

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Využití technologie HUD u osobních automobilů

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Hruška, Ph.D.

Autor práce: Alena Kozáková

PRAHA 2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Alena Kozáková

Procesní inženýrství
Technologická zařízení staveb

Název práce

Využití technologie HUD u osobních automobilů

Název anglicky

HUD technology and its use in passenger cars

Cíle práce

Cílem práce je popsat technologii HUD z pohledu ergonomie a její použití u osobních automobilů. Předpokládá se, že se autor zaměří na posouzení vlivu technologie HUD na výkonnost řidiče a na bezpečnost dopravy. Dalším cílem je posoudit využití popisované technologie u jednotlivých značek a to na základě předem zvolených parametrů.

Metodika

Cílů práce bude dosaženo podrobným rozбором odborné literatury a hodnoty pro výzkumnou část budou získány pomocí terénního výzkumu. Předpokládá se použití dotazovacích metod, využití technických parametrů, získaných od jednotlivých výrobců a z dalších zdrojů. Získané hodnoty budou zhodnoceny za použití statistických metod.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran, včetně příloh

Klíčová slova

ergonomie, HUD, osobní automobil, řidič, bezpečnost, výhled

Doporučené zdroje informací

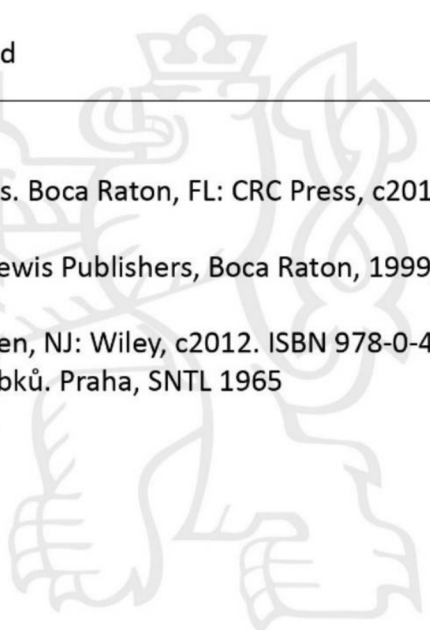
BHISE, Vivek D. Ergonomics in the automotive design process. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012. ISBN 14-398-4210-8

CACHA, Ch. A.: Ergonomics and safety in hand tool design. Lewis Publishers, Boca Raton, 1999, ISBN-1-56670-308-5

Handbook of human factors and ergonomics. 4th ed. Hoboken, NJ: Wiley, c2012. ISBN 978-0-470-52838-9

JOHÁNEK T.: Technická estetika a kultura strojírenských výrobků. Praha, SNTL 1965

RUTRLE, J. : Přístrojová optika, 1. Vydání, Brno, IDV PZ, 2000



Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Michal Hruška, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2022

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Využití technologie HUD u osobních automobilů vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědoma, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

.....

Alena Kozáková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat všem, kteří mě podporovali při studiu a při psaní této práce. Dále bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Hruškovi, Ph.D, za trpělivost, cenné rady a vedení mé bakalářské práce.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se věnuje tématu využití HUD (Head Up Displej) v osobních automobilech, je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá rešerší HUD – představením HUD, uvedením do historie, přehledem současných typů a využívaných technologií, dostupností HUD u současných modelů vozů na českém trhu. Dále je uveden přehled využití principu HUD i mimo automobilový průmysl a jakým směrem se bude v budoucnosti HUD vyvíjet. Praktická část je zaměřena na testování, porovnání a vyhodnocení několika vybraných HUD v praxi pomocí vícekriteriální analýzy variant.

Klíčová slova: head up displej; automobil; přístrojová deska; bezpečnostní asistenční prvek

HUD technology and its use in passenger cars**Summary:**

This bachelor thesis deals with the use of HUD (Head Up Display) in passenger cars, it contains theoretical and practical part. The theoretical part deals with HUD research - introduction of HUD, introduction to history, overview of current types and technologies used and availability of HUD for current car models on the Czech market. Then also an overview of the use of the HUD principle outside the automotive industry and in which direction the HUD will develop in future. The practical part is focused on testing, comparison and evaluation of several selected HUDs in practice by using multicriteria analysis.

Keywords: head up display; car; dashboard; safety assistance feature

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce a metodika	2
2.1	Cíle práce	2
2.2	Metodika testování	2
2.3	Použité přístroje	3
2.3.1	Digitální Luxmetr Voltcraft MS-1300	3
3	Teoretická část	5
3.1	Technologie HUD	5
3.1.1	Zorné pole řidiče	6
3.2	Historie	7
3.3	Typy HUD pro automobily	9
3.3.1	Klasická a rozšířená realita u HUD	10
3.3.2	Princip zobrazování HUD	11
3.4	Přehled osobních vozidel, využívajících technologii HUD	14
3.4.1	Audi	15
3.4.2	BMW	16
3.4.3	Citroën	17
3.4.4	Ford	17
3.4.5	Hyundai	18
3.4.6	Kia	18
3.4.7	Land Rover	19
3.4.8	Mazda	19

3.4.9	Mercedes-Benz	20
3.4.10	Nissan	21
3.4.11	Opel	21
3.4.12	Porsche	22
3.4.13	Renault.....	22
3.4.14	Škoda	23
3.4.15	Toyota.....	23
3.4.16	Volkswagen	24
3.4.17	Volvo	25
3.5	Značky aut bez HUD	25
3.5.1	Peugeot	25
3.6	Další využití HUD	26
3.6.1	Motorka	26
3.6.2	Traktor	27
3.6.3	Chytré brýle	28
3.7	Budoucnost HUD	29
3.7.1	Volvo	30
3.7.2	Holografický AR-HUD	30
4	Praktická část	33
4.1	Popis testovaných HUD	33
4.1.1	HUD A: Vestavný HUD s projekcí na čelní sklo (BMW X5, 2017)	33
4.1.2	HUD B: Vestavný HUD s projekcí na reflexní desku (BMW 220i GT, 2018)..	34
4.1.3	HUD C: Přídavný projekční HUD s projekcí na čelní sklo.....	34

4.1.4	HUD D: Přídavný projekční HUD s reflexní deskou	35
4.1.5	HUD E: Mobilní telefon a podložka s reflexní deskou	36
4.2	Testování	36
4.3	Hodnocení.....	37
4.3.1	Zobrazované informace	37
4.3.2	Viditelnost na slunci	39
4.3.3	Viditelnost ve stínu.....	40
4.3.4	Oslnění za tmy	40
4.3.5	Viditelnost za použití polarizačních a slunečních brýlí	41
4.3.6	Možnosti nastavení	42
4.3.7	Uživatelská přívětivost	43
4.3.8	Vyhodnocení.....	43
5	Závěr.....	46
6	Seznam použité literatury	47
7	Seznam obrázků.....	56
8	Seznam tabulek.....	58
9	Seznam použitých zkratk	60
10	Přílohy	61

1 Úvod

V dnešní době se v automobilovém průmyslu stále vyvíjí nové technologie, které dělají vozidlo bezpečnější pro posádku i pro okolí. Nesmí se ale opomenout důležitý rizikový faktor a to lidský – řidič. Jedna z nejdůležitějších činností řidiče je udržovat zrak a povědomí o dění na silnici okolo vozidla, reagovat na aktuální situace a co nejméně odklánět zrak na rozptylující podněty, jakými jsou například rychloměr, navigace, multimédia, mobilní telefon atd. Podle [1] vyplývá, že klasické palubní displeje (neboli head down display, dále jen jako “HDD”) způsobují rozptýlení řidiče při řízení a tím ovlivňují bezpečnost na silnicích. Pohledem na středový displej s navigací nebo na rychloměr může řidič ztratit i pár sekund přehledu o dění před vozidlem. Nezanedbatelnou chvíli také zabere samotné přeostřování zraku mezi blízkou palubní deskou a vzdálenou cestou. [2] Pro představu, při rychlosti 130 km/h ujede vozidlo během každé sekundy 36 metrů. To může, hlavně při vysokých rychlostech, znamenat vysoké riziko nezvládnutí včasného zareagování na nepředvídatelné situace. Proto existují i bezpečnostní prvky, které mají pomáhat řidiči se soustředěním na provoz na silnicích, jedním z nich je head up displej (dále jen jako “HUD”).

V češtině HUD nemá přesný překlad, ale občas je možné setkat se s názvem “průhledový displej”. Tento název vystihuje podstatu této technologie – HUD je projekční zařízení zobrazující jízdní data vozidla na průhledném skle v zorném poli řidiče, skrze které je vidět. Řidič vidí jak vozovku před sebou, tak jízdní data zároveň.

Počátky HUD sahají do 40. let minulého století, kdy byly vynalezeny pro účely armádního letectví. Postupem času našly HUD své uplatnění i v automobilech a později také v dalších odvětvích.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíle práce

Tato práce si v první řadě klade za cíl vytvoření přehledové studie o současném stavu a úrovni technologie HUD a jejím využitím v osobních automobilech. Dílčími cíli práce bude popis technologie HUD, uvedení historických souvislostí, představení jednotlivých značek a konkrétních typů a jejich rozdělení dle typu použité technologie HUD a také popis zobrazovacích technologií, které se u zařízení HUD v osobních automobilech používají. Cílem práce bude dále uvést přehled o dostupnosti HUD u nejznámějších značek automobilů provozovaných v České republice. Dalším dílčím cílem bude rovněž vyhledání co největšího množství informací o dalším využití HUD také mimo oblast automobilového průmyslu a zamyšlení se nad budoucími možnostmi využití této technologie.

Výzkumným cílem práce bude vybrat a otestovat několik vybraných typů HUD na konkrétních typech vozidel a na základě zvolených parametrů následně vybrat nejlepší řešení.

2.2 Metodika testování

Pro testování bude zvoleno pět různých příkladů HUD z řady vestavných i přídavných zařízení. Všechny vybrané HUD budou popsány, následně testovány za stejných podmínek a bodovány ve vybraných kategoriích zmíněných níže. Tyto kategorie si nejsou rovny ve významnosti, z toho důvodu bude použita vícekriteriální analýza variant pro bodování se stanovením koeficientu váhy pro každou kategorii. Stěžejní kategorie budou mít vyšší koeficient než méně důležité kategorie.

- **Zobrazované informace**
 - Koeficient: 6
 - Bodování: 0 až 5 bodů
 - 0 bodů – málo nebo příliš mnoho nepotřebných informací, 5 bodů – přiměřené množství žádoucích informací
- **Viditelnost na slunci**
 - Koeficient: 10
 - Bodování: 0 až 5 bodů
 - 0 bodů – žádná viditelnost, 5 bodů – plná viditelnost
 - Během testování bude měřena intenzita světla luxmetrem
- **Viditelnost ve stínu**
 - Koeficient: 9

- Bodování: 0 až 5 bodů
- 0 bodů – žádná viditelnost, 5 bodů – plná viditelnost
- Během testování bude měřena intenzita světla luxmetrem
- **Oslnění za tmy**
 - Koeficient: 7
 - Bodování: 0 až 5 bodů
 - 0 bodů – silné a nepříjemné oslnění, 5 bodů – nízké oslnění
- **Viditelnost za použití polarizačních a slunečních brýlí**
 - Koeficient: 4
 - Bodování: 0 až 2 body
 - 0 bodů – žádná viditelnost, 1 bod – částečná viditelnost, 2 body – plná viditelnost
- **Možnosti nastavení**
 - Koeficient: 6
 - Bodování: 0 až 5 bodů
 - 0 bodů – žádná možnost nastavení, 5 bodů – dostačující nastavení potřebných vlastností
- **Uživatelská přívětivost**
 - Koeficient: 8
 - Bodování: 0 až 5 bodů
 - 0 bodů – rušivý, nepříjemný při řízení, 5 bodů – nerušivý a přínosný při řízení
 - S každým HUD bude najeto pár kilometrů, aby testovací osoba mohla ohodnotit vnímání HUD během řízení za silničního provozu

Testování jednotlivých HUD v každé kategorii bude zaznamenáno na fotografiích. Bodování bude prováděno na základě kognitivních funkcí testovací osoby a poté vynásobeno koeficientem váhy dané kategorie. Na základě součtu bodů ze všech kategorií bude následovat vyhodnocení testovaných HUD.

2.3 Použité přístroje

2.3.1 Digitální Luxmetr Voltcraft MS-1300

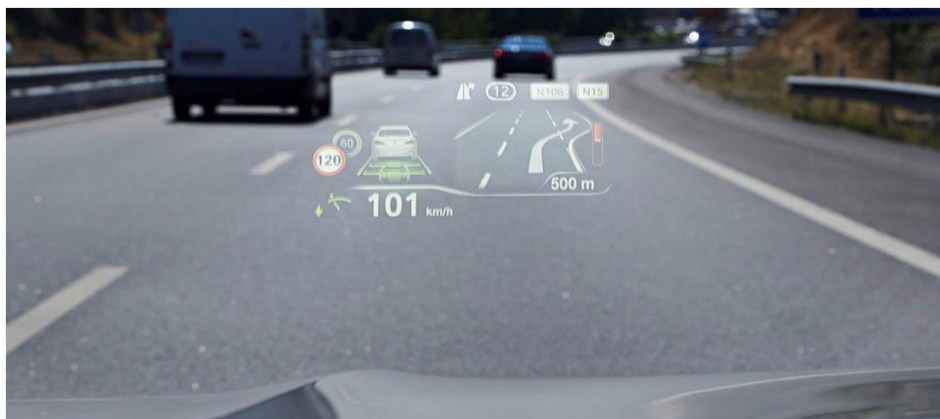
Luxmetr je přístroj pro měření intenzity osvětlení, který se skládá z přijímače s korigovaným fotočlánkem a z měřicího a vyhodnocovacího systému s digitálním indikátorem. Rozdělení luxmetrů se dělí podle přesnosti označením 1,2,3,4, kterým odpovídají největší dovolené souhrnné chyby 2, 5,10 a 20 %. Naměřené hodnoty udává v jednotkách Lx (Lux). [3]

Zvolený luxmetr má přesnost 2, tzn. největší dovolenou souhrnnou chybu 5 %. Má manuální přepínání rozsahů, v měřicím rozsahu 0,1 - 50 000 Lx. Přístroj je napájený bateriemi a díky tomu je lehce přenositelný.

