilo pri vedrim atmosferskim prilikama.

6.1.1. Mi Scooter 365

Prilikom provođenja testiranja na osobnom prijevoznom sredstvu Mi Scooter 365, zabilježeno je šest mjerenja na XL Meter-u. Za svaku od testiranih brzina će biti prikazani tablični zapisi srednjih izmjerenih vrijednosti te zabilježeni grafovi.

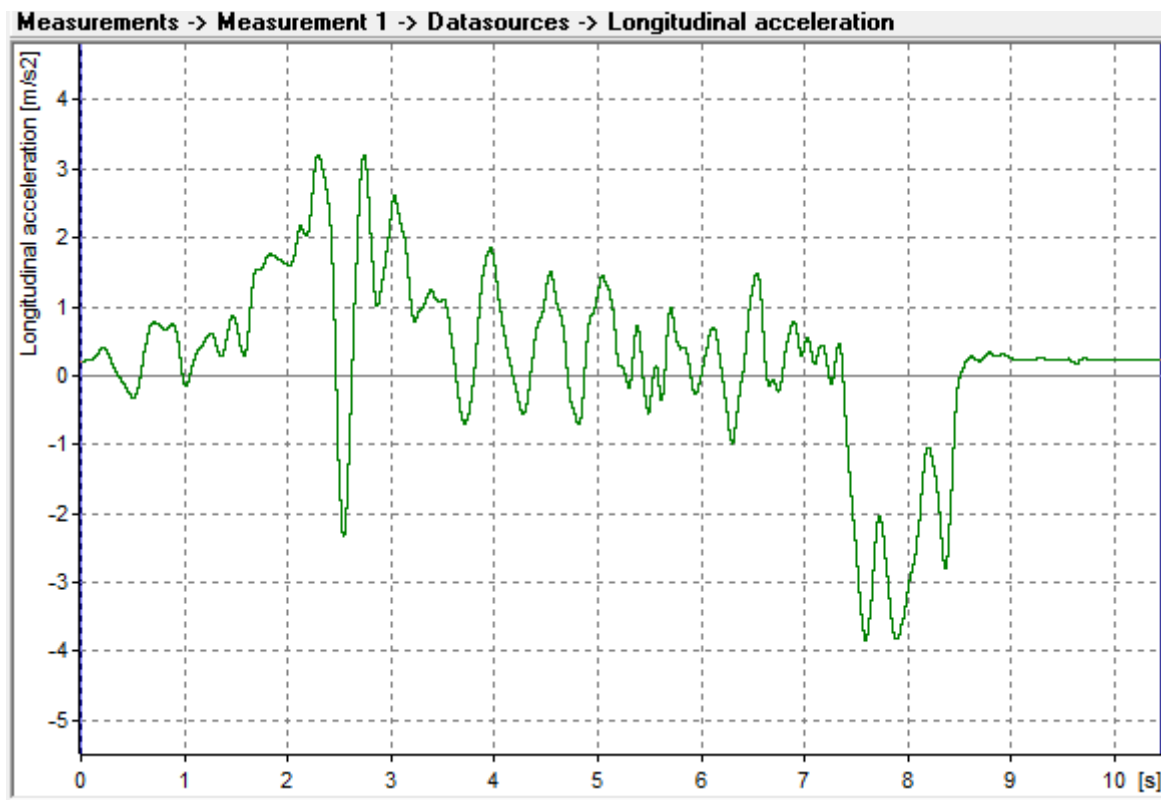
1. Ispitivanje usporenja pri brzini od 10 km/h

Prvo testiranje provodilo se za brzinu od 10 km/h. Provedena su tri testiranja s ciljem postizanja brzine što bliže traženoj. Nakon postignute ciljane brzine primjenjuje se kočenje. Tablicom 5 prikazane su srednje vrijednosti za svako od provedenog testiranja. Tri postignute brzine su: 10,79 km/h, 8,89 km/h te 10,51 km/h, što daje prosječnu brzinu kretanja od 10,06 km/h. Najveće usporenje postignuto je pri brzini od 10,51 km/h te je iznosilo $3,04 \text{ m/s}^2$ dok je put kočenja iznosio 1,5m. Najmanje usporenje je postignuto pri brzini od 10,79 km/h te vrijeme kočenja iznosilo 1,14s dok je put kočenja bio najveći od tri provedena testiranja te je iznosio 1,66m. Tablični prikazi rezultata su srednje vrijednosti izmjerene na XL Meter-u u vremenskom intervalu kočenja za svako pojedinačno testiranje.

Tablica 5 Podaci testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 10 km/h

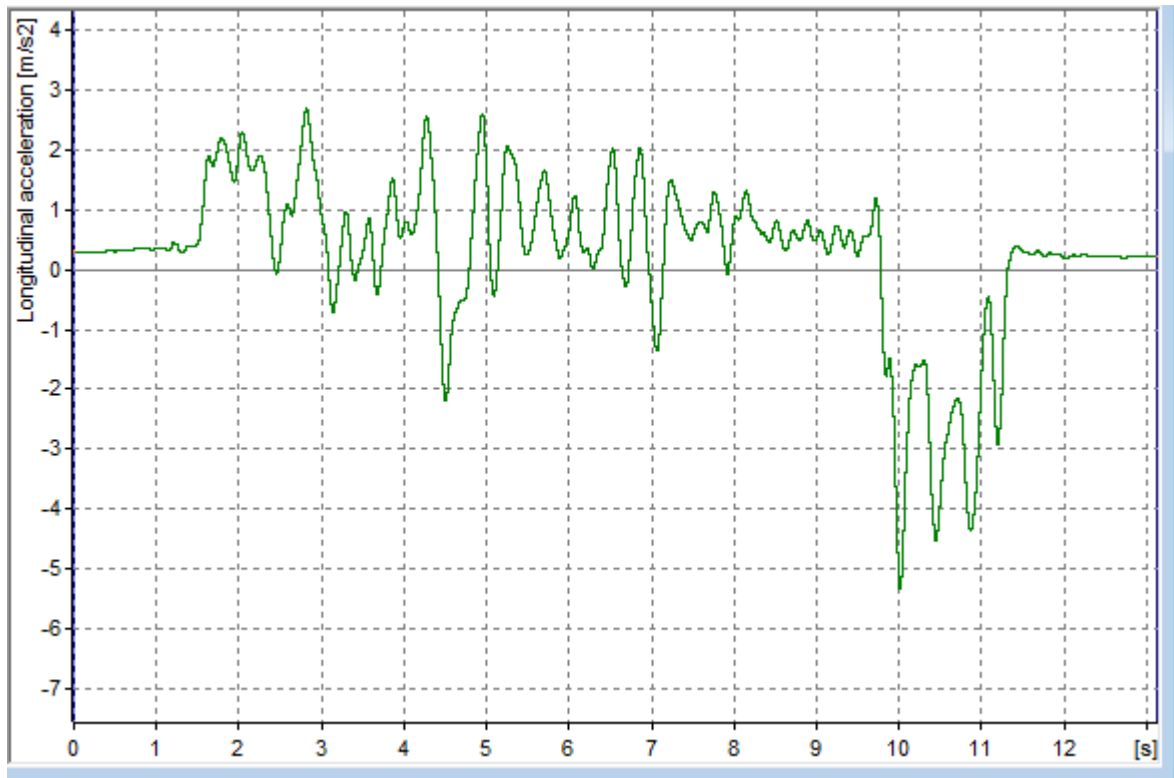
10 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	10,79	2,71	1,14	1,66
2. testiranje	8,89	2,96	0,96	1,24
3. testiranje	10,51	3,04	1,07	1,5
Srednja vrijednost	10,06	2,90	1,06	1,47

Grafovima je prikazano longitudinalno ubrzanje (m/s²) kroz vrijeme (s). Oznake na osi y predstavljaju vrijednosti ubrzanja i usporenja, dok na osi x predstavljaju vrijeme. Na osi y, grafičkog prikaza 1. testiranja (Slika 12), prikazane su vrijednosti usporenja i ubrzanja koje se kreću od -3,8 do 3,2 m/s². Grafičkim prikazima vidljiva su trenutna maksimalna usporenja u izrazito kratkom vremenu manjim od 0,1s. Uviđa se da je za 1. testiranje usporenje trajalo 7,4-8,5s te najveće zabilježeno usporenje iznosi 3,8 m/s² u 7,6s, vozilo se zaustavilo u 8,5s.



Slika 12 Grafički prikaz 1. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 10 km/h

Slikom 13 prikazan je grafički prikaz 3. testiranja za brzinu 10,51 km/h. Najveće usporenje koje je vozilo postiglo je 5,3 m/s² u desetoj sekundi. Kočenje 3. testiranja započelo je u 9,8s, a završilo u 11,2s.



Slika 13 Grafički prikaz 3. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 10 km/h

2. Ispitivanje usporenja pri brzini od 15 km/h

Nakon što je brzina od 10 km/h testirana, testiranje je nastavljeno s brzinom od 15 km/h. Za brzinu od 15 km/h provedena su dva testiranja, a zabilježen je jedan graf za 2. testiranje. Postignute brzine su bile 13,74 i 15,43 km/h. Kako se radi o srednjim vrijednostima tijekom intervala kočenja, drugo testiranje je imalo veće usporenje koje je iznosilo 2,91 m/s², interval kočenja trajao je 1,48s, dok put kočenja iznos 3,10m.

Tablica 6 Podaci testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 15 km/h

15 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	13,74	2,64	1,34	2,54
2. testiranje	15,43	2,91	1,48	3,10
Srednja vrijednost	14,59	2,78	1,41	2,82

Slikom 14 prikazan je grafički prikaz 2. testiranja, vidljivo je da je maksimalno usporenje postignuto u 11,1s, a iznosilo je 6,1 m/s². Interval kočenja počinje u 10,8s te završava u 12,8s



Slika 14 Grafički prikaz 2. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 15 km/h

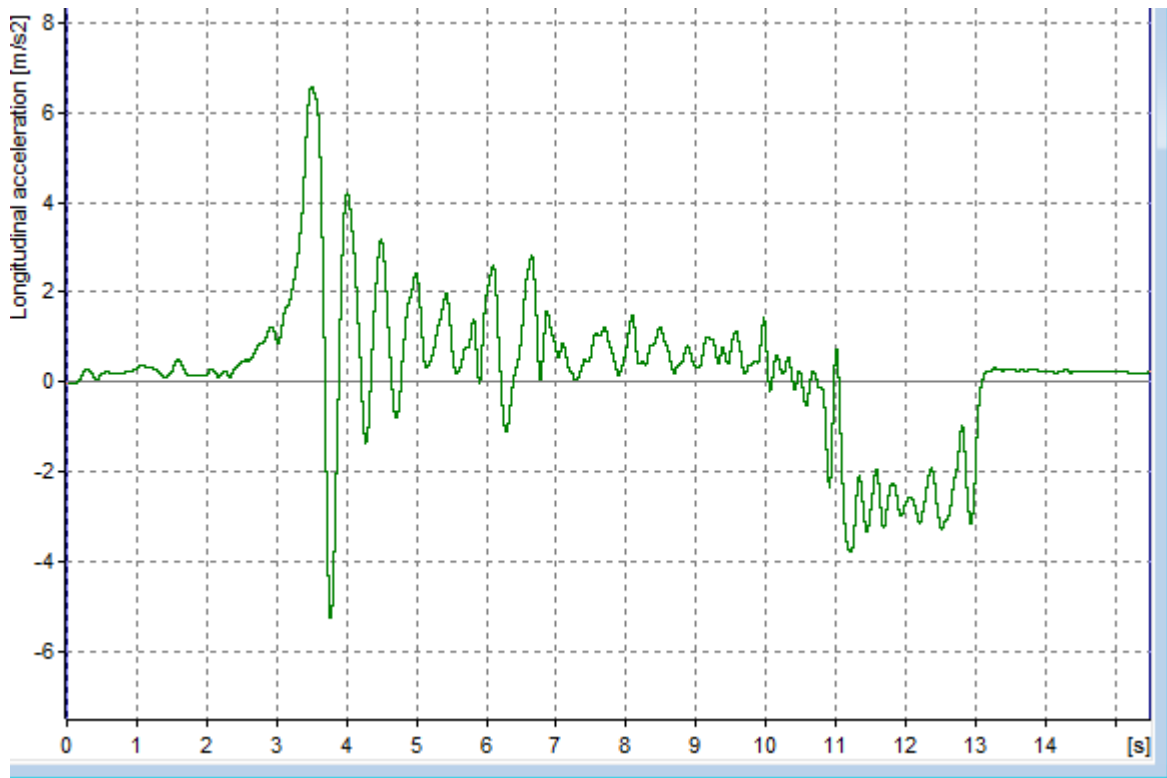
3. Ispitivanje usporenja pri brzini od 20 km/h

Pri brzini od 20 km/h provedena su tri testiranja, a zabilježen je jedan graf za 3. testiranje. Postignute brzine iznosile su od 19,37 do 23,62 km/h. Najveće usporenje postignuto je pri brzini od 20,28 km/h te je iznosilo $3,61 \text{ m/s}^2$ na putu kočenja od 4,99m te je vrijeme trajanja kočenja iznosilo 1,79s. Najveći zabilježeni put kočenja je pri brzini od 19,37 km/h i iznosi 7,81m dok je prosječno usporenje iznosilo $2,86 \text{ m/s}^2$.

Tablica 7 Podaci testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 20 km/h

20 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s^2]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	23,62	3,36	2,23	6,92
2. testiranje	20,28	3,61	1,79	4,99
3. testiranje	19,37	2,86	2,41	7,81
Srednja vrijednost	21,95	3,49	2,01	5,96

Slikom 15 prikazano je usporenje 3. testiranja koje je počelo u 11s te završilo u 13,2s. Najveće usporenje postignuto je u 11,3s, a iznosilo je $3,8 \text{ m/s}^2$.



