

Utjecaj izvedbe svjetlosnog uređaja na vidljivost pješaka u noćnim uvjetima

Santai, Melani

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:119:477919>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-24**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Melani Santai

UTJECAJ IZVEDBE SVJETLOSNOG UREĐAJA NA VIDLJIVOST PJEŠAKA U
NOĆNIM UVJETIMA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ IZVEDBE SVJETLOSNOG UREĐAJA NA VIDLJIVOST PJEŠAKA U
NOĆNIM UVJETIMA**

**THE INFLUENCE OF THE PERFORMANCE OF THE LIGHTING DEVICE
ON THE VISIBILITY OF PEDESTRIANS IN NIGHT CONDITIONS**

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

Student: Melani Santai

JMBAG: 0135254210

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 5. travnja 2023.

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

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7199

Pristupnik: **Melani Santai (0135254210)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Utjecaj izvedbe svjetlosnog uređaja na vidljivost pješaka u noćnim uvjetima**

Opis zadatka:

U Diplomskom radu potrebno je utvrditi koliki je utjecaj izvedbe svjetlosnog uređaja na vidljivost pješaka u noćnim uvjetima. Pri provedbi istraživanja potrebno je prikazati pregled dosadašnjih istraživanja o vidljivosti pješaka s posebnim osvrtom na noćne uvjete. Analizirati prometne nesreće pri naletu vozila na pješaka u noćnim uvjetima te osmisliti istraživanje kako ispitati vidljivost pješaka u noćnim uvjetima. Provesti predloženo istraživanje te utvrditi vrijednosti vidljivosti pješaka u noćnim uvjetima pri različitim vrstama svjetlosnih uređaja na vozilima.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

izv. prof. dr. sc. Željko Šarić

Sadržaj

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA..... | 3 |
| 3. SVJETLOSNI SNOP KAO ELEMENT SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA | 9 |
| 3.1. ČIMBENICI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA..... | 9 |
| 3.2. ELEMENTI SIGURNOSTI VOZILA | 10 |
| 3.3. ZAKONSKA REGULATIVA O SVJETLOSNIM UREĐAJIMA VOZILA..... | 13 |
| 3.4. SVJETLOSNI UREĐAJI NA AUTOMOBILU | 17 |
| 3.5. VRSTE RASVJETNIH TIJELA – SIJALICE..... | 19 |
| 3.5.1. HALOGEN SVJETLA..... | 20 |
| 3.5.2. KSENON ŽARULJA | 21 |
| 3.5.3. LED..... | 22 |
| 3.5.4. LASER SVJETLA..... | 23 |
| 4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA | 25 |
| 5. ISPITIVANJE VIDLJIVOSTI PJEŠAKA U NOĆNIM UVJETIMA | 29 |
| 5.1. LASERSKA SVJETLA – BMW SERIJE 8 | 29 |
| 5.2. LED SVJETLA - SUZUKI VITARA..... | 33 |
| 5.3. VW PASSAT - HALOGEN H7 | 36 |
| 5.4. FIAT SAUDO - Halogen H4 | 39 |
| 5.5. FIAT PUNTIO 2 - HALOGEN H1 | 43 |
| 5.6. CITROEN C6 - XENON | 47 |
| 6. ANALIZA REZULTATA | 51 |
| 7. ZAKLJUČAK..... | 56 |
| POPIS LITERATURE..... | 58 |
| POPIS SLIKA | 60 |
| POPIS TABLICA | 62 |

SAŽETAK

Postoje različite izvedbe svjetlosnog uređaja na automobilu poput halogen, ksenon, led svjetla i novije laserske tehnologije. Međusobno je razlikuju po načinu izrade, materijalu, trajnosti, intenzitetu i osvjetljenju. Svjetlosni signalni uređaji služe za osvjetljavanje ceste ispred vozila, označavanje položaja vozila na cesti i davanje odgovarajućih signala. Sva vozila posjeduju kratko svjetlo za osvjetljenje ceste i dugo svjetlo za povećavanje preglednosti ispred vozila. Cilj diplomskog rada je prikazati svojstva svjetlosnih uređaja i na osnovu mjerenja vidljivosti pješaka u noćnim uvjetima utvrditi koji način izvedbe je najsigurniji u prometu. U istraživanju su sudjelovala tri pješaka, u bijeloj, tamnoj i reflektirajućoj odjeći te šest automobila s različitim svjetlosnim uređajima.

KLJUČNE RIJEČI: svjetlosni uređaj, vidljivost pješaka, noćni uvjeti

ABSTRACT

There are different versions of the light device on the car, such as halogen, xenon, LED lights and newer laser technology. They differ from each other in the way they are made, material, durability, intensity and lighting. Light signal devices are used to illuminate the road in front of the vehicle, to indicate the position of the vehicle on the road and to give appropriate signals. All vehicles have a low beam to illuminate the road and a high beam to increase visibility in front of the vehicle. The aim of the thesis is to show the properties of light devices and, based on the measurement of pedestrian visibility in night conditions, to determine which method of performance is the safest in traffic. Three pedestrians, in white, dark and reflective clothing, and six cars with different light devices participated in the research.

KEY WORDS: lighting device, pedestrian visibility, night conditio

1. UVOD

Glavna funkcija svjetlosnih uređaja na automobilu je osvjetljavanje puta ispred vozila, omogućujući vozaču bolju vidljivost i sigurniju vožnju, posebno noću ili u uvjetima smanjene vidljivosti kao što su magla, kiša ili snijeg. Uz to oni služe kao signalizacija drugim vozačima i sudionicima u prometu. Svjetlosni uređaji igraju ključnu ulogu u prometnoj sigurnosti, moraju osigurati vozaču pravovremeno uočavanje prepreka, objekata ili pješaka na cesti.

Cilj diplomskog rada je koristeći provedeno istraživanje u kojem je sudjelovalo šest vozila s različitim svjetlosnim uređajima, odrediti koji od njih ima veću „uspješnost“, odnosno udaljenost, kod uočavanja pješaka u noćnim uvjetima. Tema rada je: Utjecaj izvedbe svjetlosnog uređaja na vidljivost pješaka u noćnim uvjetima. Rad je podijeljen u 7 cjelina:

1. UVOD
2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA
3. SVJETLOSNI SNOP KAO ELEMENT SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA
4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA
5. ISPITIVANJE VIDLJIVOSTI PJEŠAKA U NOĆNIM UVJETIMA
6. ANALIZA REZULTATA
7. ZAKLJUČAK

U drugom poglavlju napravljen je pregled prethodno provedenih istraživanja, opisani su načini i rezultati istraživanja.

Promet je složen sustav u kojem lako dolazi do konfliktnih situacija koje se nastoje izbjeći provođenjem brojnih mjera. Elementi vozila koji utječu na sigurnost prometa podijeljeni su u dvije kategorije: aktivne i pasivne. Aktivni elementi smanjuju rizik od nesreća, dok pasivni smanjuju posljedice nesreća. Svjetlosni uređaj jedan je od tehnička rješenja vozila kojima je cilj smanjiti mogućnost nastanka prometnih nesreća. Uz njega u trećem poglavlju opisani su svi aktivni elementi sigurnosti cestovnog vozila.

U četvrtom poglavlju navedeni i opisani su potrebni elementi za provođenje istraživanja, korišteni automobili odnosno svjetlosni uređaji te lokacija terena na kojem se obavljalo ispitivanje vidljivosti u noćnim uvjetima.

Ispitivanje vidljivosti prikazano je u petom poglavlju. Ispitivanje je rađeno u tri serije, svaka serija sadržavala je snimanje jednog pješaka svakih pet metara na označenom dijelu kolnika, uz oznaku te lijevo i desno od oznake na udaljenosti od pet do sto metara. Sudjelovala su tri pješaka s određenim načinom oblačenja, jedan je nosio crnu odjeću, drugi svijetlu a treći je na sebi imao žuti reflektirajući prsluk.

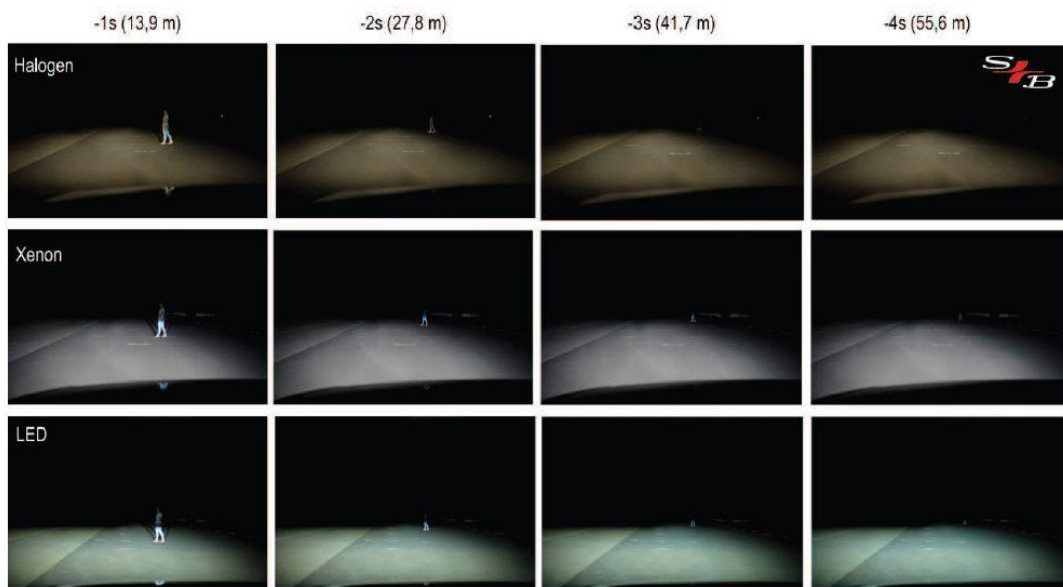
Analiza rezultata napravljena je u šestom poglavlju. Tablicama su prikazani rezultati istraživanja koji su naposljetku uspoređeni s prethodnim istraživanjima.

Naposljetku su doneseni zaključci na osnovu analize rezultata. Uspoređene su dobivene udaljenosti uočavanja pješaka u ovisnosti o izvedbi svjetlosnog uređaja automobila.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

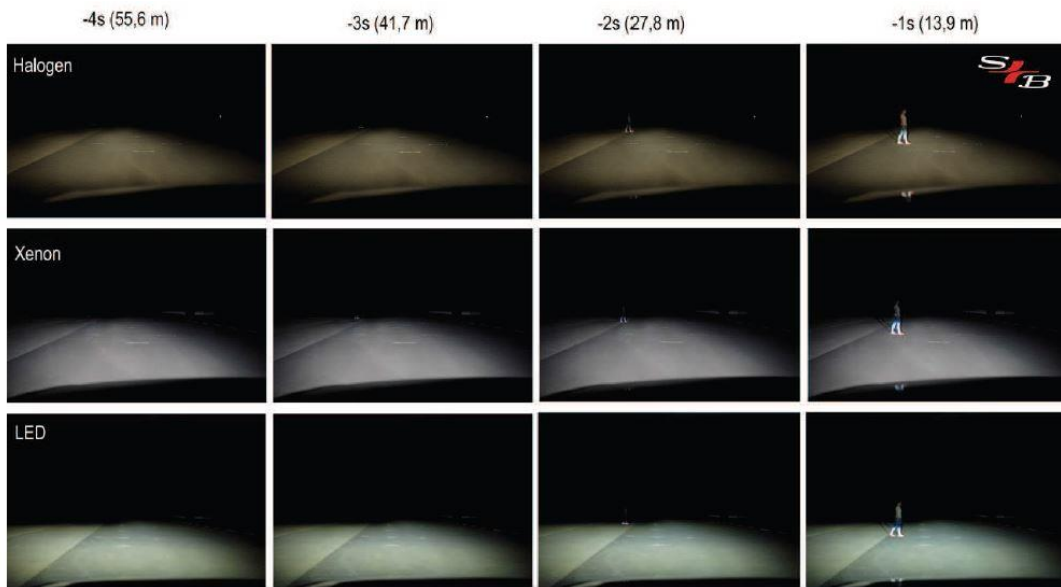
Pješaci su najugroženija skupina u prometu stoga je njihova sigurnost glavni prioritet koji se mora osigurati. Kao najveći problem izdvaja se vidljivost pješaka u noćnim uvjetima vožnje, kada je zapravo moguće uočiti pješaka, o čemu to ovisi i što može pridonijeti boljoj preglednosti? Kroz ovo poglavlje napraviti će se osvrt na nekoliko prethodnih istraživanja.

Mogu li se različitim vrstama svjetala lakše otkriti objekti i pješaci te time vozaču pružiti više vremena za reakciju, bilo je pitanje na osnovu kojeg su A. Kortman i T. Honger napravili istraživanje [1]. Provedena su ispitivanja na svjetlosnim uređajima halogen, ksenon i led. Pješak je pristupao s lijeve i desne strane brzinom od 5 km/h pod kutom od 90° u odnosu na uzdužnu os vozila, a automobil se kretao konstantnom brzinom od 50 km/h. Svaka serija mjerenja odredila je osvjetljenje na tlu s koracima od 10 m do udaljenosti od 100 m, a snimljen je i profil svjetala s visine od 5 m. U svakoj seriji mjerenja kalibrirani digitalni fotoaparati snimao je pogled s automobila prema pješaku u intervalima od 5 do 1 s prije sudara s pješakom koji prilazi s lijeve i s desne strane. Napravili su također usporedbu svjetlosnog uređaja koji koristi Audi i BMW [1].