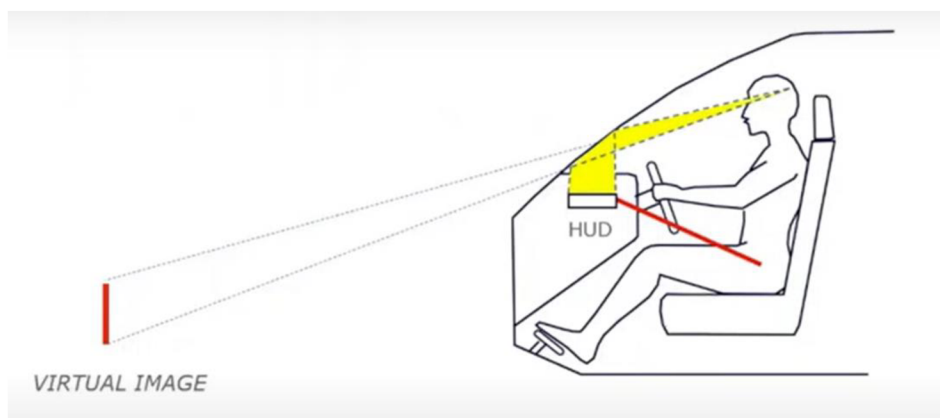
3 Teoretická část

3.1 Technologie HUD

HUD (na Obr. 1 a Obr. 2) slouží jako promítací jednotka vizuálních informací ve vozidle. Skládá se ze dvou částí – z elektronické jednotky v palubní desce, která obraz vytváří, a ze zobrazovací plochy (čelní sklo nebo průhledová destička), kde řidič obraz vidí. Promítané informace jsou v zorném poli řidiče tak, aby jeho zrak mohl být upřený na silniční provoz a minimalizovaly tak potřebu sklápění zraku řidiče na přístrojovou desku vozidla. U HUD je potřeba pouze změna akomodace očí řidiče, nikoli časově náročnější pohyby očí a hlavy. Některé HUD, především s promítáním na čelní sklo, lze sledovat i bez potřeby výrazného přestření očí, protože jejich obraz se zobrazuje zdánlivě v dálce před vozidlem, zhruba metr před přední částí vozu.



Obr. 1: HUD v automobilu [4]



Obr. 2: Schéma HUD ve vozidle [5]

Mezi hlavní zobrazovaná jízdní data HUD patří aktuální rychlost vozidla a navigační pokyny. V závislosti na typu HUD, preferencích a nastavení uživatele je možné na HUD zobrazovat i další doplňkové informace o aktuálním stavu vozidla, dopravní informace, upozornění na překážky, maximální povolenou rychlost v projížděném úseku, otáčky motoru, zařazený

rychlostní stupeň, upozornění na nežádoucí vlastnosti vozovky (např. námraza, práce na silnici atd.), závady systému, ovládání a informace o multimédiích, hovorech a tempomatu atd.

HUD je zakomponovaný v palubní desce, obraz se odráží přes systém jednoho až několika speciálně tvarovaných zrcadel, čímž se přenesení až na čelní sklo. Běžná čelní skla by obraz zdvojnásobila, kvůli odrazu světla z přední strany skla i zadní strany skla. Proto se vyrábí čelní sklo s povrchovou úpravou se speciální odrazovou fólií, které je nákladné a přibližně zdvojnásobuje jeho cenu. Případně se tento problém dá řešit levnějším, ale méně atraktivním způsobem – přidáním průhledové destičky do palubní desky vozidla, která přebírá funkci zobrazovací plochy.

Pro řidiče, kteří mají vozidlo bez HUD existuje alternativa v podobě přídavných HUD. Současný trh nabízí již mnoho variant, použitelných téměř pro každé vozidlo. Přídavný HUD, v závislosti na typu, je malé zařízení, které stačí položit na palubní desku před řidiče a zapojit jej do OBD zásuvky vozidla.

3.1.1 Zorné pole řidiče

Zorné pole člověka, které se označuje jako FOV (Field Of View), je pozorovatelná oblast vnímaná při stabilní fixaci očí a většinou dosahuje až 200°, to je individuální u každého člověka. Dělí se na dvě oblasti – monokulární a binokulární. Binokulární FOV je překrývající se obraz vnímaný oběma očima, velikost úhlu je přibližně 114°. Monokulární FOV je zbylá oblast, kterou vlevo vnímá jen levé oko a vpravo jen pravé oko, úhel na každé straně je přibližně 35°. [6]

Dále se FOV dělí z hlediska zaostření zraku na centrální a periferní vidění. Člověk vidí ostře v bodě, kam má soustředěný zrak a v jeho blízkém okolí. To se nazývá centrálním viděním a jeho úhel se udává okolo 13°. Periferní vidění je zbývající část FOV obklopující centrální vidění. S narůstající vzdáleností od centrálního vidění se zvyšuje míra rozostření a snižuje přehled o jednotlivých objektech pozorované scény. V nejzazší části periferního vidění vnímá člověk pohyb, ale už ne tvar objektu. [7]

HUD má být nápomocný řidiči a zároveň nerušivý ve výhledu při řízení, proto bývá zpravidla umístěn v komfortním prostoru zorného pole a to přibližně 15° pod ohniskem centrálního vidění řidiče. [8] Podle [9] je doporučeno zobrazovat důležité upozornění a varování ještě blíže ohnisku, a to okolo 10°.

3.2 Historie

Do historie technologie HUD se zapsala jako jedna z prvních zemí Velká Británie, kde se letečtí konstruktéři snažili o promítání informací na sklo. Tyto snahy byly vyvíjeny speciálně pro uspokojení potřeb Královského letectva (RAF), které tuto technologii plánovalo využít pro potřeby stíhacího letectva. [4] Důvodem byla obtížná možnost současného sledování informací na přístrojové desce uvnitř kokpitu a vedení vzdušného boje. Pro pilota stíhačky, více než pro pilota jiných letadel, je životně důležité mít zrak soustředěný na okolní vzdušný prostor a nebýt rozptylován vizuálními informacemi, umístěnými uvnitř kokpitu. Kromě přeastřování zraku na blízko a na dálku je navíc za tmy problém především adaptace oka na intenzitu světla mezi oslnujícím displejem či kontrolkami a tmavým prostorem před letadlem. Jakkoliv byly snahy vyřešit toto oslnění například nižší intenzitou nebo barvou osvětlení, nebylo možné tento problém zcela uspokojivě vyřešit.



Obr. 3: HUD v letounu [4]

Promítat zkombinovaný obraz radaru a gyroskopického zaměřovače na přední sklo kokpitu (viz Obr. 3) se podařilo již v roce 1942. Dále se na zdokonalování HUD podílelo kromě britského letectva i Královské a později i americké námořnictvo. [10], [11] Během 60. let minulého století přišel *Gilbert Klopstein*, francouzský testovací pilot, se zdokonalením tehdejšího řešení HUD tím, že vytvořil jednotný systém symbolů pro HUD do letounů. To usnadnilo pilotům přechody mezi různými letouny, kde si nemuseli zvykat na individuální symboliky jednotlivých modelů. Později, v 70. letech, se začal HUD využívat i pro civilní letadla, své uplatnění našel i v automobilovém průmyslu. [12]

Potřeba mít k dispozici podstatné informace v optimálním zorném poli nebyla pochopitelně otázkou pouze letectví. Také v pozemní dopravě a speciálně v té automobilové se klade důraz na sledování dění v okolí, zvyšování bezpečnosti jízdy a komfortu řízení. První úvahy o použití technologie HUD v osobním automobilu se objevily již v roce 1965. HUD měl být tehdy součástí vozu *Mako Shark II* od General Motors, které se nakonec vyrobilo v počtu pouhých

dvou kusů, a nakonec i bez realizace HUD, který zůstal pouhým konceptem. Přibližně ve stejné době se nicméně podařilo vyrobit a použít HUD ve vozidle *XP-856 Aero Coupe* a *Chevrolet Caprice*. Až o 20 let později, v roce 1988, se v Americe poprvé veřejnosti představil na trhu HUD v automobilu, v sériově vyráběném voze sedan Oldsmobile Cutlass Supreme. Zobrazoval monochromaticky aktuální rychlost vozidla a ukazatele směrovek na čelním skle, jak je vidět na Obr. 4. Bylo však vyrobeno pouze padesát kusů a prodej nebyl příliš úspěšný. Již o rok později, v roce 1989, navíc přišla společnost Nissan se svojí vlastní technologií HUD, která sice zobrazovala také pouze rychlost, ale tyto HUD se dočkaly masového uplatnění u úspěšných modelů 240SX a Maxima. O dva roky později nabídly svým zákazníkům HUD i značka Toyota v modelu vozu *Toyota Crown*. [13], [14] První barevný HUD, skládající se ze čtyř odlišných barev, byl nabízen v roce 2005 ve vozidlech *Cadillac STS (Seville Touring Sedan)*. [14] Zhruba v té samé době na této technologii pracovalo i BMW, a první evropský HUD tak byl v nabídce u modelů řady 5 (E60). HUD se mezi řidiči stal, navzdory vyšší počáteční ceně, velice oblíbenou výbavou, a proto ho do svých vozidel začaly postupně zařazovat i další automobilky. [14], [15]



Obr. 4: Oldsmobile Cutlass Supreme 1988 [13]

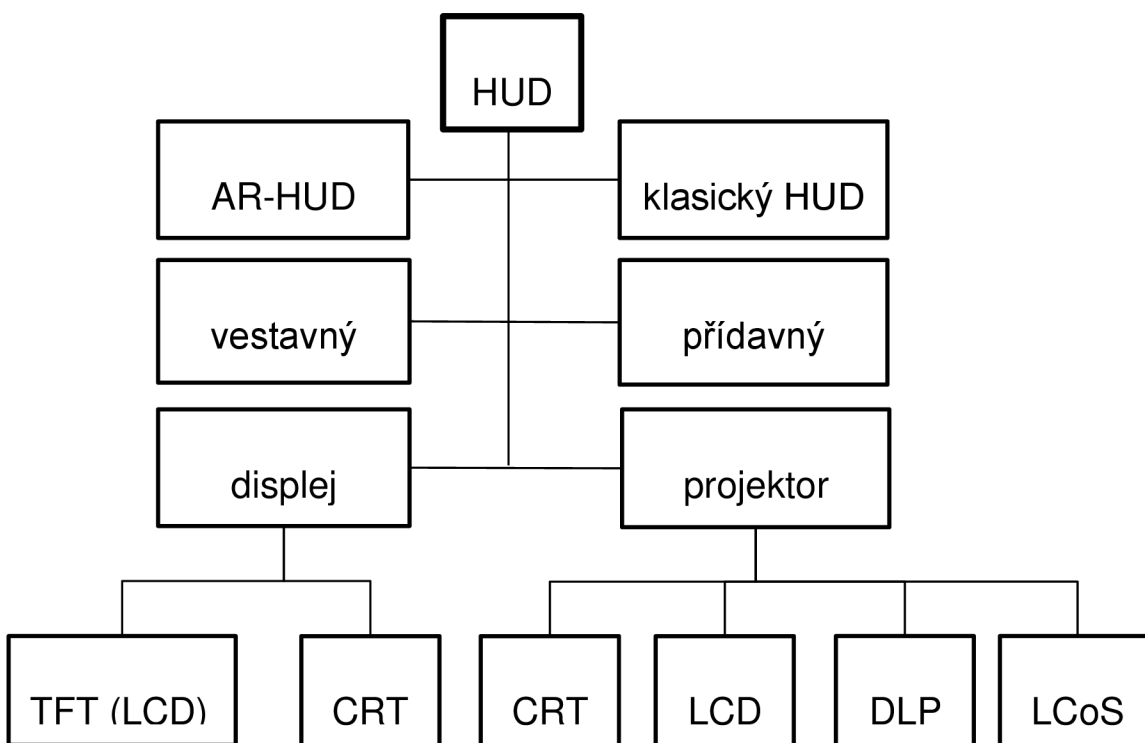
Jako zajímavost lze uvést, že již v roce 1956 byl jistým předchůdcem moderních HUD analogový průhledný rychloměr umístěný v zorném poli řidiče ve voze *Ford Thunderbird*, jak lze vidět na Obr. 5. Podobné řešení, inspirované právě Fordem, měla i *Volha GAZ-21*. [4], [16]



Obr. 5: Ford Thunderbird 1956 [4]

3.3 Typy HUD pro automobily

HUD v dnešní době nabízí řidičům rozmanité možnosti a funkce, které se dají rozdělit podle několika hledisek (viz Obr. 6).



Obr. 6: Rozdělení HUD [5]

TFT (Thin Film Transistor), LCD (Liquid Crystal Display), CRT (Cathode Ray Tube), DLP (Digital Light Processing), LCoS (Liquid Crystal on Silicone)

Podle možnosti zobrazování informací lze tuto technologii rozdělit na:

- **klasický HUD** a
- **HUD s rozšířenou realitou**
(Augmented Reality Head Up Display, dále jen jako “AR-HUD”).

Dále se dá technologie HUD rozdělit, jak už bylo zmíněno výše, podle umístění zařízení v kokpitu na:

- **vestavný HUD,**
který je zabudován pod palubní deskou už při výrobě a
- **přídavný HUD,**
který se dá dokoupit kdykoliv a bez závislosti na výbavě vozidla.

Za přídavný HUD lze také považovat podložku na mobil s odrazovou destičkou, kde je odrážen zrcadlově obrácený obraz displeje chytrého telefonu. Podle způsobu přenesení obrazu na obrazovou plochu se HUD dělí na

- **HUD s projekčním displejem a**
- **HUD s projektorem. [5]**

3.3.1 Klasická a rozšířená realita u HUD

Z pohledu zobrazování informací jsou dva typy HUD – **klasická** (na Obr. 7) a **rozšířená realita** (AR-HUD, na Obr. 8). U klasické projekce se promítají všechny informace v jedné rovině na průhledovou destičku nebo čelní sklo. Z pohledu řidiče je virtuální obraz přibližně 2,5 metrů před vozidlem. V rozšířené realitě jsou zobrazované informace vnímány jako různě vzdálené, například 2,5, 7 i 10 metrů před vozidlem, toho je dosaženo kolimací světla pomocí čoček. AR-HUD zobrazuje kromě klasických informací (rychlost vozidla, otáčky motoru atd.) i dynamické vizuální označení ostatních vozidel, chodců a překážek před řidičem, vyznačení cesty v prostoru podle navigace a další. Obrazy označených objektů v okolí vozidla posouvá za pohybu a zdánlivě je k řidiči přibližuje nebo oddaluje podle reálné situace. Při různých pozorovacích úhlech by zobrazované informace mohly být zkresleny, proto senzor sleduje oči řidiče a zajišťuje, aby byl obraz zarovnan s polohou hlavy a očí.



Obr. 7: klasický HUD [5]



Obr. 8: AR-HUD [17]

3.3.2 Princip zobrazování HUD

Podle technologie použité k přenesení obrazu na obrazovou plochu se HUD dělí, jak již bylo zmíněno výše, na HUD s projekčním displejem a na HUD s projektořem. CRT (Cathode Ray Tube) projektor a CRT displej pro HUD byly používány v počátcích, především v letectví. Později byly nahrazeny novějšími technologiemi, které budou vysvětleny v následujících podkapitolách.