Slika 15 Grafički prikaz 3. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 20 km/h

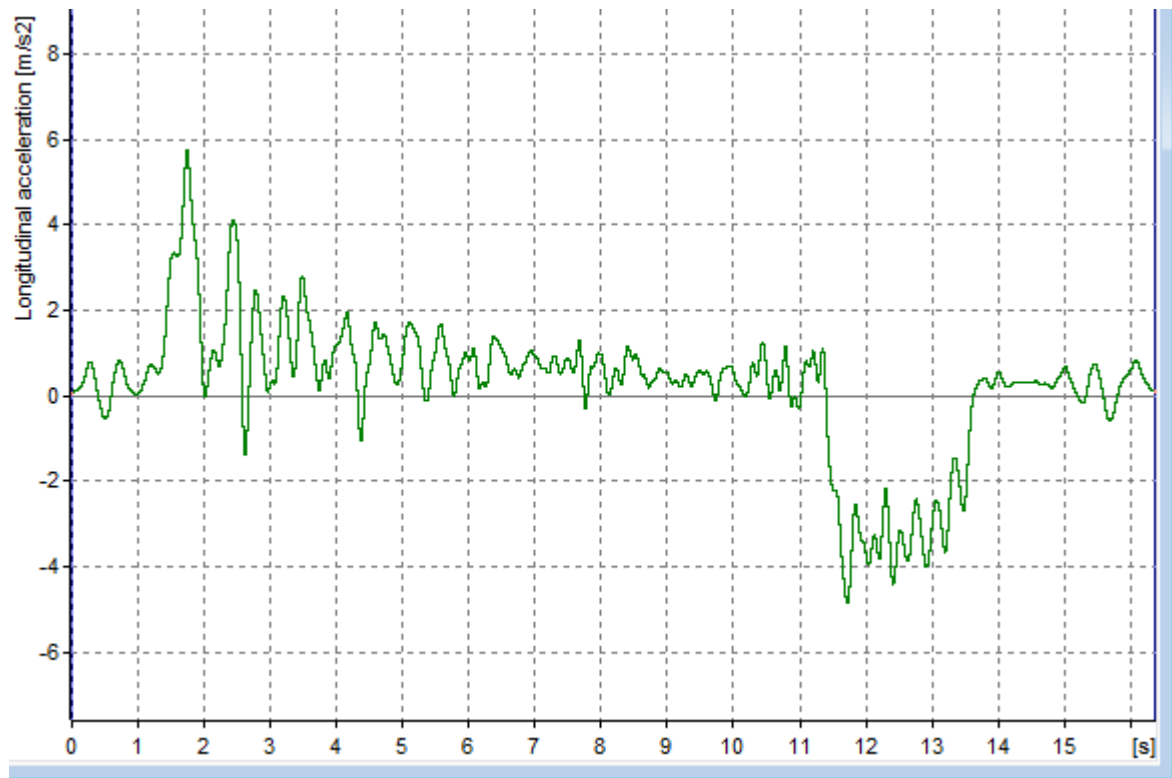
4. Ispitivanje usporenja pri brzini od 25 km/h

Pri najvećoj dopuštenoj brzini kojom se smiju kretati osobna prijevozna sredstva provedena su tri testiranja. Postignute brzine su od 21,9 do 26,7 km/h. Tablicom (Tablica 8) su prikazani podaci za sva tri testiranja dok su grafički zabilježene brzine od 26,7 i 24,55 km/h. Najveća srednja vrijednost usporenje od 3,79 m/s² postignuto je pri brzini od 26,70 km/h, put kočenja je bio 17m, a vrijeme trajanja kočenja iznosi 3,41s. Najmanje srednje usporenje postignuto je pri brzini od 24,55 km/h te je iznosilo 2,75 m/s², a put kočenja iznosio je 17,32m.

Tablica 8 Podaci testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 25 km/h

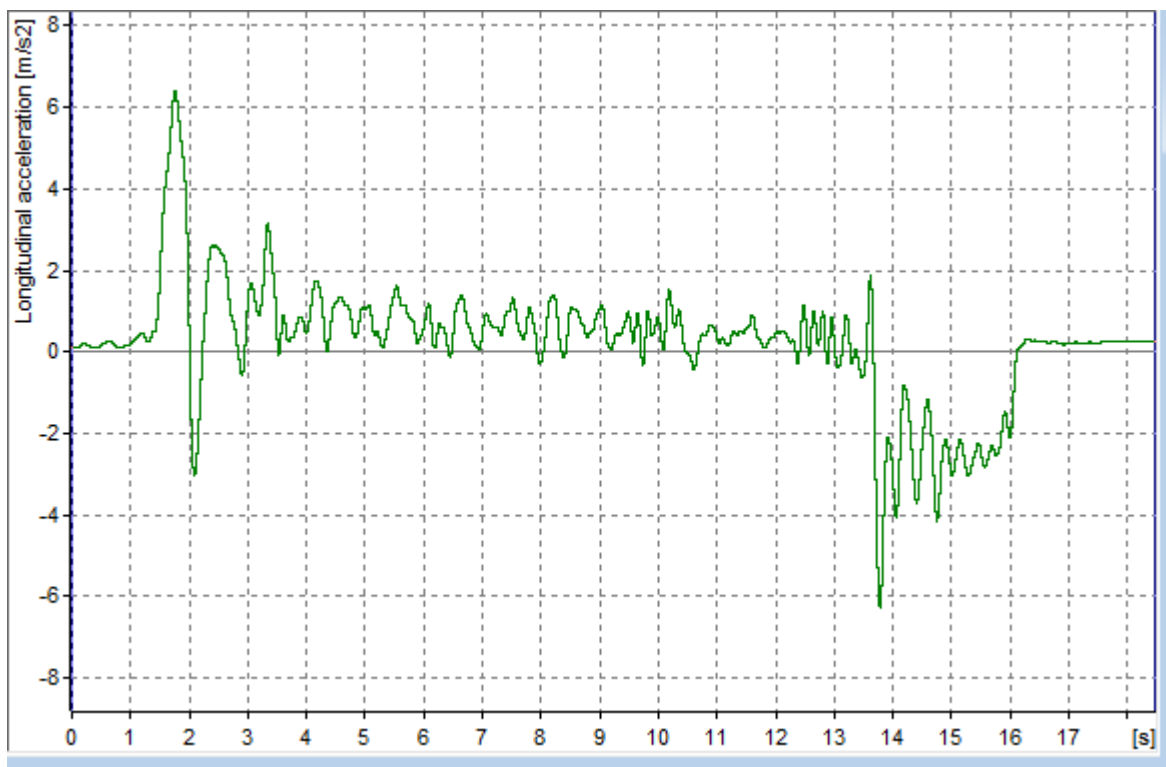
25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	26,70	3,79	3,41	17,00
2. testiranje	21,90	3,17	2,71	9,81
3. testiranje	24,55	2,75	3,79	17,32
Srednja vrijednost	24,30	3,48	3,06	13,41

Slikom 16 prikazan je graf za zabilježeno 1. testiranje pri brzini od 26,70 km/h. Interval kočenja započeo je u 11,3s a završio u 14s. Najveće usporenje postignuto je u 11,7s, a iznosilo je 4,4 m/s².



Slika 16 Grafički prikaz 1. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 25 km/h

Dok je slikom 17 prikazan graf za brzinu od 24,55 km/h. Pri ovoj brzini interval kočenja trajao je od 13,6 do 16s. Maksimalno usporenje postignuto je 13,8s te je iznosilo 6,2 m/s².



Slika 17 Grafički prikaz 3. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 25 km/h

6.1.2. MS ENERGY m10

Prilikom provođenja testiranja na osobnom prijevoznom sredstvu MS ENERGY m10, zabilježena su četiri mjerenja na XL Meter-u. Za svaku od testiranih brzina će biti prikazani tablični zapisi srednjih izmjerenih vrijednosti te zabilježeni grafovi.

1. Ispitivanje usporenja pri brzini od 10 km/h

Prilikom provođenja testiranja za osobno prijevozno sredstvo MS ENERGY m10 pri brzini od 10 km/h zabilježeno je jedno mjerenje. Srednje vrijednosti zabilježenog mjerenja prikazane su tablicom ispod (Tablica 9). Postignuta tražena brzina kretanja osobnog prijevoznog sredstva iznosila je 9,58 km/h, postignuto usporenje iznosilo je 2,70 m/s², vrijeme kočenja iznosilo je 0,98s, a ukupni put kočenja iznosio je 1,32m.

Tablica 9 Podaci testiranja MS ENERGY m10 pri brzini od 10 km/h

10 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	9,58	2,7	0,98	1,32

Na grafičkom prikazu mjerenja pri brzini od 10 km/h uočljivo je da je kočenje počelo u 12,3 sekundi, dok je najveće usporenje iznosilo 7 m/s² postignuto u 12,8 sekundi, a usporenje je završilo u 13,8 sekundi.



Slika 18 Grafički prikaz 1. mjerenja za MS ENERGY m10 pri brzini od 10 km/h

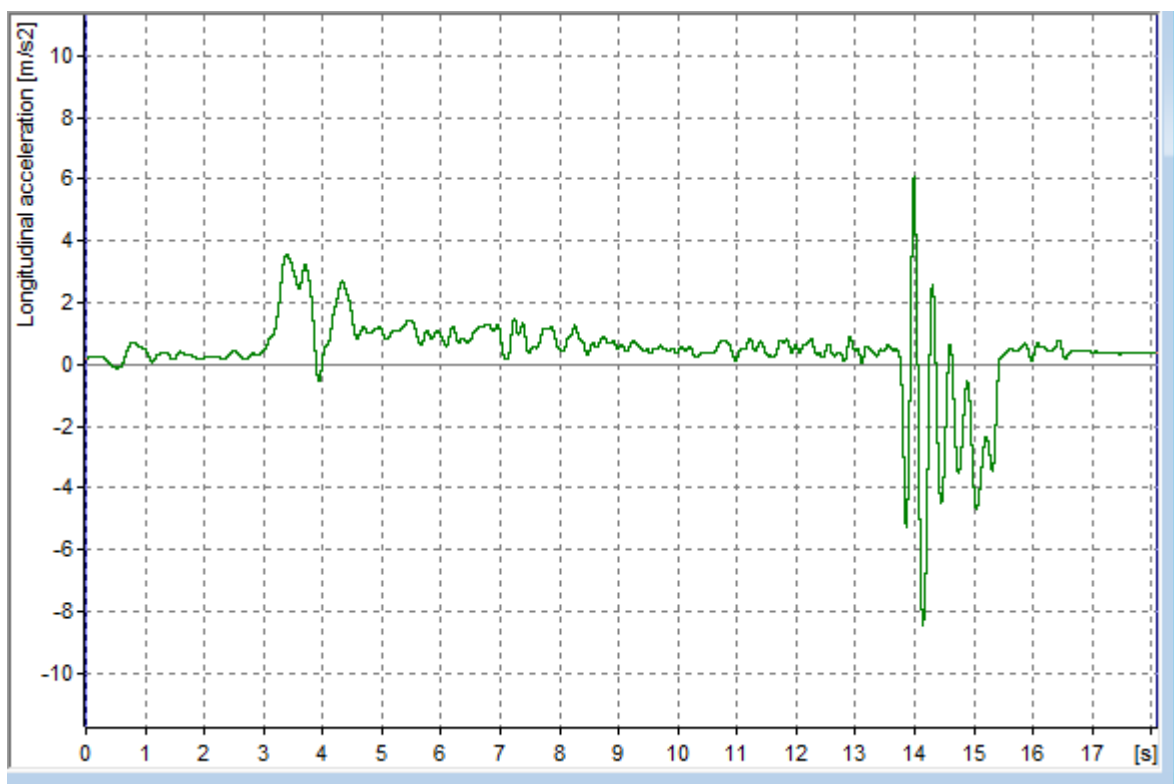
2. Ispitivanje usporenja pri brzini od 15 km/h

Pri brzini od 15 km/h za MS ENERGY m10, također je zabilježeno jedno testiranje. Postignuta brzina iznosila je 14,70 km/h, usporenje 2,39 m/s², vrijeme trajanja kočenja iznosilo je 1,58 sekundi, dok je ukupni put kočenja iznosio 3,55m. Navedene srednje vrijednosti prikazane su tablicom (Tablica 10).

Tablica 10 Podaci testiranja za MS ENERGY m10 pri brzini od 15 km/h

15 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	14,7	2,39	1,58	3,55

Na grafičkom prikazu pri brzini od 15 km/h uočljivo je kako je kočenje počelo u 14. sekundi, a završilo je u 16. sekundi. Najveće zabilježeno usporenje iznosilo je 8,5 m/s² te je izmjereno u 14,2 sekundi.



Slika 19 Grafički prikaz 1. mjerenja za MS ENERGY pri brzini od 15 km/h

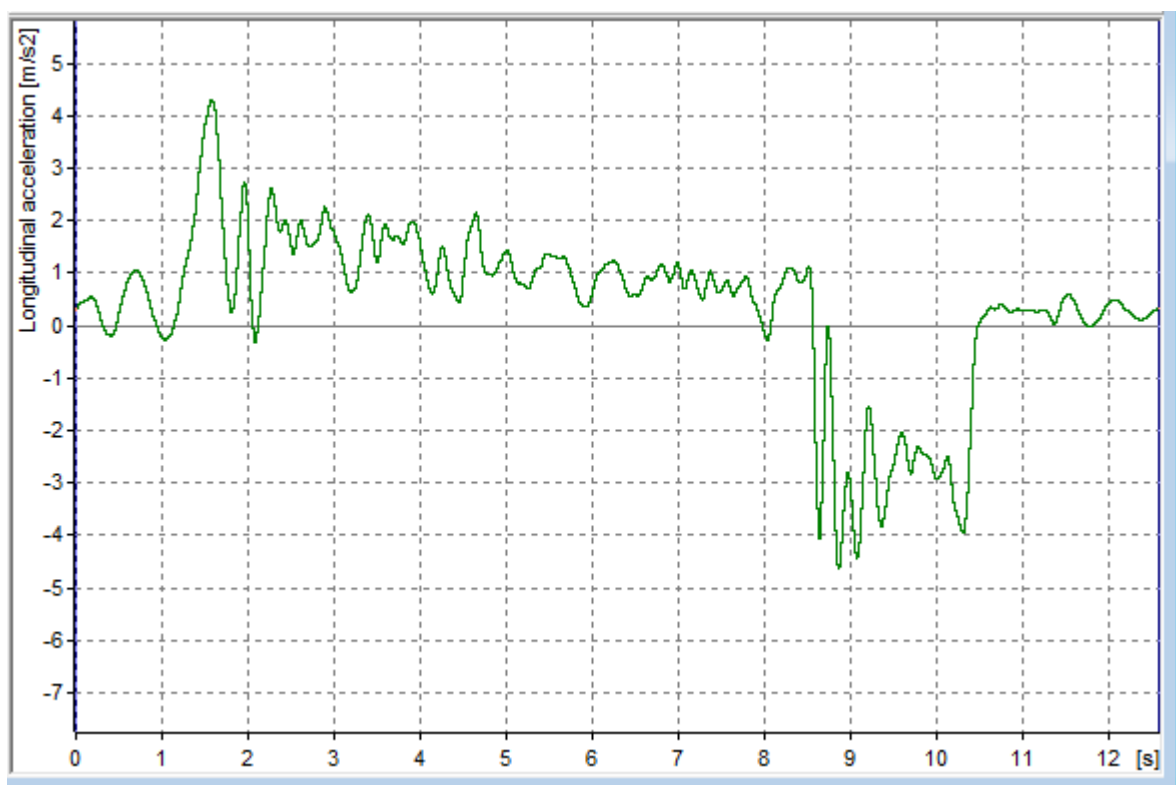
3. Ispitivanje usporenja pri brzini od 20 km/h

Pri brzini od 20 km/h također je provedeno jedno mjerenje. Postignuta brzina iznosila je 21,04 km/h, usporenje je iznosilo 3,17 m/s², kočenje je trajalo 1,83 sekunde, a put kočenja iznosio je 5,37m. Srednje vrijednosti za mjerenje pri brzini od 20 km/h prikazane su tablicom ispod (Tablica 11).

Tablica 11 Podaci testiranja za MS ENERGY m10 pri brzini od 20 km/h

20 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	21,04	3,17	1,83	5,37

Na grafičkom prikazu ispod (Slika 20) vidljivo je da je kočenje započelo u 8,6 sekundi te je završilo u 10,4 sekundi. Najveće izmjereno usporenje iznosilo je 4,8 m/s² te je izmjereno u 8,9 sekundi.