Slika 1. Vidljivost iz vozila od 4s do 1s prije udara, prilaz s desna

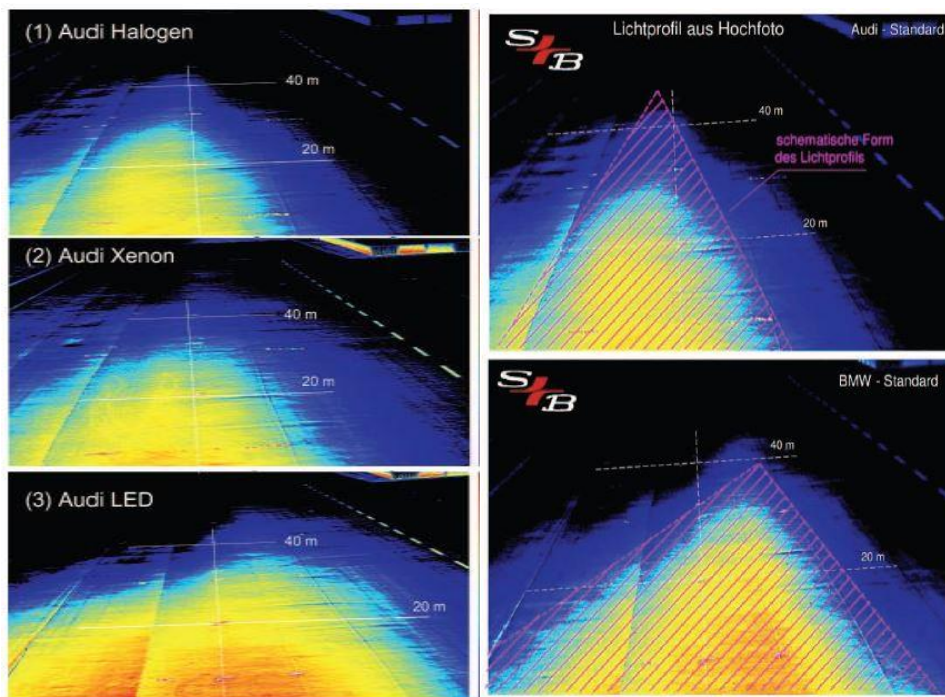
Izvor:[1]



Slika 2. Vidljivost iz vozila od 4s do 1s prije udara, prilaz s lijeva

Izvor:[1]

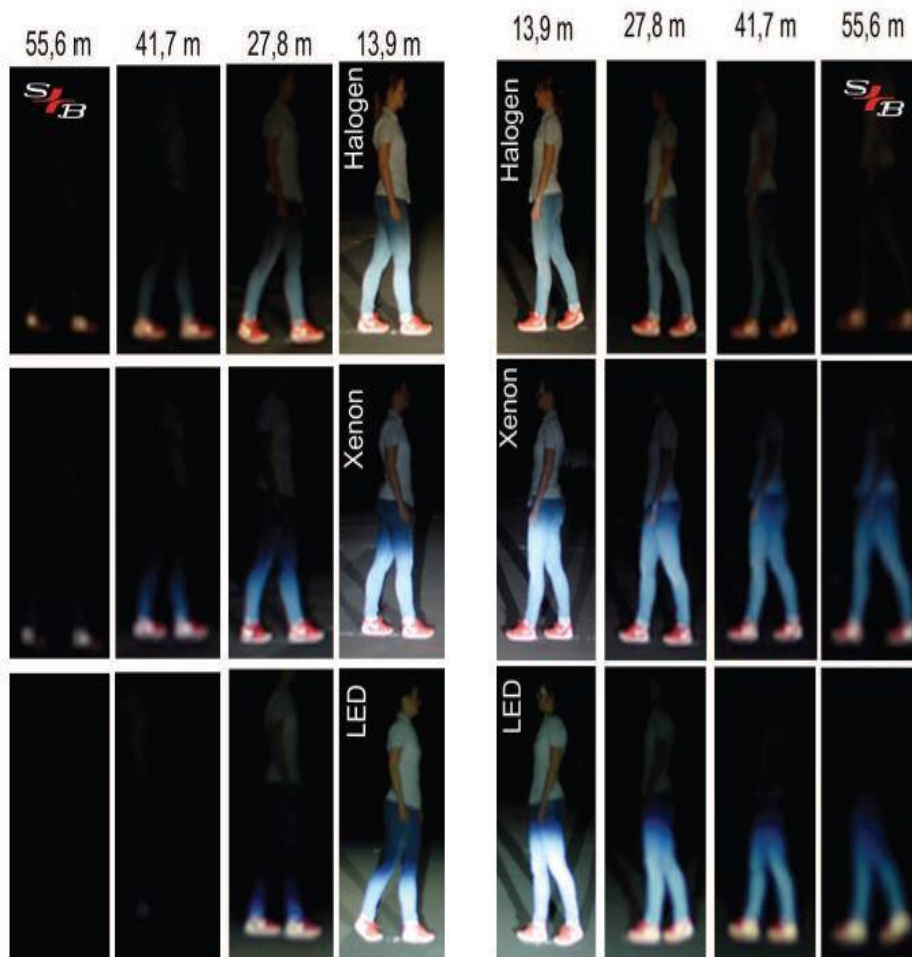
Slike 1 i 2 prikazuju pogled iz vozila Audi A4 sa standardnim H7, ksenon i LED svjetlima od četvrte do prve sekunde prije udara s pješakom koji prilazi s desne strane (Slika 1) i s lijeve strane (Slika 2). Vizualni dojam pete sekunde prije sudara je izostavljen jer pješak više nije mogao biti primijećen zbog udaljenosti od automobila.



Slika 3. Profili kratkog svjetla i usporedna simetričnog svjetla Audi-a i asimetričnog svjetla BMW-a

Izvor:[1]

Profil prednjeg svjetla na Audiju i BMW-u se razlikuje. Na Audiju je gotovo simetričan i izdužen, dok je na BMW-u klasičan i asimetričan. Kutna širina snopa svjetala BMW-a je šira od Audija, što znači da je "domet" manji. Standardna Audi svjetla mogu detektirati pješake s desne strane na udaljenosti od 44 m, dok BMW svjetla mogu detektirati pješake s desne strane na udaljenosti od 60 m. Ne postoji opće pravilo o tome koji je profil svjetala korisniji, a ovisi o brzini, odjeći pješaka i točki kontakta s vozilom. Profil svjetala bi se trebao prilagoditi brzini vozila, što se može postići korištenjem adaptivnog uređaja. Ksenon i halogen svjetla koja se koriste u Audiju A4 B8 imaju simetričniji profil svjetala dok druge strane, profil LED svjetala jasno je asimetričan i usmjeren ulijevo (Slika 3). Razlika u dometu jasno je vidljiva na slici [1].



Slika 4. Vidljivost pješaka od 4s do 1s, prilaz s lijeve i desne strane

Izvor:[1]

Pješaci koji se približavaju s desne strane mogu se detektirati na udaljenosti od čak 70 metara pomoću ksenon svjetla. Za LED i halogen svjetla granica detekcije iznosi 56 metara, odnosno 44 metra. Mogućnost detekcije pješaka koji se približavaju s lijeve strane značajno je smanjena za ksenon i posebno LED svjetla kako bi se izbjeglo zaslepljivanje suprotnog prometa. Upotrebom halogen žarulja, pješaci koji se približavaju s lijeve strane mogu se detektirati čak 42 metra udaljenosti od vozila u usporedbi s manjim udaljenostima detekcije od 38 metara i 27 metara za kseno i LED žarulje [1].

Drugo povezano istraživanje na ovu temu napravili su J. Unarski, W. Wach. P. Ciepka [2]. Oni su za određivanje udaljenosti na kojoj se vidi prepreka u noćnim uvjetima, provjeravali je li razlika osvijetljenosti između objekta koji treba primijetiti i pozadine na kojoj se pojavljuje dovoljna da se objekt uoči. Za takva mjerenja koristi se LMK (luminance measuring camera) sustav, koji može osvijetljenost i koordinate boja mjeriti s prostornom rezolucijom. Za izvođenje mjerenja korišten je automobil s prednjim svjetlima s elipsoidnom lećom i H7 žaruljama. Ploča s ljestvicom sive boje i koeficijentima refleksije ρ prikazani su na tablici 1. Fotografije su snimljene kamerom postavljenom unutar automobila u razini očiju vozača, a za svaku prepreku snimljen je niz slika pomicanjem ploče svakih 10 m, od 120 m do 10 m ispred automobila. Sredina ljestvice sive boje bila je postavljena na liniju desne strane automobila, a strana kvadrata jedne boje bila je duga 0,25 m. Svaki test sadržavao je skup podataka o mjerenju koji je zatim obrađen u LMK LabSoft-u. Pozadinsko osvijetljenje je izmjereno na istom mjestu mjerenja nakon uklanjanja ljestvice. Nema jedinstvene udaljenosti u vidljivosti za pojedine nijanse sive boje, te su uzete krivulje praga za vrijednosti praxifaktora 1, 5 i 10, nazvane PX1, PX5 i PX10 [2].

Tablica 1. Ljestvica sive boje i koeficijenta ρ

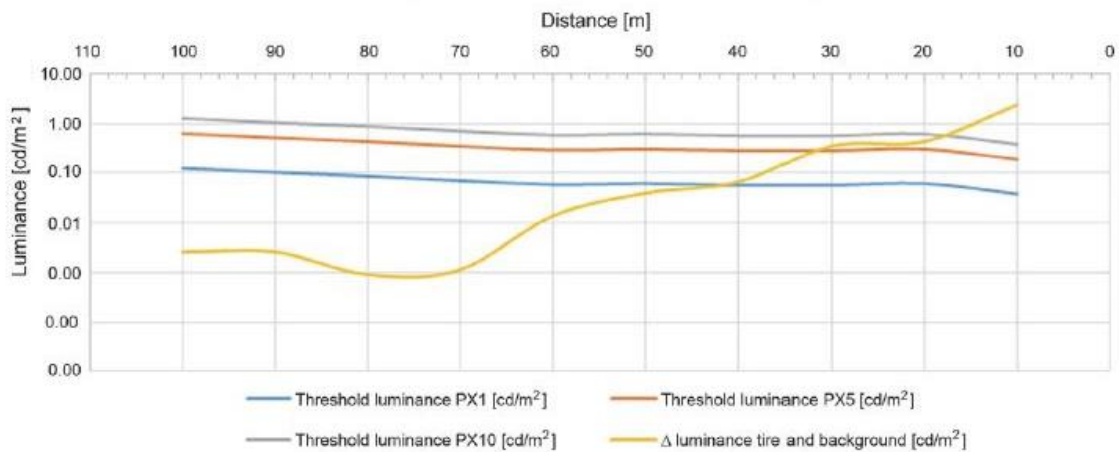
Izvor:[2]

| | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|-------|------|------|
| Co - lour | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| ρ | 0.44 | 0.22 | 0.12 | 0.095 | 0.05 | 0.04 |



Slika 5. Udaljenost stražnjeg kotača bicikla

Izvor:[2]

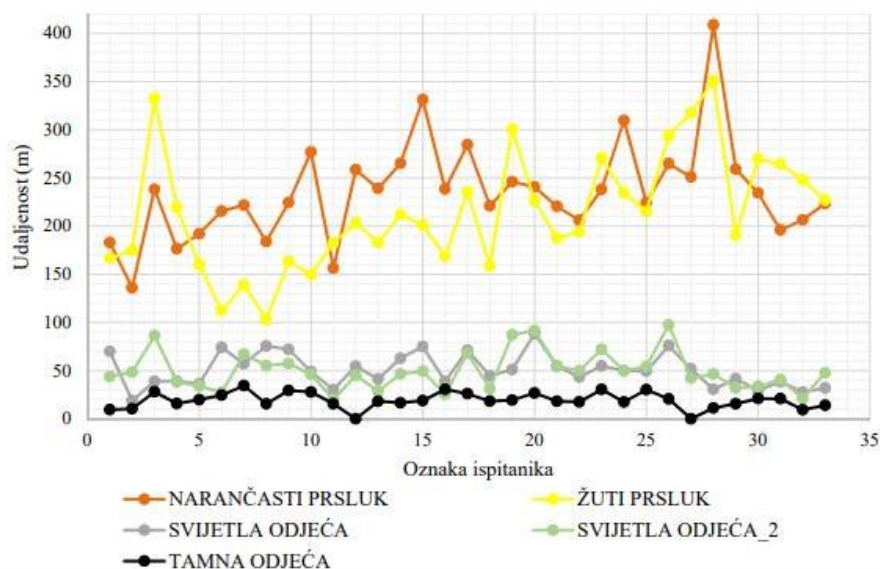


Slika 6. Udaljenost kotača bicikla kao snop svjetla

Izvor:[2]

Jedno od testova napravljenih u istraživanju je bilo postavljanje bicikla s vozačem koji nije imao osvjetljenje u području promatranja. Izvor svjetlosti bio je automobil Opel Zafira s prednjim svjetlima Free Form i žaruljama H7. Upotreba gume širine 0,06 m za izračun prag svjetlosti dovela je do zaključka da je udaljenost vidljivosti za PX 10 bila na razini od 16-18 m, za PX 5 je 32 m i za PX 1 je 40 m (Slika 6) [2].

Istraživanje u Zagrebu provela je M.Freko, kojoj je glavni cilj je bio odrediti postoji li utjecaj reflektirajućih prsluka i svijetle odjeće, odnosno općenito odjeće pješaka na njihovu uočljivost, a time i sigurnost. Izvedeni su testovi u kojem se koristila metoda praćenja pogleda vozača pomoću Tobii Pro Glasses sustava. Pješaci su se nalazili uz desni rub ceste licem okrenuti u smjeru automobila, u ispitivanju je sudjelovalo 35 vozača starosti između 21 – 68 godina. Sve ispitne vožnje nakon što su snimljene uređajem za praćenje pogleda u obliku video zapisa u laboratoriju su uvezene u Tobii Pro Lab softver za analizu i obradu podataka. Rezultati su pokazali da maksimalna razlika iznosi više od 400 metara, u dvije vožnje ispitanici nisu uopće uočili pješaka u tamnoj odjeći, dok je maksimalna udaljenost na kojoj je pješak s reflektirajućim prslukom uočen čak 408 metara (narančasti prsluk), odnosno 350 metara (žuti prsluk). Prosječna udaljenost na kojoj su uočavani pješaci koji su nosili reflektirajuće prsluke je 235, odnosno 213 metara. Dok je prosječna udaljenost na kojoj su uočeni pješaci u svijetloj odjeći je oko 50 metara, te nije bilo bitnijih razlika između dvije vrste svijetle odjeće. Međutim, u odnosu na pješake koji su nosili reflektirajući prsluk, pješaci u svijetloj odjeći su također znatno slabije uočljivi u prikazanim uvjetima, iako su bolje uočljivi u odnosu na pješake u tamnoj odjeći. Na Slici 8 je prikazan grafikon svih udaljenosti na kojima su pješaci vidljivi [3].



Slika 7. Graf udaljenosti uočavanja pješaka

Izvor:[3]

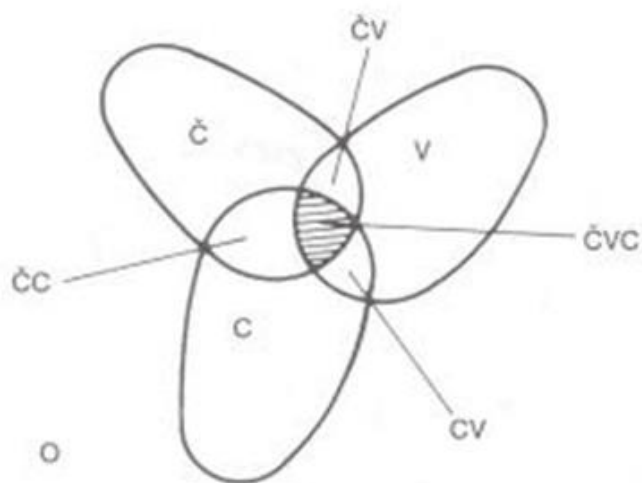
3. SVJETLOSNI SNOP KAO ELEMENT SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

Svjetla omogućuju vozačima da vide cestu ispred sebe, ali i da budu viđeni od strane drugih sudionika u prometu. Ovisno o uvjetima osvjetljenja, svjetla pomažu vozačima da prepoznaju prepreke, pješake, bicikliste i druge automobile te reagiraju pravovremeno u vožnji.