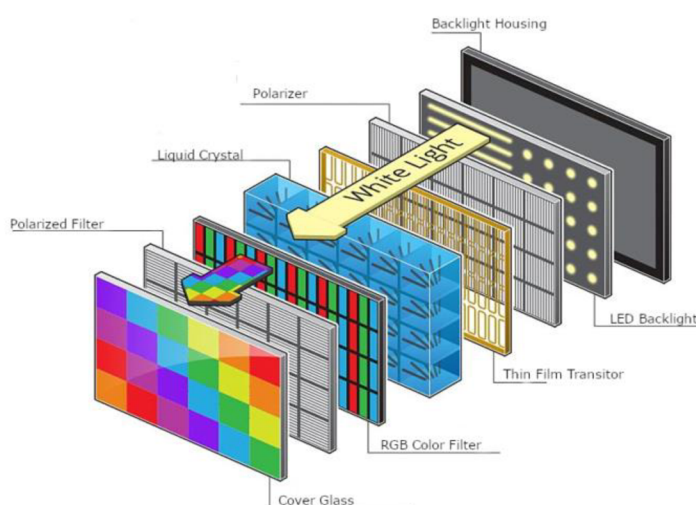
3.3.2.1 Displej

LCD displej

LCD (Liquid Crystal Display) je plochý displej z tekutých krystalů, se kterým se člověk v dnešní době setkává denně ve svém okolí. Používá se například v PC monitorech, televizích, mobilních telefonech, tabletech a noteboocích a našel své uplatnění i ve využití pro HUD. Skládá se z několika vrstev. Jako první důležitý prvek je zdroj světla (zářivky nebo LED), který je rovnoměrně rozptýlen do plochy optickou deskou. Další vrstvy upravují směr světla. Mezi dvěma polarizátory, jejichž osy polarizace jsou na sebe vzájemně kolmé, se nachází pixely uspořádané do obdélníkové mřížky. Každý pixel se typicky skládá ze tří barevných subpixelů RGB (Red, Green, Blue), ty jsou tvořeny barevným filtrem a molekulami tekutých krystalů. Tekuté krystaly jsou látky v mezomorfním stavu. To znamená, že jejich molekuly obvykle drží svůj tvar jako pevná látka, ale mohou se také pohybovat jako kapalina. Jsou podélné a jsou vměstnány mezi dvě skleněné desky s transparentními elektrodami, které pomocí napětí pootáčejí uspořádané molekuly tekutých krystalů a tím korigují propustnost světla. Aby prošlo světlo skrz druhý polarizátor, musí být molekuly stočené do šroubovice a tím stočit světlo o 90°. Podle subpixelů, kterými prochází světlo, vznikají kombinace až milionů barev. Jako černá barva se jeví, když ani jedním RGB subpixellem neprochází světlo. Pokud prochází světlo naplno všemi třemi subpixely, jeví se výsledná barva oku jako bílá. [18], [19], [20]

TFT displej

Nástupcem LCD displeje popsaného výše je takzvaný TFT (Thin Film Transistor) displej. Elektrody nahradil tenký tranzistorový film s miliony tranzistorů. [21] Každý barevný RGB subpixel má jeden tranzistor, který ovládá molekuly tekutého krystalu. To znamená, že každému pixelu náleží tři tenkovrstvé tranzistory. Jednotlivé vrstvy TFT displeje jsou znázorněny na Obr. 9. TFT displeje mají na rozdíl od LCD lepší jas, vysoký kontrast, jasné barvy, ale také vyšší spotřebu energie a vyšší náklady na výrobu. Ve srovnání s novějšími technologiemi mají nízkou cenu, spotřebu energií a dlouhou životnost, ale mezi nevýhody patří omezené zorné pole a nižší rozlišení. [22], [23] S TFT displejem se lze setkat ve většině osobních vozidel s klasickým HUD a u přídatných HUD.

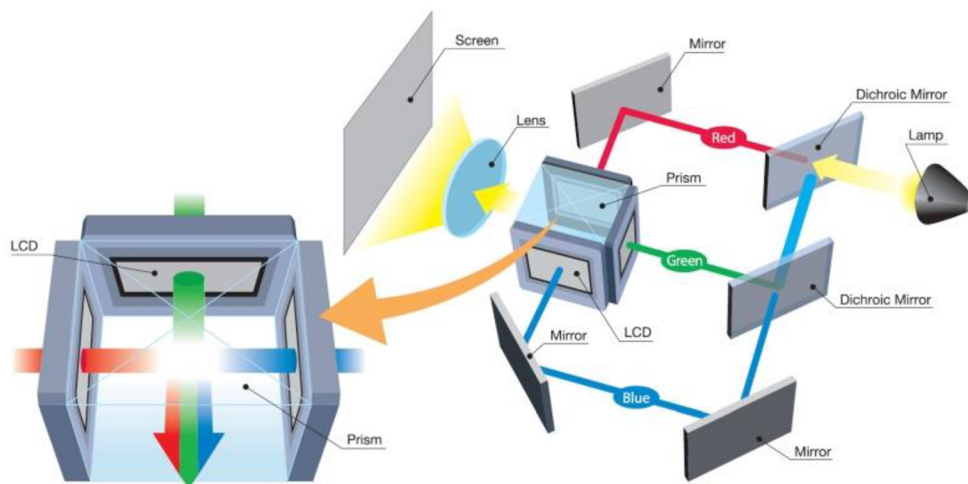


Obr. 9: Schéma TFT displeje [24]

3.3.2.2 Projektor

LCD projektor

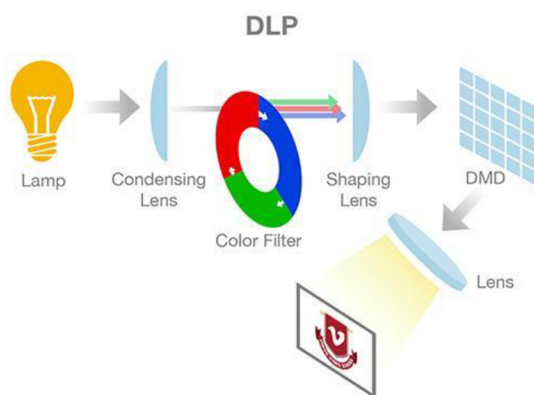
LCD projektor (na Obr. 10) využívá bílé světlo a rozděluje jej na tři barevné RGB paprsky pomocí dichroických zrcadel. Zrcadla mají takový tvar, aby odrazily jen určité vlnové délky, které jsou u každé barvy rozdílné. Bílé světlo dopadne na první dichroické zrcadlo, propustí jednu barevnou složku a zbylé dvě odrazí na druhé dichroické zrcadlo, které jednu barevnou složku odrazí a druhou propustí. Takto oddělené barevné RGB paprsky (červený, zelený a modrý) jsou pomocí klasických zrcadel nasměrovány na tři LCD panely, jeden pro každou barvu. Ty fungují na obdobném principu jako LCD displej, ale zde odpadá potřeba vrstvy s barevným filtrem. Každý LCD panel promítá obraz do jedné ze stran hranolu, který obrazy sloučí do jednoho a následně projde zbývající stěnou hranolu a optickou soustavou na projekční plochu. [25]



Obr. 10: Schéma LCD projektoru [25]

DLP projektor

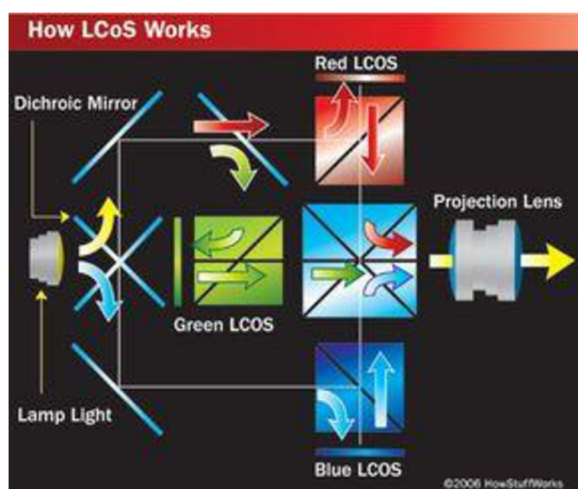
Hlavním principem DLP (Digital Light Processing, Obr. 11 vlevo) projektorů je soustava miniaturních zrcadel na čipu DMD (Digital Mirror Device, Obr. 11 vpravo). Každé zrcadlo je menší než jedna pětina tloušťky lidského vlasu a představuje jeden pixel. Světelný zdroj, LED či laser, vyzařuje světlo skrz rychle rotující kotouč s barevným filtrem RGB, jenž má jednu třetinovou výseč červenou, druhou zelenou a třetí modrou. Barevné světlo poté dopadne a odrazí se od mikro zrcadel, která se velmi rychle naklání podle potřeby odrazit nebo neodrazit světlo skrz optickou soustavu na projekční plochu. RGB barvy se promítají opakovaně každá zvlášť přibližně jednu padesátinu sekundy. Využívají nedostatky lidského vnímání, které toto blikání nezaregistruje, mozek spojí RGB barvy dohromady a vytváří tak výsledný obraz z milionů barev. Narozdíl od předešlých technologií nabízí DLP projektor vyšší rozlišení a jas, ale nevýhodou je vyšší cena a vyšší spotřeba energií. Někteří lidé mohou být citliví na duhový efekt, který lze snížit vyšší rychlostí rotujícího barevného kotouče. [25], [26], [27], [28] Je používán v dražších značkách automobilů s HUD, především s AR-HUD.



Obr. 11: Vlevo - Schéma DLP projektoru [29], vpravo - DMD pod mikroskopem [26]

LCoS projektor

LCoS (Liquid Crystal on Silicone, Obr. 12) projektor využívá princip fungování LCD i DLP projektorů, jedná se o takzvaný miniaturizovaný reflexní LCD čip. Stejně jako u LCD se bílé světlo ze zdroje rozdělí pomocí dichroických zrcadel na červený, zelený a modrý paprsek. Každý paprsek se setká se svým určeným mikročipem LCoS (jeden pro každou barvu), ve kterém se odrazí. LCoS čip má složení jako LCD, s tím rozdílem, že světlo jim neprochází, ale odrazí se jako u DLP. Množství odraženého světla řídí tekuté krystaly. Paprsky světla jsou následně svedeny do hranolu, kde se obrazy spojí, odrazí a projdou optickou soustavou na projekční plochu. Hlavní výhodou je, že světlo LCoS čipy neprochází, ale odrazí se. Vrstva řídicích tranzistorů je umístěna až za odrazovou plochou, a tím tranzistory nevstupují světlu do cesty, jako se tomu děje u LCD. Díky tomu jsou pixely těsně seskupeny a obraz je tak hladší a přirozenější než u DLP projektoru a nevzniká tak nežádoucí efekt “Screen Door” (mezery mezi pixely). Přínosem této technologie je schopnost produkovat čistější bílou a hlubší odstín černé, také nabízí vyšší rozlišení než ostatní dostupné technologie. Zmíněné klady se odrážejí na výrazně vyšší ceně a kratší době životnosti. [25], [30], [31] Tato technologie se týká budoucnosti HUD, především holografických AR-HUD, o kterých je více napsáno v kapitole o budoucnosti HUD v podkapitole 3.7.2.



Obr. 12: Schéma LCoS projektoru [30]

3.4 Přehled osobních vozidel, využívajících technologii HUD

HUD se v posledních letech stává častou výbavou osobních vozidel, přičemž mnoho automobilek již nabízí HUD ve svých vozidlech v základní výbavě (Audi A8, BMW 7, Kia Stinger, apod.), a některé z nich nabízejí dokonce i technologicky vyspělejší AR-HUD (Mercedes S). Výrobci automobilů málokdy poskytují podrobnou specifikaci HUD s informací o konkrétně použité technologii. Cena a dostupnost HUD se v jednotlivých vozech liší v závislosti na zemi, kde si zákazník vůz pořizuje. V poslední době (od roku 2021) má na cenu

a dostupnost vliv celosvětový nedostatek čipů, kvůli kterému některé automobilky přestaly HUD u některých svých modelů nabízet.

V následujících podkapitolách jsou uvedeny nejznámější automobilky a jejich nabídky vozidel s HUD pro český trh. Dostupnost a ceny HUD jsou aktuální k lednu 2022 v České republice.

3.4.1 Audi

Německá automobilka Audi prvně představila HUD mezi svými vozy v modelu A7 Sportback v roce 2011. [32] V dnešní době je HUD v podobě TFT displeje s promítáním na čelní sklo již dostupný ve většině modelů (viz Tab. 1). Model Q4 e-tron nabízí za příplatek AR-HUD. [33]

Model vozu Audi	Cena	Typ provedení
A3	23 500 Kč	na čelní sklo
A4, A5	29 200 Kč	na čelní sklo
A6, A7	41 900 Kč	na čelní sklo
A8	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
Q2	6 400 Kč	na čelní sklo
Q4 e-tron	v rámci balíčku Paket Navigace MMI Pro za 85 900 Kč	AR-HUD na čelní sklo
Q5	29 200 Kč	na čelní sklo
Q7	42 200 Kč	na čelní sklo
Q8	41 900 Kč	na čelní sklo

Tab. 1: Modely vozidel Audi s dostupným HUD [33]

3.4.2 BMW

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.2, německá automobilka BMW byla první, která v Evropě začala nabízet vozidla s technologií HUD. HUD poprvé zakomponovala do modelů BMW řady 5 (E60) v roce 2004. U všech modelů s dostupným HUD je promítání na čelní sklo, kromě modelů řady 2 Gran Tourer a Active Tourer, kde je využito levnější řešení, a to promítání na průhledovou destičku (viz Tab. 2). [34]

Model vozu BMW	Cena	Typ provedení
řada M1	27 092 Kč	na čelní sklo
řada 2 Gran Tourer a Active Tourer	v rámci balíčků Paket ConnectedDrive Plus za 61 906 Kč a Paket Innovation za 70 304 Kč	na průhledovou destičku
řada M2 Coupé	25 740 Kč	na čelní sklo
řada M2 Gran Coupé	27 092 Kč	na čelní sklo
řada M3, M4	32 526 Kč	na čelní sklo
řada 5, 6	35 230 Kč	na čelní sklo
řada 7	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
řada X1	v rámci balíčků Paket ConnectedDrive Plus za 80 626 Kč a Paket Innovation za 89 648 Kč	na čelní sklo
řada X2, X2 M	v rámci balíčků Paket ConnectedDrive Plus za 84 812 Kč a Paket Innovation za 92 222 Kč	na čelní sklo
řada X3	32 526 Kč	na čelní sklo

řada X3 M, X4 M	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
řada X5, X6	40 638 Kč	na čelní sklo
řada X7	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
Z4 M	32 526 Kč	na čelní sklo

Tab. 2: Modely vozidel BMW s dostupným HUD [34]

3.4.3 Citroën

Francouzská automobilka Citroën představila v roce 2005 nový model vozu Citroën C6, kde poprvé zařadila do výbavy vozidla HUD s promítáním na čelní sklo. [35] Poté byly přidány další modely aut s HUD. Nyní jsou dostupné pouze dva modely s HUD, u kterých je HUD v rámci aut s vyšší výbavou zahrnut v ceně, s promítáním na průhledovou destičku (viz Tab. 3). [36]

Model vozu Citroën	Cena	Typ provedení
C3 Aircross	ve vyšší výbavě v ceně	na průhledovou destičku
C4	ve vyšší výbavě v ceně	na průhledovou destičku

Tab. 3: Modely vozidel Citroën s dostupným HUD [36]

3.4.4 Ford

V roce 2018 americká automobilka Ford představila svůj první vůz s HUD pro Evropský trh – model vozu Ford Focus, s promítáním na průhledovou destičku. Nyní je nabídka modelů s HUD rozšířena o Ford Kuga (viz Tab. 4). [37]

Model vozu Ford	Cena	Typ provedení
Focus	11 000 Kč	na průhledovou destičku
Kuga	v rámci balíčku Vision v levnější výbavě vozu za 40 900 Kč a v dražší za 17 900 Kč	na průhledovou destičku

Tab. 4: Modely vozidel Ford s dostupným HUD [38]

3.4.5 Hyundai

V modelu vozu Hyundai Kona byl představen první HUD od jihokorejské automobilky Hyundai v roce 2017. Promítání HUD bylo na průhledovou destičku. [39] Nyní patří mezi automobilky, které nabízejí kromě klasických HUD i AR-HUD ve voze Ioniq 5 (viz Tab. 5). [40] V roce 2018 investovali Hyundai, Porsche a další společnosti do švýcarské firmy WayRay. Firma se zabývá vývojem nového typu AR-HUD do osobních automobilů, více o tomto tématu bude popsáno v kapitole o budoucnosti HUD, v podkapitole 3.7.2.

