



Получена: 01.03.2024 г.

Приета: 21.03.2024 г.

## ВЛИЯНИЕ НА ВИЗУАЛНИ И ЗВУКОВИ СТИМУЛИ ВЪРХУ ПОВЕДЕНИЕТО НА ПОГЛЕДА НА ВЕЛОСИПЕДИСТИ

Б. Христов<sup>1</sup>

*Ключови думи:* поведение на погледа, области на интерес, уязвими участници в движението, визуални стимули, звукови стимули, параметри на погледа, велосипедисти, безопасност

### РЕЗЮМЕ

Колоезденето става все по-популярно, особено в големите градове. Това често се насърчава чрез нови велосипедни алеи, които осигуряват по-безопасни маршрути за движение на велосипедистите. Въпреки това инцидентите с велосипедисти се увеличават и те, като уязвими участници в движението, често получават тежки наранявания. Поради това е много важно да се разбере какво разсейва велосипедистите или какво привлича тяхното внимание и как поведението на погледа им се променя при определени влияния в реални ситуации. Основната цел на настоящото изследване е да се проучи дали и как обекти, намиращи се на пътното платно и встрани от него, както и звукови стимули, отвличат зрителното внимание на велосипедистите, като ги лишават от възможността да възприемат друга важна информация при управлението на велосипеда. Проучването е проведено в Берлинския университет за приложни науки. Данните за поведението на погледа на велосипедистите са записани с помощта на високоточни очила за прецизно проследяване на посоката на погледа Pupil Labs Invisible. За целта са проведени 20 теста с 10 участници. Тестът се състои от предварително зададена отсечка, съдържаща три вида разсейващи фактори, като тестваните лица не са информирани предварително за тях. Дефинирани са три области на интерес (ОИ, от англ. Areas of interest – AOI): фронтална (ФОИ), лява (ЛОИ) и дясна (ДОИ). Във всяка област на интерес са изчислени шест показателя на погледа, които са сравнени и анализирани статистически. Установени са съществени разлики в поведението на погледа при сравняване на звуковото с визуалното разсейване, като препятствието в лявата страна на

---

<sup>1</sup> Борислав Христов, проф. д-р инж., факултет „Инженерни науки“, кат. „Пътища и транспорт“, Берлински университет за приложни науки (HTW Berlin), Вилхелминенхофштрассе 75А, 12459 Берлин, e-mail: [Borislav.Hristov@HTW-Berlin.de](mailto:Borislav.Hristov@HTW-Berlin.de)

пътното платно има много по-силно въздействие върху поведението на погледа, отколкото звуковия и визуалния стимул, намиращи се на левия тротоар. Установено е, че поради съсредоточаване на погледа върху съответния стимул, повече от половината участници пропускат важния пътен знак А39 „Внимание! Други опасности“, намиращ се на 20 m разстояние от стимула в дясната страна на пътното платно.

## **1. Въведение**

Колоезденето е съвременна тенденция, която се наблюдава не само в Берлин, но и в цяла Германия. Обемът на велосипедния трафик продължава да се увеличава, като над 80 % от германците използват велосипеди. 55 % смятат, че велосипедът е незаменим [7]. Колоезденето е здравословно и полезно за околната среда, като допринася за намаляване на нивото на шума и чистотата на въздуха в големите градове. Градовете и регионите с висок дял на велосипедния транспорт се възприемат като особено привлекателни и заслужаващи да се живее в тях. В Германия особено положително са оценени градовете с голям брой зони със спокоен трафик, добри връзки с училища и спортни центрове и непрекъснати велосипедни връзки до всички места в околните жилищни райони [1]. Текущата дългосрочна прогноза за развитие на трафика 2021 – 2022 г. на Федералното министерство на цифровите технологии и транспорта (BMDV) ясно показва, че в периода 2019 – 2051 г. се очаква силен ръст от 36 % на велосипедния транспорт [6]. Прогнозата може да послужи като важна основа за планиране на инфраструктурата и за взимане на мерки за насърчаване на колоезденето. С увеличаване на велосипедния трафик произшествията с участието на велосипедисти нарастват, особено в големите градове. Затова изследването на влиянието на инфраструктурата и на различни стимули върху поведението на погледа на велосипедистите, като уязвими участници в движението, е от особено значение за подобряване на пътната безопасност.

## **2. Обща информация и цел на изследването**

Всяка година в Германия се случват много пътнотранспортни произшествия с участието на велосипедисти. През 2019 г. са регистрирани 76 392 катастрофи с велосипедисти, в 65 200 от които е имало ранени в следствие на сблъсък с други превозни средства. В 73,9 % от случите (48 230 произшествия) катастрофите са били с автомобили.

Федералната статистическа служба публикува, че при инциденти с участието на водачи на моторни превозни средства велосипедистите са били виновни в 23,4 % от случаите, при произшествията с участието на тежкотоварни превозни средства броят на виновните велосипедисти е спаднал до 18,8 %, а в произшествията между велосипедисти и пешеходци вината на велосипедистите нараства до 59,5 %. Един от всеки седем души, загинали при пътнотранспортни произшествия през 2019 г., е пътувал с велосипед. Това може да се дължи на факта, че поради разсейване велосипедистите и пешеходците често виждат хората твърде късно или изобщо не ги виждат. Налице са сравнително малък брой проучвания, които разглеждат поведението на погледа на велосипедистите. Съществуващите изследвания се фокусират върху различни повърхности на велосипедните алеи или върху ранното идентифициране на автомобили, но не и върху активното отвлечане на вниманието на велосипедистите или умишленото провокиране на разсейващи стимули.