3.1. ČIMBENICI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

Promet je složen sustav u kojem lako dolazi do konfliktnih situacija koje se nastoje izbjeći provođenjem brojnih mjera s ciljem otklanjanja odnosno smanjenja opasnosti. Tri osnovna podsustava prometa, kao mogući uzroci, su [4]:

1. ČOVJEK
2. VOZILO
3. CESTA



Slika 8. Osnovni podsustavi prometa

Izvor:[4]

Opasnost od nastanka prometnih nezgoda funkcija je 5 čimbenika koji čine sustav [4]:

1. ČOVJEK
2. VOZILO
3. CESTA
4. PROMET NA CESTI
5. INCIDENTNI ČIMBENI

Čovjek u prometu svojim osjetilima prima obavijesti o prilikama na cesti te u skladu s prometnim propisima određuje način kretanja vozila. Na ponašanje čovjeka kao čimbenika sigurnosti u prometu utječu osobne značajke vozača, psihofizička svojstva, obrazovanje i kultura [4].

Vozilo kao drugi čimbenik ima dvije osnovne podjele elemenata vozila koji utječu na sigurnost, to jest aktivne i pasivne elemente. U aktivne elemente sigurnosti spadaju tehnička rješenja vozila čija je zadaća smanjiti mogućnost nastanka prometne nezgode, dok se u pasivne elemente mogu ubrojiti rješenja koja imaju zadaću, u slučaju nastanka prometne nezgode, ublažiti posljedice iste [4].

Nadalje, cesta sa svojim tehničkim nedostacima može postati uzrok prometne nezgode, obilježavaju je trasa ceste, tehnički elementi ceste, stanje kolnika, oprema, rasvjeta ceste, križanja, utjecaj bočne zapreke i održavanje ceste. Četvrti čimbenik „promet na cesti“ obuhvaća organizaciju prometa (prometni propisi), upravljanje prometom (način i tehnika upravljanja cestovnim prometnicama) i kontrolu prometa (ispitivanje i statistika prometnih nezgoda) [4].

Posljednji čimbenik obuhvaća sve one prilike koje mogu utjecati na nastanak nesreće a prethodno nisu navedene poput atmosferskih prilika (kiša, poledica, snijeg, magla, vjetar i sl.), tragova ulja na kolniku, nečistoća, divljači i dr. Incidentni čimbenik je dakle djelovanje koje se pojavljuje na neočekivan i neustavan način [4].

3.2. ELEMENTI SIGURNOSTI VOZILA

Elementi vozila koji utječu na sigurnost prometa mogu biti razvrstani u dvije kategorije: aktivni i pasivni. Aktivni elementi sigurnosti odnose se na tehnička rješenja vozila kojima je cilj smanjiti mogućnost nastanka prometnih nesreća. S druge strane, pasivni elementi odnose se na tehnička rješenja koja imaju zadaću umanjiti posljedice prometnih nesreća kada se one već dogode. Aktivni elementi sigurnosti vozila uključuju kočnice, upravljački mehanizam, gume, svjetlosne i signalne uređaje, sustave za povećanje vidljivosti vozača, konstrukciju sjedala, uređaje za regulaciju protoka zraka (npr. spojleri), kao i uređaje za grijanje, hlađenje i ventilaciju unutrašnjosti vozila. Također, vibracije vozila i buka također igraju ulogu u aktivnoj sigurnosti vozila [5].

Sustav kočenja je najvažniji dio automobila koji služi za usporavanje kretanja vozila ili za potpuno zaustavljanje. Svako vozilo mora imati dvije potpuno nezavisne kočnice: ručnu i nožnu. Nožna kočnica je važnija za sigurnost prometa jer ona neposredno djeluje na sve kotače. Kočenje može biti pomoći disk-kočnica, kočenje pomoću bubnja i mješoviti sustav. Opasnost za sigurnost prometa je naglo kočenje vozila što može uzrokovati blokiranje kotača, gubitak oko 60% sile kočenja. Kako bi se to spriječilo ugrađuju se uređaji koji ograničavaju veličinu sile kočenja, takav najpoznatiji sustav danas je ABS (antiblok sustav) [5].

Upravljački mehanizam je odgovoran za kontrolu smjera vozila. Neispravnosti u mehanizmu, poput prevelike zračnosti u pojedinim elementima, loma dijelova ili neispravnosti sigurnosne brave, mogu uzrokovati prometne nesreće. Stoga je važno redovito održavati upravljački sustav vozila. Kako bi se smanjile ozljede u slučaju nezgode, preporučuje se ugradnja osovine s više dijelova i elastičnog uređaja koji amortizira energiju udara, kako bi se ublažio udar prsnog koša vozača u kolo upravljača. Održavanje upravljačkog sustava vozila je ključno za sigurnost u cestovnom prometu [5].

Gume osiguravaju dobro prianjanje između kotača i podloge. Za sigurnu vožnju važno je da guma ima dobar narez, a dubina nareza ne smije biti manja od jednog milimetra za osobna i dva milimetra za teretna vozila i autobuse. Gume se dijele na radijalne i dijagonalne, radijalne gume imaju prednost u odnosu na dijagonalne jer se manje griju i troše tijekom vožnje, bolja je stabilnost vozila i iskorištenje snage motora pri većim ubrzanjima, kraći put kočenja, smanjena potrošnja goriva te su za 25% sigurnije na mokroj cesti i omogućuju lakše upravljanje vozilom [5].

Svjetlosni signalni uređaji su važni za osvjetljavanje ceste ispred vozila, označavanje položaja vozila na cesti i davanje odgovarajućih signala. Na prednjoj strani vozila se nalaze duga svjetla, oborena svjetla, svjetla za maglu, svjetla za označavanje vozila i pokazivači smjera. Na stražnjoj strani vozila se nalaze stop svjetla, stražnja svjetla za označavanje vozila, pokazivači smjera, svjetlo za osvjetljavanje registracijske pločice i svjetlo za vožnju unatrag. Duga svjetla služe za rasvjetljavanje ceste i signalizaciju, a svjetlosni snop je bijele ili žute boje duljine 100 metara. Oborena svjetla ili svjetla za mimoilaženje su također bijele ili žute boje, duljine 40 do 80 metara, a svjetlosni snop je oboren koso prema dolje. Svjetla za maglu nisu obavezna, ali služe za osvjetljavanje ceste po magli i u nepovoljnim vremenskim uvjetima, a svjetlosni snop je također žute ili bijele boje duljine do 15 metara. Prednja i stražnja svjetla za označavanje

vozila moraju biti dovoljno intenzivna da su uočljiva na normalnoj udaljenosti za vozače suprotnog smjera s udaljenosti najmanje 300 metara. Prednja svjetla su bijele boje, a stražnja crvene boje. Pokazivači smjera su narančaste boje i moraju biti uočljivi noću na normalnoj vidljivosti s udaljenosti od najmanje 300 metara. Konstantni i treptavi signali privlače više pažnje, ali brzo treptanje nije povoljno jer zaslepljuje. Stop svjetla su crvene boje i moraju biti uočljiva na normalnoj vidljivosti s udaljenosti od 300 metara. U posljednje vrijeme su postavljena dva dodatna stop svjetla na okvir stražnjeg stakla koja djeluju istovremeno s postojećim stop svjetlima. Ispitivanja su pokazala da je pri tako visokom postavljanju stop svjetala nalijetanje stražnjeg vozila smanjeno za oko 50 posto. Pravilna uporaba svjetlosnih uređaja je ključna za sigurnost u prometu. Nepravilna uporaba svjetlosnih uređaja može dovesti do prometnih nezgoda. Važno je vidjeti i biti viđen na cesti, posebno su opasna neosvijetljena spora vozila, bicikli, traktori i slično. Svjetlosni signalni uređaji moraju zadovoljavati uvjete sigurnosti, a uređaji koji povećavaju vidno polje vozača su prozorska stakla na vozilu, brisači i perači vjetrobrana, vozačka zrcala i dvodijelna zrcala s razlomljenom površinom [5].

Konstruktivna sjedala u vozilima trebaju biti dizajnirana na način koji omogućuje udobno sjedenje, pridržavanje vozača pri djelovanju centrifugalne sile u zavoju, dobru vidljivost i optimalnu udaljenost od uređaja za upravljanje vozilom. Sjedalo treba biti prilagodljivo u horizontalnom i vertikalnom smjeru kako bi se omogućilo lako podešavanje [5].

Usmjerivači zraka, poznati i kao spojleri, su dijelovi karoserije vozila koji imaju zadatak smanjiti otpor zraka i povećati stabilnost vozila pri visokim brzinama. Smanjenje otpora zraka rezultira povećanjem brzine vozila i smanjenjem potrošnje goriva. Usmjerivači zraka također se koriste za usmjeravanje zraka preko krova na stražnjem staklu kako bi se održala čistoća. Njihovo pravilno postavljanje zahtijeva posebno ispitivanje i testiranje, jer loše postavljeni usmjerivači zraka mogu negativno utjecati na otpor zraka ili uzgon vozila [5].

Grijanje i hlađenje u vozilima su važni za radnu sposobnost vozača i sigurnost u prometu. U unutrašnjosti vozila, temperatura bi trebala biti zimi od 21-23 stupnja, a ljeti do 20-28 stupnjeva. U većini vozila, uređaj za grijanje služi i za provjetravanje i hlađenje, a grijanje se može podešavati promjenom brzine ventilatora i usmjeravanjem toplog zraka na vjetrobranska stakla kako bi se spriječilo zamrzavanje i zamagljivanje [5].

Vozilo je vrlo složen oscilatorni sustav. U njemu su i putnici i vozači djelomično izoliran od izravnog djelovanja vibracija s pomoću naslona i sjedala, a vibracije se prenose putem stopala na ostale dijelove tijela. Neugodno djelovanjem vibracija povećava se pri čestoj promjeni ubrzavanje vozila [5].

Intenzivna buka u vozilu može negativno utjecati na živčani sustav i unutarnje organe, uzrokujući glavobolju, vrtoglavicu i razdražljivost te smanjujući radnu sposobnost vozača. Buka iznad 80 decibela štetna je za organe sluha, a sjedalo vozača autobusa može proizvesti buku od 100 do 115 decibela. Buka ne bi smjela prelaziti 70 decibela u prostoru za putnike. Primjenom akustične izolacije između prostora za smještaj motora i prostora za putnike buka se može smanjiti [5].

Pasivni elementi sigurnosti vozila su školjka (karoserija), vrata, sigurnosni pojasevi, nasloni za glavu, vjetrobranska stakla i zrcala, položaj motora, spremnici, rezervni kotači, akumulator, odbojnici i sigurnosni zračni jastuci [5].

3.3. ZAKONSKA REGULATIVA O SVJETLOSNIM UREĐAJIMA VOZILA

Pravilnik br. 48 Gospodarske komisije Ujedinjenih naroda za Europu (UN/ECE) - Jedinственe odredbe o homologaciji vozila s obzirom na ugradnju uređaja za osvjetljavanje i svjetlosnu signalizaciju detaljno opisuje uvjete homologacije vozila u Europi. Pravilnik se sastoji od 12 poglavlja koja obuhvaćaju sljedeće teme: područje primjene, definicije, zahtjev za homologaciju, proces homologacije, opći zahtjevi, izmjena i proširenja homologacije tipa vozila ili ugradnje njegovih uređaja za osvjetljavanje i svjetlosnu signalizaciju, sukladnost proizvodnje, kazne za nesukladnost proizvodnje, konačna obustava proizvodnje, nazivi i adrese tehničkih i administrativnih tijela i prijelazne odredbe. Pravilnik ima za cilj osigurati da vozila koja se prodaju i koriste u Europi zadovoljavaju sigurnosne standarde u vezi s ugradnjom uređaja za osvjetljavanje i svjetlosnu signalizaciju. Homologacija vozila prema ovim uvjetima osigurava da su vozila legalna i sukladna s propisima [6].

Pravilnikom su definirani sljedeći pojmovi [6]:

- „Homologacija vozila” - znači homologaciju tipa vozila s obzirom na broj i način ugradnje uređaja za osvjetljavanje i svjetlosnu signalizaciju.

- „Funkcija osvjetljavanja” - znači svjetlost emitirana iz uređaja za osvjetljenje ceste i predmeta u smjeru kretanja vozila.
- „Funkcija svjetlosne signalizacije” - svjetlost koju emitira ili reflektira uređaj kako bi se drugim korisnicima dala informacija o prisutnosti, identifikaciji i/ili promjeni kretanja vozila.
- „Svjetlo” - uređaj namijenjen za osvjetljavanje ceste ili za odašiljanje svjetlosnog signala drugim korisnicima ceste. Svjetlima se također smatraju svjetla za osvjetljavanje stražnje registarske pločice i katadiopteri.

Sukladno pravilniku o tehničkim uvjetima vozilima u prometu na cestama definirani su uređaji za osvjetljavanje i svjetlosnu signalizaciju na motornim i priključnim vozilima [7]: 1) dugo glavno svjetlo, 2) kratko glavno svjetlo, 3) prednje svjetla za maglu, 4) svjetlo za vožnju unatrag, 5) pokazivači smjera, 6) upozoravajući signal opasnosti (istodobno treptanje svih pokazivača smjera), 7) kočno svjetlo, 8) svjetlo stražnje registracijske pločice, 9) prednje pozicijsko svjetlo, 10) stražnje pozicijsko svjetlo, 11) stražnje svjetlo za maglu, 12) parkirno svjetlo, 13) bočno svjetlo za označavanje, 14) gabaritno svjetlo, 15) svjetlo za vožnju po danu (dnevno svjetlo), 16) stražnji ne trokutasti katadiopter, 17) stražnji trokutasti katadiopter, 18) prednji ne trokutasti katadiopter, 19) bočni ne trokutasti katadiopter, 20) svjetlo za skretanje (svjetlo za osvjetljavanje u zavoju), 21) označavanje visoke uočljivosti (retro reflektirajuće trake za označavanje konture vozila), 22) svjetla za osvjetljavanje mjesta na kojem se izvode radovi, 23) pokretno svjetlo (reflektor), 24) uređaji za davanje posebnih svjetlosnih znakova (rotacijska i treptava svjetla), 25) dodatna svjetla za osvjetljavanje ceste, 26) ostale retro reflektirajuće ploče i odsjevni signali, koji se moraju upotrebljavati u ADR-u ili da bi se zadovoljili nacionalni propisi za uporabu s obzirom na određene kategorije vozila ili određene metode rada npr. prijevoz specifičnih tereta i sl.[7].

Obavezna je ugradnja dugog glavnog svjetla na motornim vozilima, to jest dva ili četiri svjetla, te ne postoji poseban zahtjev za raspored ili položaj u smislu širine i visine na prednjem dijelu vozila. Međutim, treba paziti da svjetla ne ometaju vozača izravno ili neizravno kroz vozačka zrcala ili druge reflektirajuće površine vozila. Osvjetljavajuća površina mora osigurati vidljivost unutar divergentnog prostora, određenog crtama temeljenim na vanjskom rubu osvjetljavajuće površine, čineći kut od najmanje 5° sa referentnom osi glavnog svjetla, čak i u područjima koja se ne čine osvjetljenima u smjeru promatranja. Ukupna najveća jakost

prednjih dugih glavnih svjetala koja se mogu istodobno uključiti ne smije prelaziti 225 000 cd, što odgovara referentnoj vrijednosti od 75 [6].