Model vozu Hyundai	Cena	Typ provedení
Kona	v rámci balíčku Premium za 50 000 Kč	na průhledovou destičku
Santa Fe	v rámci balíčku Premium za 70 000 Kč nebo v nejvyšší výbavě v ceně vozu	na čelní sklo
Ioniq 5	v rámci balíčku Premium za 80 000 Kč	AR-HUD na čelní sklo

Tab. 5: Modely vozidel Hyundai s dostupným HUD [40]

3.4.6 Kia

Jihokorejská automobilka Kia zařadila HUD v roce 2018 mezi své technologie v modelu vozidla Kia Stinger s promítáním na čelní sklo. [41] Kromě klasických HUD je od roku 2021 také v nabídce AR-HUD ve vozidle Kia EV6. Tato nabídka vozů s HUD byla rozšířena o modely Sorento a Soul, jak je znázorněno v Tab. 6. [42]

Model vozu Kia	Cena	Typ provedení
Sorento	v nejvyšší výbavě v ceně	na čelní sklo
Soul	v ceně základní výbavy	na průhledovou destičku
Stinger	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
EV6	v ceně základní výbavy	AR-HUD na čelní sklo

Tab. 6: Modely vozidel Kia s dostupným HUD [42]

3.4.7 Land Rover

Vozidlo Land Rover Range Rover Evoque SW1 byl v roce 2014 prvním vozidlem s HUD od britské automobilky Jaguar Land Rover. Použitý HUD byl laserový s promítáním na čelní sklo. [43] Dále se v roce 2019 automobilka zmínila, že vyvíjí nový AR-HUD. Kdy se dostane do sériové výroby zatím nebylo řečeno. [44] Nyní jsou v nabídce tři modely vozů s příplatkovým HUD s promítáním na čelní sklo (viz Tab. 7). [45]

Model vozu Land Rover	Cena	Typ provedení
Defender	37 011 Kč	na čelní sklo
Range Rover	36 905 Kč	na čelní sklo
Discovery	37 011 Kč	na čelní sklo

Tab. 7: Modely vozidel Land Rover s dostupným HUD [45]

3.4.8 Mazda

V roce 2013 se japonská automobilka Mazda pochlubila svým prvním vozem s HUD, a to v modelu Mazda 3 s promítáním na průhledovou destičku. [46] Postupně se HUD dostal téměř do všech modelů jejich vozidel v ceně základních nebo vyšších výbav a s promítáním na průhledovou destičku či čelní sklo (viz Tab. 8). [47]

Model vozu Mazda	Cena	Typ provedení
Mazda 2	ve vyšší výbavě v ceně	na průhledovou destičku
Mazda 3 a 6	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
CX-3	ve vyšší výbavě v ceně	na průhledovou destičku
CX-5	ve vyšší výbavě v ceně	na čelní sklo
CX-30	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
MX-30	ve vyšší výbavě v ceně	na čelní sklo

Tab. 8: Modely vozidel Mazda s dostupným HUD [47]

3.4.9 Mercedes-Benz

U značky Mercedes-Benz, na rozdíl od konkurenčních značek, původně nebyl zájem přidat HUD do výbav jejich vozů. Patrně i vzhledem k jisté konzervativnosti značky se plánovači Mercedes-Benz domnívali, že HUD je pro řidiče jejich vozidel příliš rušivým elementem při řízení. Později však své rozhodnutí přehodnotili a v roce 2014 představili HUD ve vozech Mercedes-Benz třídy C a S. [48] V roce 2020 byli dokonce první, kdo na trh uvedl AR-HUD v automobilech Mercedes-Benz třídy S a chvíli poté i v modelu EQS. [49] V Tab. 9 lze vidět přehled nabídky vozů Mercedes-Benz s HUD.

Model vozu MB	Cena	Typ provedení
třída A	31 505 Kč	na čelní sklo
třída B	30 546 Kč	na čelní sklo
třída C	32 055 Kč	na čelní sklo

třída E	33 033 Kč	na čelní sklo
třída S	v ceně základní výbavy	AR-HUD na čelní sklo
EQC	ve vyšší výbavě v ceně	na čelní sklo
EQS	klasický HUD ve vyšší výbavě v ceně vozu nebo AR-HUD za 64 759 Kč	na čelní sklo AR-HUD na čelní sklo
CLA	30 546 Kč	na čelní sklo
CLS	ve vyšší výbavě v ceně	na čelní sklo
GLA, GLB, GLC	30 546 Kč	na čelní sklo
GLE, GLS	33 632 Kč	na čelní sklo

Tab. 9: Modely vozidel Mercedes-Benz s dostupným HUD [50]

3.4.10 Nissan

Jak už bylo zmíněno v kapitole 3.2, japonská automobilka Nissan zabudovala první HUD do svých vozidel Nissan 240SX a Maxima pro japonský trh již v roce 1989. Později automobilka nabídla HUD do dalších modelů, ale byly dostupné pouze mimo evropský trh. Na ten se dostalo vozidlo s HUD až v roce 2021 v modelu vozu Nissan Qashqai s promítáním na čelní sklo v rámci ceny vyšší výbavy. Do jiných modelů vozů Nissan nebyl HUD zatím implementován. [51]

3.4.11 Opel

Německá automobilka přidala na trh v roce 2017 dva modely automobilů s odlišnými HUD. Jedná se o Opel Insignia s HUD s promítáním na čelní sklo a Opel Crossland X s promítáním na průhledovou destičku. [52] Později se objevil v jejich nabídce vozidel s HUD už jen Opel Zafira, kde je HUD s promítáním na průhledovou destičku za příplatek (viz Tab. 10). [53]

Model vozu Opel	Cena	Typ provedení
Crossland	9 000 Kč	na průhledovou destičku
Insignia	v rámci balíčku Sada driver assistance za 40 000 Kč	na čelní sklo
Zafira	13 000 Kč	na průhledovou destičku

Tab. 10: Modely vozidel Opel s dostupným HUD [53]

3.4.12 Porsche

Německý výrobce sportovních automobilů Porsche AG představil první vozidlo s HUD v roce 2018 u modelu Porsche Panamera GTS. [54] Ve stejném roce s automobilkou Hyundai a dalšími společnostmi investoval do společnosti WayRay na vývoj nového typu AR-HUD, který by mohl být v budoucnu použit v jejich vozidlech. Více informací bude popsáno v kapitole o budoucnosti HUD, v podkapitole 3.7.2. Současná nabídka vozidel Porsche s HUD je znázorněna v Tab. 11.

Model vozu Porsche	Cena	Typ provedení
Cayenne	41 670 Kč	na čelní sklo
Taycan	45 420 Kč	na čelní sklo
Panamera Turbo S	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
ostatní modely Panamera	41 670 Kč	na čelní sklo

Tab. 11: Modely vozidel Porsche s dostupným HUD [55]

3.4.13 Renault

Mezi první vozy s HUD od francouzské automobilky Renault se zařadili Renault Megan, Renault Talisman a Renault Espace mezi roky 2015 a 2016. Všechny uvedené modely měly

promítání informací na průhledovou destičku, [56], [57], [58] stejně jako i současný a prozatím jediný model vybavený HUD Renault Megane. [59] Dále má v tomto roce (2022) přijít na trh nový model s HUD, Renault Austral. Zatím však nebylo specifikováno, o jaký typ HUD se bude jednat. [60]

3.4.14 Škoda

ŠKODA AUTO je původně český výrobce automobilů se sídlem společnosti v Mladé Boleslavi. Automobilka měla v plánu přidání HUD do svých výbav vozů již v roce 2016, do modelu Škoda Kodiaq. [61] Z jejich plánu nakonec sešlo a první HUD nakonec představila až v roce 2019 u modelu Škoda Octavia. [62] V současnosti Škoda nabízí i AR-HUD, kterým disponuje elektromobil Škoda Enyaq iV (viz Tab. 12). [63]

Model vozu Škoda	Cena	Typ provedení
Octavia	v rámci balíčku Asistovaná jízda v levnější výbavě vozu za 41 800 Kč a v dražší za 29 400 Kč	na čelní sklo
Enyaq iV	44 000 Kč	AR-HUD na čelní sklo

Tab. 12: Modely vozidel Škoda s dostupným HUD [63]

3.4.15 Toyota

První HUD měla japonská automobilka Toyota ve voze Toyota Crown z roku 1991, jak je zmíněno v kapitole 3.2. V současné nabídce vozů s HUD značky Toyota je HUD ve vyšších výbavách v ceně s promítáním na čelní sklo (viz Tab. 13). [64]

Model vozu Toyota	Cena	Typ provedení
Corolla	ve vyšší výbavě v ceně	na čelní sklo
Highlander	ve vyšší výbavě v ceně	na čelní sklo

Yaris	ve vyšší výbavě v ceně	na čelní sklo
-------	------------------------	---------------

Tab. 13: Modely vozidel Toyota s dostupným HUD [64]

3.4.16 Volkswagen

Volkswagen je německá automobilka, která svůj první HUD předvedla ve vozu Volkswagen Passat v roce 2015. Informace o vozu byly promítané na průhledovou destičku. [65] Krátce po Mercedesu byl Volkswagen další, kdo přivedl na trh automobil s AR-HUD, u elektromobilů Volkswagen ID.3 a ID.4. [66] V Tab. 14 je znázorněna nabídka vozů Volkswagen s HUD.

Model vozu Volkswagen	Cena	Typ provedení
ID.3	v rámci balíčku Paket Infotainment Plus za 27 500 Kč	AR-HUD na čelní sklo
ID.4	v rámci balíčku Paket Infotainment Plus za 40 100 Kč	AR-HUD na čelní sklo
ID.5	v rámci balíčku Paket Infotainment Plus za 34 900 Kč	AR-HUD na čelní sklo
Golf	17 600 Kč	na čelní sklo
Tiguan	14 400 Kč	na průhledovou destičku
Passat	14 600 Kč	na čelní sklo
Arteon	16 700 Kč	na průhledovou destičku
Touareg	37 700 Kč	na čelní sklo

Tab. 14: Modely vozidel Volkswagen s dostupným HUD [67]

3.4.17 Volvo

Již v roce 2010 byly zmínky o HUD ve vozu Volvo S60 od švédského výrobce Volvo Cars, o HUD se ale tak úplně nejednalo. Byl to jen blikající červený signál, který se odrazil od čelního skla a měl tak varovat řidiče, že se mu náhle dostala překážka před vozidlo (např. auto, které řidiči vjede do cesty nebo chodec, který vběhne do silnice). [68] Skutečný HUD byl nabízen až v roce 2015 ve voze Volvo XC90 s promítáním na čelní sklo. [69] Dále od roku 2017 společnost Volvo Cars vyvíjí optickou fólii, která by mohla být možnou náhradou za HUD s promítací jednotkou. Více o této technologii bude napsáno v kapitole o budoucnosti HUD, v podkapitole 3.7.1. Nyní jsou HUD v ceně základní výbavy s promítáním na čelní sklo v modelech vozidel Volvo znázorněných v Tab. 15.

Model vozu Volvo	Cena	Typ provedení
XC60, XC90	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
V60, V90	v ceně základní výbavy	na čelní sklo
S60, S90	v ceně základní výbavy	na čelní sklo

Tab. 15: Modely vozidel Volvo s dostupným HUD [70]

3.5 Značky aut bez HUD

I v dnešní době stále existuje několik automobilek, u kterých není v nabídce HUD a ani není veřejně známo, že by jej v blízké době plánovaly přidat do svých výbav vozidel. Mezi takové značky patří například Fiat, Dacia nebo Seat. Patří sem i značka Peugeot, která dříve technologii HUD ve svých modelech nabízela, ale poté se vydala vlastním směrem, jak je uvedeno v následující podkapitole.

3.5.1 Peugeot

První HUD začal být u francouzské firmy Automobiles Peugeot nabízen v roce 2009 v modelech aut Peugeot 3008 a poté i Peugeot 5008. U obou modelů byl HUD v ceně vyšších výbav a informace zde byly promítány na průhledovou destičku. [71], [72] V dnešní době (2022) značka Peugeot zcela vyřadila HUD z nabídky u svých osobních vozidel a vydala se jinou cestou. Místo HUD použila klasický dotykový displej (na Obr. 13), který je vyvýšen nad úroveň volantu, a tak informace o vozidle zůstávají v zorném poli řidiče. [73]



Obr. 13: Vyvýšený displej ve vozidle Peugeot [73]

3.6 Další využití HUD

HUD má široké spektrum využití nejen v automobilovém a leteckém průmyslu. Může usnadňovat jízdu i řidičům motorek a řidičům zemědělské techniky. Své uplatnění najde i v běžném životě, jako na oknech budov, kanceláří a rozhleden. HUD se pomalu dostává i do veřejné dopravy na okna metra, vlaků, letadel atd. Zobrazované informace mohou sloužit jak pro potřeby řízení řidiče, tak pro informativní sdělení pro cestující. Dále se lze setkat s HUD připevněným k hlavě uživatele nazývaný jako head mounted display (dále jen jako “HMD”). Do této skupiny spadá HUD v helmě na motorku nebo v chytrých brýlích. Vybrané technologie jsou více popsány v následujících podkapitolách.

3.6.1 Motorka

Řidiči motorek jsou jedni z nejzranitelnějších účastníků silničního provozu. Jelikož nejsou chráněni karoserií, nemají airbagy ani bezpečnostní pásy, může být jakákoliv nehoda fatální. V roce 2017 podle [74] představovali řidiči motorek 18 % úmrtí ze všech smrtelných nehod na silnicích v zemích EU.

Inovace bezpečnostních prvků se týká nejen automobilů, ale i ostatních dopravních prostředků. Stejně jako byl HUD v automobilech inspirován technologií z vojenských stíhaček, tak se výrobci helem na motorku inspirovali přilbami s HUD vojenských pilotů, kde se používají již od roku 1980. [75] Jedná se o HMD, který je blízko oka řidiče v jeho zorném poli (na Obr. 14) a může zobrazovat například rychlost motorky, navigaci, příchozí hovory atd. HMD může být součástí helmy anebo může být přídavný. Mezi vývojáře helem na motorku se zabudovaným HMD spadají například Crosshelmet, BMW, Shoei, Skulls, Jarvis a mezi

výrobce s přídavným HMD Nuviz a EyeLight. Momentálně jsou na trhu dostupné pro běžné spotřebitele jen Crosshelmet, Nuviz a EyeLight.



Obr. 14: HMD pro řidiče motorek [76]

Alternativou je HUD zabudovaný do motorčky s promítáním na čelní sklo, obdobně jako u automobilu. Touto cestou se vydala firma Honda, která má snahu zakomponovat HUD do svých motorek. [77]

Kvůli limitovanému místu v helmě i v motorce je náročné HUD přizpůsobit malým rozměrům, také je i velmi důležitá jeho hmotnost a odolnost. Proto není k dispozici zatím mnoho produktů, a tak si zájemci budou muset na širší sortiment ještě počkat.