В едно проучване от Белгия се изследва поведението на погледа при каране по добра велосипедна алея в сравнение в неравна велоалея. Установено е, че при неравни велосипедни алеи хората гледат по-малко в далечината и повече в непосредствената близост пред велосипеда. Авторите стигат до заключението, че при неравни велосипедни алеи велосипедистите вероятно реагират по-зле или карат по-невнимателно и вероятно реагират по-бавно и неправилно [8].

В друго проучване се сравнява поведението на погледа на велосипедисти в реални и лабораторни условия. Установява се, че в лабораторни условия велосипедистите обръщат повече внимание на пешеходците и другите велосипедисти [10].

[12 и 13] сравняват тренирани с нетренирани велосипедисти. Целта е да се установят разликите и корелациите в поведението на погледа между участниците.

Други проучвания разглеждат общото поведение на велосипедистите при приближаване на кръстовища на равнопоставени улици. В тези проучвания акцентът е поставен върху това да се установи при какви условия велосипедистите фиксират автомобилите по-ефективно [5]. Досегашните проучвания не могат да бъдат сравнени директно с настоящото изследване.

Основната цел на това изследване е да се проучи как обекти, намиращи се на пътното платно и встрани от него, както и звукови стимули, влияят върху поведението на погледа на велосипедистите в реални условия. Такива въздействия се наблюдават ежедневно при колоездене и затова е важно да се анализира поведението на погледа на велосипедистите с помощта на няколко изчислени параметъра на погледа в различни области на интерес (AOI), които да се сравнят статистически и да се направят добре обосновани заключения.

Въз основа на получените резултати могат да се предприемат целенасочени мерки за свеждане до минимум на потенциалните разсейващи фактори. Това изследване има потенциала допълнително да популяризира колоезденето като екологичен и здравословен начин на придвижване и да направи движението по пътищата още по-приятно и безопасно за велосипедистите [14, 15].

### **3. Подготовка и провеждане на изследването**

#### **3.1. Основни принципи на поведението на погледа и технология за измерване**

Зрителната система извършва два основни вида движения на очите – фиксации и сакади. По време на фиксация очите са насочени към определена точка от околната среда. От съществено значение за изучаване на поведението на погледа е техният брой, тяхната продължителност и други параметри, които са обяснени в 3.2. Сакадата е много бързо балистично движение, при което очите преминават от една фиксация към следващата и през това време не се приема никаква информация.

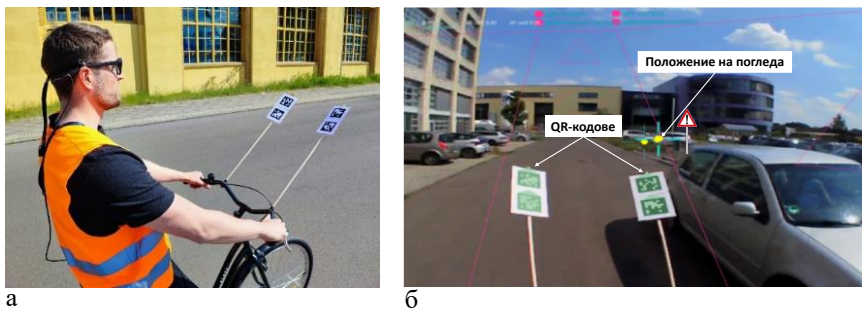
Поведението на погледа е записано с помощта на очилата Pupil Invisible [3]. Голямо предимство на тези очила е, че те работят без калибриране, тъй като алгоритъмът за проследяване на зениците се основава на дълбоко обучение (deep learning) и осигурява сигурни данни за погледа. Очилата Pupil Invisible разполагат с две камери за очите (по една за всяко око), като те са напълно вградени в рамката. Сензорите записват видео с честота 200 Hz и разделителна способност 192×192 px. Непосредствено до всяка камера е разположен инфрачервен светодиод (IR LED), който гарантира добро осветяване на окото в тъмна среда (фиг. 1а). Докато записва, мобилният телефон Pupil

Invisible Companion изчислява данните за погледа в реално време с честота 120 Hz (фиг. 1б). След като записът бъде качен в Pupil Cloud, данните за погледа автоматично се преизчисляват при пълна честота от 200 Hz и се извеждат в пикселното пространство на изображението от сценичната камера, което има разделителна способност  $1088 \times 1080$  px. Началото е в горния ляв ъгъл на изображението (фиг. 1в). Сценичната камера е прикрепена към лявата рамка на очилата Pupil Invisible. Тя записва видео с честота 30 Hz и разделителна способност  $1088 \times 1080$  px с поле на видимост  $82^\circ \times 82^\circ$ . В модула на сценичната камера е вграден микрофон за запис на звук по време на измерванията. В дясната рамка на очилата е вграден инерционен измервателен модул (IMU). Той измерва скоростта на въртене и транслационното ускорение на очилата Pupil Invisible с честота 200 Hz.