Kratko glavno svjetla na motornim vozilima ima određene zahtjeve za raspored po širini, visini i duljini vozila [6]:

1. Širina: Rub prividne površine u smjeru referentne osi koji je najudaljeniji od srednje uzdužne ravnine vozila ne smije biti udaljen više od 400 mm od vanjskog ruba vozila. Unutarnji rubovi prividnih površina u smjeru referentne osi moraju biti međusobno udaljeni najmanje 600 mm. Ovo pravilo ne primjenjuje se na vozila kategorije M1 i N1; za ostale kategorije vozila, ta se udaljenost može smanjiti na 400 mm ako je ukupna širina vozila manja od 1 300 mm.
2. Visina: Svjetla trebaju biti postavljena najmanje 500 mm i najviše 1 200 mm iznad tla. Za vozila kategorije N3G (terenskih) najveća visina svjetala može biti povećana do 1 500 mm.
3. Duljina: Svjetla trebaju biti postavljena na prednjem dijelu vozila. Ovaj zahtjev smatra se ispunjenim ako svjetla ne ometaju vozača izravno ili neizravno kroz vozačka zrcala i/ili druge reflektirajuće površine na vozilu.

Ugrađivanje kratkog glavnog svjetla na vozila u skladu s navedenim zahtjevima od iznimne je važnosti kako bi se osigurala pravilna raspodjela svjetla i povećala sigurnost u prometu.

Prema zakonu o sigurnosti prometa na cestama, vozila koja sudjeluju u prometu noću ili u slučaju smanjene vidljivosti moraju imati upaljena svjetla. Na motornim vozilima, osim na mopedima i motociklima bez bočne prikolice, obvezno je imati najmanje dva bijela ili žuta svjetla na prednjoj strani i paran broj crvenih svjetala na stražnjoj strani. U vremenskom razdoblju od sumraka do potpunog svanuća, kako noću tako i danju u slučaju smanjene vidljivosti, na biciklima i osobnim prijevoznim sredstvima obvezno je imati upaljeno jedno svjetlo bijele boje na prednjoj strani i jedno crveno svjetlo na stražnjoj strani. Na zaprežnim vozilima, minimalno jedno svjetlo treba biti postavljeno na prednjoj strani i najmanje jedno crveno svjetlo na stražnjoj strani, ili samo jedno svjetlo koje je tako postavljeno da je vidljivo s prednje i stražnje strane vozila. Na motornim vozilima, za vrijeme vožnje danju, obavezno je imati upaljena dnevna svjetla ili kratka svjetla u razdoblju od 1. studenog do 31. ožujka. Mopedi

i motocikli moraju uvijek imati upaljena kratka svjetla dok voze tijekom cijele godine. Kada je potrebno osvijetliti cestu, motorizirana vozila u pravilu trebaju koristiti duga svjetla. Međutim, vozač je dužan prebaciti na kratka svjetla kad se nalazi na cesti s drugim vozilima na udaljenosti na kojoj može prosuditi da svojim svjetlima zasljepljuje vozače koji mu dolaze ususret ili kad se mimoilazi s drugim vozilom na udaljenosti manjoj od dvjesto metara. U uvjetima magle, na motornim i priključnim vozilima obvezno je imati upaljena kratka svjetla za sve ceste ili svjetla za maglu ili koristiti oba istovremeno [8].

Uređaji za osvjetljavanje ceste smiju emitirati sljedeće boje svjetlosti [7]:

Tablica 2. Vrsta i boja svjetla

| NAZIV SKLOPA | BOJA SVJETLA |
|------------------------------------------------------------|---------------------|
| dugo svjetlo | bijela |
| kratko svjetlo | bijela |
| prednja svjetla za maglu | bijela ili žuta |
| svjetlo za vožnju unatrag | bijela |
| svjetlo za skretanje (svjetlo za osvjetljavanje u zavoju) | bijela |
| svjetla za osvjetljavanje mjesta na kojem se izvode radovi | bijela ili žuta |
| pokretno svjetlo (reflektor) | bijela ili žuta |
| dodatna svjetla za osvjetljavanje ceste | bijela ili žuta |

3.4. SVJETLOSNI UREĐAJI NA AUTOMOBILU

Glavna svrha svjetlosnih uređaja na vozilu je osvjetljavanje ceste pomoću reflektorskih dugih i kratkih svjetala. Također, pozicijska, parkirna i odrazna svjetla služe za vidljivo označavanje obrisa vozila, što osigurava sigurnost tijekom vožnje. Žmigavci ili pokazivači smjera koriste se za pravovremeno obavješćavanje drugih sudionika u prometu o namjeri vozača da mijenja smjer kretanja. Zakonski propisi reguliraju uporabu različitih svjetlosnih uređaja na vozilima, uključujući reflektorska, pozicijska i odrazna svjetla. Na slici prikazan je raspored osvjetljenja na vozilu.



Slika 9. Raspored osvjetljenja vozila

Izvor:[9]

Razlikuju se tri reflektorska sustava. Dvoreflektorski sustav koristi dvije žarne niti, dugo i kratko svjetlo nalazi se u jednom zajedničkom reflektor. Četveroreflektorski sustav koristi jedan par za dugo i kratko svjetlo ili samo kratko dok je drugi par predviđen samo za dugo svjetlo. Šesteroreflektorski sustav sadrži još jedan par za maglu ili dugo svjetlo [9].

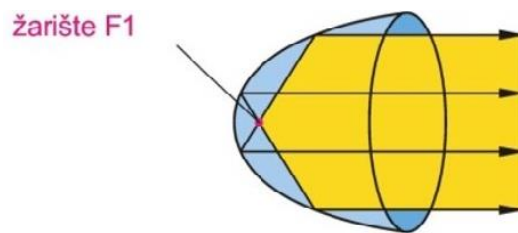
Svjetla koja su postavljena u paru trebaju biti postavljena na jednakoj visini od podloge i moraju biti simetrično smještena u odnosu na središnju ravninu vozila. Izuzetak su pokazivači smjera i parkirna svjetla koja mogu svijetliti neovisno jedno od drugog, ali sva svjetla u paru moraju biti uključena istodobno i imati jednaku jakost svjetlosti. Osim toga, svi svjetlosni sustavi moraju biti stalno spremni za rad i funkcionalni.

Osnovni dijelovi svjetlosnog uređaja su [9]:

- kućište - koje nosi reflektor s rasipnim staklom, izvor svjetla i sklop za namještanje reflektora,
- reflektor ili far – reflektira i fokusira svjetlo žarulje, žarulja.

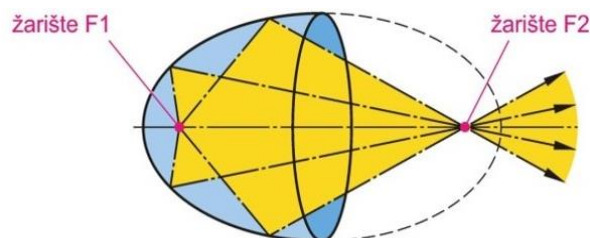
Na motornim vozilima primjenjuju se tri vrste konstrukcije reflektora [9]:

1. Parabolični reflektor – jedno žarište, žarulje mogu biti s jednom ili dvije niti, Slika 10
2. Elipsoidni reflektor - dva žarišta, pogodan za kratka svjetla, svjetla za maglu i s jednonitnim žaruljama, Slika 11
3. Reflektor slobodnog oblika – reflektor s kontinuirano promjenjivim žarištem, sastoji se od četiri područja ploha koje su sastavljene iz puno malih računalom proračunatih parcijalnih površina, Slika 12



Slika 10. Parabolični reflektor

Izvor:[9]



Slika 11. Elipsoidni reflektor

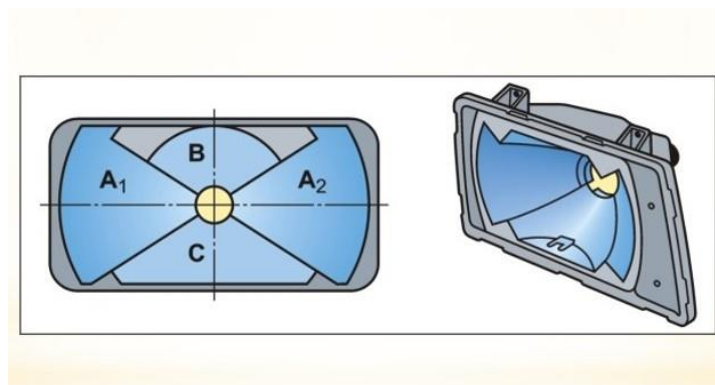
Izvor:[9]



Slika 12. Reflektor slobodnog oblika

Izvor:[9]

Slikom 13 prikazan je stupnjeviti reflektor koji je sastavljen od više paraboličnih reflektora različitih žarišnih daljina. Parcijalni reflektori označeni s A1 i A2 imaju veliku žarišnu daljinu i veliki domet, dok B i C imaju malu žarišnu daljinu i osvjetljavaju prednje i bočno polje.



Slika 13. Stupnjeviti reflektor

Izvor:[9]

3.5. VRSTE RASVJETNIH TIJELA – SIJALICE

U kućištima motornih vozila mogu se pronaći različite vrste sijalica, u ovom podglavlju definirati će se halogen žarulje (H), ksenon žarulje, svjetlosne diode (LED) i laser tehnologija rasvjete.

Međusobna razlika vidljiva je kroz fotometrijske mjere [10]:

1. **Jakost (intenzitet) izvora svjetlosti [cd]** - svjetlosni tok (fluks) kojeg emitira izvor (a kojeg zapaža oko) po prostornom kutu (Ω)

2. **Svjetlosni tok [lm]** - veličina koja opisuje količinu svjetla, koje je emitirano iz izvora i prihvaćeno površinom objekta
3. **Osvjetljenost (iluminacija) [lx]** - mjera za svjetlosni tok (fluks) koji upada na plohu površine S
4. **Sjajnost (luminacija) [cd/m²]** - svjetlosni tok (fluks) kojeg emitira promatrana površina, a kojeg zapaža oko tj. to je pojam koji opisuje sjajnost osvijetljene ili svjetleće površine kako je vidi ljudsko oko

3.5.1. HALOGEN SVJETLA

Halogen žarulja sastoji se od staklenog omotača otpornog na visoke temperature, plina koji često sadrži kombinaciju argona i dušika, te volframove niti. Za proizvodnju svjetlosti, halogen žarulja koristi struju iz baterije, zagrijava se do temperature od 2500 °C, što rezultira svjetlom. Prednosti korištenja halogenih svjetala u automobilskoj industriji jest zbog jednostavnosti i dobrog omjera cijene i kvalitete. Halogen žarulja ima životni vijek oko 1000 sati u normalnim uvjetima, a zamjena žarulje je jeftinija u odnosu na druge vrste svjetala u automobilima. Također, halogen žarulje su praktične jer dolaze u različitim veličinama, što ih čini pogodnim za većinu automobilskih modela. Unatoč popularnosti, neke automobilske tvrtke koriste halogen svjetlosne sustave samo kao rezervnu opciju. Razlozi za to uključuju činjenicu da životni vijek halogene žarulje završava kada volfram ispari iz žarne niti, što uzrokuje pucanje niti i gubitak funkcionalnosti. Također, proizvode velike količine topline tijekom rada, što povećava potrošnju električne energije. Dodatni problem je njihova osjetljivost na razne tvari, pa je važno izbjegavati dodirivanje staklenog poklopca kvarcne žarulje golim rukama prilikom zamjene. Preporučuje se upotreba čiste krpe za rukovanje halogenom žaruljom kako bi se produžio njezin vijek trajanja [11,12,13].

Na Slici 14 prikaza su halogen žarulje H7 i H4. H4 sijalica, za razliku od ostalih vrsta, posjeduje dvije niti koje mogu da osiguraju naizmjenično stvaranje niskog i visokog svjetlosnog snopa (kratko i dugo svjetlo).



Slika 14. Halogen H7 i H4 žarulja

Izvor:[13]

3.5.2. KSENON ŽARULJA

Devedesetih godina na tržište stiže nova vrsta žarulja za automobile s određenim prednostima u odnosu na halogen žarulje. Plin za paljenje je ksenon, po kojem je svjetiljka dobila ime. Princip rada je sljedeći, komora za pražnjenje sadrži takozvani plin ksenon i razne metalne soli, visokonaponski upaljač omogućuje stvaranje električnog luka. Nakon paljenja, metalne soli se ukapljuju, isparavaju i stvaraju različite spektralne linije različitih boja. Kombinacija ovih boja daje karakteristično bijelo ksenon svjetlo [11,12,13].



Slika 15. Ksenon žarulja

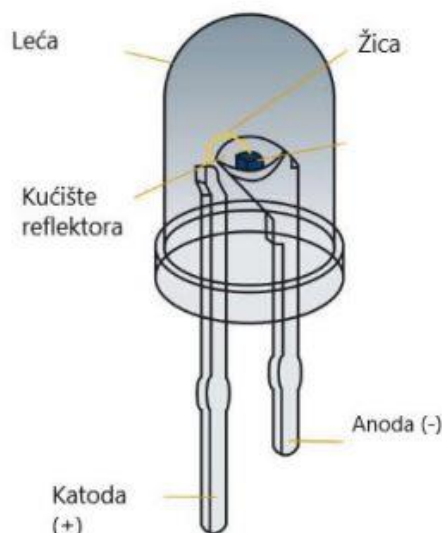
Izvor:[14]

Ksenon žarulje imaju dulji životni vijek od halogenih to jest oko 2000 sati u normalnim uvjetima jer nemaju metalnu nit koja se troši. Automobili opremljeni ksenon svjetlima moraju imati i mehanizam za pranje, kako bi se spriječilo zasljepljivanje drugih vozača uslijed raspršivanja svjetla zbog prljavštine ili prašine. Pružaju jači intenzitet svjetla, što je posebno važno za sigurnost noću. Nedostaci ksenon svjetala uključuju njihovu složeniju strukturu i potrebu za skupljim dijelovima u odnosu na obične halogene svjetiljke, što može rezultirati većim troškovima zamjene u slučaju oštećenja. Ona zahtijevaju nekoliko sekundi da postignu puni intenzitet svjetlosti nakon uključivanja [11,12,13].

Na Slici 15 prikazan je primjer ksenon žarulje.

3.5.3. LED

LED rasvjeta na automobilima pripada novijoj tehnologiji. Skraćenica LED, „Light Emitting Diod“, u prijevodu znači „dioda koja emitira svjetlost“ ili češće na našem jeziku „Svjetleća dioda“. Poluvodički elektronički element koji pretvara električni signal u optički (svjetlost). Princip funkcioniranja led svjetala nije jednostavan za objasniti, no u osnovi se temelji na neprestanom prolazu elektrona kroz poluvodič. LED žarulje dolaze u raznim oblicima i proizvode svjetlost u različitim temperaturnim nijansama. Takva svjetla ostaju hladna na dodir i ne sadrže štetne tvari poput olova, žive ili kadmija [11,12,13].