Slika 20 Grafički prikaz 1. mjerenja za MS ENERGY m10 pri brzini od 20 km/h

4. Ispitivanje usporenja pri brzini od 25 km/h

Za brzinu od 25 km/h također je provedeno samo jedno mjerenje. Postignuta brzina iznosila je 24,3 km/h. Usporenje je iznosilo 3,03 m/s², vrijeme trajanja kočenja iznosilo je 2,38 sekunde dok je ukupni put kočenja iznosio 8,69m. Srednje vrijednosti prikazane su tablicom ispod (Tablica 12).

Tablica 12 Podaci testiranja za MS ENERGY m10 pri brzini od 25 km/h

25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	24,39	3,03	2,38	8,69

Na grafičkom prikazu (Slika 21) uočljivo je kako je kočenje započelo u 17. sekundi te je završilo u 19,8 sekundi. Najveće zabilježeno usporenje iznosilo je 4,9 m/s² te je izmjereno u 17,2 sekundi.



Slika 21 Grafički prikaz 1. mjerenja za MS ENERGY m10 pri brzini od 25 km/h

6.1.3. Ninebot MAX G2

Tijekom testiranja osobnog prijevoznog sredstva Ninebot MAX G2 zabilježeno je osam mjerenja, odnosno po dva mjerenja za svaku od testiranih brzina.

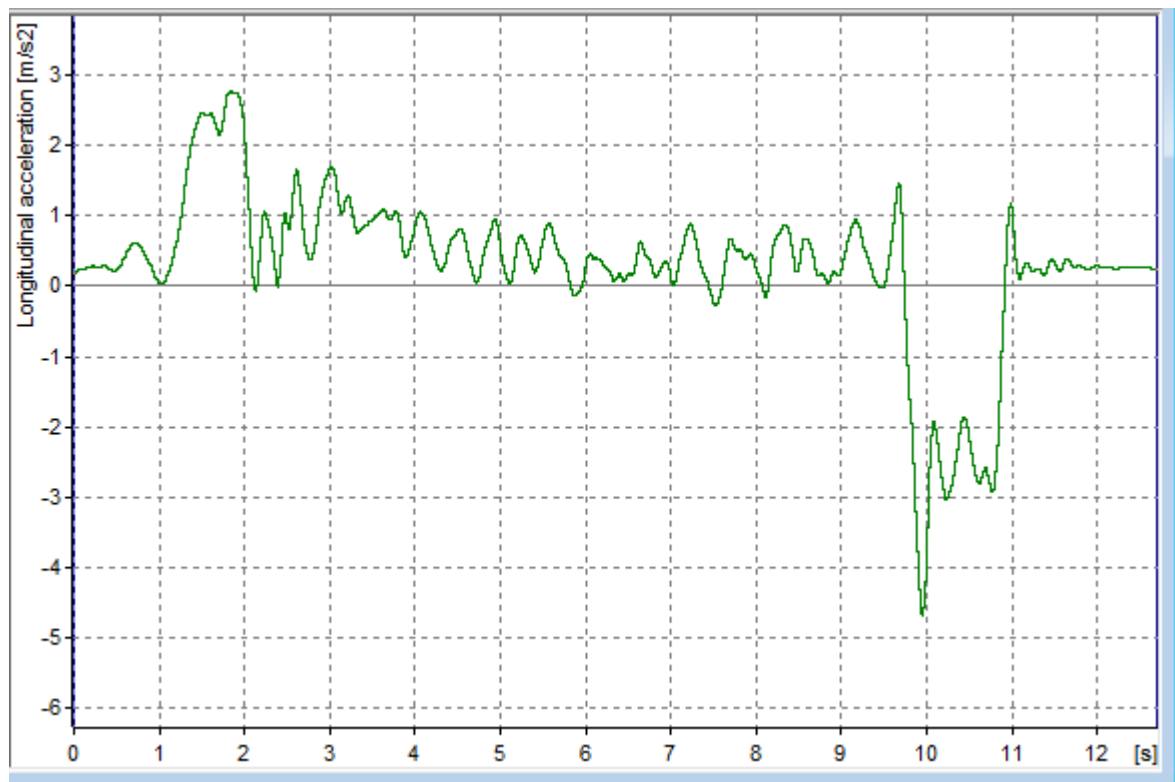
1. Ispitivanje usporenja pri brzini od 10 km/h

Za testiranje pri brzini od 10 km/h provedena su dva mjerenja. Sve dobivene srednje vrijednosti prikazane su tablicom ispod (Tablica 13). Postignute brzine iznosile su 11,8 i 11,91 km/h. Veće usporenje postignuto je pri prvom testiranju te je iznosilo $2,99 \text{ m/s}^2$ te je shodno tomu imalo i manji ukupni put kočenja koji je iznosio 1,72m. Kako je pri drugom testiranju postignuto srednje usporenje od $2,95 \text{ m/s}^2$, ali i pri većoj brzini, put kočenja bio je dulji te je iznosio 1,89m.

Tablica 13 Podaci za Ninebot MAX G2 pri brzini od 10 km/h

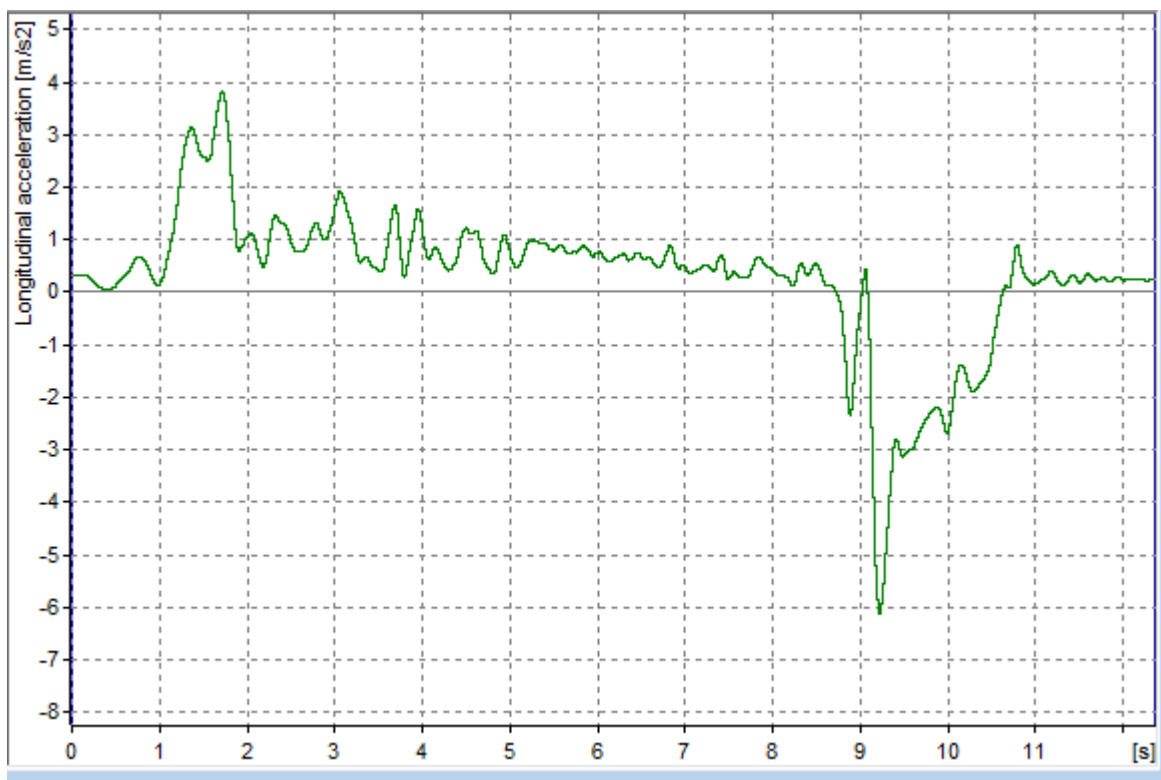
10 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s^2]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	11,8	2,99	1,2	1,72
2. testiranje	11,91	2,95	1,16	1,89
Srednja vrijednost	11,86	2,97	1,18	1,81

Slikom 22 prikazan je grafički prikaz 1. testiranja pri brzini od 11,80 km/h. Uočljivo je da je kočenje započelo u 9,8 sekundi te da je završilo u 11. sekundi. Najveće postignuto usporenje iznosi $4,8 \text{ m/s}^2$ te je izmjereno u 9,9 sekundi.



Slika 22 Grafički prikaz 1. testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 10 km/h

Dok slika 23 prikazuje grafički prikaz 2. testiranja usporenja pri brzini od 11,91 km/h. Kočenje je započelo u 9. sekundi te je završilo u 11. sekundi. Najveće postignuto usporenje iznosilo je $6,1 \text{ m/s}^2$ te je izmjereno u 9,3 sekundi.



Slika 23 Grafički prikaz 2. testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 10 km/h

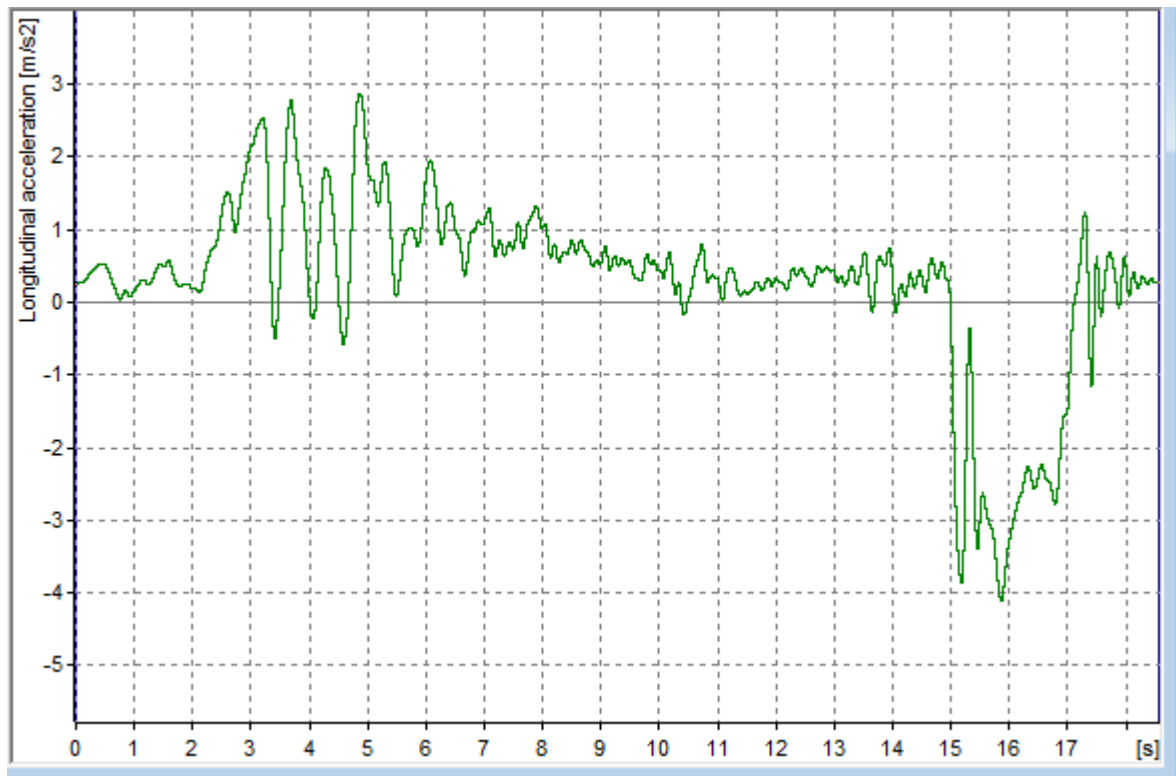
2. Ispitivanje usporenja pri brzini od 15 km/h

Također, pri testiranoj brzini od 15 km/h provedena su dva testiranja. Postignute brzine su iznosile 15,79 i 16,31 km/h. Veće usporenje postignuto je pri većoj brzini te je iznosilo 3,36 m/s², shodno tomu put kočenja je bio već te je iznosio 3,70m, dok je vrijeme kočenja iznosilo 1,77s. Pri brzini od 15,79 km/h prosječno usporenje iznosilo je 3,05 m/s². Put kočenja je iznosio 3,32m, a vrijeme trajanja kočenja 1,46s.

Tablica 14 Podaci testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 15 km/h

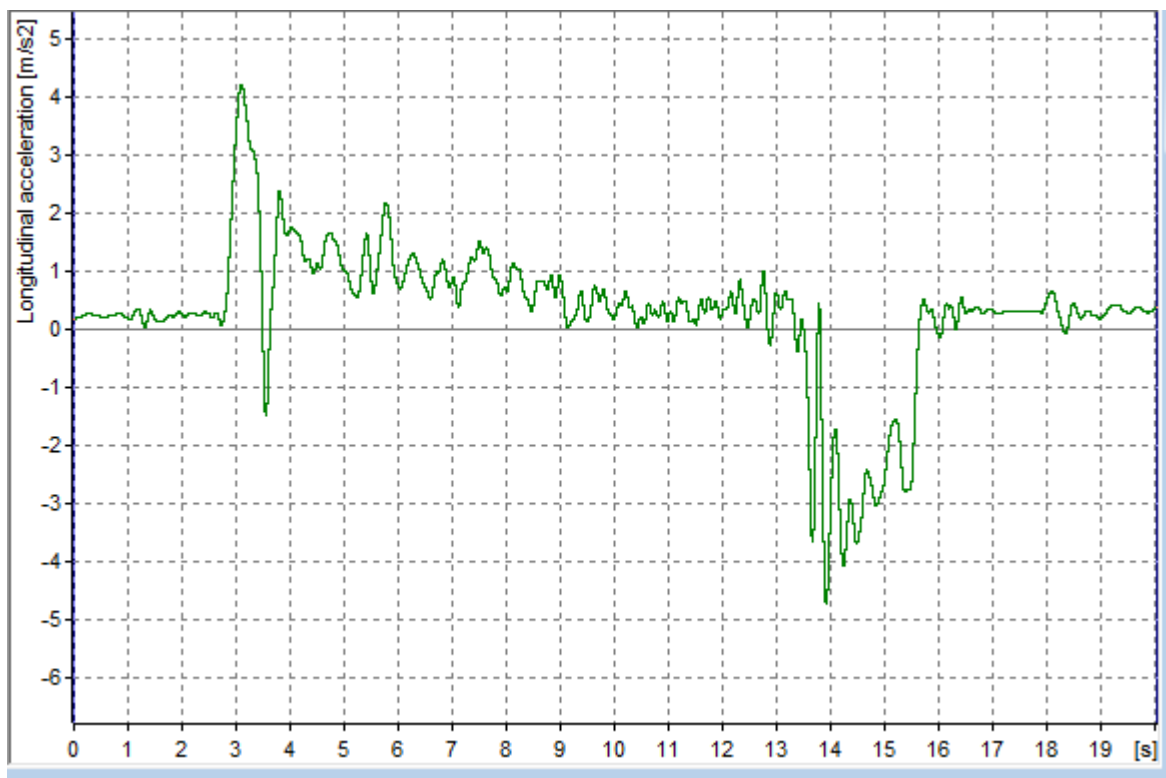
15 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	15,79	3,05	1,46	3,32
2. testiranje	16,31	3,36	1,77	3,7
Srednja vrijednost	16,05	3,21	1,62	3,51

Slikom ispod (Slika 24) prikazuje 1. testiranje pri brzini od 15,79 km/h. Vidljivo je kako je kočenje započelo u 15. sekundi a završilo poslije 17. sekunde. Najveće usporenje iznosilo je 4,1 m/s² te je izmjereno u 15,9 sekundi.