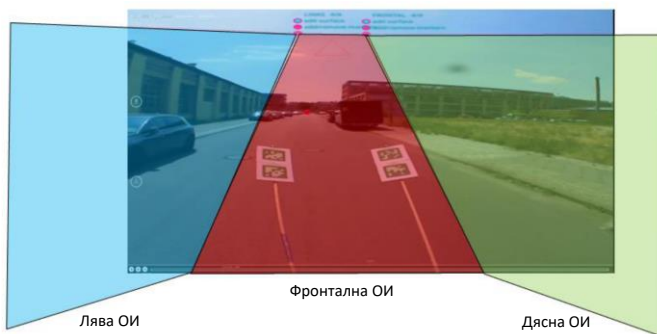
**Фиг. 1. Очила за измерване на поведението на погледа Pupil Invisible**

Областите на интерес (ОИ) са области, за които изследователят се интересува от събиране на данни за погледа и които представляват инструмент за по-нататъшен анализ на данните за движението на очите. За дефинирането на ОИ е необходимо предварително да се прикрепят 4 QR-кода към велосипеда (фиг. 2). По този начин областите на интерес не променят положението си при въртене на главата по време на движение (фиг. 3). Най-малко два от тях трябва да бъдат видими в полето на камерата, за да може ОИ да бъдат изчислени от софтуера в реално време.



**Фиг. 2. Участник с Pupil Invisible на велосипед с QR-кодове (а) и визуално поле с видими от очилата QR-кодове и фиксации (б)**

Фронталната ОИ е зоната непосредствено пред участниците. Тази област е по-широка в долната си част и се стеснява нагоре в трапецовидна форма, за да обхване пътя и зоната над него пред велосипедистите в перспектива. Лявата и дясната ОИ са долепени до фронталната област, имат същата височина и се разширяват встрани, за да се обхванат далечният и близкият страничен обхват.



**Фиг. 3. Области на интерес: лява (ЛОИ), фронтална (ФОИ) и дясна (ДОИ)**

### 3.2. Показатели на погледа

В изследването са използвани няколко показателя на погледа, с помощта на които могат да се направят точни и ясни изводи за поведението на погледа на велосипедистите при определени външни въздействия, които да се сравнят статистически, за да се провери в кои случаи са налице сигнификантни разлики.

- 1) **Средна продължителност на погледа върху ОИ за избрания интервал от време в секунди [s]**

$$СПП_{ОИ} = \frac{t_{ИНТ}}{БП}, \quad (1)$$

където  $СПП_{ОИ}$  е средната продължителност на погледа върху ОИ за избрания интервал от време в s;

$t_{ИНТ}$  – времето за пропътуване на избрания интервал, s;

БП – брой погледи, –.

Колкото по-дълга е продължителността на погледа в съответната област, толкова по-важна е информацията в тази област за велосипедистите.

- 2) **Брой погледи за единица време в ОИ в избрания интервал от време [1/s]**

$$БП_{ОИ} = \frac{БП}{t_{ИНТ}}, \quad (2)$$

където  $БП_{ОИ}$  е броят на погледите върху ОИ в избрания интервал от време;

БП – общ брой погледи в избрания интервал от време;

$t_{ИНТ}$  – времето за пропътуване на избрания интервал, s.

- 3) **Коефициент на внимание в ОИ [%]**

$$КВ_{ОИ} = \frac{t_{ОИ}}{t_{ИНТ}} \cdot 100, \quad (3)$$

където  $КВ_{ОИ}$  е коефициентът на внимание в ОИ в избрания интервал от време в %;

$t_{ОИ}$  – продължителността на всички погледи в ОИ, s;

$t_{ИНТ}$  – времето за пропътуване на избрания интервал, s.

Големият процент показва често фокусиране върху съответната ОИ и следователно засилен интерес към нея.

#### 4) Максимална продължителност на погледа в ОИ [s]

Дългата продължителност на погледа към ОИ  $\max t_{\text{ОИ}}$  в избрания интервал от време е индикатор за особено голям интерес към важно събитие или обект в ОИ. Възможно е в резултат на това велосипедистът да пропусне възможна опасност извън тази ОИ.

#### 5) Хоризонтална и вертикална активност на очите по X и Y [px]

Хоризонтална и вертикална активност на очите е стандартно отклонение на зеницата по хоризонтална ос X или вертикална ос Y в пиксели. Това е мярка за търсещата активност на погледа. По-малките стандартни отклонения показват по-голямо съсредоточаване върху определена област или обект, докато по-големите стандартни отклонения показват по-голямо разсейване на фиксациите или неравномерно разпределение на вниманието, което предполага по-сложна, стресова за водача ситуация.

#### 6) Вероятност за преход на погледа между две различни ОИ [%]

$$P_{\text{ПП}} = \frac{\Sigma \text{ПП}_{\text{А-Б}} + \Sigma \text{ПП}_{\text{Б-А}}}{\Sigma \text{ПП}} \cdot 100,$$

където  $P_{\text{ПП}}$  е вероятността за преход на погледа между две различни ОИ в избрания интервал от време в %;

$\Sigma \text{ПП}_{\text{А-Б}}$  – брой преходи на погледа от ОИ А към ОИ Б;

$\Sigma \text{ПП}_{\text{Б-А}}$  – брой преходи на погледа от ОИ Б към ОИ А;

$\Sigma \text{ПП}$  – брой преходи на погледа между всички ОИ.

Този показател показва вероятността за преместване на погледа от фронталната ОИ към лявата ОИ (ФОИ-ЛОИ) и от лявата ОИ към фронталната ОИ (ЛОИ-ФОИ), както и от фронталната ОИ към дясната ОИ (ФОИ-ДОИ) и от дясната ОИ към фронталната ОИ (ДОИ-ФОИ) в проценти. Повишената вероятност за такива преходи на очите показва, че участниците разпределят вниманието си между ФОИ и една от страничните области на пътя. Това предполага, че информация или събития, които са важни при управлението на велосипеда се възприемат в съответната посока на погледа, което изисква повишено визуално внимание.