3.6.2 Traktor

Řidič traktoru ze své pozice nemá kompletní přehled o manipulačních částech traktoru (jako jsou například nakladače) nebo co je před nimi. Z toho důvodu může být jeho práce málo efektivní a nepřesná. Podle [78] je HUD v traktoru možnou pomocí tím, že poskytne data pro zvýšení výkonu práce řidiče jako například polohu a úhel lopaty a hmotnost materiálu v lopatě.

První koncept HUD v traktorech představil výrobce traktorů Valtra v roce 2017 na výstavě Agritechnica, konkrétně technologii HUD SmartGlass od firmy LUMINEQ. O dva roky později byla představena po dalším vývoji a zdokonalení finální verze HUD SmartGlass (na Obr. 15), a od konce roku 2020 je k dispozici pro traktory Valtra jako výbava na přání. Tato technologie je rozdílná oproti HUD v automobilech, protože traktory nemají skloněné čelní sklo vůči palubní desce, a proto se nedají informace promítat jako u automobilů. SmartGlass je průhledný displej zalaminovaný mezi dvěma vrstvami skla uprostřed čelního skla traktoru. Zobrazované informace se neodrážejí od čelního skla, ale přímo se v čelním skle zobrazují. Mezi zobrazované informace patří výška nakladače, hmotnost nákladu, rychlost jízdy, množství paliva v nádrži a otáčky motoru. [79]



Obr. 15: HUD v traktoru [80]

Několik internetových článků se okrajově zmiňuje o snahách dalších firem vyrobit HUD do traktorů. Společnost Smucker popisovala v roce 2006 přídavný HUD společně s navigačním systémem GPS LandMark II pod názvem AgriVue [81], dále společnost MTA popisovala AR-HUD pro traktory, kde se například zobrazují krajní linie polních kolejových řádků na čelním skle, určujících trajektorii traktoru. [82] Podle těchto článků by měly být v této době již k dostání pro veřejnost, ale nejsou známy žádné novější informace, které by to potvrzovaly.

3.6.3 Chytré brýle

Při ovládání mobilního telefonu nebo jiných zařízení, má uživatel často zaneprázdněné ruce. S tím mohou pomoci, hlavně při manuálních pracích, chytré brýle. Mnohé brýle, které jsou označovány za chytré, mají pouze zabudovaný mikrofon, reproduktory a některé i fotoaparát. Další skupinou chytrých brýlí jsou nositelná zařízení pracující na principu HMD, zobrazující informace v zorném poli uživatele. Fungují jako rozšíření k mobilnímu telefonu, nebo mohou fungovat i samostatně. Zařízení mohou zobrazovat například zprávy, upozornění, navigaci, sociální sítě, pracovní postupy atd.

Několik firem se snaží o vývoj chytrých brýlí (například Apple, Bosch a Intel), pár z nich dovedl vývoj k uvedení prototypu (Xiaomi a TCL), a jen zlomek z nich je i uveden na trh (Google, Vuzix a Lenovo). [83], [84], [85], [86], [87] Tuto technologii používají zejména pracovníci ve výrobních procesech. Pro běžné uživatele nejsou chytré brýle v současné fázi vývoje příliš atraktivní pro použití v každodenním životě. Dle [88], zobrazované informace v chytrých brýlích mohou působit rušivě a odklánět pozornost od primárních úkonů v situacích vyžadujících plnou koncentraci.

Tato technologie nemá zatím žádné známé oficiální informace o využití ve vozidlech. V budoucnu by mohla být tato technologie použita jako alternativa HUD v automobilovém průmyslu za předpokladu jejich zdokonalení.

3.6.3.1 Google Glass

Mezi nejznámější dostupné chytré brýle patří Google Glass. Pracují na bázi operačního systému Android s funkcemi mobilního zařízení, hlasovým ovládním a reakcí na pohyb. Informace se promítají na optickém displeji – malé poloprůhledné obrazovce umístěné před okem na pravé horní straně brýlí. Zobrazované informace zabírají přibližně 5 % ze zorného pole uživatele. Prototyp Google Glass Explorer, vyvinutý společností Google X, se začal prodávat v USA v roce 2013 pro vývojáře a později v roce 2014 i pro maloobchodní prodej za cenu 1500 USD (přibližně 30 000 Kč). Poté Google přišel s brýlemi Google Glass Explorer 2, která se lišila pouze vyšší pamětí RAM. I samotní výrobci cítili, že technologicky mají brýle k dokonalosti daleko, proto v roce 2015 Google přerušil výrobu. V roce 2017 Google představil Google Glass Enterprise Edition a poté v roce 2019 Google Glass Enterprise Edition 2 (na Obr. 16). Plán byl využít tyto brýle hlavně na pracovištích (pro lékaře, tovární dělníky atd.). [89], [90]



Obr. 16: Chytré brýle Google Glass Enterprise Edition 2 [90]

3.7 Budoucnost HUD

V budoucnu se dají očekávat nové propracovanější technologie, a tedy s největší pravděpodobností i rozšíření funkcionalit HUD. Mnoho společností neustále pracuje na zdokonalení současných řešení HUD a některé mají snahu o další inovace v této oblasti. Největší úsilí se vkládá do vývoje a zdokonalení AR-HUD. Kromě současného využití by ještě ve vzdálenější budoucnosti AR-HUD v autonomních vozidlech mohl poskytnout důležitou přidanou úroveň pohodlí a jistoty pro cestující. V následujících podkapitolách jsou uvedeny inovace, které jsou zatím ve fázi vývoje a o kterých jsou zmínky dostupné široké veřejnosti. Řidiči se na ně budou moci těšit v průběhu dalších let, pokud se je povede společněm dotáhnout až k realizaci do sériových výrob.

Mimo to je možné, že jako alternativa HUD se začne využívat Head Mounted Display (HMD) v podobě chytrých brýlí, o kterých se píše v předchozí kapitole.

3.7.1 Volvo

Pro HUD se typicky používá promítání na vysouvací sklíčko nebo na čelní sklo projektorem z palubní desky. Značka vozidel Volvo, která se již dlouhou dobu považuje za výrobce nejbezpečnějších vozidel, se podílí na vývoji zcela nového systému, kde bude využito jen čelní sklo bez potřeby projektoru. Společnost Volvo Cars, v roce 2017, investovala 2 miliony dolarů do začínající Izraelské společnosti Spectralics, zabývající se optikou a zobrazováním. Nyní společně vyvíjí nový typ optické fólie – vícevrstvé tenké kombinované fólie (MLTC – Multi Layered Thin Combiner), známé také jako vícevrstvý tenký slučovač. Tato fólie by měla jít integrovat do čelního skla nebo ostatních oken automobilu a poskytovat tak obraz řidiči a cestujícím pomocí překryvání vybraných obrazů přímo na skle. Výhodou optické fólie má také být, že by mohla poskytovat řidiči větší úhel zorného pole a lepší zpracování grafiky v různých vzdálenostech, což se hodí především u rozšířené reality. Mimo vozidla by tato fólie mohla být využita také pro chytré brýle, optické systémy a další systémy. [91], [92], [93]

3.7.2 Holografický AR-HUD

Holografická technologie přináší uživatelům novou metodu realističtějšího zobrazování informací ve 3D, která se postupně dostává i do automobilového průmyslu v podobě holografického AR-HUD.



Obr. 17: Holografický AR-HUD [94]

Holografický AR-HUD (viz Obr. 17) přináší několik výhod oproti klasickému AR-HUD. Díky své technologii je promítací jednotka menší – pro představu, klasický AR-HUD s použitím zrcadel má objem až 20 litrů, zatímco holografický AR-HUD pod 5 litrů. Touto značnou úsporou místa v palubní desce lze zakomponovat holografický AR-HUD i do automobilů, kam by se klasický AR-HUD nevešel. Navíc umožňuje využití u automobilů s výrazně zkoseným či zakřiveným čelním sklem. Dále jsou promítané informace vidět z větších úhlů

a na větší zobrazovací ploše, kde je může sledovat i spolujezdec. Kromě klasických funkcí AR-HUD se mohou vyobrazit vizuální popisy okolí (budov, obchodů atd.), počasí i zábavní obsah pro spolujezdce. [95]

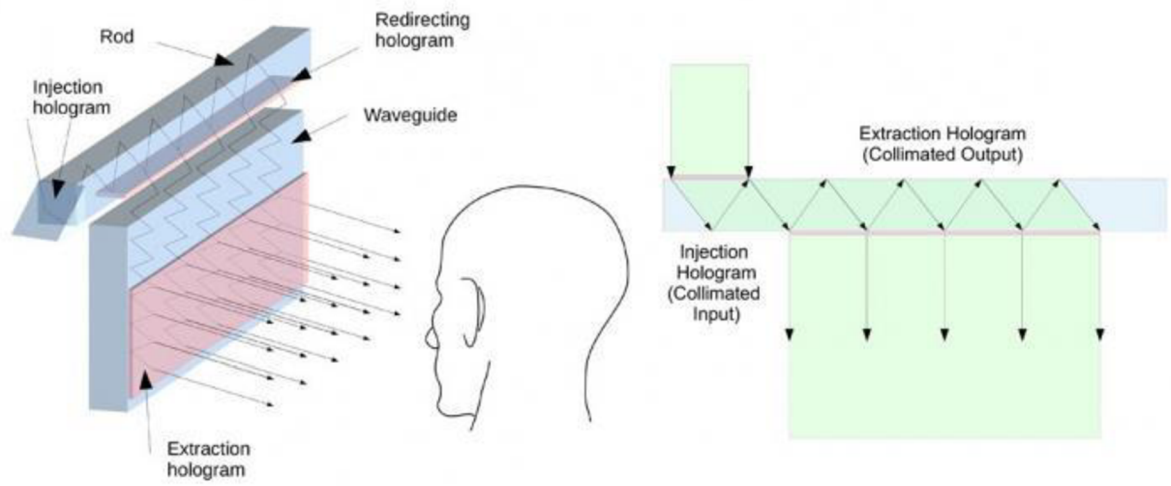
Holografický AR-HUD se vyvíjí již několik let, ale dosud není u žádné automobilky v nabídce. V blízké době by se měl dostat do sériové výroby především pro osobní automobily, jak plánuje několik technologických společností zaměřujících se na výrobu holografických displejů. Mezi ně patří například Envisics, Panasonic, WayRay, CY Vision, DigiLens, Continental a další.

Společnost WayRay se jako první začala zabývat vývojem holografického AR-HUD v roce 2012. Od roku 2018 se na jeho vývoji finančně podílelo několik velkých společností (například Porsche, Hyundai, JVC Kenwood a další). Společně do firmy WayRay investovali 100 milionů dolarů (v přepočtu přibližně 2,2 miliardy korun českých). Implementaci holografických AR-HUD do automobilů velkých automobilek mají v plánu do roku 2025. [96]

Společnost Envisics, založená v roce 2018, vyvíjí holografický AR-HUD pro několik společností, jako je Hyundai a General Motors. V lednu 2021, na veletrhu Consumer Electronics Show (CES), Envisics společně s Panasonic odhalili svůj holografický AR-HUD. Ten bude poprvé použit při sériové výrobě v modelech Cadillacu v roce 2023. [94]

3.7.2.1 Princip zobrazování

Holografický AR-HUD se skládá ze zobrazovacího panelu, čoček, holografických optických prvků (Holographic Optical Element, dále jako "HOE") a vlnovodu. Zobrazovací panel slouží jako zdroj obrazu, může to být například LCoS nebo DLP, které byly vysvětleny v kapitole 3.3.2. Světlo z tohoto panelu je poté kolimováno systémem čoček (tzn. paprsky se srovnají tak, aby bylo světlo zaostřené) a dopadá na vstupní HOE. HOE je tenká optická vrstva na skle na bázi fotopolymerů, halogenidu stříbra nebo dichromované želatiny. Slouží k difrakci (ohybu) vln světla, které tak vstoupí do vlnovodu. Nastane takzvaný úplný odraz světla – všechno světlo se uvnitř vlnovodu odráží mezi jeho přední a zadní hranou a žádné nevyjde ven, dokud nedojde k dalšímu, výstupnímu HOE. Tam dojde k extrakci malé části světla, která opustí sklo při každém odrazu a vytváří tak viditelný obraz (jak je znázorněno na Obr. 18). [97], [98], [99]



Obr. 18: Schéma principu zobrazení holografického AR-HUD [97]

4 Praktická část

Teoretická část této práce se zabývala především obecným principem fungování technologií HUD. Praktická část se věnuje výběru, komparaci několika různých dostupných typů HUD a vyhodnocení na základě předem stanovené metodiky testování uvedené v kapitole 2.2.

4.1 Popis testovaných HUD

Pro účely testování bylo vybráno pět základních typů technologie HUD, které byly, pro větší přehlednost, označeny písmeny A – E.

4.1.1 HUD A: Vestavný HUD s projekcí na čelní sklo (BMW X5, 2017)

Cena: 40 000 Kč

U HUD A (na Obr. 19), který promítá v rozlišení 800x480 px na čelní sklo, se promítaný obraz zdánlivě objevuje v prostoru na vozovce přibližně 2,3 m před vozidlem, jak udává prodejce. Tím odpadá potřeba neustálého přeastřování zraku řidiče mezi děním na silnici a palubní deskou. Doba přeastření zraku mezi silnicí a HUD je minimální. Podle vnějších světelných podmínek se automaticky upravuje intenzita jasu, případně lze intenzitu měnit i manuálně přes ovládací systém vozidla, stejně jako volba individuálního nastavení jízdních dat a zobrazovaných informací.



Obr. 19: HUD A [34]

4.1.2 HUD B: Vestavný HUD s projekcí na reflexní desku (BMW 220i GT, 2018)

Cena: pouze v rámci balíčku za 69 000 Kč

V tomto modelu vozidla je možné nakonfigurovat HUD pouze v rámci příplatkového balíčku Paket Innovation v hodnotě 69 000 Kč, který mimo HUD zahrnuje navigační systém a alarm. Na výklopné průhledové destičce se odráží z přístrojového panelu plnobarevná projekce obsahující jízdní data (viz Obr. 20). Pro lepší kontrast, a tím pádem i čitelnost, je deska mírně zatmavena, avšak se zachováním dostatečné průhlednosti. Intenzita jasu a nastavení HUD B jsou stejné jako u HUD A.



Obr. 20: HUD B [34]

4.1.3 HUD C: Příkladový projekční HUD s projekcí na čelní sklo

Cena: 550 Kč

Typ připojení: OBD II

HUD C (viz Obr. 21) využívá segmentový displej a barevně promítá na čelní sklo jízdní data, která získává z konektoru OBD II. Pro větší kontrast obrazu lze opatřit čelní sklo speciální reflexní fólií, která bývá součástí balení. Data jsou čtena pouze z OBD, a tak tento typ HUD nedokáže zobrazit data z navigace nebo médií. HUD je dodáván s gumovou protiskluzovou podložkou.



Obr. 21: HUD C (zdroj: ebay.com)

4.1.4 HUD D: Přídavný projekční HUD s reflexní deskou

Cena: 1 500 Kč

Typ připojení: OBD II

HUD D (na Obr. 22) promítá informace na výklopnou reflexní destičku, která je součástí přístroje. Přebírá informace z konektoru OBD II a po propojení s mobilním telefonem také zobrazuje navigační pokyny. K instalaci stačí HUD D připojit k OBD a položit jej na palubní desku na místo, kde to řidiči nejvíce vyhovuje.