Slika 24 Grafički prikaz 1. testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 15 km/h

Slikom 25 prikazano je 2. testiranje pri brzini od 16,31 km/h. Uočljivo je kako je kočenje započelo 13,9. sekundi te je završilo u 16. sekundi. Najveće postignuto usporenje iznosilo je 4,8 m/s², a postignuto je u 13,9 sekundi.



Slika 25 Grafički prikaz 2. testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 15 km/h

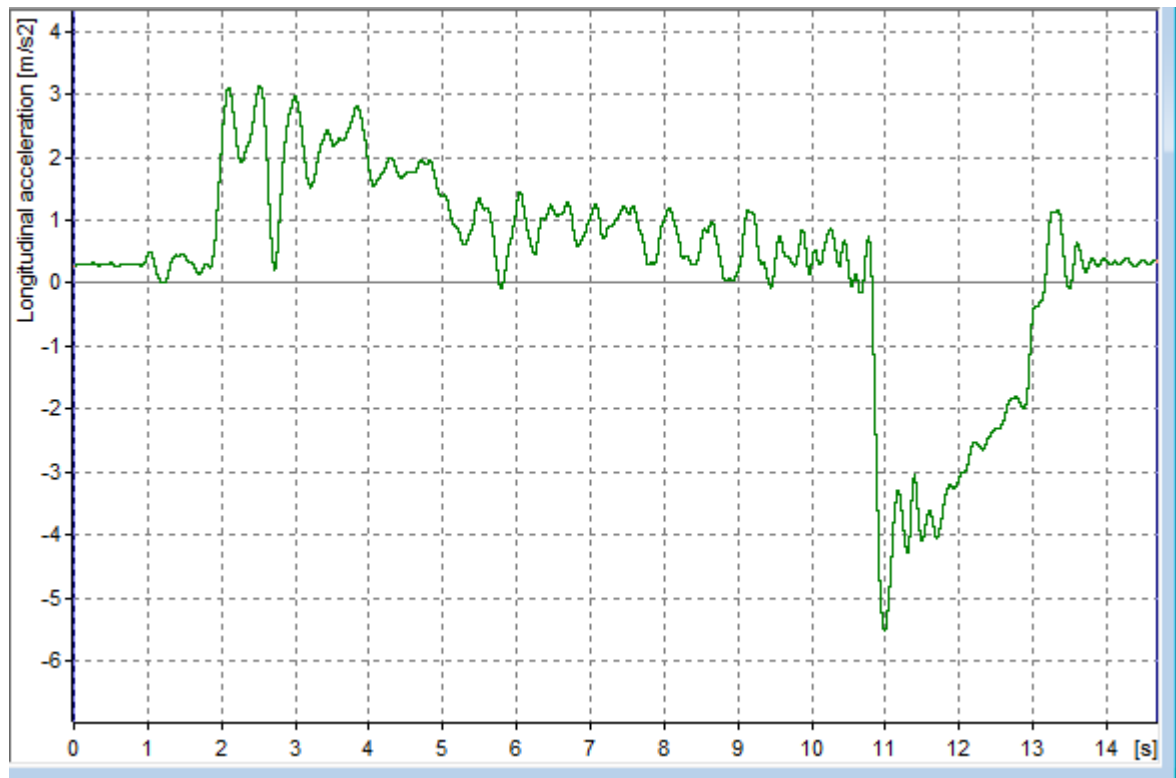
3. Ispitivanje usporenja pri brzini od 20 km/h

Prilikom provedenih testiranja postignute su brzine 21,34 i 22,08 km/h te su zabilježena dva grafa. Veće usporenje postignuto je pri manjoj brzini te je iznosilo 3,28 m/s² te put kočenja pri tom usporenju iznosio 5,8m, a vrijeme kočenja iznosilo je 2,04s. Dok je pri većoj brzini od 22,08 km/h postignuto usporenje od 3,21 m/s², ali na znatno duljem putu kočenja od 7,21m.

Tablica 15 Podaci testiranja za Ninebot MAX G2 za brzinu od 20 km/h

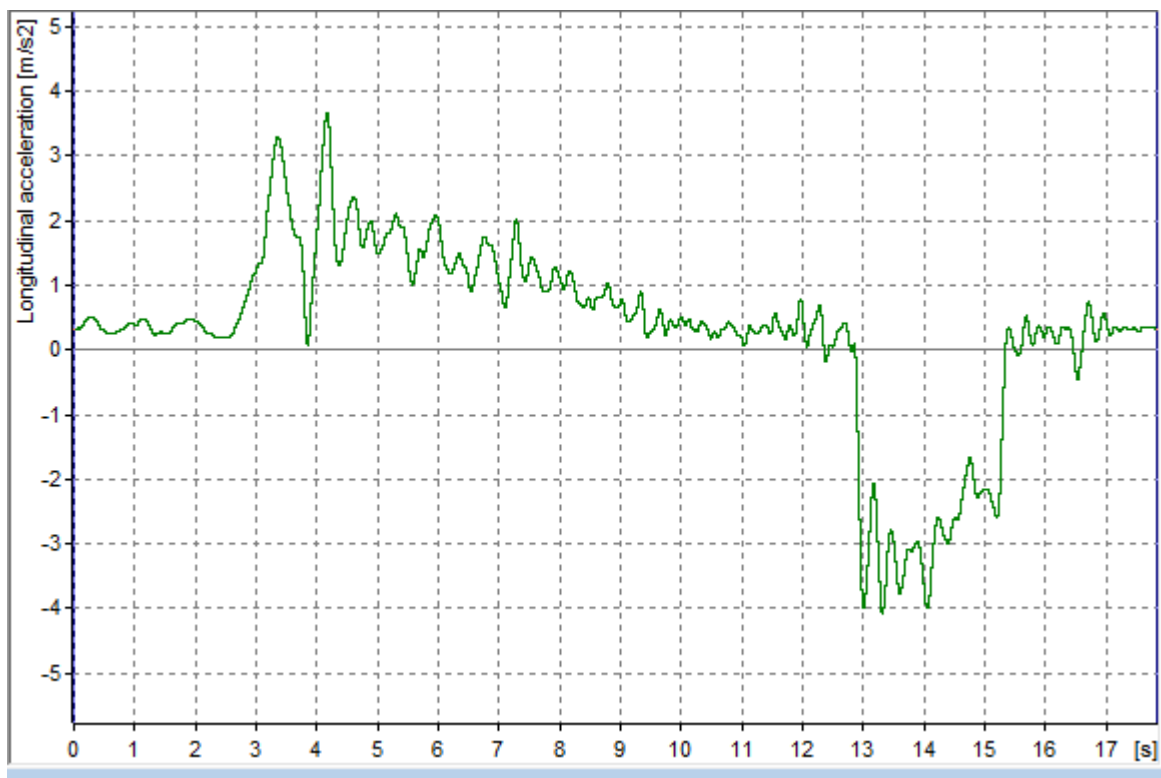
20 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	21,34	3,28	2,04	5,8
2. testiranje	22,08	3,21	2,23	7,21
Srednja vrijednost	21,71	3,25	2,14	6,51

Slikom 26 prikazan je grafikon za 1. testiranje pri brzini od 21,34 km/h. Uočljivo je kako je kočenje počelo 10,8 sekundi te je završilo u 13,2 sekundi. Najveće usporenje iznosilo je 5,5 m/s² te je izmjereno u 11. sekundi.



Slika 26 Grafički prikaz 1. testiranja za Ninebot MAX G2 za brzinu od 20 km/h

Slikom 27 prikazano je drugo testiranje pri brzini od 22,08 km/h. Kočenje je započelo u 12,8 sekundi, a završilo je u 15,3 sekundi. Najveće postignuto usporenje izmjereno je u 13,3 sekundi te je iznosilo 4,1 m/s².



Slika 27 Grafički prikaz 2. mjerenja Ninebot MAX G2 za brzinu od 20 km/h

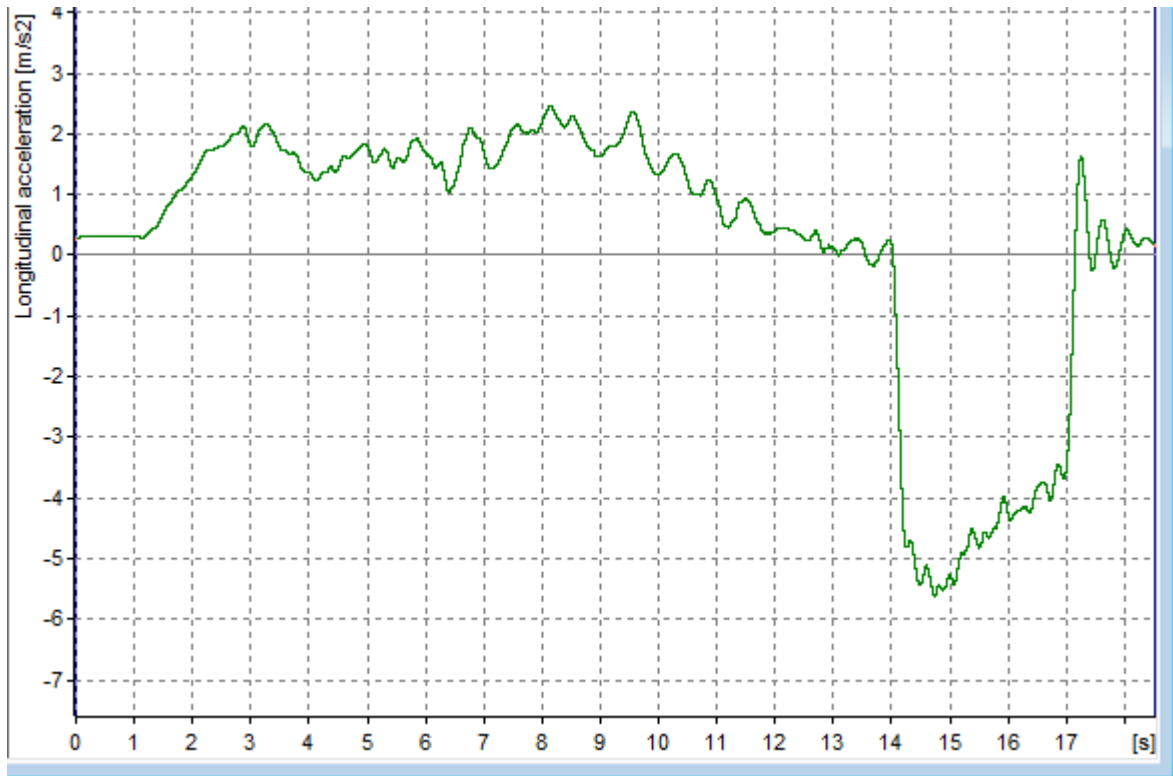
4. Ispitivanje usporenja pri brzini od 25 km/h

Za brzinu od 25 km/h provedena su također dva testiranja, ali je zabilježen samo jedan graf. Postignute brzine iznosile su 26,64 i 27,48 km/h. Veće usporenje postignuto je pri manjoj brzini te je iznosilo 3,76 m/s dok je put kočenja bio 6,85m. Pri većoj brzini postignuto je manje usporenje, ali na dužem putu kočenja koji je iznosio 8,53m.

Tablica 16 Podaci testiranja za Ninebot MAX G2 za brzinu od 25 km/h

25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	26,64	3,76	2,14	6,85
2. testiranje	27,48	3,41	2,41	8,53
Srednja vrijednost	27,06	3,59	2,28	7,69

Slikom 28 prikazano je usporenje za 1. testiranje pri brzini od 26,64 km/h. Nakon postignute brzine kočenje je započelo u 14. sekundi te je završilo u 17. sekundi. Najveće izmjereno usporenje iznosilo je 5,7 m/s² te je izmjereno u 14,7 sekundi.



Slika 28 Grafički prikaz 1. testiranja Ninebot MAX G2 za brzinu od 25 km/h

6.1.4. Ninebot F25E

Tijekom testiranja Ninebot F25E zabilježeno je šest mjerenja i grafova. Prilikom testiranja pri brzini od 15 km/h XL Meter™ nije mogao spremati srednje vrijednosti podataka kretanja niti točne grafove, stoga će analizirane brzine biti 10, 20 i 25 km/h.

1. Ispitivanje usporenja pri brzini od 10 km/h

Pri testiranoj brzini od 10 km/h provedena su dva mjerenja. Postignute brzine iznosile su 10,48 i 11,12 km/h. Pri većoj brzini postignuto je veće usporenje koje je iznosilo 3,72 m/s², put kočenja iznosio je 1,55m dok je vrijeme trajanja kočenja iznosilo nešto više od 1s, odnosno 1.01 sekundu. Pri brzini od 10,48 km/h usporenje je iznosilo 2,99 m/s², put kočenja bio je gotovo identičan putu kočenja pri većoj brzini te je iznosio 1,54m, a vrijeme kočenja trajalo je 1,06s. Prosječne vrijednosti izmjerenih podataka prikazane su tablicom ispod (Tablica 17).

Tablica 17 Podaci testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 10 km/h

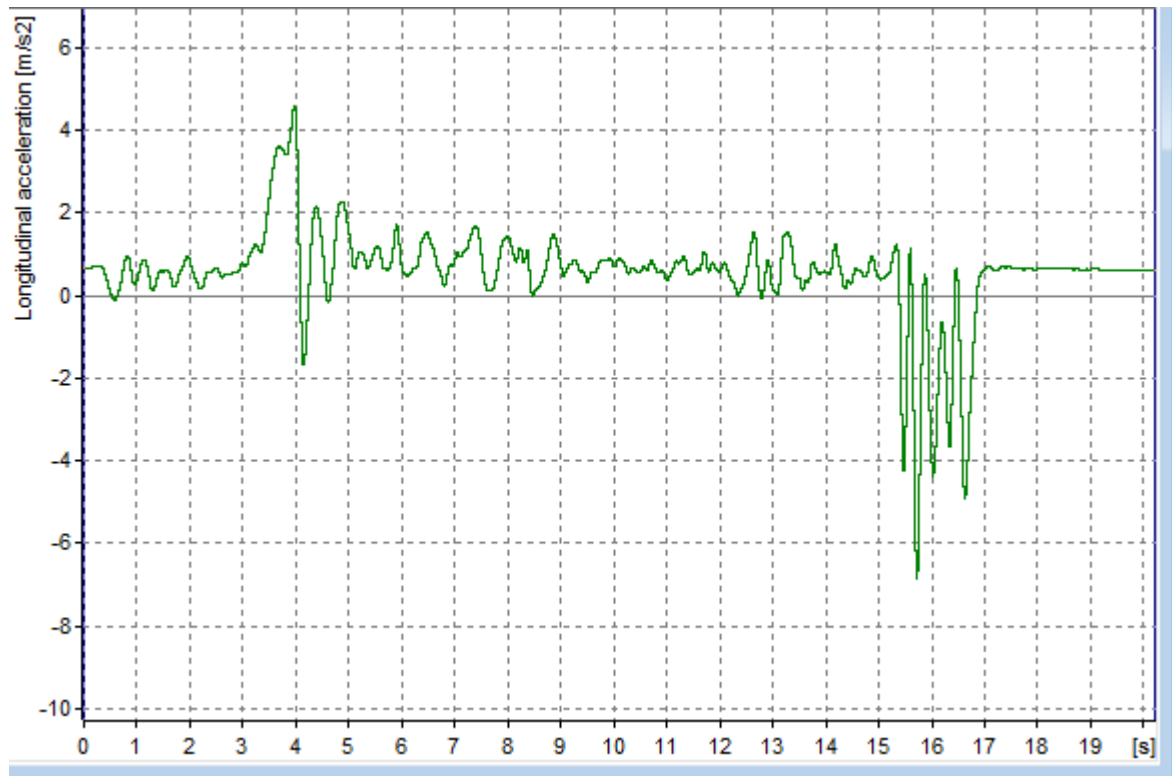
10 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	10,48	2,99	1,06	1,54
2. testiranje	11,12	3,72	1,01	1,55
Srednja vrijednost	10,80	3,36	1,04	1,55

Slikom ispod (Slika 29) prikazano je 1. testiranje za Ninebot F25E pri brzini od 10,48 km/h. Vidljivo je kako je kočenje započelo u 14,9 sekundi te je završilo u 16,5 sekundi. Najveće postignuto usporenje izmjereno je u 15,3 sekundi te je iznosilo 6,1 m/s².