### 3.3. Избор на участници в изследването

В изследването участват 10 души, които трябва да отговорят на два критерия: да не носят очила и да имат опит в колоезденето. Участниците са студенти или научни сътрудници в НТВ Берлин на възраст между 17 и 49 години, средна възраст – 28 години, 30 % жени и 70 % мъже. Освен това 30 % от участниците вече са преминали специално обучение по колоездене.

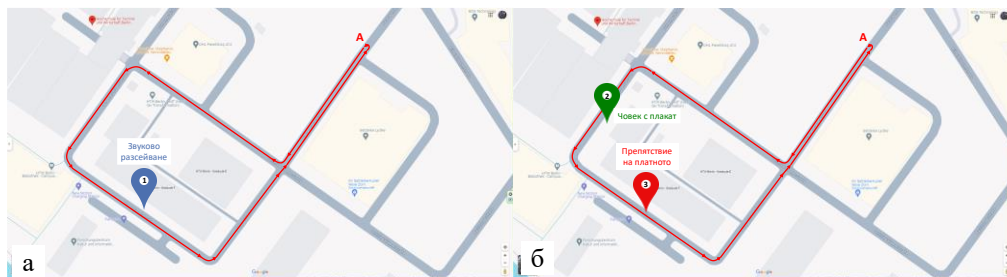
### 3.4. Избор на маршрут

Изборът на маршрут е много важен аспект от подготовката, тъй като той определя кои разсейващи фактори и ситуации могат да бъдат създадени. Улиците в

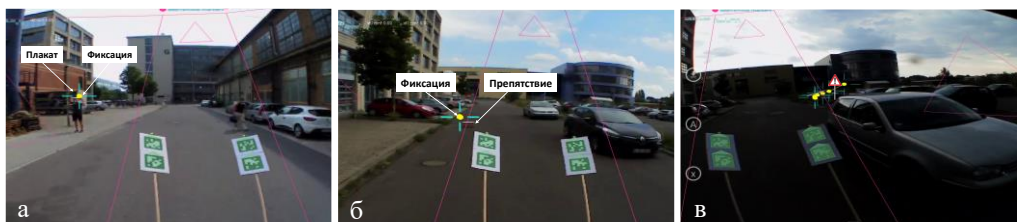
университетския район на НТВ Берлин са много подходящи за провеждане на това изследване, защото отсечката съдържа 2 кръстовища и отсечки между тях с леви и десни завои (фиг. 4). Голямо предимство е, че по този маршрут могат да се създават много и различни ситуации, без да е необходимо разрешение за това, като рискът от пътнотранспортни произшествия е минимален. Всеки участник пропътува с велосипед една и съща отсечка с дължина 640 m два пъти. Всяка обиколка започва и завършва в точка А (фиг. 4).

### 3.5. Сценарии със звукови и визуални стимули

Преди да се качат на велосипеда, участниците попълват въпросник, съдържащ информация за техния пол, възраст, опит като велосипедисти, поведение в уличното движение, собствена оценка на поведението и др. Важен аспект при такова изследване е участниците да не бъдат информирани предварително за сценариите по маршрута. При първата обиколка в точка 1, намираща се на левия тротоар в посоката на движение (фиг. 4а), един човек (статист) целенасочено създава звуков стимул, пускайки музика с висока сила на звука малко преди да се появи велосипедистът и по време на преминаването му покрай него.



Фиг. 4. Звуков стимул при първата обиколка (а) и визуални стимули при втората (б)



Фиг. 5. Визуални стимули: плакат (а), препятствие на пътното платно (б) и положение на знак А39 (в)

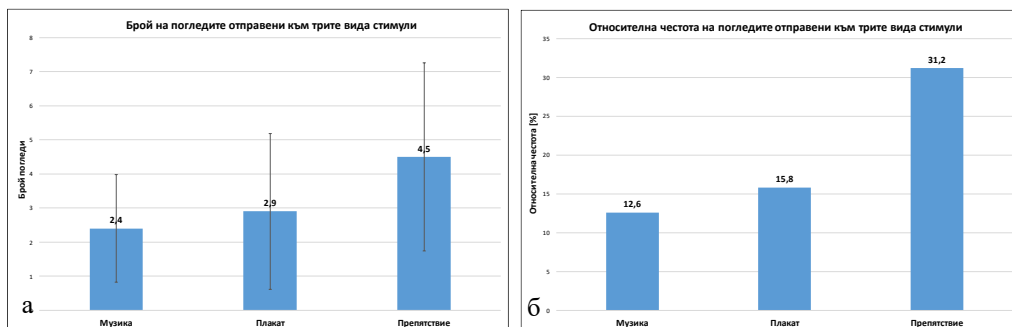
Веднага след преминаване на всеки велосипедист покрай звуковия стимул статистът поставя кашон на същото място, но върху пътното платно на около 25 cm от левия бордюр (фиг. 4б), така че препятствието да не пречи на автомобилното и велосипедното движение и да не оказва пряко въздействие при управлението на велосипеда. След това статистът веднага отива в точка 2 (фиг. 5а), намираща се отново на левия тротоар спрямо посоката на движение. Задачата му е да държи един цветен и открояващ се от околната среда плакат над главата си сякаш демонстрира или рекламира нещо. Целта е да се създаде визуално разсейване на участниците с плаката и

препятствието на пътя и да се сравни степента на влиянието им. Плакатът се използва и за да се сравни поведението на погледа на участниците без и със него. На разстояние 20 m след звуковия стимул и препятствието (кашон) вдясно от пътното платно е поставен пътен знак номер А39 „Внимание! Други опасности“ с цел да се изследва дали двата стимула отвлечат дотолкова погледа на велосипедистите, че те да не го забележат (фиг. 5в).