Slika 16. LED žarulja

Izvor:[14]

Prednost je u znatno manjoj potrošnji energije. Specifično, led žarulje zahtijevaju niži napon u usporedbi s konvencionalnim halogenim žaruljama, što rezultira čak do 10 puta manjim utroškom električne energije. Zbog ovoga, i neki hibridni modeli automobila koriste led tehnologiju ne samo za prednja svjetla, već i za druge svjetlosne funkcije. Zahvaljujući manjim dimenzijama, svjetla mogu poprimiti gotovo bilo koji oblik i veličinu. Proizvode intenzivnije svjetlo u usporedbi s halogenim te toplije svjetlo od ksenonskih. Osim toga, nude i automatsko prilagođavanje razine osvjetljenja tijekom vožnje, omogućujući podešavanje svjetlosnog intenziteta za različite uvjete. Ova značajka smanjuje rizik od zaslepljivanja drugih vozača na cesti. Premda led žarulje ne emitiraju toplinu kao halogene žarulje tijekom rada, ipak stvaraju određenu količinu topline u podnožju emitera kada struja prolazi kroz njih. Ovo može predstavljati rizik za susjedne električne krugove i kablove. Zbog tog razloga, nužna je prisutnost rashladnog sustava. Rashladni sustavi često su smješteni unutar motornog prostora, što predstavlja izazov u održavanju prikladne temperature, također može dodatno otežati i poskupiti ugradnju svjetala na automobilima [11,12,13]. Primjer led žarulje na Slici 16.

3.5.4. LASER SVJETLA

Laser svjetla odnosno „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“ ili prevedeno svjetlo koje je nastalo zračenjem predstavlja najnoviju tehnologiju koja se koristi u autoindustriji.

Laserska prednja svjetla funkcioniraju pomoću tri mala plava lasera (*oznaka 1, Slika 17*) usmjerena na skup zrcala u prednjem dijelu sustava (*oznaka 2, Slika 17*). Zrcala fokusiraju lasersko svjetlo u leću ispunjenu žutim fosforom. Žuti fosfor pobuđen plavim laserom emitira intenzivno bijelo svjetlo (*oznaka 3, Slika 17*), bijelo svjetlo se odbija na reflektor koji ga raspršuje prema naprijed, obasjavajući ga ispred prednjeg svjetla (*oznaka 4, Slika 17*). Ova refleksija i difuzija svjetlosti stvara snažan snop svjetlosti koji je još uvijek siguran za oči drugih vozača [16].



Slika 17. Laser tehnologija

Izvor:[14]

Prednost laserskog svjetla je da može doseći čak 1000 puta veći intenzitet od svjetla generiranog putem LED tehnologije, i to pri utrošku samo 2/3 potrebnog napona. Stoga laserska svjetla su u mogućnosti osvijetliti dvostruko veću udaljenost u usporedbi s led tehnologijom. Zahvaljujući fosfornom plinu koji je spomenut, lasersko svjetlo ima temperaturnu boju gotovo identičnu onoj prirodnog dnevnog svjetla. No nedostaci laserske tehnologije su njihova visoka cijena te dodatno hlađenje koje zahtijevaju jer generiraju više topline u usporedbi s ekvivalentnim led svjetlima [11,12,13].

4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Radom se želi provjeriti utjecaj izvedbe svjetlosnog uređaja na vidljivost pješaka u noćnim uvjetima. Glavna ideja je korištenjem više automobila s različitim svjetlosnim žaruljama iz perspektive vozača istražiti mogućnosti uočavanja pješaka.

Postupak mjerenja proveden je na lokaciji Znanstveno-učilišnog kampusa Borongaj, Borongajska cesta 83f, 10 000, Zagreb, Hrvatska, točna lokacija prikazana je na Slici 18. Područje je bilo sigurno za obavljanje testiranja budući da mjesto nije predviđeno za prometovanje vozila. Istraživanje je urađeno u noćnim uvjetima bez javne rasvjete.



Slika 18. Lokacija provođenja istraživanja

Izvor:[Google maps]

Teren je obilježen u duljini od 100m, mjerenje je izvršeno mjernim kolicima s dva kotača i teleskopskom vodilicom, Slika 19. Kolica imaju visoku točnost, s mogućnošću kalibracije, točno očitavanje cm, brojanje naprijed i natrag, premještanje u nulu. Postavljen je oznake na kolniku pratile su liniju desnog fara automobila.



Slika 19. Mjerna kolica

Izvor: [17]

Na svakih 5 metara u pravcu desnog fara automobila postavljena je oznaka za obilježavanje tragova kako bi se lakše učile udaljenosti na kojima pješak stoji. Osim oznakom, fluorescentnim sprejom zapisana je udaljenost svakih pet metara, a dok je svakih deset metara bio postavljen „prometni čunj“ s naizmjeničnim poljima crvene i bijele boje koja je reflektirajuća, Slika 20.



Slika 20. Prometni čunj

Izvor: [18]

Slikom 21 prikazane su postavljene oznake na kolniku.



Slika 21. Način obilježavanja udaljenosti

U procesu ispitivanja vidljivosti sudjelovala su tri pješaka, važno je napomenuti da su uvjeti snimanja bili sigurni za pješake. Svaki pješak imao je zadan način oblačenja, prvi pješak je bio obučen u tamnu odjeću, drugi pješak je na sebi imao svijetlu odjeću, dok je treći na sebi imao reflektirajući odnosno žuti sigurnosni prsluk sa sivim reflektirajućim središnjim dijelom s dvije fluorescentne trake (5 cm) oko sebe. Reflektirajuće trake prema EN 471, čl. 2, CEE standardima, Slika 22, [19]. Cilj je bio uvidjeti osim, koja svjetla najbolje osvjetljavaju površinu, i koja vrsta odjevnog materijala koju nosi čovjek može pridonijeti boljoj sigurnosti.



Slika 22. Reflektirajući prsluk

Izvor: [19]

Za potrebe provođenja mjerenja korišteni su sljedeći automobili:

Tablica 3. Popis automobila i vrste svjetlosnog uređaja

| AUTOMOBIL | SVJETL NOSNI UREĐAJ |
|---------------------|---------------------|
| BMW serije 8 | Laserska svjetla |
| Suzuki Vitara | LED svjetla |
| Volkswagen Passat 8 | Halogena svjetla H7 |
| Citroen C6 | Xenon svjetla |
| Fiat Puntio 2 | Halogena svjetla H1 |
| Fiat Scudo | Halogena svjetla H4 |

Za snimanje odnosno slikanje iz perspektive vozača korištena je kamera 12MP širokokutni objektiv (77°) s dvostrukim otvorom i dvostrukim pikselima. Uključuje i ugrađeni optički sofer za stabilizaciju slike (OIS) kako bi se smanjilo zamućivanje slika te 16MP iznimno širokokutni objektiv (123°).

Snimanje je rađeno svakih pet metara kao što je prethodno objašnjeno na početku ovog poglavlja. Dakle, pješak je okrenut licem u smjeru automobila, početna pozicija je 5 m od vozila u pravcu desnog fara, a druge dvije pozicije su desno i lijevo od automobila na istoj udaljenosti. Prikaz pozicija pješaka je na Slici 23. Snimanje se obavljalo svakih pet metara sve do udaljenosti odnosno trenutka kada pješak više nije vidljiv oku vozača. Svako vozilo je imalo po tri serije snimanja, svaka serija uključuje fotografiranje kratkim i dugim svjetlima, prvi na redu je bio pješak u tamnoj odjeći, potom u svijetloj te naposljetku pješak s reflektirajućim prslukom.



Slika 23. Pozicije snimanja pješaka

5. ISPITIVANJE VIDLJIVOSTI PJEŠAKA U NOĆNIM UVJETIMA

Ispitivanje vidljivosti pješaka rađeno je 16.6.2023. na kampusu Borongaj, s točnom lokacijom u prethodnom poglavlju. Postupak je proveden snimanjem fotografija svakih 5 metara tako da se pješak zaustavlja na prethodno obilježenim oznakama na kolniku. Također je urađeno snimanje uočljivosti pješaka u koliko se nalaze, odnosno prilaze, automobilu s bočnih strana, dakle pješaci su se udaljili lijevo i desno vodoravno od oznake kako bi se utvrdio i doseg bočne vidljivosti. Automobili su bili parkirani u smjeru sjevera s upaljenim svjetlima. Prvo je izvršeno snimanje kratkim svjetlima, a potom dugim svjetlima uz oznaku na kolniku od trenutka kada pješak više nije bio vidljiv s kratkim svjetlima. Prije provođenja ispitivanja fotografiran je svjetlosni uređaj (sustav osvjetljenja) svakog vozila koji se koristio te je izmjerena visina fara.

Nadalje, u radu će biti prikazane pozicije na kojima je pješak bio vidljiv odnosno ne vidljiv oku vozača, uključujući pješaka u tamnoj odjeći koji će u daljnjem tekstu biti spominjan kao **PJEŠAK 1**, u svijetloj odjeći kao **PJEŠAK 2** i s reflektirajućim prslukom kao **PJEŠAK 3**.

5.1. LASERSKA SVJETLA – BMW SERIJE 8

Za potrebe istraživanja korišten je automobil BMW Serije 8 s laserskim svjetlima čija visina iznosi 65 cm od tla. Unutar reflektora nalazi se sustav za duga, kratka i svjetla za maglu. Svjetla su bijele boje. Slikom 24 prikazana je visina i izgled reflektorskog sustava automobila.



Slika 24. Visina svjetlosnog uređaja BMW

Pješak u tamnoj odjeći postaje neuočljiv na tridesetom metru lijevo od oznake na kolniku gdje postaje teško definirati koji objekt se nalazi ispred vozila. Krećući se lijevom stranom od oznake na pedesetom metru ne moguće je vidjeti pješaka. Pješak je posljednji put vidljiv na 25tom metru. Slikom 25 dat je prikaz pješaka lijevo od oznake s kratkim laserskim svjetlima.



Slika 25. Pješak 1 15m, 25m, 30m lijevo – BMW

Na središnjoj poziciji, u pravcu oznaka uz desni far, pješak 1 je također vidljiv na 25tom metru dok se od 30tog metra pješak prestaje nazirati. U odnosu na lijevu stranu jači je osvijetljen pješak uz rub oznaka. Slika 26.



Slika 26. Pješak 1 15m, 25m, 30m, uz oznaku – BMW

Desno od oznake na kolniku pješak je također vidljiv oku vozača do 25tog metra, dok na 30tom metru vozač ne može jasno vidjeti pješaka. Na slici 27 prikazan je pješak desno on pravca oznaka na udaljenostima 15m, 25m i 30m .



Slika 27. Pješak 1 15m, 25m, 30m, desno - BMW

Sljedeći na redu bio je pješak u svijetloj odjeći kod kojeg se odmah na početku snimanja vidjela prednost u odnosu na pješaka 1. Na Slici 28 prikazan je pješak 2 lijevo od oznake gdje se na 30tom metru može jasno uočiti pješak na kolniku, krećući se dalje jasnoća opada i pješak se posljednji put može vidjeti na 40tom metru dok je na 50tom metru iz perspektive vozača teško utvrditi što se nalazi u daljini.



Slika 28. Pješak 2 30m, 40m, 50m, lijevo - BMW

Vozač duljinom desnog fara ima bolju vidljivost u odnosu na lijevu stranu, pješak je uz oznaku vidljiv i na 50tom metru dok ga je na 60tom teže uočiti, Slika 29.



Slika 29. Pješak 2 30m, 50m, 60m uz oznaku - BMW

Desno od oznake vozač ima istu vidljivost kao kod prethodnog slučaja, na 30tom metru pješak se jasno vidi no na 60tom metru ga nije moguće uočiti, Slika 30.



Slika 30. Pješak 2 30m, 50m, 60m desno - BMW

Pješak koji je na sebi nosi reflektirajući prsluk bio je uočljiv na cijeloj duljini postavljenih oznaka, odnosno na udaljenosti od 100 metara. Na slici je moguće vidjeti pješaka na 50m i 100m kada su na automobilu upaljena kratka svjetla te na 100m s upaljenim dugim svjetlom. Iako je refleksija bolja koristeći duga svjetla i bez njih vozač je mogao sigurno uočiti objekt u ovom slučaju pješaka koji se nalazio na kolniku, Slika 31.



Slika 31. Pješak 3 50 i 100 m kratka, 100m duga svjetla - BMW

Paljenjem dugog svjetla na automobilu bila je obasjana, bijelim svjetlom, cijela površina poligona za ispitivanje. Vidljivost pješaka 1 povećala se na 70 metara što se može vidjeti na Slici 32.



Slika 32. Pješak 1 70 m – BMW

Pješak 1 ostaje vidljiv vozaču cijelom dužinom oznaka korištenjem dugog svjetla, Slika 33.



Slika 33. Pješak 1 100m duga svjetla - BMW

5.2. LED SVJETLA - SUZUKI VITARA

Sljedeće ispitivanje obavljeno je s led svjetlima automobila Suzuki Vitara postavljena na visini od 85 cm od tla, sa šestero reflektorskim sustavom za duga, kratka i odvojena svjetla za maglu, Slika 34.



Slika 34. Visina svjetlosnog uređaja Suzuki Vitare

U odnosu na svjetlosni uređaj BMW-a, LED svjetla Suzuki Vitare postavljena su većoj visini od tla, razlika je i u visinama automobila. Vozač je imao jasniju preglednost kod uočljivosti pješaka u tamnoj odjeći na udaljenostima do 30tog metra na poligonu s upaljenim kratkim svjetlima na automobilu. Dakle, na Slici 35 je prikazan pješak 1 na udaljenosti 15m, 25m i 30m lijevo od oznake, na 25tom metru pješak je uočljiv dok na 30tom to postaje teže.



Slika 35. Pješak 1 15m, 25m, 30m lijevo – Suzuki Vitara

Pješak uz oznaku je također vidljiv do 25tog metra, a nakon 30tog metra oku vozača postaje teško uočljiv, Slika 36.



Slika 36. Pješak 1 15m, 25m, 30m uz oznaku – Suzuki Vitara

Desno od oznaka na kolniku pješak je uočljiv na istim udaljenostima, Slika 37.



Slika 37. Pješak 1 15m, 25m, 30m desno – Suzuki Vitara

Pješak 2 na lijevoj strani jasno se vidi na 20tom metru od automobila, udaljavajući se od vozila na 35tom metru do izražaja dolazi donji dio tijela koji se gubi od 40tog metra, Slika 38.



Slika 38. Pješak 2 20m, 3m5, 40m lijevo – Suzuki Vitara

Zbog asimetričnosti svjetla pješak 2 bolje je uočljiv u pravcu oznaka na kolniku. Jasnije se vidi na 20tom metru u odnosu na lijevu stranu, obrisi donjeg dijela tijela vide se na 40tom metru dok od 50tog metra postaje teže uočiti pješaka, Slika 39.



Slika 39. Pješak 2 20m, 40m, 50m uz oznaku – Suzuki Vitara

Pješaka na desnoj strani vozač može također lakše uočiti u odnosu na lijevu, vidljivost opada od 40tog metra. Na slici 40 prikazan je pješak u svijetloj odjeći na udaljenostima 20m, 35m i 45m desno od automobila.



Slika 40. Pješak 2 20m, 35m, 45m desno – Suzuki Vitara

Paljenjem dugog led svjetla na Suzuki Vitari vozač ima preglednost cijelog poligona i mogućnost uočavanja svih pješaka na udaljenosti od 100m, Slika 41.