Obr. 22: HUD D (zdroj: aliexpress.com)

4.1.5 HUD E: Mobilní telefon a podložka s reflexní deskou

Cena: 150 Kč

Typ připojení: bezdrátové

Funkční jednotkou HUD E (na Obr. 23) je jakýkoliv chytrý mobilní telefon doplněný o podložku s poloprůhlednou naklápěcí deskou s reflexní povrchovou úpravou, která se postará o odraz obrazu mobilního telefonu. Do telefonu se nainstaluje libovolná aplikace podporující režim HUD, tzn. překlopení obrazu vzhůru nohama a zrcadlově. Výhodou oproti předchozím modelům je, že poskytuje vyšší variabilitu uživatelského rozhraní – uživatel si může vybrat mobilní aplikaci, která mu nejvíce vyhovuje. Některé z nich umožňují telefonu komunikovat s bezdrátovým modulem připojeným v konektoru OBD. Zobrazují se tak data z vozidla i GPS z telefonu.



Obr. 23: HUD E (zdroj: aliexpress.com)

4.2 Testování

Testování všech vybraných modelů HUD bylo uskutečněno v jeden den, pro docílení podobných podmínek, především míry osvětlení.

Před testováním byly provedeny následující kroky:

- nastavení jasu na možné maximum
- umístění přídavných HUD na palubní desku před řidiče
- nastavení optimální výšky zobrazení vestavných HUD
- umístění luxmetru na palubní desku v blízkosti HUD

- zapnutí navigace u modelů, které to umožňují
- nainstalování aplikace Navier HUD do mobilního telefonu

S každým testovaným HUD bylo najeto přibližně 5 kilometrů, aby se odzkoušel za jízdy v silničním provozu. Následně byly na parkovišti pořízeny fotografie pro účely této práce (zobrazovací plochy HUD, se slunečními brýlemi, s polarizačními brýlemi). Později byly tyto HUD testovány i na čitelnost a přílišné oslňování řidiče za tmy, i z tohoto testování byly pořízeny fotografie.

4.3 Hodnocení

V následujících podkapitolách je na základě provedených testování uvedeno hodnocení jednotlivých HUD pro každou kategorii. Hodnocení HUD je prováděno podle metodiky uvedené v kapitole 2.2 Metodika testování. Veškerá fotografická dokumentace z testování je k nahlédnutí v přílohách v kapitole 10.

4.3.1 Zobrazované informace

Všechny testované modely mají jedno společné – zobrazují jeden z nejdůležitějších údajů, a to aktuální rychlost vozidla. V zobrazování ostatních dat se HUD liší, pro lepší představu je přehled znázorněn v Tab. 16. Zmíněná jízdní data se v HUD většinou nezobrazují najednou, ale jen v potřebný moment, případně podle nastavení. Na Obr. 24 je možné vidět příklad zobrazovaných informací v HUD A (vlevo) a HUD D (vpravo).



Obr. 24: Zobrazované informace (vlevo - HUD A, vpravo - HUD D)

Funkce \ Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD D
aktuální rychlost	✓	✓	✓	✓	✓
povolená rychlost	✓	✓	X	X	✓
otáčky motoru	X	X	✓	✓	✓
tempomat	✓	✓	X	X	X
teplota oleje	X	X	✓	✓	✓
navigační pokyny	✓	✓	X	✓	✓
kontrolky vozidla	✓	✓	✓	X	X
upozornění na překážky	✓	✓	X	X	X
multimédia	✓	✓	X	X	X
telefonní funkce	✓	✓	X	X	X
stav baterie	X	X	✓	✓	✓
zařazený rychlostní stupeň	X	X	✓	X	X
čas	X	X	✓	✓	✓
překročení nastavené rychlosti	✓	✓	✓	✓	X

Tab. 16: Zobrazované informace jednotlivých HUD

HUD A a B jsou z hlediska zobrazovaných informací identické, drobný rozdíl je u HUD A, který má podrobnější vykreslení grafiky navigace. Oba tyto HUD jsou řešeny elegantně, obsahují dostatečné a potřebné informace. HUD C obsahuje až zbytečně mnoho nedůležitých informací a nenabízí zobrazování navigačních dat. HUD E zobrazuje tolik informací, kolik mu jich mobilní aplikace poskytne. Při testování tohoto HUD byla použita aplikace Navier HUD, podle které jsou v Tab. 16 uvedené zobrazované informace. HUD D má na výběr z několika předdefinovaných obrazovek s rozdílnými daty, které ale nelze přizpůsobit. Na základě těchto informací bylo uděleno dílčí hodnocení v Tab. 17.

Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD E
Počet bodů (0-5)	5	5	3	4	4

Tab. 17: Bodování v kategorii Zobrazované informace

4.3.2 Viditelnost na slunci

U porovnávání parametru viditelnosti za silného slunečního záření je možné zpozorovat velké rozdíly mezi HUD. Oba vestavné HUD jsou dobře čitelné i proti přímému slunečnímu záření (viz Obr. 25, vpravo). Naopak u HUD přídavných byla čitelnost velmi nízká až nulová (viz Obr. 25, vlevo). Nejlépe z přídavných HUD vyšel HUD D a nejhůř HUD E, protože mobilní telefon nedisponuje dostatečně vysokým jasnem, i přes nastavení jasu na maximum. Během tohoto testování byla podle luxmetru naměřena intenzita slunečního záření 27 600 až 37 100 lx. V Tab. 18 je pro srovnání uvedeno hodnocení viditelnosti jednotlivých HUD na slunci.



Obr. 25: Viditelnost na slunci (vlevo - HUD D, vpravo - HUD B)

Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD E
Počet bodů (0-5)	4	4	1	2	0

Tab. 18: Bodování v kategorii Viditelnost na slunci

4.3.3 Viditelnost ve stínu

Měření bylo provedeno ve stínu při silném slunečním záření. HUD E byl špatně čitelný i při menší intenzitě světla (viz Obr. 26, vpravo). Všechny ostatní testované HUD byly čitelné velmi dobře, především HUD vestavné. Naměřené hodnoty intenzity světla při testování byly v rozmezí 2600 až 4200 lx. Hodnocení viditelnosti jednotlivých HUD ve stínu je znázorněno v Tab. 19.



Obr. 26: Viditelnost ve stínu (vlevo - HUD C, vpravo - HUD E)

Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD E
Počet bodů (0-5)	5	5	4	4	2

Tab. 19: Bodování v kategorii Viditelnost ve stínu

4.3.4 Oslnění za tmy

Za tmy jsou velmi dobře čitelné všechny testované HUD, avšak některé mohou oslňovat a rušit řidiče při řízení. Především řidiči, kteří nejsou zvyklí na HUD, mohou ve tmě vnímat všechny HUD jako rušivé z důvodu velkého kontrastu mezi tmavým okolím a svítícím HUD. Vestavné HUD a HUD D (na Obr. 27, vpravo) automaticky přizpůsobují jas okolnímu světlu, tedy v noci svítí méně a neoslňují řidiče. U HUD E je jas řízen podle nastavení mobilního telefonu a tím lze docílit optimální svítivosti. Podle specifikace prodejce by měl mít HUD C (na Obr. 27,

vlevo) také světelný senzor a uzpůsobovat jas podle okolí, ale i přesto za tmy mírně oslňuje a ruší řidiče při řízení. V Tab. 20 je znázorněno udělené ohodnocení za míru oslnění za tmy.



Obr. 27: Oslnění za tmy (vlevo – HUD C, vpravo - HUD D)

Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD E
Počet bodů (0-5)	5	5	3	5	5

Tab. 20: Bodování v kategorii Oslnění za tmy

4.3.5 Viditelnost za použití polarizačních a slunečních brýlí

U HUD A je obraz po nasazení polarizačních brýlí vidět částečně a při menších pohybech hlavy je viditelnost nulová, obdobně u HUD E nejsou vidět skrze polarizační brýle žádná data (viz Obr. 28, vlevo). Čitelnost ostatních HUD nebyla za použití polarizačních brýlí ovlivněna. Srovnání je uvedeno v Tab. 21. Bylo zjištěno, že použití slunečních brýlí bez polarizace nijak nezasahuje do viditelnosti všech testovaných HUD (viz Obr. 28, vpravo), proto byla bodována jen viditelnost při použití polarizačních brýlí.



Obr. 28: Viditelnost za použití polarizačních (vlevo - HUD E) a slunečních brýlí (vpravo - HUD A)

Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD E
Počet bodů (0-2)	1	2	2	2	0

Tab. 21: Bodování v kategorii Viditelnost za použití polarizačních brýlí

4.3.6 Možnosti nastavení

U vestavných HUD se dá nastavit větší škála možností než u HUD přídavných. Kromě možnosti si vybrat, které informace se mají zobrazovat, je možné nastavit jas a výšku obrazu (viz Obr. 29). Výška obrazu lze lépe nastavit u HUD A než u HUD B, kde je poloha obrazu omezena výškou průhledové destičky. Přídavné HUD mají výhodu, že je lze umístit i jinam na palubní desce než přímo před řidiče, podle jejich preferencí. U HUD D je na výběr ze sedmi obrazovek, kde každá obsahuje jiná jízdní data. U HUD E závisí nastavení na použité aplikaci pro HUD v mobilním telefonu. V aplikaci použité při testování je možné složit vlastní obrazovku z mnoha dostupných widgetů. Samotný HUD E má jen nastavení sklonu zobrazovací plochy. U HUD C se dají měnit pouze určité zobrazované informace, jako například jednotky rychlosti a spotřeby. HUD jsou obodovány z hlediska přínosu dostupných nastavení v Tab. 22.



Obr. 29: Možnosti nastavení HUD A

Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD E
Počet bodů (0-5)	5	4	2	3	3

Tab. 22: Bodování v kategorii Možnosti nastavení

4.3.7 Uživatelská přívětivost

Kromě dostupných funkcí a dalších možností je důležitý i pocit a dojem, který uživatel zažívá při používání HUD. To zahrnuje i estetický design, velikost jednotlivých informací, užitečnost a další.

Největší výhodou HUD A oproti ostatním testovaným HUD je, že se projekce zobrazuje zdánlivě před vozidlem, řidič tak nemusí přestřovat ani sklánět zrak.

HUD B promítá na destičku vystupující z palubní desky, která je příliš nízko a průhled je na palubní desku, nikoliv na cestu před vozidlem. Vzhled, uspořádání a funkce HUD jsou obdobné jako u HUD A.

HUD C má až příliš velký promítaný obraz. Modrá barva použitá na projekci s kombinací vysokého jasů působí rušivě, především v noci. Projekce segmentového displeje nepůsobí příliš moderním a líbivým vzhledem. Rušivě také působí viditelnost momentálně neaktivních částí segmentů.

HUD D má vzhlednou projekci, ale zobrazovací plocha je poměrně malá.

HUD E nabízí uživateli variabilitu v možnosti výběru preferované mobilní aplikace pro HUD. Například v aplikaci použité při testování lze měnit umístění, velikost a barvu jednotlivých informací.

Hodnocení v Tab. 23 bylo uděleno podle subjektivního pocitu vnímání HUD při řízení.

Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD E
Počet bodů (0-5)	5	4	2	3	4

Tab. 23: Bodování v kategorii Uživatelská přívětivost

4.3.8 Vyhodnocení

Tab. 24 obsahuje souhrn udělených bodů testovaných HUD vynásobený koeficienty váhy každé kategorie. Vestavné HUD bodově vyšly výrazně lépe než HUD přídavné, hlavně kvůli viditelnosti za světla. Nejlépe vyšel HUD A, který kromě viditelnosti s polarizačními brýlemi vyšel nejlépe ve všech kategoriích. Je vidět za všech světelných podmínek, neruší při jízdě a je přínosným asistenčním prvkem.

Druhým nejlépe ohodnoceným se stal HUD B. V jednotlivých kategoriích je srovnatelný s HUD A, až na pár výjimek. Polarizační brýle neovlivňují viditelnost HUD B a skrz HUD není vidět cesta, ale palubní deska. Také je nutné přeastřovat zrak mezi cestou a promítanými jízdními daty, stejně jako u zbylých HUD.

HUD D je sice z testovaných HUD až na třetím místě, ale je na prvním místě z HUD přídavných. Zobrazuje přehledně potřebné informace, ale body ztratil kvůli malé zobrazovací ploše a špatné viditelnosti za silného slunečního záření.

HUD E nabízí díky dobře zvolené mobilní aplikaci pro HUD a možnosti připojení mobilního telefonu do OBD širokou škálu zobrazovaných dat. HUD E vypadá slibně, ale kvůli velmi špatné viditelnosti během dne ztratil mnoho bodů při hodnocení. Důvodem je slabý jas mobilních telefonů.

Nejhůře dopadl v hodnocení HUD C. Zobrazovaná jízdní data zabírají mnoho místa na čelním skle a v noci, i z důvodu použitých barev, oslňují řidiče.

Hodnocení testovaných HUD bylo provedeno na základě subjektivního vnímání jedné testovací osoby. Výsledky testování tak byly ovlivněny osobními preferencemi, zvyky, sociálním prostředím, zdravotním stavem, řidičskými zkušenostmi a dalšími vlivy. Je evidentní, že použitím jiných metod pro testování a hodnocení HUD by se dalo dosáhnout relevantnějších výsledků. Například by pro účely testování mohl být vybrán větší vzorek lidí s různými kombinacemi sociálních a demografických faktorů. Z jejich hodnocení by bylo možné získat přesnější výsledky pomocí standardních i pokročilých statistických metod, avšak to by přesahovalo rozsah této bakalářské práce.

Kategorie \ Druhy HUD	HUD A	HUD B	HUD C	HUD D	HUD E
Zobrazované informace (koeficient: 6)	30	30	18	24	24
Viditelnost na slunci (koeficient: 10)	40	40	10	20	0
Viditelnost ve stínu (koeficient: 9)	45	45	36	36	18

Oslnění za tmy (koeficient: 7)	35	35	21	35	35
Viditelnost za použití polarizačních brýlí (koeficient: 4)	4	8	8	8	0
Možnosti nastavení (koeficient: 6)	30	24	12	18	18
Uživatelská přívětivost (koeficient: 8)	40	32	16	24	32
Počet bodů celkem	224	214	121	165	129

Tab. 24: Přehled získaných bodů

5 Závěr

V teoretické části byla provedena rešerše technologie HUD. V práci je představen popis HUD, historie HUD a počátky využití v automobilovém průmyslu, dále rozdělení HUD podle typů a využívaných technologií pro zobrazení obrazu v automobilech, které jsou i podrobně popsány. Následně byla zjištěna a sepsána dostupnost HUD u automobilek nabízejících osobní automobily v ČR.

Další část je věnována popisu využití HUD i v jiných odvětvích než jen v automobilovém průmyslu. Poslední kapitola teoretické části popisuje budoucnost a plány v oblasti HUD a jejich další směr, především již dlouho očekávaný způsob zobrazování – holografický HUD. Z provedené rešerše je jasné, že HUD je v probíhajících stádiích vývoje a nadále se rozvíjí.

Informace, uvedené v teoretické části práce, byly čerpány z mnoha různých zdrojů, včetně odborné literatury.