## 4. Резултати

### 4.1. Брой и относителна честота на погледите

Анализът на броя фиксации при трите сценария показва, че броят на погледите, отправени към звуковото влияние в ляво от пътното платно, е по-малък от броя, отправен към визуалните стимули (фиг. 6а). Относителната честота на погледите, отправени към трите вида стимули, са пресметнати от броя на погледите към тези стимули, разделен на общия брой погледи в съответния участък. От относителната честота на погледите, отправени към трите вида стимули, се вижда ясно, че влиянието на препятствието на пътното платно върху поведението на погледа е най-голямо и привлича 31,2 % от всички погледи в участъка (фиг. 6б). Значително по-малък процент погледи (15,8 %) се отправят към визуалното влияние на плаката и най-малко визуално внимание се обръща на музикалния стимул (12,6 %). За да се провери дали съществуват сигнификантни разлики, беше използван тестът на Wilcoxon и сравнен с Assymp. Sig (p-value). Поради сравнително малкия брой участници не беше съобразно да се използва t-test, въпреки нормалното разпределение на данните. Тестът показва, че препятствието на пътното платно привлича погледа на велосипедистите значително повече, отколкото плаката встрани от пътя ( $p = 0,011$ ). Също така има сигнификантна разлика между вниманието при звуковия стимул и препятствието на пътното платно ( $p = 0,040$ ). Влиянието на звуковия стимул върху погледа на водачите е значително по-малко от влиянието на препятствието до бордюра. Интересен резултат е липсата на сигнификантна разлика между въздействието на звуковия стимул и плаката в страни от пътното платно ( $p = 0,511$ ). Това означава, че въпреки визуалното регистриране на плаката и насочване на погледа към звуковия стимул отвлечането на вниманието на велосипедистите е много по-малко от въздействието на обекти, намиращи се на пътното платно, макар те да не представляват пречка при управлението на велосипеда.

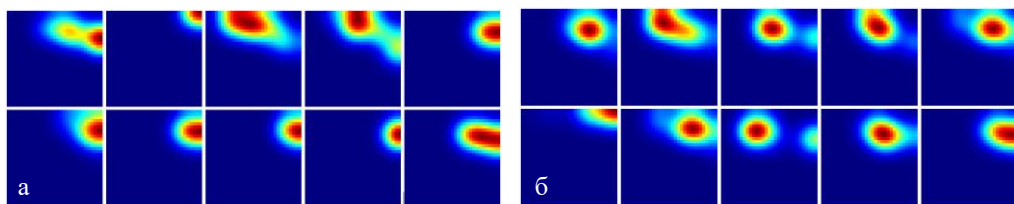


Фиг. 6. Брой на погледите (а) и относителна честота на погледите към стимулите (б)

## 4.2. Сравнение на лявата област на интерес (ЛОИ) при наличие и липса на визуално влияние на левия тротоар

Средните стойности на коефициента на внимание в ОИ и на максималната продължителност на погледа в ОИ са около два пъти по-големи при наличие на визуален стимул встрани от пътя, отколкото при липса на такъв, което се обяснява с отклоняването на погледа към визуалния стимул и продължително задържане на погледа върху него с цел усвояване на информацията (фиг. 8). Често продължителността на погледа към плаката достига до 3 секунди и в това време участниците не са гледали към пътното платно, пропускайки важна информация за управлението на велосипеда. Wilcoxon-тестът показва сигнификантна разлика при двата параметъра между първото и второто преминаване ( $KV_{OИ}$ :  $p = 0,005$ ;  $max\ t_{OИ}$ :  $p = 0,005$ ). От табл. 1 се вижда ясно, че средната продължителност на погледа, броят погледи за единица време и коефициентът на внимание в ЛОИ са по-големи в случая на наличие на визуален стимул на левия тротоар. Това показва засилена визуална активност в областта на плаката. Максималната продължителност на погледа е двойно по-голяма, което означава, че велосипедистите се нуждаят от повече време за интерпретиране на стимула. Много показателна е хоризонталната активност на очите, която е значително по-малка при наличието на плаката – това е индикация за по-съсредоточен поглед върху него, а по-голямото вертикално отклонение показва очната активност към плаката и човека, който го държи.

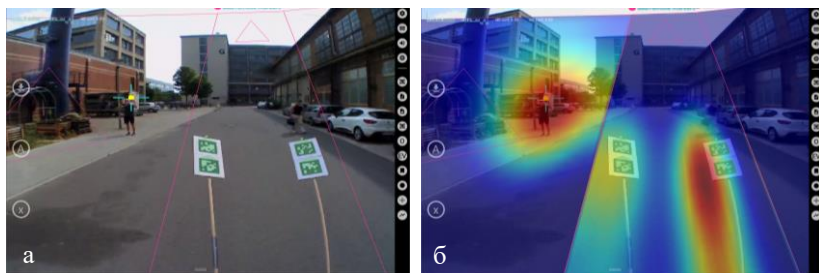
Топлинната карта показва областите с концентрация на фиксации. Тъмночервената област на топлинната карта показва най-голямата концентрация на погледа. По-малък брой фиксации попадат в жълтата област, още по-малко в светлосинята област, а в тъмносинята област липсват. При сравняване на топлинните карти от първото пътуване с тези от второто пътуване се вижда ясно, че погледите без визуален стимул най-често са само в десния край на лявата ОИ (фиг. 7а), което е част от фронталното разпределение на погледа при управление на велосипеда. При сценария с наличието на плаката концентрацията на погледа се измества в средата на лявата ОИ, фокусирайки визуалния стимул (фиг. 7б).