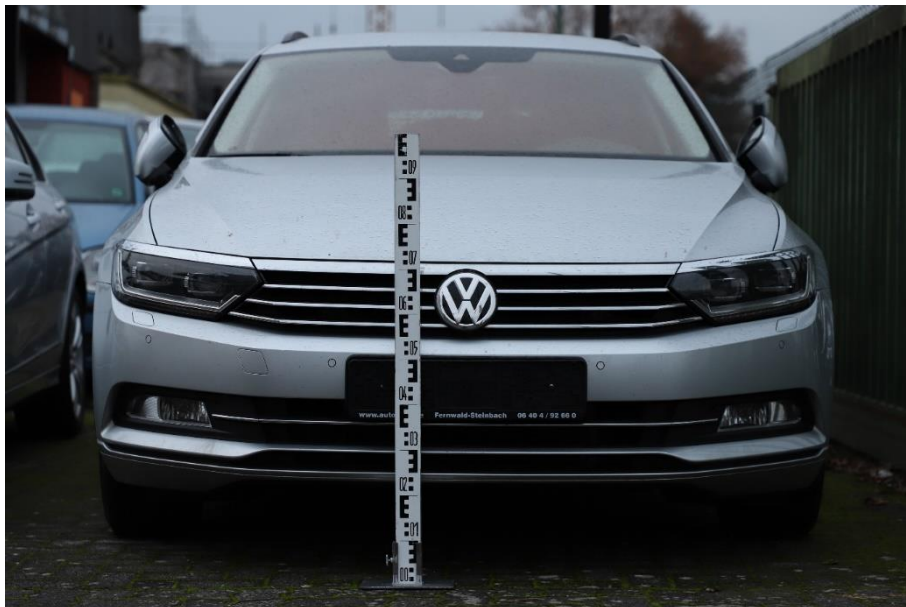


Slika 41. Pješak 1, 2, i 3 na 100m uz oznaku – Suzuki Vitara

Pješak s reflektirajućim prslukom bio je uočljiv na svim točkama mjerenja.

5.3. VW PASSAT - HALOGEN H7

Halogen H7 kratka svjetla na VW Passatu 8, za razliku od prethodna dva slučaja, obasjala su poligon za ispitivanje žutim svjetlom do posljednje oznake, na udaljenosti od 100m. Visina centra svjetlosnog iznosi 65 cm od tla, s šestero reflektorskim sustavom za duga, kratka i odvojena svjetla za maglu, Slika 42.



Slika 42. Visina svjetlosnog uređaja VW Passat 8

Slikom 43 prikazan je pješak 1 na udaljenostima 20m, 35m, i 40m lijevo od pravca oznaka. Može se uočiti da je pješak jasno vidljiv na 20tom metru dok se već na 35tom slabije uočavaju obrisi tijela čovjeka te je na 40tom metru postaje ne moguće prepoznati pješaka na kolniku.



Slika 43. Pješak 1 20m, 35m, 40m lijevo – VW Passat 8

Na istim udaljenostima Slikom 44 prikazan je pješak 1 uz oznake na kolniku s istim rezultatima uočljivosti no jačim intenzitetom svjetla jer se oznake nalaze uz desni far automobila stoga je pješak na 20tom metru jasnije vidljiv vozaču.



Slika 44. Pješak 1 20m, 35m, 40m uz oznaku - VW Passat 8

Desno od pravca oznake, moguće je primijetiti bolju vidljivost pješaka gdje dolazi do većeg izražaja lica čovjeka što povećava pozornost vozača, Slika 45. Pješak je bolje vidljiv na 40tom metru desno od oznake, dok od 45tog metra postaje neuočljiv.



Slika 45. Pješak 1 30m, 40m, 45m desno - VW Passat 8

Budući da su kratka halogen H7 svjetla obasjala cijelu površinu poligona, na Slici 46 može se nedvojbeno vidjeti pješak 2 na udaljenosti od 50m. Desno od oznake pješak je zbog asimetričnosti svjetla opet bolje primjetan u odnosu na lijevu stranu.



Slika 46. Pješak 2 50m lijevo, uz oznaku i desno - VW Passat 8

Slikom 47 prikazani su pješaci 1 i 2 na posljednjoj točki mjerenja. Dakle, korištenjem kratkog svjetla vozač može biti siguran da će na udaljenosti od 100m moći uočiti pješaka koji je obučen u svijetlu odjeću ili na sebi ima reflektirajući odjevni predmet.



Slika 47. Pješak 1 i 2 na 100m, kratka svjetla - VW Passat 8

Bolju preglednost i veću sigurnost u vožnji vozač može postići paljenjem dugog svjetla čime također povećava vidljivost ispred vozila. Na slici 48 je prikazana vidljivost sva tri pješaka na 100m.



Slika 48. Pješak 1, 2 i 3 na 100m, duga svjetla - VW Passat 8

5.4. FIAT SAUDO - Halogen H4

Halogen H4 kratka svjetla imaju kraći domet od svih ispitanih žarulja. Svjetla su asimetrična. Visina centra svjetlosnog uređaja Fiat Scudo iznosi 75 cm od tla, vozilo posjeduje stupnjeviti reflektor koji je sastavljen od više paraboličnih reflektora, Slika 49 Boja svjetla je žuta.



Slika 49. Visina svjetlosnog uređaja Fiat Scudo

Kratka halogen H4 svjetla Fiata Scudoa imaju iznimno kratak domet što se može vidjeti na Slici 50 na kojoj je prikazan pješak 1 na udaljenostima 10m, 15m i 20m lijevo od oznake. Već na 10m vozač ne može jasno uočiti pješaka ako uspoređujemo s prethodnim slučajevima pješaka 1 koji je na većim udaljenostima bio bolje uočljiv. Na 15tom metru se još uvijek može vidjeti obris čovjekovog tijela dok na 20m to već nije moguće.



Slika 50. Pješak 1 10m, 15m, 20m lijevo - Fiat Scudo

Nešto bolju vidljivost vozač ima uz oznake na kolniku jer su svjetla orijentirana prema desnoj strani. Tako je pješak vidljiv od 15tog do 20tog metra, dok se na 30m pješak ne može primijetiti, Slika 51.



Slika 51. Pješak 1 15m, 20m, 30m uz oznaku - Fiat Scudo

Desno od oznake na udaljenosti od 10m do 15m pješak je vidljiv oku vozača, no na 20m to više nije slučaj, Slika 52.



Slika 52. Pješak 1 10m, 15m, 20m desno - Fiat Scudo

Pješak 2 mogao se uočiti na 20m lijevo od oznake, udaljavajući se od 20tog metra pješak je ulazio u područje koje halogen H4 svjetla nisu obasjavala. Na slici 53 može se vidjeti pješak na 40m i 45m gdje je već teže utvrditi da se radi o čovjeku na kolniku.



Slika 53. Pješak 2 20m, 40m, 45m lijevo - Fiat Scudo

Uz obilježeni pravac lakše je također uočiti i pješaka 2 čije je obrise tijela moguće pratiti do 50tog metra. Na 60tom metru oznake pješak postaje neuočljiv, Slika 54.



Slika 54. Pješak 2 20m, 50m, 60m uz oznaku - Fiat Scudo

Desno od pravca vidljivost opet opada, ako usporedimo 20m uz oznaku i 20m desno od oznake uočava se razlika u osvijetljenosti odjeće odnosno općenito desne strane kolnika, gdje je pješak slabije uočljiv na istoj udaljenosti, no vozač može uočiti pješaka sve do 45tog metra. Na 50tom metru pješak izlazi iz vidnog polja vozača. Slika 55 prikazuje pješaka 2 na udaljenostima 20m, 45m i 50m od desno od fara automobila.



Slika 55. Pješak 2 20m, 45m, 50m desno - Fiat Scudo

Korištenjem dugog svjetla na vozilu pješaka 1 moguće je uočiti na 50m od vozila što se može vidjeti na Slici 56.



Slika 56. Pješak 1 50m lijevo, uz oznaku i desno, duga svjetla - Fiat Scudo

Na slici 57 prikazan je pješak 2 na 70m s upaljenim kratkim svjetlima i vidljivo je da se pješak ne može uočiti no paljenjem dugog svjetla vidno polje vozača se povećava i pješak ostaje vidljiv do 100tog metra.



Slika 57. Pješak 2 70m duga/kratka i 100m duga svjetla - Fiat Scudo

Pješak koji je nosio reflektirajući prsluk za razliku od ostalih slučajeva bio je uočljiv do 60tog metra zbog slabog intenziteta svjetlosnog uređaja, no paljenjem dugog svjetla ostaje vidljiv do posljednje oznake na kolniku. Slika 58 prikazuje pješaka s reflektirajućim prslukom 60m od automobila korištenjem kratkog i dugog svjetla.



Slika 58. Pješak 3 60m duga/ kratka svjetla - Fiat Scudo

5.5. FIAT PUNTIO 2 - HALOGEN H1

Halogen H1 su asimetrična svjetla karakteristične žute boje, slabijeg intenziteta no u odnosu na halogen H4 svjetla iz prethodnog slučaja imaju bolju osvjetljenost i jači intenzitet. Visina centra svjetlosnog uređaja Fiat Punto 2 s halogen H1 svjetlima, iznosi 65 cm od tla, s četvero reflektorskim sustavom za duga, kratka i svjetla za maglu, Slika 59.



Slika 59. Visina svjetlosnog uređaja Fiat Punto 2

Na 30m lijevo od oznake pješak 1 prestaje biti uočljiv, vozač ga može uočiti do 20tog metra, no dalje nestaje iz vidnog polja, Slika 60.



Slika 60. Pješak 1 15m, 20m, 30m lijevo - Fiat Punto 2

Uz oznaku pješak više dolazi do izražaja samim tim i mogućnost njegovog primjećivanja od strane vozača, no od 30tog metra pješak postepeno postaje teško primjetan, Slika 61.



Slika 61. Pješak 1 15m, 25m, 30m uz oznaku - Fiat Punto 2

Na desnoj strani od oznake bolje je osvijetljene u odnosu na lijevu stranu, samim tim domet svjetla je veći tako pješak može biti primijećen i na 35m. Od 40tog metra prestaje se uočavati obris čovjekovog tijela, Slika 62.



Slika 62. Pješak 1 20m, 35m, 40m desno - Fiat Punto 2

Prednost nošenja svijetle odjeće tokom kretanja kolnikom noći može se opet vidjeti na primjeru pješaka 2 na Slici 63. Pješak je vidljiv na 30m lijevo od oznake, također na 40m se može uočiti donji dio tijela.



Slika 63. Pješak 2 15m, 30m, 40m lijevo - Fiat Punto 2

Pješak 2 u pravcu desnog fara uočljiv je na 40m od vozila, a ne primjetan vozaču postaje od 60tog metra, Slika 64.



Slika 64. Pješak 2 15m, 40m, 60m uz oznaku - Fiat Punto 2

Desna strana od oznake ima puno jaču osvijetljenost i bolju mogućnost uočavanja stoga je pješaka moguće jasno vidjeti na 30m, nešto slabije na 50m dok se od 60tog metra teško može primijetiti obris čovjekovog tijela. Udaljenosti na 30m, 50m i 60m prikazane su na Slici 65.



Slika 65. Pješak 2 30m, 50m, 60m desno - Fiat Punto 2

Na Slici 66, lijevo, prikazan je pješak 1 na udaljen 50m od vozila s upaljenim kratkim svjetlima, pješaka je ne moguće uočiti bez upotrebe dugog svjetla iako se i tada teško može primijetiti da se radi upravo o pješaku.



Slika 66. Pješak 1 na 50m kratka/duga svjetla - Fiat Punto 2

Na Slici 67, lijevo, može se uočiti postajanje objekta na 100m s kratkim svjetlima dok se paljenjem dugog svjetla može bolje primijetiti i uočiti objekt.



Slika 67. Pješak 2 na 100m kratka/duga svjetla - Fiat Punto 2

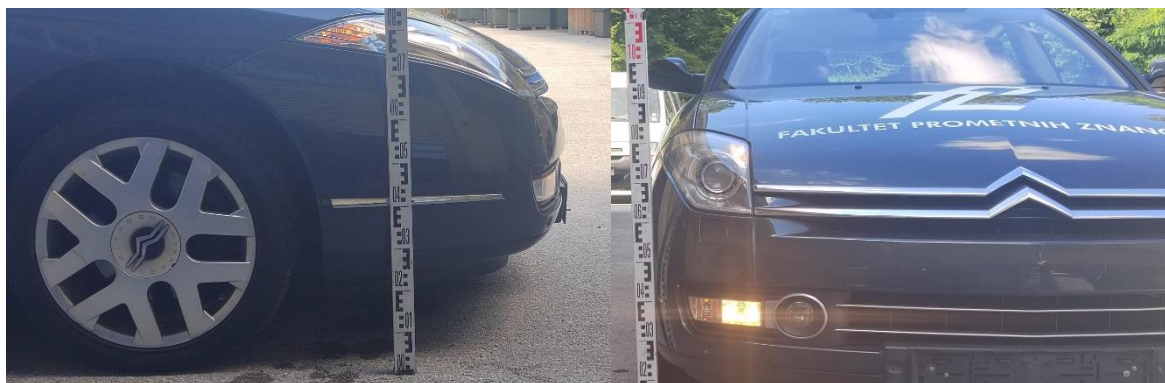
Reflektirajući prsluk na pješaku odavao je dojam postojanja objekta u daljini s kratkim svjetlima no paljenjem dugog svjetla pješak se mogao uočiti, Slika 68.



Slika 68. Pješak 3 100m dugo/kratko svjetlo - Fiat Punto 2

5.6. CITROEN C6 - XENON

Xenon svjetla u odnosu na halogen H4 i H1 imaju jači intenzitet i bijelu boju svjetlosti, no imaju jednako približnu površinu osvijetljenosti. Visina centra svjetlosnog uređaja Citroena C6 je 75 cm od tla. U kućištu se nalaze reflektori za kratka i duga svjetla dok su dnevna i svjetla za maglu smještena ispod glasnog svjetlosnog uređaja.



Slika 69. Visina svjetlosnog uređaja Citroena C6

Na Slici 70 prikazan je pješak 1 na udaljenostima 10m, 20m i 25m lijevo od oznake. Pješak je jasno vidljiv 10m ispred vozila no od 20tog do 30tog metra on postaje neuočljiv za vozača.



Slika 70. Pješak 1 10m, 20m, 2 m lijevo – Citroen C6

Jača osvijetljenost kolnika je uz desni far automobila gdje se pješak može bolje vidjeti na 10m u odnosu na istu udaljenost lijevo od oznake. Uz obilježeni pravac obris pješaka je uočljiv na 20tom metru no na 30tom se već ne može uočiti, Slika 71.



Slika 71. Pješak 1 10m, 20m, 30m uz oznaku - Citroen C6

S desne strane vidljivost je opet slabija u odnosu na prethodnu uz oznaku. Pješak ne staje iz vida između 20tog i 25tog metra, Slika 72.