Praktická část byla věnována testování a komparaci HUD v terénu. Pro tyto účely bylo vybráno pět různých HUD – dva vestavné a tři přídavné, které byly zkoumány v několika kategoriích. Konkrétně na viditelnost HUD za různých světelných podmínek a použití slunečních a polarizačních brýlí, dále na množství a důležitost zobrazovaných informací a nastavení, a v poslední řadě na uživatelskou přívětivost. Za využití vícekritériální analýzy bylo zjištěno, že vestavné HUD vyšly lépe než HUD přídavné.

6 Seznam použité literatury

1. MA, Jun, GONG, Zaiyan, TAN, Jianjie, ZHANG, Qianwen, ZUO, Yuanyang. Assessing the driving distraction effect of vehicle HMI displays using data mining techniques. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. únor 2020, Sv. 69.
2. PAUZIE, Annie. Head Up Display in Automotive: A New Reality for the Driver. *Design, User Experience, and Usability: Interactive Experience Design*. Lecture Notes in Computer Science, vol 9188. místo neznámé : Springer International Publishing, 2015.
3. *Základy světelné techniky*. HABEL, Jiří. 03/2009, Praha : FCC Public s.r.o., 2009, SVĚTLO. ISSN 1212-0812.
4. PODHORSKÝ, Matěj. Head-up displej: Pilotem stíhačky snadno a rychle. *Autíčkář*. [Online] 29. 6 2017. [Citace: 5. 1 2022.] <https://www.autickar.cz/clanek/head-up-displej-pilotem-stihacky-snadno-a-rychle/>.
5. SCHOLZ, Matt. Measuring Head-Up Displays from 2D to AR: System Benefits & Demonstration. *Radiant Vision Systems*. [Online] 28. 11 2018. [Citace: 6. 10 2021.] https://www.radiantvisionsystems.eu/fileadmin/user_upload/Learn/5_Webinars/Radiant_WB_R_20181128_HUD-Demo_EN.pdf.
6. What is field of view (FOV)? *TechTarget*. [Online] 5 2017. [Citace: 30. 3 2022.] <https://whatis.techtarget.com/definition/field-of-view-FOV>.
7. YOUNIS, Ola, AL-NUAIMI, Waleed, ALOMARI, Mohammad H., ROWE, Fiona. A Hazard Detection and Tracking System for People with Peripheral Vision Loss using Smart Glasses and Augmented Reality. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 3 2019, Sv. 10.
8. TRETEN, Phillip, GRLING, Anita, NILSSON, Rickard, LARSSON, Tobias. An On-Road Study of Head-Up Display: Preferred Location and Acceptance Levels. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 9 2011, Sv. 55.
9. Human Factors in Forward Collision Warning Systems: Operating Characteristics and User Interface Requirements. *Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) Committee*. 8 2003.
10. WAGENKNECHT, Martin. Technologie v autech: head-up displej. *fDrive*. [Online] 6. 9 2016. [Citace: 2. 10 2021.] <https://fdrive.cz/clanky/technologie-v-autech-head-up-displej-176>.

11. The evolution of the Head-Up Display. *BAE Systems*. [Online] 9. 6 2016. [Citace: 2. 10 2021.] <https://www.baesystems.com/en/feature/our-innovations-hud>.
12. LE BLAYE, P., a další. Head Up Displays symbology (HUD): Pre normative study for DGAC/SFACT. 13. 6 2002.
13. JOHNSON, Joel. The Past and Future of the Head-up Display, the Original Augmented Reality. *Intelligencer*. [Online] 23. 1 2019. [Citace: 2. 10 2021.] <https://nymag.com/intelligencer/2019/01/the-past-and-future-of-the-head-up-display.html>.
14. The emergency lane: the history of the head-up display. *Techzle*. [Online] 22. 11 2020. [Citace: 2. 10 2021.] <http://techzle.com/the-emergency-lane-the-history-of-the-head-up-display>.
15. ČANDA, Tomáš. HEAD UP DISPLEJ – ZE STÍHAČEK DO AUT. *TopDrive*. [Online] 4. 1 2012. [Citace: 2. 10 2021.] <https://topdrive.cz/head-up-displej-ze-stihacek-do-aut/>.
16. FISHER, Pja. День в истории: ГАЗ-21 «Волга». *Авто Mail*. [Online] 21. 11 2019. [Citace: 5. 1 2022.] <https://auto.mail.ru/article/75280-den-v-istorii-gaz-21-volga/>.
17. Head-up displej s rozšířenou realitou MBUX. *Mercedes-Benz*. [Online] [Citace: 1. 10 2021.] <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/models/eqs/saloon-v297/equipment.pi.html/mercedes-benz-cars/models/eqs/saloon-v297/equipment/individualization/mbux-ar-hud>.
18. REICHL, Jaroslav. Displej z kapalných krystalů (LCD). *Encyklopedie fyziky*. [Online] 2006. [Citace: 8. 12 2021.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/523-displej-z-kapalnych-krystalu-lcd>.
19. What is an LCD Display : An introduction to LCD technology. *Orient Display*. [Online] 11. 24 2021. [Citace: 8. 12 2021.] <https://www.orientdisplay.com/knowledge-base/lcd-basics/what-is-lcd-liquid-crystal-display/>.
20. KONVALINA, Jan. LCD a jejich technologie 1 - jak to funguje. *Notebook.cz*. [Online] 17. 4 2013. [Citace: 8. 12 2021.] <https://notebook.cz/clanky/technologie/2013/LCD-1>.
21. LCD Basics. *Japan Display Inc*. [Online] 18. 1 2018. [Citace: 10. 12 2021.] <https://www.j-display.com/english/technology/lcdbasic.html>.
22. KABÁT, Zdeněk. Technologie: TFT LCD displeje. *Svět hardware*. [Online] 17. 3 2003. [Citace: 1. 2 2022.] <https://www.svethardware.cz/technologie-tft-lcd-displeje/7555>.

23. Jaký je rozdíl mezi TFT a LCD? *Technologie Splendid Screen Technology (HK) Limited*. [Online] 11. 10 2019. [Citace: 1. 2 2022.] <http://m.cz.splendid-display.net/info/what-is-the-difference-between-tft-and-lcd-40569533.html>.
24. TFT LCD Technology. *Robu.in*. [Online] 5. 12 2019. [Citace: 5. 10 2021.] <https://robu.in/tft-lcd-technology-and-its-interfacing-with-arduino/>.
25. WILKINSON, Scott. LCD, LCoS, or DLP: Choosing a Projector Imaging Technology. *Projector Central*. [Online] 31. 7 2020. [Citace: 10. 12 2021.] <https://www.projectorcentral.com/Digital-Projector-Imaging-Technologies-Explained.htm>.
26. What to Look for in a DLP Projector. *ViewSonic*. [Online] 28. 7 2019. [Citace: 10. 12 2021.] <https://www.viewsonic.com/library/entertainment/what-look-for-dlp-projector/>.
27. Vnitřek, princip DLP technologie. *Deen in it*. [Online] 8. 6 2005. [Citace: 10. 12 2021.] <https://diit.cz/clanek/vnitrek-princip-dlp-technologie#author1>.
28. DLP Technology: Solving design challenges in next generation of automotive head-up display systems. *TechOnline*. [Online] 11 2017. [Citace: 10. 12 2021.] <https://www.techonline.com/tech-papers/dlp-technology-solving-design-challenges-in-next-generation-of-automotive-head-up-display-systems/>. DLPA057A.
29. SANKHE, Pranav. Electronics Club, IIT Bombay. *Working of a Digital Light Processing Projector*. [Online] 3. 5 2016. [Citace: 10. 12 2021.] <https://elec-club-iitb.github.io/blog/2016/05/working-of-a-dlp-projector/>.
30. WILSON, Tracy V. How LCoS Works. *HowStuffWorks*. [Online] 12. 1 2006. [Citace: 15. 12 2021.] <https://electronics.howstuffworks.com/lcos.htm>.
31. CALDERONE, Len. Should You Buy a LCD, DLP or LCoS Projector? *home toys*. [Online] 10. 1 2017. [Citace: 15. 12 2021.] <https://hometoys.com/should-you-buy-a-lcd-dlp-or-lcos-projector/>.
32. ALEXANDER. 2011 Audi A7 Sportback. *Top Speed*. [Online] 13. 12 2010. [Citace: 10. 1 2022.] <https://www.topspeed.com/cars/audi/2011-audi-a7-sportback-ar94163.html>.
33. *Audi Česká republika*. [Online] [Citace: 10. 1 2022.] <https://www.audi.cz/>.
34. *BMW Česká republika*. [Online] [Citace: 10. 1 2022.] <https://www.bmw.cz/cs/index.html>.

35. HISTORIE KOMFORTU CITROËN - 3. DÍL: UŽIVATELSKÝ KOMFORT. *Citroën Česká republika*. [Online] 20. 5 2020. [Citace: 10. 1 2022.] <https://www.citroen.cz/svet-znacky/novinky-a-aktuality/historie-komfortu-citroen-3.-dil-uzivatelsky-komfort.html>.
36. *Citroën Česká republika*. [Online] [Citace: 10. 1 2022.] <https://www.citroen.cz/>.
37. MAREK, Antonín. Ford oficiálně představil nový Focus! Je to první evropský Ford, který dostal technologii ze stíhaček. *AutoRoad*. [Online] 10. 4 2018. [Citace: 10. 1 2022.] <https://autoroad.cz/novinky/91692-ford-oficialne-predstavil-novy-focus-je-to-prvni-evropsky-ford-ktery-dostal-technologie-ze-stihacek>.
38. *Ford CZ*. [Online] [Citace: 10. 1 2022.] <https://www.ford.cz/>.
39. How does head-up display work? *Hyundai news*. [Online] 13. 3 2018. [Citace: 11. 1 2022.] <https://www.hyundai.news/eu/articles/stories/how-does-head-up-display-work.html>.
40. *Hyundai*. [Online] [Citace: 11. 1 2022.] <https://www.hyundai.com/cz.html>.
41. Kia představila nejrychlejší a nejluxusnější model. *Novinky*. [Online] 9. 1 2017. [Citace: 11. 1 2022.] <https://www.novinky.cz/auto/clanek/kia-predstavila-nejrychlejsi-a-nejluxusnejsi-model-40020599>.
42. *Kia Czech*. [Online] [Citace: 11. 1 2022.] <https://www.kia.com/cz/dealer/realcentrum/>.
43. PROKOPEC, Petr. Laserový head-up displej Land Roveru míří do prodeje, v Evoque SW1. *Auto forum*. [Online] 22. 9 2014. [Citace: 11. 1 2022.] <https://www.autoforum.cz/technika/laserovy-head-up-displej-land-roveru-miri-do-prodeje-v-evoque-sw1/>.
44. Jaguar Land Rover Vyrobí Head-up Displej S Rozšířenou Realitou. *Car visibility*. [Online] 1 2022. [Citace: 11. 1 2022.] <https://cs.carvisibility.com/9798174-jaguar-land-rover-will-make-head-up-display-with-augmented-reality>.
45. *Land Rover*. [Online] [Citace: 11. 1 2022.] <https://www.landrover.cz/index.html>.
46. PECÁK, Radek. Nová Mazda 3: Opět velká a opět krásná. *Aktuálně.cz*. [Online] 11. 11 2013. [Citace: 12. 1 2022.] <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/nova-mazda-3-opet-velka-a-opet-krasna/r~adf2989c4a9611e396900025900fea04/>.
47. *Mazda CZ*. [Online] [Citace: 12. 1 2022.] <https://www.mazda.cz/>.

48. MIČKA, Jan. Mercedes-Benz nabídne na přání head-up displej. *auto.cz*. [Online] 7. 8 2013. [Citace: 12. 1 2022.] <https://www.auto.cz/mercedes-benz-nabidne-na-prani-head-up-displej-75936>.
49. FUGLEVIČ, Daniel. Nový Mercedes S ukazuje svůj head-up displej. Jeho rozšířená realita vypadá skvěle. *AutoRevue*. [Online] 29. 7 2020. [Citace: 12. 1 2022.] <https://www.autorevue.cz/novy-mercedes-s-ukazuje-svuj-head-up-displej-jeho-rozsirena-realita-vypada-skvele>.
50. *Mercedes-Benz*. [Online] [Citace: 12. 1 2022.] <https://www.mercedes-benz.cz/?group=all&subgroup=see-all&view=BODYTYPE>.
51. *Nissan Česká republika*. [Online] [Citace: 12. 1 2022.] <https://www.nissan.cz/>.
52. SRP, Pavel. První jízda s novým kombi Opel Insignia Sports Tourer. *Auto-mania*. [Online] 27. 9 2017. [Citace: 12. 1 2022.] <https://auto-mania.cz/prvni-jizda-s-novym-kombi-opel-insignia-sports-tourer/>.
53. *Opel ČR*. [Online] [Citace: 12. 1 2022.] <https://www.opel.cz/>.
54. MARKOVIČ, Jan. Porsche ukázalo novou Panameru GTS. Je silnější, rychlejší a zatraceně sexy. *Automix*. [Online] 16. 10 2018. [Citace: 13. 1 2022.] <https://automix.denik.cz/nova-auta/porsche-ukazalo-novou-panameru-gts-je-silnejsi-rychlejsi-a-zatracene-sexy-20181023.html>.
55. *Porsche InterAuto*. [Online] [Citace: 13. 1 2022.] <https://auto.porsche.cz/>.
56. Nový Renault Megane se konečně ukázal, a to i ve verzi GT. *AutoRevue*. [Online] 16. 9 2015. [Citace: 13. 1 2022.] <https://autoroad.cz/novinky/73293-novy-renault-megane-se-konecne-ukazal-a-to-i-ve-verzi-gt#photogalleryInArticle-1>.
57. DVOŘÁK, František. Krásný renault umí zatáčet všemi čtyřmi. Představil se v Česku, zatím bez ceny. *iDNES.cz*. [Online] 26. 10 2015. [Citace: 13. 1 2022.] https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/renault-talisman-nataceni-vsech-kol.A151019_105110_automoto_fdv.
58. DITTRICH, Lukáš. Nový Renault Espace chce konkurovat Volvu XC60. *AutoRevue*. [Online] 18. 3 2015. [Citace: 13. 1 2022.] <https://www.autorevue.cz/novy-renault-espace-chce-konkurovat-volvu-xc60-prvni-dojmy/ch-54677>.
59. *Renault Česká republika*. [Online] [Citace: 13. 1 2022.] <https://www.renault.cz/>.