Slika 29 Grafički prikaz 1. testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 10 km/h

Slikom 30 prikazan je graf usporenja za 2. testiranje pri brzini od 11,12 km/h. Iz grafa je vidljivo kako je najveće usporenje 6,4 m/s² te je izmjereno u 15,7 sekundi. Kočenje je započelo 15,3 sekundi te je završilo u 17. sekundi.



Slika 30 Grafički prikaz 2. testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 10 km/h

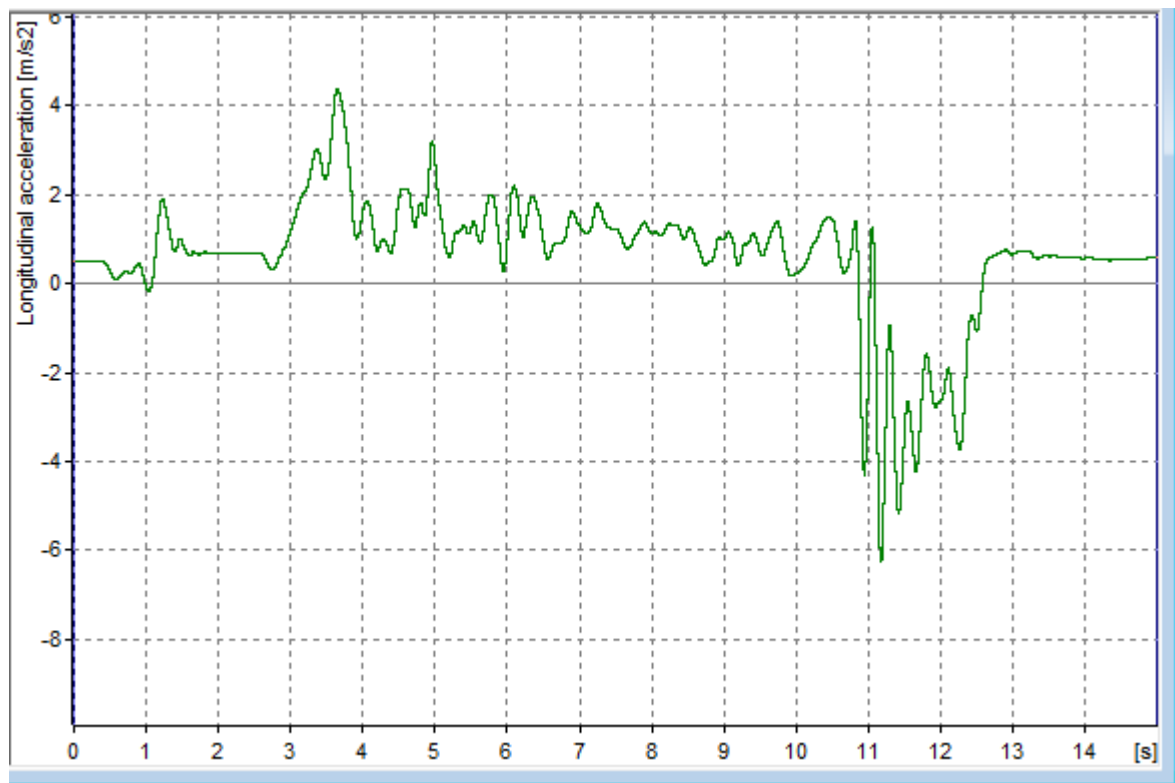
2. Ispitivanje usporenja pri brzini od 20 km/h

Za brzinu od 20 km/h, također su zabilježena dva testiranja. Postignute brzine iznosile su 19,58 i 19,21 km/h. Veće usporenje postignuto je pri brzini od 19,58 km/h te je ono iznosilo 3,57 m/s². Put kočenja iznosio je 4,28m a vrijeme trajanja kočenja 1,67s. Pri brzini od 19,21 km/h, usporenje je iznosilo 2,70 m/s² na nešto većem putu kočenja od 5,23m. Vrijeme trajanja kočenja drugog testiranja iznosilo je 2,03 sekunde. Navedene srednje vrijednosti prikazane su tablicom ispod (Tablica 18).

Tablica 18 Podaci testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 20 km/h

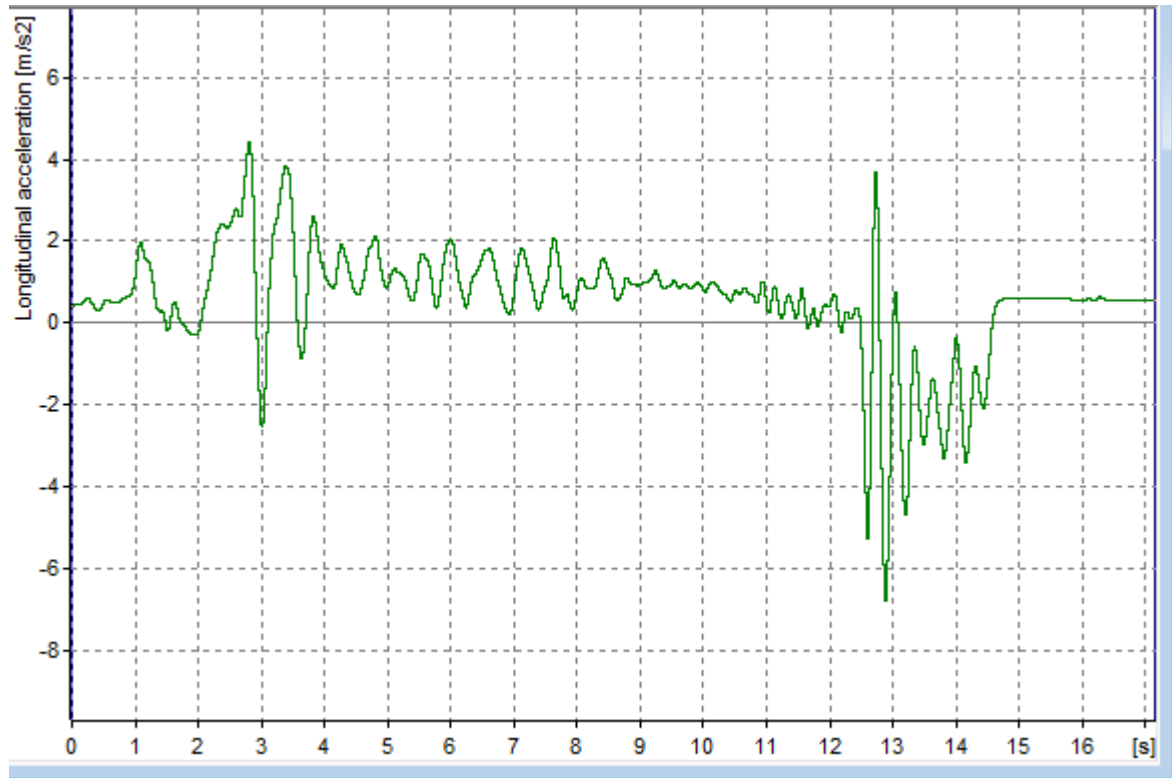
20 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	19,58	3,57	1,67	4,28
2. testiranje	19,21	2,7	2,03	5,23
Srednja vrijednost	19,40	3,14	1,85	4,76

Slikom 31 prikazano je usporenje 1. testiranja pri brzini od 19,21 km/h. Uočljivo je kako je kočenje započelo u 11. sekundi te je završilo u 12,6 sekundi. Najveće usporenje izmjereno je u 11,2 sekundi te je iznosilo 6,2 m/s²



Slika 31 Grafički prikaz 1. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 20 km/h

Slikom 32 prikazano je 2. testiranje pri brzini od 19,21 km/h. Najveće izmjereno usporenje iznosilo je $6,4 \text{ m/s}^2$, a izmjereno je u 12,9 sekundi. Kočenje je započelo u 12,7 sekundi te je završilo 14,6 sekundi.



Slika 32 Grafički prikaz 2. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 20 km/h

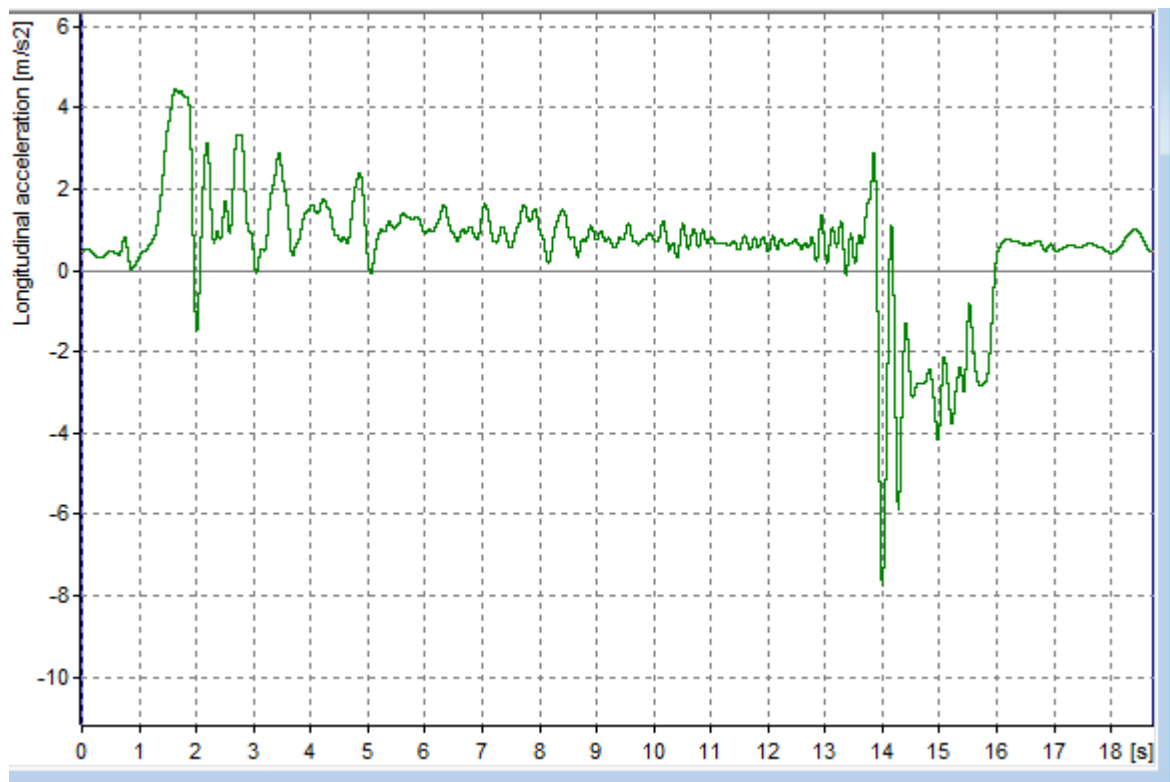
3. Ispitivanje usporenja pri brzini od 25 km/h

Postignute dvije brzine iznosile su 26,39 i 23,78 km/h. Veće usporenje postignuto je pri većoj brzini te je iznosilo $3,70 \text{ m/s}^2$. Put kočenja za navedenu brzinu iznosio je 6,88m, a vrijeme kočenja trajalo je 2,03s. Pri brzini od 23,78 km/h postignuto je usporenje od $2,85 \text{ m/s}^2$ na znatno dužem zaustavnom putu od 7,52m.

Tablica 19 Podaci testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h

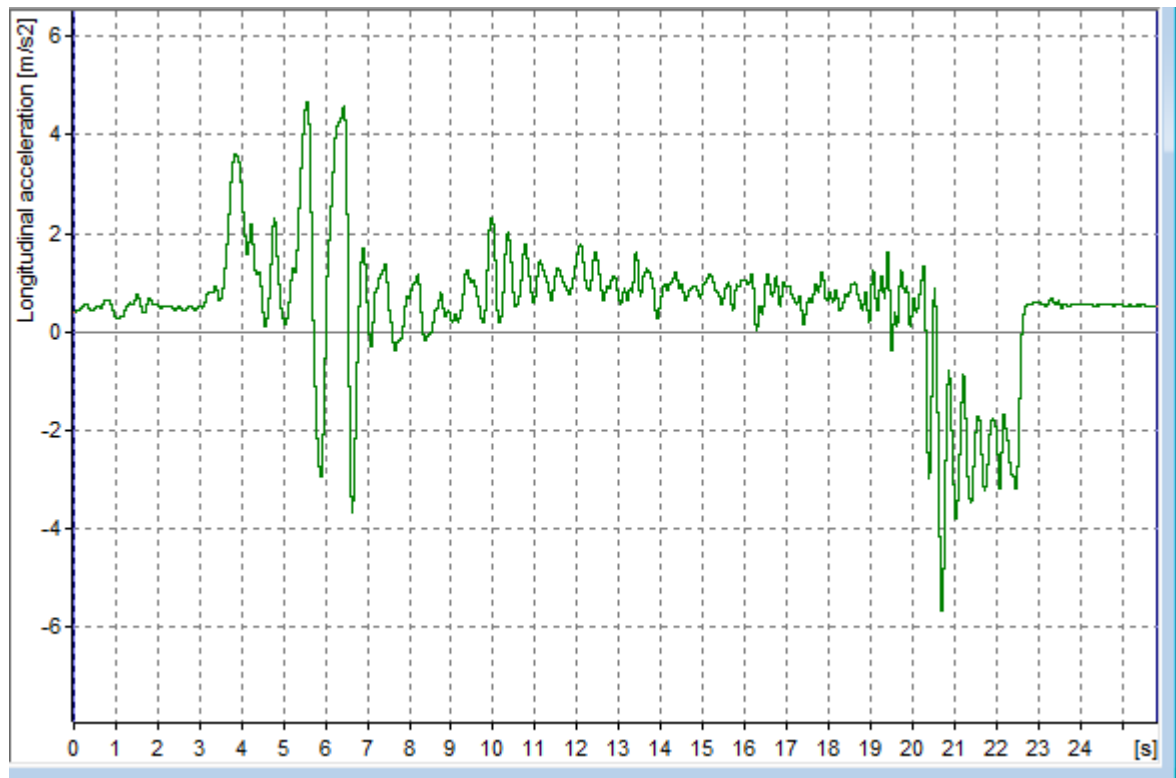
25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	26,39	3,7	2,03	6,88
2. testiranje	23,78	2,85	2,26	7,52
Srednja vrijednost	25,09	3,28	2,15	7,20

Slika 33 prikazuje usporenje 1. testiranja pri brzini od 25 km/h. Iz grafa je vidljivo kako je kočenje započelo u 13,8 sekundi, a završilo je u 16. sekundi. Najveće izmjereno usporenje iznosilo je 7,9 m/s² te je izmjereno u 14. sekundi.