Фиг. 7. Топлинни карти при погледа на участниците при липса на визуален стимул на левия тротоар (а) и при наличие на такъв (б)

Таблица 1. Показатели на погледа в ЛОИ при наличие и липса на визуално влияние на левия тротоар

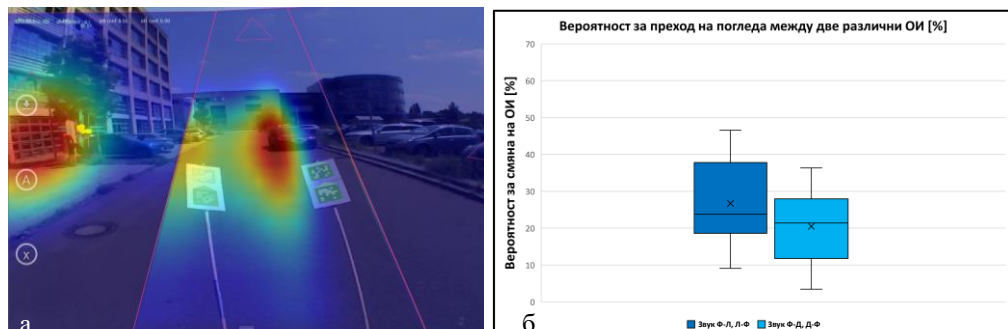
Показател	СП <sub>ОИ</sub> , s	БП <sub>ОИ</sub> , s <sup>-1</sup>	KV <sub>ОИ</sub> , %	max <sub>t<sub>ОИ</sub></sub> , s	SD <sub>x</sub> , px	SD <sub>y</sub> , px	Р <sub>п,ф-л</sub> , %	Р <sub>п,ф-д</sub> , %
ЛОИ без плакат	0,40	1,06	31,28	1,04	0,88	0,17	41,91	7,61
ЛОИ с плакат	0,56	1,17	59,27	2,00	0,57	0,59	40,89	9,34



Фиг. 8. Фиксация върху плаката (а) и топлинна карта на трите ОИ (б)

### 4.3. Сравнение между ЛОИ и ДОИ при звуковото въздействие

Звуковият стимул е на левия тротоар и попада в ЛОИ. Целта на това сравнение между двете области на интерес е да се установи дали велосипедистите пропускат знака, намиращ се 10 m след звуковия стимул и попадащ в ДОИ. Статистическото изследване за сигнификантни разлики между показателите на погледа показва недвусмислено, че вниманието на велосипедистите бива отвлечено от звуковия стимул. В ЛОИ стойностите на  $СПП_{ОИ}$  ( $p = 0,018$ ),  $КВ_{ОИ}$  ( $p = 0,007$ ),  $max t_{ОИ}$  ( $p = 0,022$ ) и  $SD_x$  ( $p = 0,038$ ) са значително по-големи от тези в ДОИ. Средната продължителност на погледа вляво е 0,41 s, а вдясно само 0,21 s (табл. 2). Двойно по-дългата продължителност на погледа, както и 2,5 пъти по големият коефициент на внимание в ЛОИ показват, че велосипедистите обръщат внимание на неочакваното звуково въздействие и задържат погледа си по-дълго върху неговия източник, като не регистрират последващия пътен знак (фиг 9а). Максималната продължителност на погледа в ЛОИ е 1,1 s, която е близо два пъти по-голяма от тази в ДОИ (0,56 s). Броят погледи за единица време в ДОИ ( $0,46 s^{-1}$ ) е два пъти по-малък от този в ЛОИ ( $0,83 s^{-1}$ ). Същевременно хоризонталното стандартно отклонение в ЛОИ (9,86 px) е 5,7 пъти по-малко от хоризонталната активност на очите вдясно (56,27 px). Освен това вероятността за преместване на погледа между ФОИ и ЛОИ и обратно в проценти е по-голяма, отколкото вероятността за преминаване на погледа от ФОИ към ДОИ (фиг. 9б). И тук много показателна е хоризонталната активност на очите, която е 5,7 пъти в ЛОИ. Това е индикация за по-съсредоточен поглед към звуковия стимул, а по-голямото вертикално отклонение показва очната активност към плаката и човека, който го държи. Поради задържането на погледа върху стимула 50 % от участниците пропускат да видят последващия пътен знак.



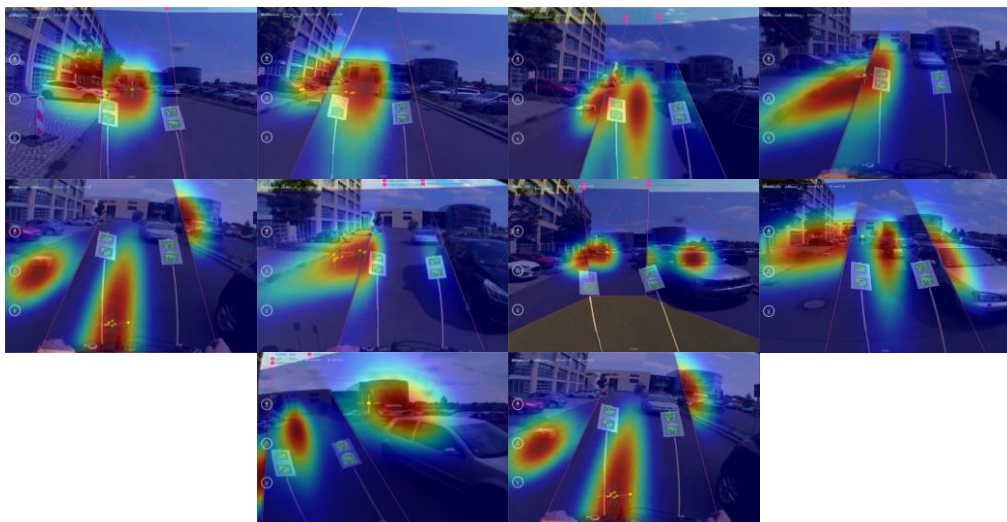
Фиг. 9. Топлинна карта при звуковия стимул на левия тротоар (а) и Box-plot диаграма за вероятност за преход на погледа между трите ОИ (б)