Slika 72. Pješak 1 10m, 20m, 25m desno - Citroen C6

Xenon kratka svjetla Citroena C6 omogućila su vidljivost pješaka 2 lijevo od oznake do 30tog metra, od 35tog metra pješak nestaje iz vida vozača, Slika 73.



Slika 73. Pješak 2 15m, 30m, 35 m lijevo - Citroen C6

Osvjetljenje poligona bolje je uz oznake na kolniku tako je i vidljivost pješaka jasnija i veća. Slikom 74 prikazan je pješak na 15m, 40m s izraženijim donjim dijelom tijela i na 50m odakle pješak postaje neuočljiv.



Slika 74. Pješak 2 15m, 40m, 50m uz oznaku - Citroen C6

Na desnoj strani kolnika pješak također postaje neuočljiv od 50tog metra, na 45m moguće je vidjeti obrise čovjekovog tijela, opet s naglašenim donjim dijelom tijela, Slika 75.



Slika 75. Pješak 2 15m, 45m, 50m desno - Citroen C6

Duga svjetla povećavaju intenzitet te obasjavaju cijeli poligon. Na Slici 76 prikazan je pješak u tamnoj odjeći kojemu su uočljivi obrisi tijela do 90tog metra s upaljenim dugim svjetlom.



Slika 76. Pješak 1 90m duga svjetla - Citroen C6

Na Slici 77, lijevo, može se primijetiti da pješak 2 na udaljenosti od 70m uz oznaku nije vidljiv vozaču no paljenjem dugog svjetla povećava se vidno polje i pješak ostaje primjetan sve do 100tog metra oznake.



Slika 77. Pješak 2 70m kratko/dugo i 100m dugo svjetlo - Citroen C6

Pješak 3 na udaljenosti od 100m prikazan je na Slici 78 s kratkim i dugim svjetlom. Lijevo na slici može se uočiti objekt koji jasno privlači pozornost vozača, a desno s upaljenim dugim svjetlom dolazi do jače refleksije i jasnijeg viđenja objekta u ovom slučaju pješaka.



Slika 78. Pješak 3 100m kratko/dugo svjetlo - Citroen C6

6. ANALIZA REZULTATA

Prema istraživanju provedenom u ovom radu tablicama su prikazani rezultati vidljivosti pješaka u noćnim uvjetima promatrajući ih iz perspektive vozača iz šest različitih vozila s različitim svjetlosnim uređajima. Na Slici prikazane su razlike u intenzitetu izvora svjetlosti i osvjetljenosti površine poligona.



Slika 79. Usporedba svjetlosnih uređaja automobila

Na fotografijama iznad jasna je razlika u boji svjetla koje emitiraju žarulje svjetlosnih uređaja. Halogen žarulje imaju slabiji intenzitet i žutu boju svjetlosti koja manje smeta vozačima suprotnog smjera, imaju bolje osvjetljenje površine poligona. To se najbolje može vidjeti na primjeru H7 žarulje gdje se u pozadini fotografije uočavaju drveća dok kod laser, led i ksenon tehnologije to nije slučaj. Pozadina u njihovim slučajevima je izuzetno tamnija, a boja emitirane svjetlosti je bijela. Najveći intenzitet izvora svjetlosti ima laser tehnologija.

Tablica 4. Vidljivost pješaka 1 (tamna odjeća)

| PJEŠAK 1 – UOČLJIV | | KRATKO SVJETLO | | |
|---------------------|---------------------|------------------|-----------|-----------------|
| | | LIJEVO OD OZNAKE | UZ OZNAKU | DESNO OD OZNAKE |
| BMW serije 8 | Laserska svjetla | 25 | 25 | 25 |
| Suzuki Vitara | LED svjetla | 25 | 25 | 25 |
| Volkswagen Passat 8 | Halogena svjetla H7 | 35 | 35 | 40 |
| Fiat Scudo | Halogena svjetla H4 | 15 | 20 | 15 |
| Fiat Puntio 2 | Halogena svjetla H1 | 20 | 25 | 35 |
| Citroen C6 | Xenon svjetla | 10 | 20 | 20 |

U Tablici 4 prikazane su udaljenosti na kojima je pješak 1 vidljiv vozaču. Prema rezultatima halogen H7 svjetla VW Passata 8 pokazala su se najučinkovitijim za uočavanje pješaka u tamnoj odjeći. Pješak se vidio na udaljenosti od 40m desno od oznake na kolniku dok je lijevo i uz oznaku bio vidljiv na 35m. Ksenon svjetlo Citroena C6 omogućilo je vozaču vidljivost crnog pješaka lijevo od oznake na udaljenosti od 10m što je najlošiji rezultat ovog istraživanja. Sumirajući podatke prosječna vidljivost pješaka je 25m od automobila.

Tablica 5. Vidljivost bijelog pješaka (svijetla odjeća)

| PJEŠAK 2 - UOČLJIV | | KRATKO SVJETLO | | |
|---------------------|---------------------|------------------|-----------|-----------------|
| | | LIJEVO OD OZNAKE | UZ OZNAKU | DESNO OD OZNAKE |
| BMW serije 8 | Laserska svjetla | 40 | 50 | 50 |
| Suzuki Vitara | LED svjetla | 35 | 40 | 35 |
| Volkswagen Passat 8 | Halogena svjetla H7 | 100 | 100 | 100 |
| Fiat Scudo | Halogena svjetla H4 | 40 | 50 | 45 |
| Fiat Puntio 2 | Halogena svjetla H1 | 30 | 40 | 50 |
| Citroen C6 | Xenon svjetla | 30 | 40 | 45 |

Rezultati vidljivosti pješaka 2 prikazani su u Tablici 5. Halogen H7 svjetlo pokazalo se kao najbolje rješenje za automobil i kod uočavanja pješaka u svijetloj odjeći. Kratka halogen H7 svjetla osvijetlila su poligon istraživanja u njegovoj cijeloj duljini od 100 metara što je omogućilo vidljivost bijelog pješaka na posljednjoj točki mjerenja. Sljedeći najbolji rezultat ostvario je BMW Serije 8 s laserskim svjetlima koja su omogućila vidljivost pješaka lijevo od oznake na 40m, uz oznaku i desno od nje na 50m. Led svjetla Suzuki Vitare pokazala najlošiji rezultat kod uočavanja pješaka 2.

Tablica 6. Vidljivost pješaka 3 (reflektirajući prsluk)

| PJEŠAK 3 - UOČLJIV | | KRATKO SVJETLO | | |
|---------------------|---------------------|------------------|-----------|-----------------|
| | | LIJEVO OD OZNAKE | UZ OZNAKU | DESNO OD OZNAKE |
| BMW serije 8 | Laserska svjetla | / | 100 | / |
| Suzuki Vitara | LED svjetla | / | 100 | / |
| Volkswagen Passat 8 | Halogena svjetla H7 | / | 100 | / |
| Fiat Scudo | Halogena svjetla H4 | 60 | 60 | 60 |
| Fiat Puntio 2 | Halogena svjetla H1 | / | 100 | / |
| Citroen C6 | Xenon svjetla | / | 100 | / |

Pješak koji je na sebi imao žuti reflektirajući prsluk pokazao se tijekom istraživanja kao najlakše uočljiv na svim pozicijama mjerenja stoga su njegovi rezultati prikazani samo na udaljenosti od 100m uz posljednju oznaku na kolniku, Tablica 6. Iznimku čine halogen H4 kratka svjetla Fiata Scudo koja su imala izuzetno slab intenzitet svjetla i zbog toga je bila i slabija refleksija prsluka na pješaku. U ostalim slučajevima s kratkim svjetlom na automobilu refleksija je bila dovoljna za privlačenje pozornosti vozača i uočavanje objekta u daljini u slučaju ovog istraživanja pješaka.

Tablica 7. Pješak 1 nije uočljiv

| PJEŠAK 1 - NEUOČLJIV | | KRATKO SVJETLO | | |
|----------------------|---------------------|------------------|-----------|-----------------|
| | | LIJEVO OD OZNAKE | UZ OZNAKU | DESNO OD OZNAKE |
| BMW serije 8 | Laserska svjetla | 30 | 30 | 30 |
| Suzuki Vitara | LED svjetla | 30 | 30 | 30 |
| Volkswagen Passat 8 | Halogena svjetla H7 | 40 | 40 | 45 |
| Fiat Scudo | Halogena svjetla H4 | 20 | 30 | 20 |
| Fiat Puntio 2 | Halogena svjetla H1 | 30 | 30 | 40 |
| Citroen C6 | Xenon svjetla | 25 | 30 | 25 |

U Tablici 7 prikazane su udaljenosti na kojima pješak 1 prestaje biti vidljiv vozaču. Ovi rezultati vezani su prethodne rezultate vidljivosti iz Tablice 4 gdje najbolju vidljivost ostvario VW Passat s halogen H4 svjetlom sukladno tomu pješak prestaje biti uočljiv na 45m desno od oznake odnosno na 40 metru lijevo i uz oznaku.

Tablica 8. Pješak 2 nije uočljiv

| PJEŠAK 2 - NEUOČLJIV | | KRATKO SVJETLO | | |
|----------------------|---------------------|------------------|-----------|-----------------|
| | | LIJEVO OD OZNAKE | UZ OZNAKU | DESNO OD OZNAKE |
| BMW serije 8 | Laserska svjetla | 50 | 60 | 60 |
| Suzuki Vitara | LED svjetla | 40 | 50 | 45 |
| Volkswagen Passat 8 | Halogena svjetla H7 | / | / | / |
| Fiat Scudo | Halogena svjetla H4 | 45 | 60 | 50 |
| Fiat Puntio 2 | Halogena svjetla H1 | 40 | 60 | 60 |
| Citroen C6 | Xenon svjetla | 35 | 50 | 50 |

Također, Tablica 8 predstavlja udaljenosti od kojih pješak u svijetloj odjeći prestaje biti uočljiv vozaču. Na primjer, pješak prestaje biti vidljiv od 50tog metra lijevo od oznake, 60tog metra uz i desno od oznake uporabom kratkog svjetla BMW Serije 8. Ksenon svjetlo ima slabiju osvjetljenost lijevo od vozila stoga se pješak gubi iz vida već od 35tog metra. Prosječna udaljenost na kojoj pješak 2 nestaje iz vidnog polja vozača je na 50 metara udaljenosti od automobila.

Tablica 9. Vidljivost pješaka 1,2 i 3 s dugim svjetlom

| AUTOMOBILI | | DUGO SVJETLO - UZ OZNAKU | | |
|---------------------|---------------------|--------------------------|----------|----------|
| | | PJEŠAK 1 | PJEŠAK 2 | PJEŠAK 3 |
| BMW serije 8 | Laserska svjetla | 70 | 100 | 100 |
| Suzuki Vitara | LED svjetla | 100 | 100 | 100 |
| Volkswagen Passat 8 | Halogena svjetla H7 | 100 | 100 | 100 |
| Fiat Scudo | Halogena svjetla H4 | 50 | 100 | 100 |
| Fiat Puntio 2 | Halogena svjetla H1 | 50 | 100 | 100 |
| Citroen C6 | Xenon svjetla | 100 | 100 | 100 |

Dugo svjetlo na vozilu ima zadaću osigurati bolju preglednost i povećati vidno polje vozaču pazeći na neometanje prometa iz suprotnog smjera. U Tablici 8 prikazani su rezultati vidljivosti, korištenjem dugog svjetla na vozilu, sva tri pješaka koja su sudjelovala u istraživanju. Može se zaključiti da su duga svjetla vozila ispunila svoju zadaću kada je u pitanju vidljivost pješaka u svijetloj odjeći i pješaka s reflektirajućim prslukom koji se sigurno mogu uočiti na udaljenosti od 100 metara. Iznimku čini pješak u tamnoj odjeći koji je vidljiv na 70 metara uz oznaku s laserskim svjetlima BMW-a, dok je na 50 metara vidljiv korištenjem halogen H4 i H1 svjetla.

Ako usporedimo dobivene rezultate s prethodno provedenim istraživanjima može se konstatirati činjenica da je mogućnost uočljivosti pješaka uz lijevu stranu automobila smanjena u odnosu na desnu stranu kako bi se izbjeglo zasljepljenje vozača iz suprotnog smjera. To se najviše očituje kod ksenon svjetla i led svjetla. Upravo ksenon svjetlo ima najveću razliku između istraživanja u ovom radu i prethodnog A. Kortmana i T. Hongera [1], u kojem se pješak sa svjetlom odjećom može detektirati kod približavanja s desne strane na udaljenosti od 70 metara pomoću ksenon svjetla dok u ovom radu najveća uočljivost pješaka 1 iznosi 45 metara desno od oznake, a ako se za usporedbu uzmu led i halogen svjetla rezultati uočljivosti su približno slična. Usporedimo li s istraživanjem M. Freko [3], gdje su pješaci u svijetloj odjeći s desne strane bili uočeni na prosječnoj udaljenosti od 50 što je približno prosječnoj udaljenosti vidljivosti pješaka 2 u ovom radu. Prema njenom istraživanju prosječna udaljenost uočavanja pješaka s reflektirajućim prslukom je 213m što može poslužiti kao potvrda sigurne vidljivosti reflektirajućeg pješaka na 100m u ovom radu.

7. ZAKLJUČAK

Pješaci se smatraju najugroženijom skupinom sudionika u prometu. To je zato što su izloženi većem riziku od ozljeda u slučaju sudara s vozilima ili drugim objektima u prometnom okruženju. Kao najveći problem izdvaja se vidljivost pješaka u noćnim uvjetima vožnje te je uz poboljšanje infrastrukture cesta potrebno osigurati i dobru vidljivost. Svjetlosni uređaji na automobilu zadužen je za osvijetljavanje puta ispred vozila, omogućujući vozaču bolju vidljivost i sigurniju vožnju. Postoji više načina izvedbe svjetlosnog uređaja, a razlikuju se po vrsti žarulje kao što su halogen žarulje (H), ksenon žarulje, svjetlosne diode (LED) i laser tehnologija rasvjete.

Prema prethodnim istraživanjima ne postoji opće pravilo o tome koji je profil svjetala korisniji, a ponajviše ovisi o brzini, odjeći koju pješak ima na sebi i točki kontakta s vozilom. Profil svjetala bi se trebao prilagoditi brzini vozila, što se može postići korištenjem adaptivnih svjetala.

Prema zakonu o sigurnosti prometa na cestama, vozila koja sudjeluju u prometu noću ili u slučaju smanjene vidljivosti moraju imati upaljena svjetla. Na motornim vozilima, osim na mopedima i motociklima bez bočne prikolice, obvezno je imati najmanje dva bijela ili žuta svjetla na prednjoj strani i paran broj crvenih svjetala na stražnjoj strani.

Halogen svjetla rade na principu da se žarulja zagrijava do visoke temperature kako bi proizvela svjetlost dok ksenon svjetla koriste gasna pražnjenja i električni luk preko xenon plina kako bi proizveli intenzivnu svjetlost. LED uz pomoć poluvodiča (Light Emitting Diodes) emitira svjetlost kada se struja provodi kroz poluvodički materijal. Laser svjetla koriste lasersku emisiju svjetlosti kako bi proizveli vrlo koncentriran i intenzivan snop svjetla.