Slika 33 Grafički prikaz 1. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h

Slikom 34 prikazano je usporenje pri brzini od 23,78 km/h. Najveće izmjereno usporenje postignuto je u 20,6 sekundi te je iznosilo 5,8 m/s². Kočenje je započelo u 20,2 sekundi te je završilo u 22,7 sekundi.



Slika 34 Grafički prikaz 2. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h

6.1.5. Konsolidacija rezultata na suhom kolniku

Tablica 20 omogućuje usporedbu učinkovitosti kočenja među testiranim modelima osobnih prijevoznih sredstava pri različitim brzinama. Za svaku brzinu dato je srednje postignuto usporenje svih provedenih testiranja. Uviđa se kako porastom brzine dolazi do porasta usporenja, tako da usporenje pri brzinama od 20 i 25 km/h za sva osobna prijevozna sredstva prelazi iznad 3 m/s². Interval usporenja osobnih prijevoznih sredstava na suhom kolniku kreće se od 2,39 do 3,59 m/s².

Tablica 20 Sveobuhvatni prikaz usporenja na suhom kolniku

OSOBNJA PRIJEVOZNA SREDSTVA	SREDNJE USPORENJE PRI TESTIRANIM BRZINAMA [m/s ²]			
	10 km/h	15 km/h	20 km/h	25 km/h
Mi Scooter 365	2,90	2,78	3,49	3,48
MS ENERGY m10	2,70	2,39	3,17	3,03
Ninebot MAX G2	2,97	3,21	3,25	3,59
Ninebot F25E	3,36	/	3,14	3,28

Tablicom 21 prikazan je srednji put kočenja za svako osobno prijevozno sredstvo pri testiranim brzinama na suhom kolniku. Uočljivo je kako s porastom brzine, također raste i put kočenja. Tako pri maksimalnoj brzini kretanja osobnih prijevoznih sredstava srednji put kočenja iznosi 9,25m.

Tablica 21 Sveobuhvatni prikaz puta kočenja na suhom kolniku

OSOBNJA PRIJEVOZNA SREDSTVA	PUT KOČENJA PRI TESTIRANIM BRZINAMA [m]			
	10 km/h	15 km/h	20 km/h	25 km/h
Mi Scooter 365	1,47	2,82	5,96	13,41
MS ENERGY m10	1,32	3,55	5,37	8,69
Ninebot MAX G2	1,81	3,51	6,51	7,69
Ninebot F25E	1,55	/	4,76	7,2

6.2. Rezultati ispitivanja na mokrom asfaltu

Pri testiranju na mokrom asfaltu korištena su tri osobna prijevozna sredstva Ninebot MAX G2, MS ENERGY m10 te Ninebot F25E. Svaki od navedenih osobnih prijevoznih sredstava testiran je samo pri maksimalnoj dopuštenoj brzini kretanja, odnosno pri brzini od 25 km/h.

6.2.1. Ninebot MAX G2

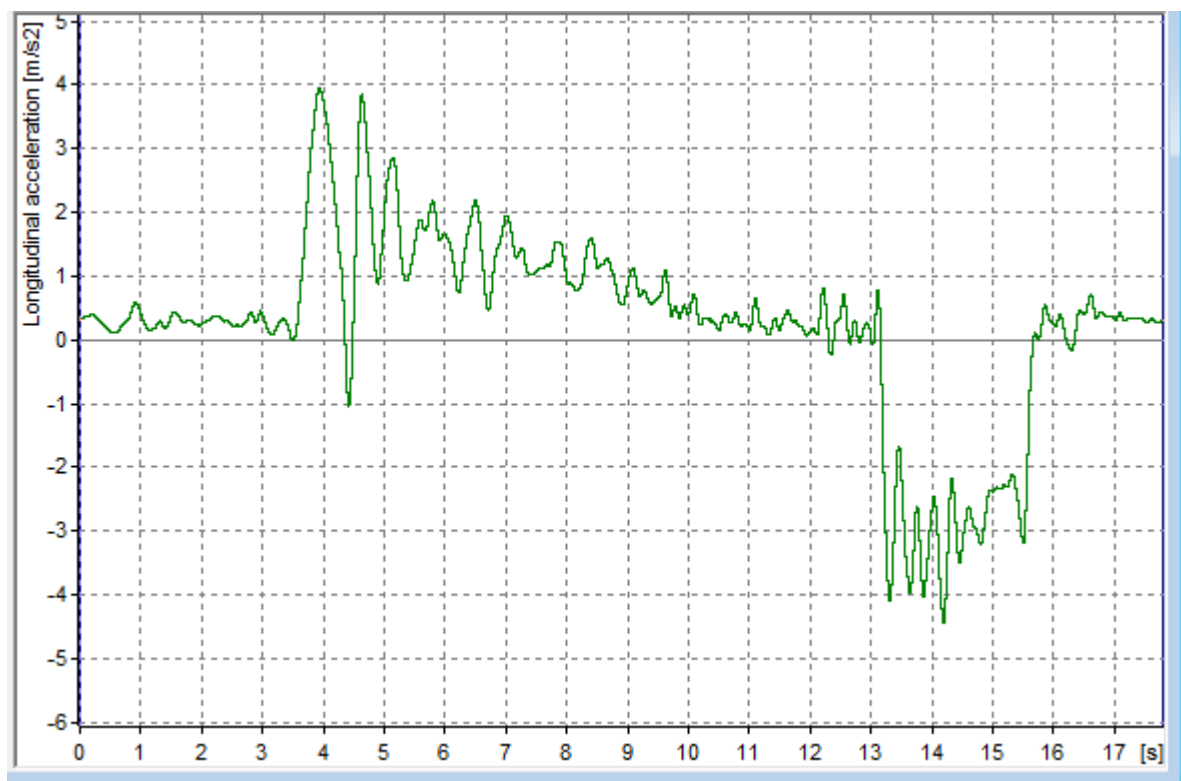
Tijekom testiranja Ninebot MAX G2 osobnog prijevoznog sredstva na mokrom asfaltu zabilježeno je samo jedno mjerenje pri brzini od 25 km/h. Postignuta brzina pri testiranju iznosila je 27,96 km/h. Usporenje je iznosilo 3,40 m/s², a put kočenja bio je 10,18m. Vrijeme trajanja kočenja iznosilo je 2,59s. Navedeni podaci prikazani su tablicom ispod (Tablica 22).

Prilikom kočenja na mokrom asfaltu nije došlo do blokiranja kotača, iako Ninebot MAX G2 posjeduje sustav kontrole za proklizavanje.

Tablica 22 Podaci testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 25 km/h na mokrom asfaltu

25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	27,96	3,4	2,59	10,18

Slikom 35 prikazano je usporenje Ninebot MAX G2 na mokrom asfaltu. Također, grafički prikaz daje točne vrijednosti usporenja izmjerene u vremenu manjem od jedne sekunde. Tako je najveće zabilježeno usporenje iznosilo 4,5 m/s² te je izmjereno u 14,2 sekundi. Kočenje je započelo 13,2 sekundi te završilo u 16. sekundi.



Slika 35 Grafički prikaz 1. testiranja Ninebot MAX G2 za brzinu od 25 km/h

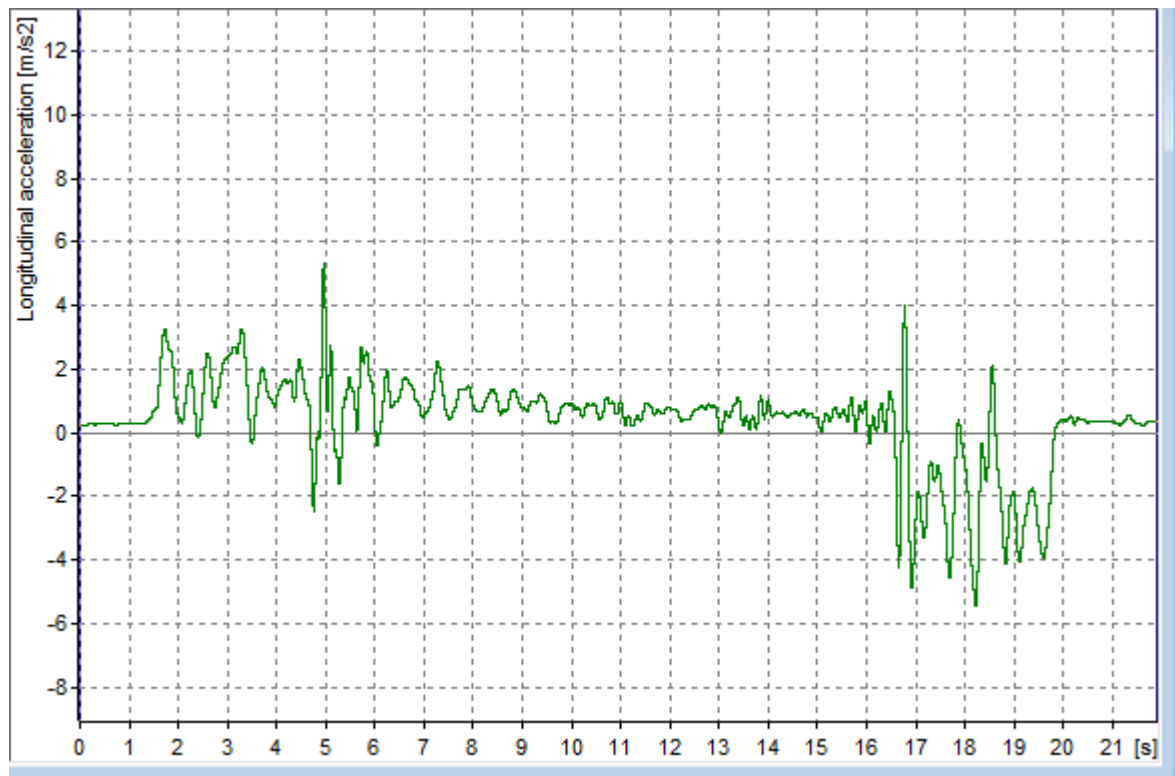
6.2.2. MS ENERGY m10

Prilikom testiranja osobnog prijevoznog sredstva MS ENERGY m10 zabilježena su dva testiranja za brzinu od 25 km/h. Postignute brzine bile su 27,33 i 25,26 km/h. Iako su pri oba testiranja usporenja izrazito slična, put kočenja je duži pri brzini od 27,33 km/h te je iznosio 20,96m, dok je put kočenja pri brzini od 25,26 km/h bio kraći za 2m te je iznosio 18,98m. Zabilježene srednje vrijednosti podataka prikazane su tablicom ispod (Tablica 23).

Tablica 23 Podaci testiranja za MS Energy m10 na mokrom asfaltu pri brzini od 25 km/h

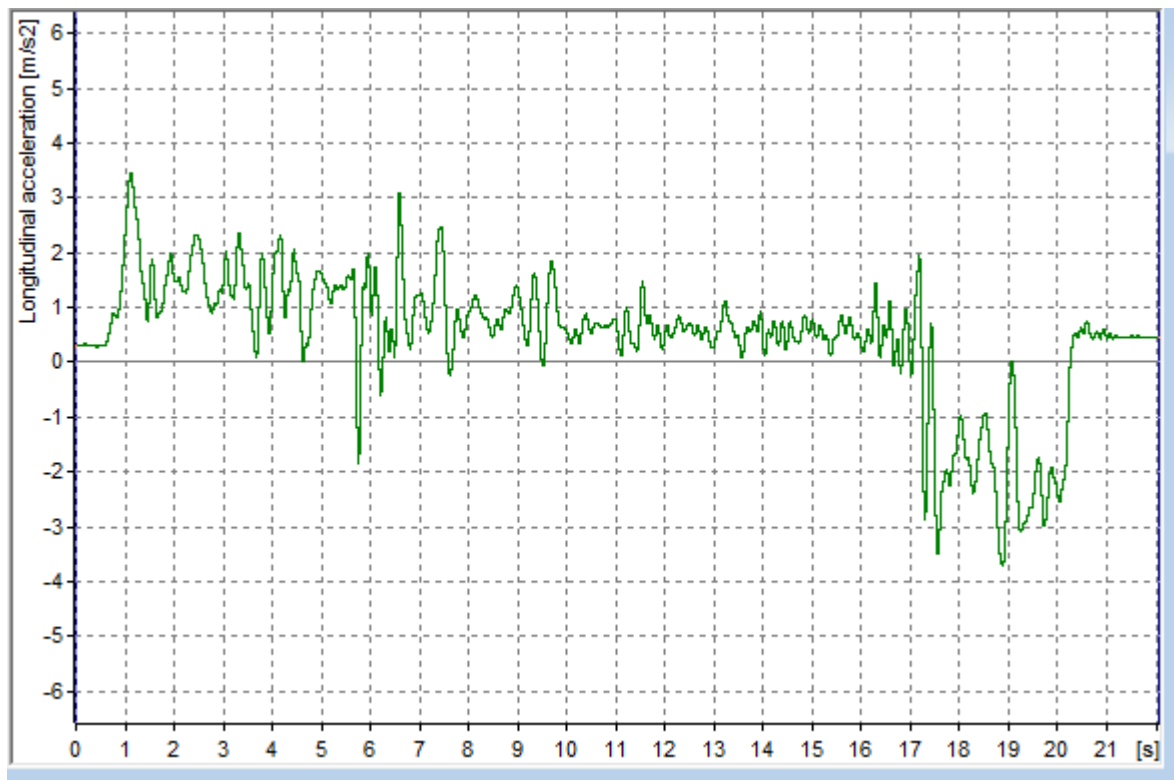
25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	27,33	2,36	4,17	20,96
2. testiranje	25,26	2,37	4,00	18,96
Srednja vrijednost	26,30	2,37	4,09	19,96

Na grafičkom prikazu ispod (Slika 36) prikazano je usporenje 1. testiranja na mokrom asfaltu za MS Energy m10 pri brzini od 27,33 km/h. Najveće usporenje iznosilo je 5,5 m/s² te je izmjereno u 18,2 sekundi. Kočenje je započelo u 16,8 sekundi te je završilo u 20. sekundi.



Slika 36 Grafički prikaz 1. testiranja MS Energy za brzinu od 25 km/h

Slikom 37 prikazano je usporenje pri brzini od 25,26 km/h. Najveće izmjereno usporenje iznosilo je $3,7 \text{ m/s}^2$ te je izmjereno u 18,9 sekundi. Kočenje je započelo u 17,2 sekundi, a završilo u 20,3 sekundi.