**Таблица 2. Показатели на погледа в ЛОИ и ДОИ при звуково въздействие**

Показател	СПП <sub>ои</sub> , s	БП <sub>ои</sub> , s <sup>-1</sup>	КВ <sub>ои</sub> , %	max <sub>тои</sub> , s	SD <sub>x</sub> , px	SD <sub>y</sub> , px	Р <sub>пп,ф-л</sub> , %	Р <sub>пп,ф-д</sub> , %
ЛОИ	0,41	0,83	24,08	1,10	9,86	4,69	26,71	20,48
ДОИ	0,21	0,46	9,68	0,56	56,27	6,61		

#### 4.4. Сравнение между ЛОИ, ФОИ и ДОИ при препятствие на пътно платно

По време на движението препятствието, намиращо се в лявата страна на пътно платно, попада в две области на интерес: ФОИ при по-голямо разстояние от препятствието и в ЛОИ, в близост до него. Както при звуковия стимул, и тук пътният знак попада в дясната област на интерес ДОИ. Затова е важно сравнението на трите области на интерес от всички участници (фиг. 10). Статистическото изследване за сигнификантни разлики между показателите на погледа между ФОИ и ДОИ показва недвусмислено, че вниманието на велосипедистите е привлечено от препятствието във ФОИ, където стойностите на СПП<sub>ои</sub> ( $p = 0,009$ ), БП<sub>ои</sub> ( $p = 0,001$ ), КВ<sub>ои</sub> ( $p = 0,001$ ) и max<sub>тои</sub> ( $p = 0,002$ ) са няколко пъти по-големи от тези в ДОИ (табл. 3). Средната продължителност на погледа върху ФОИ е 0,84 s, а максималната продължителност на погледа във ФОИ е 3,02 s секунди, поради което някои участници пропускат важна информация при управлението, каквато е пътният знак. Коефициентът на внимание във ФОИ е 4,8 пъти по-голям от този в ДОИ (табл. 3). Както се вижда от фиг. 10, погледът е съсредоточен в средата и леко вляво на ФОИ и в дясната средна част на ЛОИ, където се намира препятствието на пътно платно. Разсейването от препятствието е толкова голямо, че в ДОИ попадат много малко погледи. Само четири от десетте участници забелязват пътният знак, който, както вече беше описано, се намира на 20 m след препятствието.



**Фиг. 10. Топлинни карти на погледа на участниците при препятствие в лявата част на пътно платно**

**Таблица 3. Показатели на погледа във ФОИ и ДОИ при препятствие на пътното платно**

Показател	СППои, s	БПои, s <sup>-1</sup>	КВои, %	maxтои, s	SDx, px	SDy, px	Рпп,ф-л, %	Рпп,ф-л, %
ФОИ	0,84	1,15	62,77	3,02	0,65	0,07	23,29	22,45
ДОИ	0,37	0,46	13,15	0,70	39,38	11,09		

## 5. Заключение

Поведението на погледа на велосипедистите е изследвано с помощта на очилата Pupil Invisible. 10 участници трябва да направят по две обиколки на предварително зададена отсечка, съдържаща три вида разсейващи стимули: един звук и два визуални, като тестваните лица не са информирани предварително за тях. Дефинирани са три области на интерес: лява (ЛОИ), фронтална (ФОИ) и дясна (ДОИ). Изчислени са шест показателя на поведението на погледа, които са сравнени статистически между отделните области на интерес.

Резултатите от изследването показват, че въздействието на визуални и звукови стимули върху вниманието на велосипедистите е различно. Анализът на броя фиксации и на относителната честота на погледите, отправени към трите вида стимули, показва, че погледите, отправени към звуковото въздействие в лявата област от пътя, са по-малко от тези към визуалните стимули.

Неочакваният звуков стимул, разположен в ЛОИ, привлича значително повече внимание от велосипедистите в сравнение с ДОИ, като средната продължителност на погледа в ЛОИ е два пъти по-голяма от тази в ДОИ, а коефициентът на внимание в ЛОИ е 2,5 пъти по-голям. Велосипедистите насочват погледа си към звуковото въздействие и задържат погледа си по-дълго, като в резултат на това 50 % от участниците пропускат да забележат последващия пътен знак А39 вдясно.

В изследването е установено, че наличието на визуален стимул на тротоара (човек, вдигнал над главата си плакат) значително увеличава средните стойности на показателите на погледа в ЛОИ. Този факт се обяснява със съсредоточаването на погледа върху визуалния стимул и задържането му с цел усвояване на информацията. Значително по-голямата продължителност на погледа на участниците в областта на стимула е индикация, че велосипедистите се нуждаят от повече време за интерпретирането му. Анализът на топлинните карти и малкото хоризонтално отклонение активност на очите в ЛОИ потвърждава тези резултати.