Istraživanjem u ovom radu se želi provjeriti utjecaj izvedbe svjetlosnog uređaja na vidljivost pješaka u noćnim uvjetima. Ono je provedeno mjerenjem udaljenosti na kojoj je pješak vidljiv odnosno nevidljiv vozaču. U duljini od 100 metara postavljene su oznake na kolniku u razmaku od 5m, uz oznake te lijevo i desno od njih kretao se pješak licem okrenut prema vozilu. Na svakoj zadanoj poziciji napravljeno je snimanje pješaka u svijetloj, tamnoj i reflektirajućoj odjeći.

U ispitivanju vidljivosti sudjelovalo je šest vozila, a to su BMW serije 8 s laser svjetlom, Suzuki Vitara s LED svjetlom, Volkswagen Passat 8 s halogena H7 svjetlom, Citroen C6 sa ksenon svjetlom, Fiat Puntio 2 s halogena H1 svjetlom te Fiat Scudo s halogena H4 svjetlom.

Analizom istraživanja može se utvrditi sljedeće: pješak **1** najbolju vidljivost imao je korištenjem halogen H7 žarulje, kratko svjetlo, gdje se na udaljenosti od 40 metara mogla uočiti figura čovjeka. U ostalim slučajevima kratkog svjetla pješak se u prosjeku gubio iz vida na udaljenostima već od 30tog do 35tog metra. Najlošiji rezultat pokazala je xenon žarulja gdje se pješak **1** na udaljenosti od 25 metara postepeno gubi iz vida vozača i postaje nemoguć za primijetiti. Pješak **2** najbolje rezultate ostvario je pri snimanju halogen H7 žaruljom gdje bio uočljiv na udaljenosti od 100 metara koristeći kratka svjetla. Halogen žaruljom H1, laser tehnologijom i led žaruljom moguća je uočljivost bijelog pješaka do 50 metara. Korištenjem dugog svjetla sva vozila povećala su vidno polje vozaču, pješaci **2** i **3** vidljivi su u duljini od 100m za svaki tip svjetlosnog uređaja koji je ispitan. Pješak **1** također može biti uočen na udaljenosti od 50 do 100 metara korištenjem dugog svjetla, uz povećanu opreznost vozača i dobro zapažanje.

Zaključno ovim istraživanjem halogen H4 svjetla VW Passata 8 pokazala su se kao najbolje rješenje za uočavanje pješaka, a nakon njih najveću prednost ostvarila je laser tehnologija automobila BMW serije 8. Promatrajući način odijevanja pješaka zasigurno najveću prednost i sigurnost u prometu imat će osoba koja nosi reflektirajući prsluk noću no svijetli odjevni predmet također će pridonijeti lakšem uočavanju.

Važno je napomenuti da je tehnologija osvjetljenja na automobilima stalno u razvoju, te se može razlikovati ovisno o modelima i proizvođačima. Svaka vrsta svjetala ima svoje prednosti i nedostatke, a odabir ovisi o preferencijama vozača, uvjetima vožnje i zakonodavstvu u zemlji gdje se vozilo koristi.

POPIS LITERATURE

- [1] A. Kortmann, T. Hoger., Pedestrian Detection with Halogen, Xenon and LED Headlights: The Light Scattering Effect. 26th Annual Congress of the European Association for Accident Research and Analysis. 2017. Italija
- [2] J. Unarski, W. Wach, P. Cięпка., Visibility of obstacles at night– selected elements. 22 EVU Congress. 2013. Florence
- [3] M. Freko. Analiza utjecaja reflektirajućih prsluka i svijetle odjeće na sigurnost pješaka. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2017. Preuzeto sa: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:925> [Pristupljeno: srpanj, 2023]
- [4] G. Luburić. Sigurnost cestovnog i gradskog prometa. Radni materijal za predavanje. Fakultet prometnih znanosti.
- [5] V. Cerovac. Tehnika i sigurnost prometa. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [6] Europska unija. *Pravilnik Gospodarske komisije Ujedinjenih naroda za Europu (UN/ECE) – Jedinstvene odredbe o homologaciji vozila s obzirom na ugradnju uređaja za osvjetljavanje i svjetlosnu signalizaciju*. Izdanje: 48. 2018.
- [7] Republika Hrvatska. *Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama*. Izdanje: 85. Zagreb: Narodne novine; 2016.
- [8] Republika Hrvatska. *Zakon o sigurnosti prometa na cestama*. Izdanje: 114. Zagreb: Narodne novine; 2022.
- [9] M. Kosić. Osvjetljenje u vozilu. [Prezentacija] Pučko otvoreno učilište Zagreb, 2020.
- [10] A. Ščukanec. D. Babić. Dario Babić. M. Fiolić. Osnove vidljivosti – svjetlost, refleksija i boje. [Prezentacije] Prometna signalizacija, Fakultet prometnih znanosti; 2023.
- [11] V. Grujić. Od halogenih do laserskih – tipovi sijalica i njihov princip rada. Moj Volan. 2019.
- [12] Razlike između halogenih, ksenonskih, LED i laserskih svjetala. Mobil Land. Preuzeto sa: <https://xenoni.me/razlike-izmedju-halogenih-ksenonskih-led-i-laserskih-svjetala/>. [Pristupljeno: srpanj, 2023]
- [13] S. Selimović. Uređaji za osvjetljenje i svjetlosnu signalizaciju i uređaji za ispitivanje istih. [Prezentacija] INSTITUT ZA PRIVREDNI INŽENJERING.
- [14] Xenon sijalica. Preuzeto sa: <https://www.google.com/search?q=ksenonska> [Pristupljeno: srpanj, 2023]
- [15] D. Jajčević. Utjecaj svjetlosnih uređaja vozila na sigurnost cestovnog prometa. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2019. Preuzeto sa: [Pristupljeno: srpanj, 2023]

[16] Konica Minolta. Laser Headlights Have Drivers Seeing the Road in a Whole New Light. Preuzato sa: <https://sensing.konicaminolta.us/us/blog/laser-headlights-have-drivers-seeing-the-road-in-a-whole-new-light/>. [Pristupljeno: srpanj, 2023]

[17] Mjerna kolica. Preuzato sa: <https://tritonel.hr/hr/proizvod/specijalna-oprema-specijalni-uredaji-mjerna-kolica-glunz-technik-tip-m4/70>. [Pristupljeno: srpanj, 2023]

[18] Prometni čunji. Preuzeto sa: <https://www.sio.hr/signalizacija-i-oprema/prometni-cunjevi/5>. [Pristupljeno: srpanj, 2023]

[19] Sigurnosni prsluk. Preuzeto sa: <https://protecheuropa.de/bs/proizvod/sigurnosni-prsluk/>. [Pristupljeno: srpanj, 2023]

POPIS SLIKA

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1. Vidljivost iz vozila od 4s do 1s prije udara, prilaz s desna | 3 |
| Slika 2. Vidljivost iz vozila od 4s do 1s prije udara, prilaz s lijeva | 4 |
| Slika 3. Profili kratkog svjetla i usporedna simetričnog svjetla Audi-a i asimetričnog svjetla BMW-a..... | 4 |
| Slika 4. Vidljivost pješaka od 4s do 1s, prilaz s lijeve i desne strane | 5 |
| Slika 5. Udaljenost stražnjeg kotača bicikla | 7 |
| Slika 6. Udaljenost kotača bicikla kao snop svjetla | 7 |
| Slika 7. Graf udaljenosti uočavanja pješaka | 8 |
| Slika 8. Osnovni podsustavi prometa | 9 |
| Slika 9. Raspored osvjetljenja vozila | 17 |
| Slika 10. Parabolični reflektor | 18 |
| Slika 11. Elipsoidni reflektor | 18 |
| Slika 12. Reflektor slobodnog oblika | 19 |
| Slika 13. Stupnjeviti reflektor | 19 |
| Slika 14. Halogen H7 i H4 žarulja | 21 |
| Slika 15. Ksenon žarulja | 21 |
| Slika 16. LED žarulja | 22 |
| Slika 17. Laser tehnologija | 24 |
| Slika 18. Lokacija provođenja istraživanja | 25 |
| Slika 19. Mjerna kolica | 26 |
| Slika 20. Prometni čunj | 26 |
| Slika 21. Način obilježavanja udaljenosti | 27 |
| Slika 22. Reflektirajući prsluk | 27 |
| Slika 23. Pozicije snimanja pješaka | 28 |
| Slika 24. Visina svjetlosnog uređaja BMW | 29 |
| Slika 25. Pješak 1 15m, 25m, 30m lijevo – BMW | 30 |
| Slika 26. Pješak 1 15m, 25m, 30m, uz oznaku – BMW | 30 |
| Slika 27. Pješak 1 15m, 25m, 30m, desno - BMW | 31 |
| Slika 28. Pješak 2 30m, 40m, 50m, lijevo - BMW | 31 |
| Slika 29. Pješak 2 30m, 50m, 60m uz oznaku - BMW | 31 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 30. Pješak 2 30m, 50m, 60m desno - BMW | 32 |
| Slika 31. Pješak 3 50 i 100 m kratka, 100m duga svjetla - BMW | 32 |
| Slika 32. Pješak 1 70 m – BMW..... | 32 |
| Slika 33. Pješak 1 100m duga svjetla - BMW | 33 |
| Slika 34. Visina svjetlosnog uređaja Suzuki Vitare | 33 |
| Slika 35. Pješak 1 15m, 25m, 30m lijevo – Suzuki Vitara..... | 34 |
| Slika 36. Pješak 1 15m, 25m, 30m uz oznaku – Suzuki Vitara | 34 |
| Slika 37. Pješak 1 15m, 25m, 30m desno – Suzuki Vitara..... | 34 |
| Slika 38. Pješak 2 20m, 3m5, 40m lijevo – Suzuki Vitara | 35 |
| Slika 39. Pješak 2 20m, 40m, 50m uz oznaku – Suzuki Vitara | 35 |
| Slika 40. Pješak 2 20m, 35m, 45m desno – Suzuki Vitara..... | 35 |
| Slika 41. Pješak 1, 2, i 3 na 100m uz oznaku – Suzuki Vitara | 36 |
| Slika 42. Visina svjetlosnog uređaja VW Passat 8..... | 36 |
| Slika 43. Pješak 1 20m, 35m, 40m lijevo – VW Passat 8..... | 37 |
| Slika 44. Pješak 1 20m, 35m, 40m uz oznaku - VW Passat 8 | 37 |
| Slika 45. Pješak 1 30m, 40m, 45m desno - VW Passat 8 | 37 |
| Slika 46. Pješak 2 50m lievo, uz oznaku i desno - VW Passat 8 | 38 |
| Slika 47. Pješak 1 i 2 na 100m, kratka svjetla - VW Passat 8 | 38 |
| Slika 48. Pješak 1, 2 i 3 na 100m, duga svjetla - VW Passat 8 | 38 |
| Slika 49. Visina svjetlosnog uređaja Fiat Scudo | 39 |
| Slika 50. Pješak 1 10m, 15m, 20m lijevo - Fiat Scudo..... | 39 |
| Slika 51. Pješak 1 15m, 20m, 30m uz oznaku - Fiat Scudo | 40 |
| Slika 52. Pješak 1 10m, 15m, 20m desno - Fiat Scudo | 40 |
| Slika 53. Pješak 2 20m, 40m, 45m lijevo - Fiat Scudo..... | 40 |
| Slika 54. Pješak 2 20m, 50m, 60m uz oznaku - Fiat Scudo | 41 |
| Slika 55. Pješak 2 20m, 45m, 50m desno - Fiat Scudo | 41 |
| Slika 56. Pješak 1 50m lijevo, uz oznaku i desno, duga svjetla - Fiat Scudo | 42 |
| Slika 57. Pješak 2 70m duga/kratka i 100m duga svjetla - Fiat Scudo | 42 |
| Slika 58. Pješak 3 60m duga/ kratka svjetla - Fiat Scudo | 42 |
| Slika 59. Visina svjetlosnog uređaja Fiat Punto 2 | 43 |
| Slika 60. Pješak 1 15m, 20m, 30m lijevo - Fiat Punto 2..... | 43 |
| Slika 61. Pješak 1 15m, 25m, 30m uz oznaku - Fiat Punto 2 | 44 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 62. Pješak 1 20m, 35m, 40m desno - Fiat Punto 2..... | 44 |
| Slika 63. Pješak 2 15m, 30m, 40m lijevo - Fiat Punto 2..... | 44 |
| Slika 64. Pješak 2 15m, 40m, 60m uz oznaku - Fiat Punto 2 | 45 |
| Slika 65. Pješak 2 30m, 50m, 60m desno - Fiat Punto 2..... | 45 |
| Slika 66. Pješak 1 na 50m kratka/duga svjetla - Fiat Punto 2 | 45 |
| Slika 67. Pješak 2 na 100m kratka/duga svjetla - Fiat Punto 2 | 46 |
| Slika 68. Pješak 3 100m dugo/kratko svjetlo - Fiat Punto 2..... | 46 |
| Slika 69. Visina svjetlosnog uređaja Citroena C6..... | 47 |
| Slika 70. Pješak 1 10m, 20m, 2 m lijevo – Citroen C6..... | 47 |
| Slika 71. Pješak 1 10m, 20m, 30m uz oznaku - Citroen C6..... | 48 |
| Slika 72. Pješak 1 10m, 20m, 25m desno - Citroen C6 | 48 |
| Slika 73. Pješak 2 15m, 30m, 35 m lijevo - Citroen C6..... | 48 |
| Slika 74. Pješak 2 15m, 40m, 50m uz oznaku - Citroen C6 | 49 |
| Slika 75. Pješak 2 15m, 45m, 50m desno - Citroen C6 | 49 |
| Slika 76. Pješak 1 90m duga svjetla - Citroen C6 | 49 |
| Slika 77. Pješak 2 70m kratko/dugo i 100m dugo svjetlo - Citroen C6..... | 50 |
| Slika 78. Pješak 3 100m kratko/dugo svjetlo - Citroen C6 | 50 |
| Slika 79. Usporedba svjetlosnih uređaja automobila | 51 |

POPIS TABLICA

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Tablica 1. Ljestvica sive boje i koeficijenta ρ | 6 |
| Tablica 2. Vrsta i boja svjetla..... | 16 |
| Tablica 3. Popis automobila i vrste svjetlosnog uređaja..... | 28 |
| Tablica 4. Vidljivost pješaka 1 (tamna odjeća)..... | 52 |
| Tablica 5. Vidljivost bijelog pješaka (svijetla odjeća) | 52 |
| Tablica 6. Vidljivost pješaka 3 (reflektirajući prsluk)..... | 53 |
| Tablica 7. Pješak 1 nije uočljiv | 54 |
| Tablica 8. Pješak 2 nije uočljiv | 54 |
| Tablica 9. Vidljivost pješaka 1,2 i 3 s dugim svjetlom | 55 |

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 mogega 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 _____ UTJECAJ IZVEDBE SVJETLOSNOG UREĐAJA NA VIDLJIVOST PJEŠAKA U NOĆNIM UVJETIMA _____, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:



U Zagrebu, 8. rujna 2023.

Melani Santai
(ime i prezime, potpis)