Slika 37 Grafički prikaz 2. testiranja MS Energy m10 za brzinu od 25 km/h

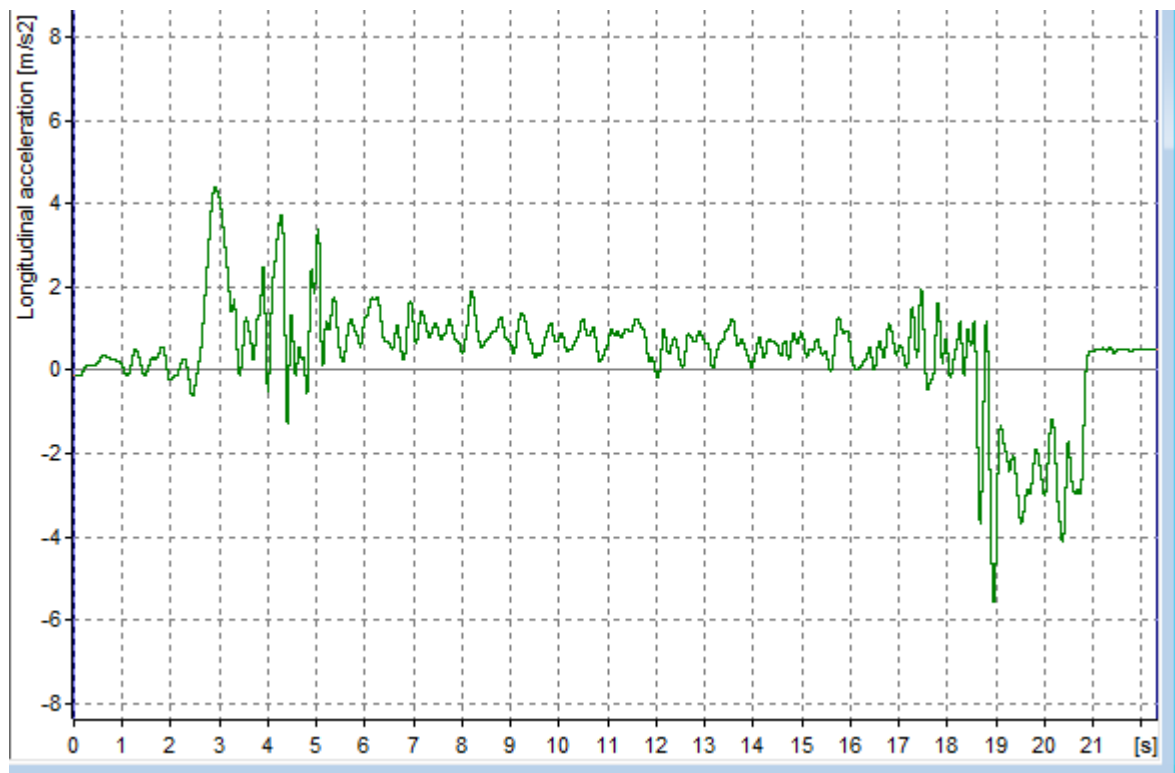
6.2.3. Ninebot F25E

Tijekom testiranja Ninebot F25E osobnog prijevoznog sredstva zabilježena su također dva testiranja za brzinu od 25 km/h. Postignute brzine iznosile su 19,60 i 24,25 km/h. Veće usporenje postignuto je pri brzini od 19,60 km/h te je iznosilo $3,06 m/s^2$ dok je put kočenja iznosio 4,92m. Pri većoj brzini od 24,25 km/h usporenje je iznosilo $2,90 m/s^2$, a put kočenja bio je duži te je iznosio 7,64m. Srednje vrijednosti podataka prikazane su tablicom ispod (Tablica 24)

Tablica 24 Podaci testiranja za Ninebot F25E na mokrom asfaltu za brzinu od 25 km/h

25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	19,6	3,06	1,79	4,92
2. testiranje	24,25	2,9	2,23	7,64
Srednja vrijednost	21,93	2,98	2,01	6,28

Slikom 38 prikazano je 2. testiranje za Ninebot F25E pri brzini od 24,25 km/h. Postignuto najveće usporenje iznosilo je 5,8 m/s² te je izmjereno u 18,9 sekundi. Kočenje je započelo u 18,7 sekundi te je završilo u 21. sekundi.



Slika 38 Grafički prikaz 2. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h

6.2.4. Konsolidacija rezultata na mokrom asfaltu

Kako su na mokrom asfaltu osobna prijevozna sredstva testirana samo pri brzini od 25 km/h tablicom ispod (Tablica 25) prikazani su podaci srednjeg usporenja za svako testirano osobno prijevozno sredstvo te put kočenja. Interval usporenja na mokrom asfaltu kreće se od 2,37 do 3,4 m/s². Rezultati prikazuju kako interval usporenja na mokrom asfaltu ne odstupa od intervala usporenja na suhom asfaltu. Ali zato je put kočenja na mokrom asfaltu znatno duži. Put kočenja na mokrom asfaltu pri brzini od 25 km/h je 32,32% duži od puta kočenja na suhom asfaltu pri brzini od 25 km/h.

Tablica 25 Sveobuhvatni prikaz usporenja na mokrom asfaltu

OSOBNJA PRIJEVOZNA SREDSTVA	SREDNJE USPORENJE PRI BRZINI 25 km/h	PUT KOČENJA [m]
Ninebot MAX G2	3,4	10,18
MS ENERGY m10	2,37	19,96
Ninebot F25E	2,98	6,28

6.3. Rezultati ispitivanja tyregrip podlozi

Tyregrip podloga je protuklizna podloga koja se ugrađuje na kolnički zastor, a za zadatak ima povećati stabilnost prilikom usporavanja i zaustavljanja. U poglavlju prikazani su rezultati ispitivanja na suhoj te na mokroj tyregrip podlozi.

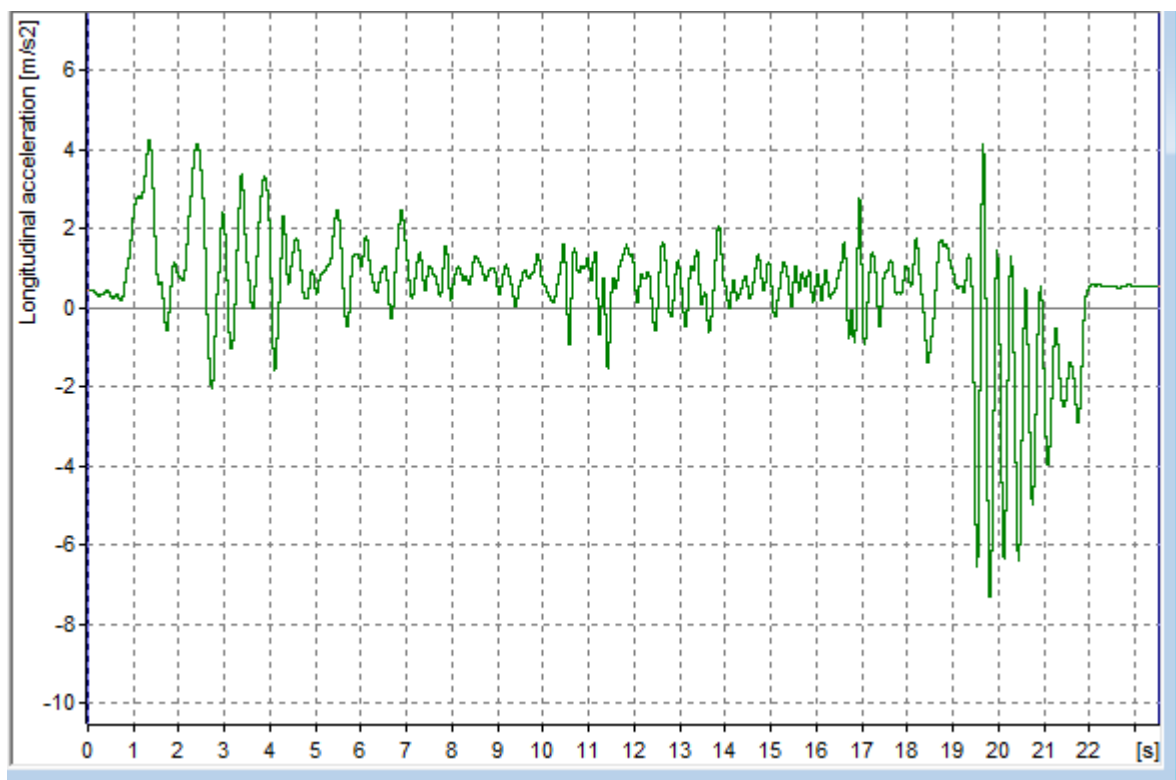
6.3.1. Rezultati ispitivanja na suhoj tyregrip podlozi

Na suhoj tyregrip podlozi testirano je samo jedno osobno prijevozno sredstvo Ninebot F25E. Tijekom testiranja zabilježeno je jedno mjerenje. Postignuta brzina iznosila je 24,31 km/h, usporenje 2,75 m/s² dok je put kočenja iznosio 7,78m. Navedeni podaci prikazani su tablicom (Tablica 26).

Tablica 26 Podaci testiranja za Ninebot F25E na suhoj tyregrip podlozi za brzinu od 25 km/h

25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	24,31	2,75	2,41	7,78

Slikom 39 prikazano je usporenje Ninebot F25E na suhoj tyregrip podlozi pri brzini od 24,31 km/h. Kočenje je započelo u 19,4 sekundi te je završilo u 22. sekundi. Najveće izmjereno usporenje iznosilo je 7,2 m/s² te je zabilježeno u 19,8 sekundi.



Slika 39 Grafički prikaz usporenja Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h

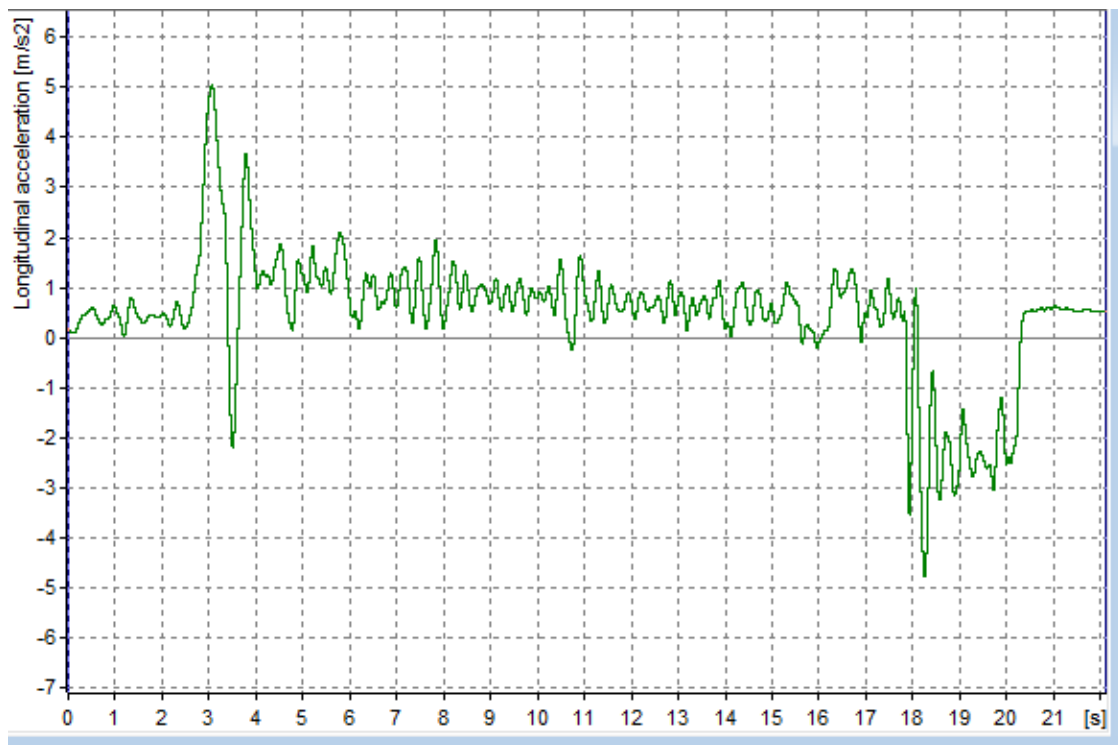
6.3.2. Rezultati ispitivanja na mokroj tyregrip podlozi

Na mokroj tyregrip podlozi također je bio testiran Ninebot F25E te je zabilježeno jedno mjerenje. Postignuta brzina iznosila je 24,24 km/h, usporenje je iznosilo 2,79 m/s² dok je put kočenja bio nešto duži nego na suhoj tyregrip podlozi te je iznosio 8,68m. Podaci su prikazani tablicom ispod (Tablica 27).

Tablica 27 Podaci testiranja za Ninebot F25E na mokroj tyregrip podlozi za brzinu od 25 km/h

25 km/h	Brzina kretanja vozila [km/h]	Usporenje [m/s ²]	Vrijeme trajanja kočenja [s]	Put kočenja [m]
1. testiranje	24,24	2,79	2,47	8,68

Slikom 40 prikazano je usporenje osobnog prijevoznog sredstva Ninebot F25E na mokroj tyregrip podlozi pri brzini od 24,24 km/h. Uočljivo je kako je kočenje započelo u 17,8 sekundi te je završilo u 20,3 sekundi. Najveće zabilježeno usporenje iznosilo je 4,8 m/s² te je zabilježeno u 18,3 sekundi.



Slika 40 grafički prikaz 1. testiranja Ninebot F25E brzinu od 25 km/h

6.3.3. Konsolidacija rezultata na tyregrip podlozi

Usporednim prikazom usporenja na suhoj i mokroj tyregrip podlozi (Tablica 28) uočljivo je kako usporenja pri maksimalnoj brzini ne odstupaju jedno od drugog. Što se tiče puta kočenja, na mokroj tyregrip podlozi pri maksimalnoj brzini, on je 11,57% veći od puta kočenja na suhoj tyregrip podlozi, također pri maksimalnoj brzini.

Tablica 28 Sveukupni prikaz usporenja na tyregrip podlozi

OSOBN PRIJEVOZNO SREDSTVO	USPORENJE PRI BRZINI 25 km/h [m/s ²]	
	SUHA TYREG RIP PODLOGA	MOKRA TYREG RIP PODLOGA
Ninebot F25E	2,75	2,79

7. ZAKLJUČAK

Osobna prijevozna sredstva postala su nova i popularna vrsta prijevoza, osobito u urbanim sredinama. Njihova praktičnost i jednostavnost korištenja privukle su veliki broj korisnika, uključujući djecu i mlađe generacije. Iako su atraktivni zbog svoje brzine i praktičnosti, također mogu biti izrazito opasni, posebno u prometnim uvjetima gdje sigurnosni rizici nisu uvijek adekvatno procijenjeni. Stoga je Hrvatsko zakonodavstvo 2022. godine donijelo određene mjere u pogledu sigurnosti korisnika osobnih prijevoznih sredstva u prometu. Tako je maksimalna dopuštena brzina kretanja 25 km/h, a korisnici ove vrste vozila trebaju se kretati po biciklističkim stazama, ako iste ne postoje, dopušteno je kretanje pješačkim nogostupima.