Препятствието до левия бордюр на пътното платно привлича значително повече внимание, отколкото плаката на левия тротоар и звуковия стимул. Визуалната активност на велосипедистите е съсредоточена основно в областта на препятствието на пътното платно и е много ниска в ДОИ, където се намира пътният знак А39. Поради това 60 % от участниците не го забелязват. Този резултат показва, че велосипедистите могат да пропуснат важна информация при управлението на велосипеда при наличие на отвличащи вниманието визуални стимули. Затова при проектирането на уличната инфраструктура трябва да се изключат или ограничат визуалните въздействия от обекти, овличащи вниманието, и да се гарантира визуалното регистриране и разпознаване на важни сигнали и пътни знаци чрез тяхното позициониране така, че те да попадат главно във фронталната област на интерес на велосипедистите. Основната цел е да се подобри сигурността на узвимите участници в движението.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Channel, W.* Umfrage: Bürger küren fahrradfreundlichste Stadt Deutschlands, 2021.
2. The Weather Channel. <https://weather.com/de-DE/reisen/europa/news/2021-03-18-umfrage-burger-kuren-fahrradfreundlichste-stadt-deutschlands>, 2023.
3. Pupil Invisible & Cloud Documentation – Pupil labs. <https://docs.pupil-labs.com/invisible/>, 2023.
4. Statistisches Bundesamt. Jeder siebte Mensch, der 2019 im Straßenverkehr ums Leben kam, war mit dem Fahrrad unterwegs. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/08/PD20\\_N049\\_46241.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/08/PD20_N049_46241.html), 2023.
5. *Kováčová, N. et al.* Cyclists' eye movements and crossing. *Accident Analysis & Prevention*, Volume 120, Elsevier 2018, Pages 270-280.
6. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. Prognosebericht Gleitende Langfrist-Verkehrsprognose. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/prognose-berichtgleitende-langfrist-verkehrsprognose>, 2023.
7. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. Radverkehr. <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Mobilitaet/Fahrradverkehr/fahrradverkehr.html>, 2023.
8. *Vansteenkiste, P. et al.* The implications of low quality bicycle paths on gaze behavior of cyclists: A field test. *Transportation Research Part F – traffic Psychology and Behaviour*, 2014, 23, Pages 81-87.
9. Statistisches Bundesamt. Verletzte bei Verkehrsunfällen nach Art der Verkehrsbeteiligung. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Tabellen/verletzte-fahrzeugart.html>, 2023.
10. *Zeuwts, L. et al.* Is gaze behaviour in a laboratory context similar to that in real-life? A study in Bicyclists. *Transportation Research Part F – traffic Psychology and Behaviour*, 2016, 43, Pages 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.10.010>.
11. *Boudrifa, H., Bouhafs, A., Touil, M., Tabtroukia, F.* (2012). Factors and motives of unsafe behaviors of road users. *Work-a Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation*, 4912-4913.
12. *Massey, H. S. et al.* An investigation of expertise in cycling: eye tracking, think aloud and the influence of a competitor. *Psychology of Sport and Exercise*, Vol. 49, 2020.
13. *Schlag, B.* Verkehrspsychologie: Mobilität - Sicherheit – Fahrerassistenz, 2004.
14. *Eckart, J. et al.* Fahrradlabor Hochschule Karlsruhe, 2022.
15. *Nello-Deakin, S.* Environmental determinants of cycling: not seeing the forest for the trees? *Journal of Transport Geography*, 85, 2020.

# INFLUENCE OF ROADWAY OBSTACLES AND SOUND STIMULUS ON THE GAZE BEHAVIOR OF CYCLISTS

**B. Hristov<sup>1</sup>**

*Keywords: gaze behavior, areas of interest, vulnerable road users, visual stimuli, sound stimuli, parameters of gaze, cyclists, safety*

## ABSTRACT

Cycling is becoming increasingly popular, especially in big cities. This is often encouraged through new cycle lanes that provide safer routes for cyclists. However, accidents involving cyclists are increasing and cyclists, as vulnerable road users, often suffer serious injuries. Therefore, it is very important to understand what distracts cyclists or what attracts their attention and how their gaze behavior changes under certain influences in real situations. The main goal of the present study is to assess whether and how objects located on and beside the roadway, and auditory stimuli distract cyclists' visual attention, depriving them of the opportunity to perceive important information while riding the bicycle. The study was conducted at the Berlin University of Applied Sciences. Data on the gaze behavior of the cyclists was recorded using highly accurate Pupil Labs Invisible eye-tracking glasses. For this purpose, 20 tests were conducted with 10 subjects. The test consisted of a predetermined road section containing both types of distractions, with subjects being unaware of them. Three areas of interest (AOI) were defined: frontal, left and right. In each area of interest, six gaze parameters were calculated, compared and analyzed statistically. Significant differences in gaze behavior have been found to exist when comparing auditory versus visual distraction, with the obstacle on the left side of the roadway having a much stronger effect on gaze behavior than the auditory and visual stimuli located on the left sidewalk. It has been found that due to focusing the gaze on the relevant stimulus, more than half of the participants missed the important road sign A39 "Caution! Other dangers", located 20 m away from the stimulus on the right side of the roadway.

---

<sup>1</sup> Borislav Hristov, Prof. Dr.-Ing., Department of Engineering, Chair of Roads and Transportation, University of Applied Sciences Berlin (HTW Berlin), Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin, e-mail: [Borislav.Hristov@HTW-Berlin.de](mailto:borislav.hristov@htw-berlin.de)