Iako su donesenim Zakonom postale jasne neke od odrednica sigurnosti koje se odnose na vozača kao korisnika osobnog prijevoznog sredstva, o samim vozilima i njihovim dinamičkim parametrima zna se jako malo unatoč tomu što sudjeluju u prometnim nesrećama. Analizom podataka o sigurnosti osobnih prijevoznih sredstava, uočeno je da u 74% prometnih nesreća vozači zadobiju ozljede. Upravo zbog nedostatka istraživanja o osobnim prijevoznim sredstvima i njihovim dinamičkim parametrima sudski vještaci su suočeni s nedostatkom parametara radi donošenja validnih analiza. Stoga, istraživanjem u ovom radu prikazalo se usporenje četiri različita osobna prijevozna sredstva, Mi Scooter 365, MS ENERGY m10, Ninebot MAX G2 te Ninebot F25E. Osobna prijevozna sredstva bila su testirana na suhom i mokrom asfaltu, te na suhoj i mokroj tyregrip podlozi. Testirani su za četiri tražene brzine 10,15,20 i 25 km/h.

Analizom podataka na suhom asfaltu pri brzini od 10 km/h srednja vrijednost usporenja, svih testiranih osobnih prijevoznih sredstava, iznosila je 2,98 m/s². Najveće prosječno usporenje postigao je Ninebot F25E 3,36 m/s², najmanje usporenje od 2,70 m/s² postigao je MS ENERGY m10. Što se tiče puta kočenja, njegova srednja vrijednost pri brzini od 10 km/h iznosi 1,54m. Najmanji prosječni put kočenja imao je MS ENERGYm10 1,32 m, dok je najveći put kočenja imao Ninebot MAX G2 od 1,55m.

Pri analizi od 15 km/h na suhom asfaltu, prosječno usporenje iznosilo je 2,79 m/s². Najveće prosječno usporenje postigao je Ninebot MAX G2 od 3,21 m/s², dok je najmanje MS ENERGY m10 od 2,39 m/s². Ukupni prosječni put kočenja iznosio je 3,03m.

Za brzinu od 20 km/h na suhom asfaltu osobna prijevozna sredstva postigla su ukupno srednje usporenje od $3,26 \text{ m/s}^2$. Najveće prosječno usporenje postigao je Mi Scooter 365 od $3,49 \text{ m/s}^2$, dok je najmanje srednje usporenje postigao Ninebot F25E od $3,14 \text{ m/s}^2$. Prosječni ukupni put kočenja iznosio je 5,65m. Najveći prosječni put kočenja imao je Ninebot MAX G2 te je iznosio 6,51m.

Za maksimalnu brzinu na suhom asfaltu postignuto je ukupno prosječno usporenje od $3,35 \text{ m/s}^2$. Najveće ukupno prosječno usporenje postigao je Ninebot MAX G2 te je iznosio $3,59 \text{ m/s}^2$, dok je najmanje ukupno prosječno usporenje postigao MS ENERGY m10 od $3,03 \text{ m/s}^2$. Ukupni prosječni put kočenja iznosio je 9,25 metara. Najveći ukupni prosječni put imao je Mi Scooter 365 te je iznosio 13,41m, dok je najmanji ukupni prosječni put imao Ninebot F25E te je iznosio 7,2m.

Na mokrom asfaltu testirana su tri osobna prijevozna sredstva za brzinu od 25 km/h. Prosječno ukupno usporenje iznosilo je $2,92 \text{ m/s}^2$. Najmanje prosječno ukupno usporenje imao je Ms ENERGY m10 te je iznosilo $2,37 \text{ m/s}^2$, dok je najveće usporenje imao Ninebot MAX G2 te je iznosio $3,4 \text{ m/s}^2$. Ukupni prosječni put kočenja svih triju vozila iznosio je 12,14 metara. Najveći put kočenja imao je Ms ENERGY m10 te je iznosio 19,96 metara, dok je najmanji put kočenja Ninebot F25E te je iznosio 6,28m.

Tijekom testiranja na suhoj i mokroj tyregrip podlozi za Ninebot F25E pri maksimalnoj dozvoljenoj brzini, postignuto je usporenje od $2,75 \text{ m/s}^2$ na suhoj te $2,79 \text{ m/s}^2$ na mokroj podlozi. Put kočenja bio je duži na mokroj tyregrip podlozi te je iznosio 8,68m.

Analizom i pregledom svih podataka zaključuje se kako se interval usporenja na suhom asfaltu kreće od $2,39$ do $3,59 \text{ m/s}^2$. Također interval usporenja na mokrom asfaltu ne odstupa od intervala usporenja na suhom asfaltu te on iznosi od $2,37$ do $3,4 \text{ m/s}^2$. Značajno odstupanje na mokrom asfaltu uvidjelo se u putu kočenja, koji je 32,32% duži od puta kočenja na suhom asfaltu pri maksimalnoj brzini.

Bitno je naglasiti kako dinamičke performanse osobnih prijevoznih vozila ovise i o vrsti i proizvođaču istoga, također i o sposobnosti vozača tijekom vožnje. Kako se broj korisnika osobnih prijevoznih sredstava povećava, na sigurnosnim mjerama i pravilima neophodno je raditi.

LITERATURA

- [1] Republika Hrvatska. *Zakon o sigurnosti prometa na cestama*. Narodne novine 133/23
- [2] Republika Hrvatska. *Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o sigurnosti prometa na cestama*. Narodne novine 85/2022
- [3] Centar vozila hrvatske. Preuzeto s: <https://www.cvh.hr/gradani/registracija/dokumenti/>
[Pristupljeno: travanja 2024.]
- [4] Netokroacija. Preuzeto s: <https://www.netokracija.com/prvo-istrazivanje-o-elektricnim-romobilima-u-hrvatskoj-bolt-196027> [Pristupljeno: travanj,2024.]
- [5] European Transport Safety Council. *Recommendations on Safety of E-Scooters*. Preuzeto s: <https://etsc.eu/etsc-and-pacts-set-out-safety-recommendations-for-e-scooters-and-their-riders/>
[Pristupljeno: travanj,2024.]
- [6] Service-public. Preuzeto s: <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F308#:~:text=Dans%20ce%20cas%2C%20vous%20devrez,est%20de%2025%20km%2Fh>. [Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [7] Federal Ministry for Digital and Transport. Preuzeto s: <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/Articles/StV/Roadtraffic/light-electric-vehicles-faq.html>
[Pristupljeno: svibanj,2024.]
- [8] GOV.UK Preuzeto s: <https://www.gov.uk/guidance/e-scooter-trials-guidance-for-users>
[Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [9] Unagiscooters. *How hard it is to make a electric scooters?* Preuzeto s: <https://unagiscooters.com/eu/scooter-articles/how-hard-it-is-to-make-e-scooters-lightweight/>
[Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [10] Apollo Scooters. *How it all started?* Preuzeto s: <https://apolloscooters.co/blogs/news/electric-scooter-history-how-it-all-started> [Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [11] Mlakar M.: *Numerička analiza 3D printanih dijelova za konstrukciju električnog romobila*. Diplomski rad. Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci. Rijeka, 2023.
- [12] Fogstar.co.uk. *What are 18650 batteries?* Preuzeto s: <https://www.fogstar.co.uk/blogs/fogstar-blog/what-are-18650-batteries> [Pristupljeno: svibanj, 2024.]

- [13] Nkon.nl.de. What is 18650 Battery? Preuzeto s: <https://www.nkon.nl/de/blog/18650battery/>
[Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [14] Escooternerds. How do electric scooters work? Preuzeto s: <https://escooternerds.com/how-do-electric-scooters-work/> [Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [15] Escooternerds. Introduction To Electric Scooters Motors. Preuzeto s:
<https://escooternerds.com/electric-scooter-motors/> [Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [16] Rider Guide. Definitive Guide Electric Scooters. Preuzeto s:
<https://riderguide.com/guides/definitive-guide-electric-scooters/> [Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [17] Mechstudies. Electric Scooter: Definition, Parts, Working, Battery, Charging. Preuzeto s:
<https://www.mechstudies.com/electric-scooter-definition-parts-working-battery-charging>
[Pristupljeno: svibanj, 2024.]
- [18] Ž. Šarić.: Prometno tehničke ekspertize i sigurnost. Autorizirana predavanja. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2023.
- [19] Lj. Šimunović, M. Ćosić.: Sigurnost cestovnog i gradskog prometa II. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2019.
- [20] Grawe osiguranje.
- [21] Segway. Preuzeto s: <https://hr-hr.segway.com/products/ninebot-kickscooter-f25e-powered-by-segway> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [22] Msernergy.hr Preuzeto s: <https://msenergy.hr/en/ms-energy-m10/> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [23] e-kupi.hr Preuzeto s: <https://www.ekupi.hr/hr/Sport/Bicikli-i-romobili/Elektri%C4%8Dni-romobili/XIAOMI-Mi-elektri%C4%8Dni-romobil-M365%3A-bijeli/p/EK000279758> Pristupljeno:
[srpanj, 2024.]
- [24] Sagway.com Preuzeto s: <https://eu-en.segway.com/products/ninebot-kickscooter-max-g2e-powered-by-segway> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]

POPIS SLIKA

Slika 1 Patent za vozilo s vlastitim pogonom	11
Slika 2 Konstrukcija osobnog prijevoznog sredstva	12
Slika 3 Baterija osobnog prijevoznog sredstva	14
Slika 4 Pneumatske gume (lijevo) i zračne gume (desno)	16
Slika 5 Kontroler motora.....	18
Slika 6 Upravljač osobnog prijevoznog sredstva.....	20
Slika 7 Ninebot F25E.....	28
Slika 8 MS ENERGY m10	30
Slika 9 Mi Scooter 365	31
Slika 10 Ninebot MAX G2	32
Slika 11 XL Meter TM	33
Slika 12 Grafički prikaz 1. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 10 km/h	36
Slika 13 Grafički prikaz 3. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 10 km/h	37
Slika 14 Grafički prikaz 2. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 15 km/h	38
Slika 15 Grafički prikaz 3. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 20 km/h	40
Slika 16 Grafički prikaz 1. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 25 km/h	41
Slika 17 Grafički prikaz 3. testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 25 km/h	42
Slika 18 Grafički prikaz 1. mjerenja za MS ENERGY m10 pri brzini od 10 km/h	43
Slika 19 Grafički prikaz 1. mjerenja za MS ENERGY pri brzini od 15 km/h	44
Slika 20 Grafički prikaz 1. mjerenja za MS ENERGY m10 pri brzini od 20 km/h	45
Slika 21 Grafički prikaz 1. mjerenja za MS ENERGY m10 pri brzini od 25 km/h	46
Slika 22 Grafički prikaz 1. testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 10 km/h	48
Slika 23 Grafički prikaz 2. testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 10 km/h	49
Slika 24 Grafički prikaz 1. testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 15 km/h	50
Slika 25 Grafički prikaz 2. testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 15 km/h	51
Slika 26 Grafički prikaz 1. testiranja za Ninebot MAX G2 za brzinu od 20 km/h	52
Slika 27 Grafički prikaz 2. mjerenja Ninebot MAX G2 za brzinu od 20 km/h	53
Slika 28 Grafički prikaz 1. testiranja Ninebot MAX G2 za brzinu od 25 km/h	54
Slika 29 Grafički prikaz 1. testirana za Ninebot F25E za brzinu od 10 km/h.....	55
Slika 30 Grafički prikaz 2. testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 10 km/h.....	56

Slika 31 Grafički prikaz 1. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 20 km/h	57
Slika 32 Grafički prikaz 2. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 20 km/h	58
Slika 33 Grafički prikaz 1. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h	59
Slika 34 Grafički prikaz 2. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h	60
Slika 35 Grafički prikaz 1. testiranja Ninebot MAX G2 za brzinu od 25 km/h	62
Slika 36 Grafički prikaz 1. testiranja MS Energy za brzinu od 25 km/h.....	64
Slika 37 Grafički prikaz 2. testiranja MS Energy m10 za brzinu od 25 km/h	65
Slika 38 Grafički prikaz 2. testiranja Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h	66
Slika 39 Grafički prikaz usporenja Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h	68
Slika 40 grafički prikaz 1. testiranja Ninebot F25E brzinu od	69

POPIS TABLICA

Tablica 1 Tehničke specifikacije Ninebot F25E.....	29
Tablica 2 Tehničke specifikacije MS ENERGY m10	30
Tablica 3 Tehničke specifikacije Mi Scooter 365	31
Tablica 4 Tehničke specifikacije Ninebot MAX G2	32
Tablica 5 Podaci testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 10 km/h.....	36
Tablica 6 Podaci testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 15 km/h.....	38
Tablica 7 Podaci testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 20 km/h.....	39
Tablica 8 Podaci testiranja Mi Scooter 365 pri brzini od 25 km/h.....	40
Tablica 9 Podaci testiranja MS ENERGY m10 pri brzini od 10 km/h	43
Tablica 10 Podaci testiranja za MS ENERGY m10 pri brzini od 15 km/h.....	44
Tablica 11 Podaci testiranja za MS ENERGY m10 pri brzini od 20 km/h.....	45
Tablica 12 Podaci testiranja za MS ENERGY m10 pri brzini od 25 km/h.....	46
Tablica 13 Podaci za Ninebot MAX G2 pri brzini od 10 km/h.....	47
Tablica 14 Podaci testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 15 km/h.....	49
Tablica 15 Podaci testiranja za Ninebot MAX G2 za brzinu od 20 km/h	51
Tablica 16 Podaci testiranja za Ninebot MAX G2 za brzinu od 25 km/h	53
Tablica 17 Podaci testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 10 km/h	55
Tablica 18 Podaci testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 20 km/h	57
Tablica 19 Podaci testiranja za Ninebot F25E za brzinu od 25 km/h	59
Tablica 20 Sveobuhvatni prikaz usporenja na suhom kolniku	61
Tablica 21 Sveobuhvatni prikaz puta kočenja na suhom kolniku	61
Tablica 22 Podaci testiranja za Ninebot MAX G2 pri brzini od 25 km/h na mokrom asfaltu ..	62
Tablica 23 Podaci testiranja za MS Energy m10 na mokrom asfaltu pri brzini od 25 km/h	63
Tablica 24 Podaci testiranja za Ninebot F25E na mokrom asfaltu za brzinu od 25 km/h.....	66
Tablica 25 Sveobuhvatni prikaz usporenja na mokrom asfaltu	67
Tablica 26 Podaci testiranja za Ninebot F25E na suhoj tyregrip podlozi za brzinu od 25 km/h	68
Tablica 27 Podaci testiranja za Ninebot F25E na mokroj tyregrip podlozi za brzinu od 25 km/h	69
Tablica 28 Sveukupni prikaz usporenja na tyregrip podlozi	70

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1 Posljedice prometnih nesreća osobnih prijevoznih sredstava.....	23
Grafikon 2 Posljedice prometnih nesreća s osobnim prijevoznim sredstvima za 2023. godinu.	24
Grafikon 3 Struktura prometnih nesreća s osobnim prijevoznim sredstvima.....	25
Grafikon 4 Struktura prometnih nesreća u 2023. godini.....	25

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je ___Diplomski rad___
(vrsta rada)

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom „Ispitivanje usporenja osobnih prijevoznih sredstava u svrhu analize prometnih nesreća“, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova Z.R.

Student/ica:

Rizvanović Erna

Erna Rizvanović
(ime i prezime, potpis)

U Zagrebu, __11.09.2024.____