60. Renault Austral dorazí v roce 2022. Premiéra už se blíží. *ČSAKA*. [Online] 5. 1 2022. [Citace: 13. 1 2022.] <https://www.csaka.cz/renault-austral-2022/>.
61. PECÁK, Radek. Co si vezme Škoda Kodiaq z bratrského Volkswagenu Tiguan? Přehledně na fotografiích. *Aktuálně.cz*. [Online] 19. 7 2016. [Citace: 13. 1 2022.] <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/co-si-vezme-skoda-kodiaq-z-bratrskoho-volkswagenu-tiguan-ve/r~bc4e90084cd711e6b597002590604f2e/r~e98ad6404cd111e6888a0025900fea04/>.
62. Komfort a bezpečnost: Premiéra pro head-up displej. *ŠKODA Storyboard*. [Online] 11. 11 2019. [Citace: 13. 1 2022.] <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-octavia-tiskova-mapa/komfort-a-bezpecnost-premiera-pro-head-up-displej-a-ergonomicka-sedadla/>.
63. *ŠKODA AUTO Česká republika*. [Online] [Citace: 13. 1 2022.] <https://www.skoda-auto.cz/>.
64. *Toyota Central Europe - Czech s.r.o.* [Online] [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.toyota.cz/>.
65. PROKOPEC, Petr. Nový Passat je prvním autem VW, které dostalo head-up-displej. *Auto forum*. [Online] 24. 7 2015. [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.autoforum.cz/predstaveni/novy-passat-je-prvnim-autem-vw-ktere-dostalo-head-up-displej/>.
66. FUGLEVIČ, Daniel. VW ukazuje svůj head-up displej s rozšířenou realitou. Techniku nechal i Škodě. *AutoRevue*. [Online] 20. 12 2020. [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.autorevue.cz/vw-ukazuje-svuj-head-up-displej-s-rozsirenou-realitou-techniku-nechal-i-skode>.
67. *Volkswagen Česká republika*. [Online] [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.volkswagen.cz/>.
68. ŽÁK, Dalibor. Volvo S60 D3. *Autoweb*. [Online] 13. 12 2010. [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.autoweb.cz/volvo-s60-d3/>.
69. MARKOVIČ, Jan. Jak se jezdí v nové generaci Volva XC90? Sází na luxus a superbezpečnost. *Ekonom*. [Online] 5. 9 2015. [Citace: 14. 1 2022.] <https://ekonom.cz/c1-64554800-jak-se-jezdi-v-nove-generaci-volva-xc90-sazi-na-luxus-a-superbezpecnost>.
70. *Volvo Cars - Česká republika*. [Online] [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.volvocars.com/cz>.
71. LÁNÍK, Ondřej. Peugeot 3008: První fotografie, informace a technická data. *Auto.cz*. [Online] 14. 1 2009. [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.auto.cz/peugeot-3008-prvni-fotografie-informace-a-technicka-data-5744>.

72. Peugeot 5008 - světová premiéra v září. *AutoKaleidoskop*. [Online] 3. 6 2009. [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.autokaleidoskop.cz/Novinky/Peugeot-5008-svetova-premiera-v-zari/>.
73. *Peugeot*. [Online] [Citace: 14. 1 2022.] <https://www.peugeot.cz/>.
74. YANNISA, George, NIKOLAOU, Dimitrios, LAIOU, Alexandra, STÜRMER, A. Yvonne, BUTTLER, Ilona, JANKOWSKA-KARPAC, Dagmara. Vulnerable road users: Cross-cultural perspectives on performance and attitudes. *IATSS Research*. 3, 2020, Sv. 44.
75. CORNING, Anne. New Smart Helmets Incorporate HUDs Using AR/MR Displays. *Radiant Vision Systems*. [Online] 6. 12 2021. [Citace: 15. 2 2022.] <https://www.radiantvisionsystems.com/blog/new-smart-helmets-incorporate-huds-using-ar/mr-displays>.
76. BMW ukázalo head-up displej v přilbě. *MOTOHOUSE*. [Online] 16. 1 2016. [Citace: 15. 2 2022.] <https://motohouse.cz/bmw-ukazalo-head-up-displej-v-prilbe/>.
77. HÁJEK, Dušan S. Honda začne montovat head-up displeje do svých kapotovaných motocyklů. *MotoSvět*. [Online] 22. 10 2018. [Citace: 15. 2 2022.] <https://motosvet.cz/vybaveni/488-honda-zacne-montovat-head-up-displeje-do-svych-kapotovanych-motocyklu.html>.
78. JAISWAL, Suraj, AMAN, Rafael, SOPANEN, Jussi, MIKKOLA, Aki. Real-Time Multibody Model-Based Heads-Up Display Unit of a Tractor. *IEEE Access*. 2021, 9.
79. LUMINEQ powered HUD for Valtra tractors on show at Agritechnica 2019. *LUMINEQ*. [Online] 11. 11 2019. [Citace: 28. 1 2022.] <https://www.lumineq.com/blog/lumineq-powered-hud-for-valtra-tractors-on-show-at-agritechnica-2019>.
80. JEDLIČKA, Milan. První Head-up displej pro traktory jde do sériové výroby. Na čelním skle zobrazí řadu užitečných údajů. *Agroportal24h*. [Online] 8. 1 2020. [Citace: 25. 1 2022.] <https://www.agroportal24h.cz/clanky/prvni-head-up-displej-pro-traktory-jde-do-seriove-vyroby-na-celnim-skle-zobrazi-radu-uzitecnych-udaju>.
81. MCMAHON, Karen. AgriVue Heads Up display. *FarmProgress*. [Online] 8. 2 2006. [Citace: 25. 1 2022.] <https://www.farmprogress.com/agrivue-heads-display>.
82. EVoR: Enhanced View on Reality. *MTA*. [Online] 11 2019. [Citace: 25. 1 2022.] <https://www.mta.it/zh/evor-enhanced-view-on-reality>.
83. KOZUCH, Kate. Apple Glasses: Everything we've heard so far. *Tom's Guide*. [Online] 27. 11 2021. [Citace: 20. 12 2021.] <https://www.tomsguide.com/news/apple-glasses>.

84. Smartglasses Light Drive. *Bosch Sensortec*. [Online] [Citace: 20. 12 2021.] <https://www.bosch-sensortec.com/products/optical-microsystems/smartglasses-light-drive/>.
85. BOHN, Dieter. INTEL MADE SMART GLASSES THAT LOOK NORMAL. *The Verge*. [Online] 5. 2 2018. [Citace: 20. 12 2021.] <https://www.theverge.com/2018/2/5/16966530/intel-vaunt-smart-glasses-announced-ar-video>.
86. HOUSER, Marek. Xiaomi ukázalo vlastní Smart Glasses. Umí parádní kousky. *Svět Androida*. [Online] 14. 9 2021. [Citace: 20. 12 2021.] <https://www.svetandroida.cz/xiaomi-smart-glasses-chytre-bryle-predstaveni/>.
87. —. Ty chceme! TCL ukázalo asi nejlepší chytré brýle současnosti. *Svět Androida*. [Online] 17. 10 2021. [Citace: 20. 12 2021.] <https://www.svetandroida.cz/chytre-bryle-tcl-thunderbird-smart-glasses/>.
88. LEWIS, Joanna E., NEIDER, Mark B. Through the Google Glass: The impact of heads-up displays on visual attention. *Cogn Res Princ Implic*. 5. 11 2016. Sv. 1.
89. STEELE, Colin. Google Glass. *TechTarget*. [Online] 30. 8 2019. [Citace: 15. 12 2021.] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Google-Glass>.
90. GVORA, Joe. Google Glass: What Happened To The Futuristic Smart Glasses? *ScreenRant*. [Online] 27. 12 2021. [Citace: 2. 1 2022.] <https://screenrant.com/google-glass-smart-glasses-what-happened-explained/>.
91. ALAMALHODAEI, Aria. Volvo Cars Tech Fund invests \$2M in optics and imaging startup Spectralics. *TechCrunch*. [Online] 23. 11 2021. [Citace: 1. 12 2021.] <https://techcrunch.com/2021/11/23/volvo-cars-tech-fund-invests-2m-in-optics-and-imaging-startup-spectralics/>.
92. Volvo investuje v Izraeli do pokročilých displejů. *Hybrid*. [Online] 25. 11 2021. [Citace: 1. 12 2021.] <https://www.hybrid.cz/volvo-investuje-v-izraeli-do-pokrocilych-displeju/>.
93. HAVLINA, Daniel. Volvo pracuje na převratné technologii. Umí nahradit průhledový displej. *Novinky*. [Online] 26. 11 2021. [Citace: 1. 12 2021.] <https://www.novinky.cz/auto/clanek/volvo-pracuje-na-prevratne-technologie-umi-nahradit-pruhledovy-displej-40379145>.
94. FRASER, Tom. Panasonic debuts next-gen head-up display at CES 2021. *Car magazine*. [Online] 14. 1 2021. [Citace: 20. 2 2022.] <https://www.carmagazine.co.uk/car-news/tech/panasonic-hud/>.

95. KIRKPATRICK, Keith. The Road Ahead for Augmented Reality. *Communications of the ACM*. [Online] 12 2021. [Citace: 20. 2 2022.]
<https://cacm.acm.org/magazines/2021/12/256945-the-road-ahead-for-augmented-reality/fulltext>.
96. ŠVAMBERK, Jiří. Porsche a Hyundai investují velké finanční prostředky do rozšířené reality. *Automix*. [Online] 18. 9 2018. [Citace: 20. 2 2022.] <https://automix.denik.cz/zivotridice/porsche-a-hyundai-investuj-velke-financni-prostredky-do-rozsirene-reality-20180918.html>.
97. Holographic Waveguide HUD Touts Larger Eye Box for Enhanced Display. *Photonics*. [Online] 6 2018. [Citace: 20. 2 2022.]
https://www.photonics.com/Articles/Holographic_Waveguide_HUD_Touts_Larger_Eye_Box/a63227.
98. Holographic Combiners Improve Head-Up Displays. *Photonics*. [Online] 5 2019. [Citace: 20. 2 2022.] https://www.photonics.com/Articles/Holographic_Combiners_Improve_Head-Up_Displays/a64487.
99. XIONG, J., YIN, K., LI, K., WU, S. Holographic Optical Elements for Augmented Reality: Principles, Present Status, and Future Perspectives. *Advanced photonics research*. 14. 10 2020, 2.

7 Seznam obrázků

Obr. 1: HUD v automobilu [4]	5
Obr. 2: Schéma HUD ve vozidle [5]	5
Obr. 3: HUD v letounu [4].....	7
Obr. 4: Oldsmobile Cutlass Supreme 1988 [13]	8
Obr. 5: Ford Thunderbird 1956 [4].....	9
Obr. 6: Rozdělení HUD [5]	9
Obr. 7: klasický HUD [5]	10
Obr. 8: AR-HUD [17].....	11
Obr. 9: Schéma TFT displeje [24]	12
Obr. 10: Schéma LCD projektoru [25].....	13
Obr. 11: Vlevo - Schéma DLP projektoru [29], vpravo - DMD pod mikroskopem [26].....	13
Obr. 12: Schéma LCoS projektoru [30].....	14
Obr. 13: Vyvýšený displej ve vozidle Peugeot [73].....	26
Obr. 14: HMD pro řidiče motorek [76]	27
Obr. 15: HUD v traktoru [80].....	28
Obr. 16: Chytré brýle Google Glass Enterprise Edition 2 [90]	29
Obr. 17: Holografický AR-HUD [94]	30
Obr. 18: Schéma principu zobrazení holografického AR-HUD [97].....	32
Obr. 19: HUD A [34].....	33
Obr. 20: HUD B [34].....	34
Obr. 21: HUD C (zdroj: ebay.com).....	35
Obr. 22: HUD D (zdroj: aliexpress.com)	35

Obr. 23: HUD E (zdroj: aliexpress.com).....	36
Obr. 24: Zobrazované informace (vlevo - HUD A, vpravo - HUD D)	37
Obr. 25: Viditelnost na slunci (vlevo - HUD D, vpravo - HUD B)	39
Obr. 26: Viditelnost ve stínu (vlevo - HUD C, vpravo - HUD E).....	40
Obr. 27: Oslnění za tmy (vlevo – HUD C, vpravo - HUD D).....	41
Obr. 28: Viditelnost za použití polarizačních (vlevo - HUD E) a slunečních brýlí (vpravo - HUD A).....	41
Obr. 29: Možnosti nastavení HUD A	42

8 Seznam tabulek

Tab. 1: Modely vozidel Audi s dostupným HUD [33]	15
Tab. 2: Modely vozidel BMW s dostupným HUD [34]	17
Tab. 3: Modely vozidel Citroën s dostupným HUD [36]	17
Tab. 4: Modely vozidel Ford s dostupným HUD [38]	18
Tab. 5: Modely vozidel Hyundai s dostupným HUD [40]	18
Tab. 6: Modely vozidel Kia s dostupným HUD [42]	19
Tab. 7: Modely vozidel Land Rover s dostupným HUD [45]	19
Tab. 8: Modely vozidel Mazda s dostupným HUD [47]	20
Tab. 9: Modely vozidel Mercedes-Benz s dostupným HUD [50]	21
Tab. 10: Modely vozidel Opel s dostupným HUD [53]	22
Tab. 11: Modely vozidel Porsche s dostupným HUD [55]	22
Tab. 12: Modely vozidel Škoda s dostupným HUD [63]	23
Tab. 13: Modely vozidel Toyota s dostupným HUD [64]	24
Tab. 14: Modely vozidel Volkswagen s dostupným HUD [67]	24
Tab. 15: Modely vozidel Volvo s dostupným HUD [70]	25
Tab. 16: Zobrazované informace jednotlivých HUD	38
Tab. 17: Bodování v kategorii Zobrazované informace	39
Tab. 18: Bodování v kategorii Viditelnost na slunci	40
Tab. 19: Bodování v kategorii Viditelnost ve stínu	40
Tab. 20: Bodování v kategorii Oslnění za tmy	41
Tab. 21: Bodování v kategorii Viditelnost za použití polarizačních brýlí	42
Tab. 22: Bodování v kategorii Možnosti nastavení	42

Tab. 23: Bodování v kategorii Uživatelská přívětivost.....	43
Tab. 24: Přehled získaných bodů.....	45

9 Seznam použitých zkratek

AR	Augment Reality
AR-HUD	Augmented Reality-Head Up Display
CRT	Cathode Ray Tube
DLP	Digital Light Processing
DMD	Digital Mirror Device
HDD	Head Down Display
HMD	Head Mounted Display
HOE	Holographic Optical Element
HUD	Head Up Display
LCD	Liquid Crystal Display
LCoS	Liquid Crystal on Silicone
Lx	Lux
MLTC	Multi-Layered Thin Combiner
RGB	Red Green Blue
TFT	Thin Film Transistor

10 Přílohy

Příloha 1: Fotografie HUD na slunci



Vlevo: HUD A, vpravo: HUD B



Vlevo: HUD C, vpravo: HUD D



HUD E

Příloha 2: Fotografie HUD ve stínu



Vlevo: HUD A, vpravo HUD B

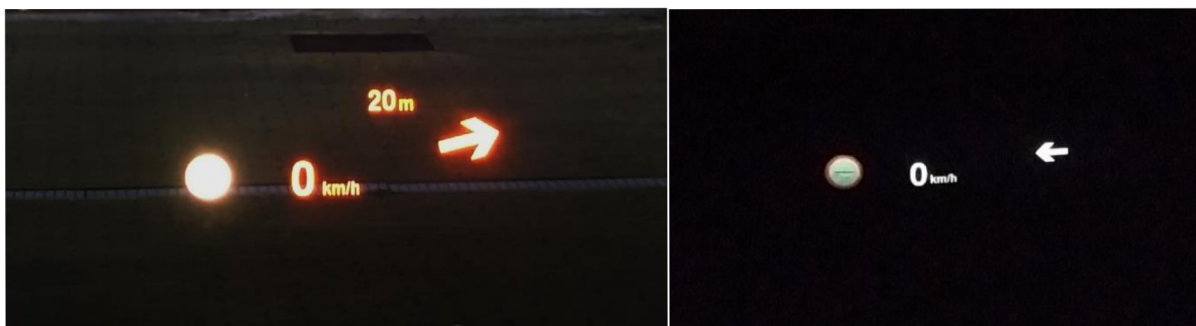


Vlevo: HUD C, vpravo: HUD D



HUD E

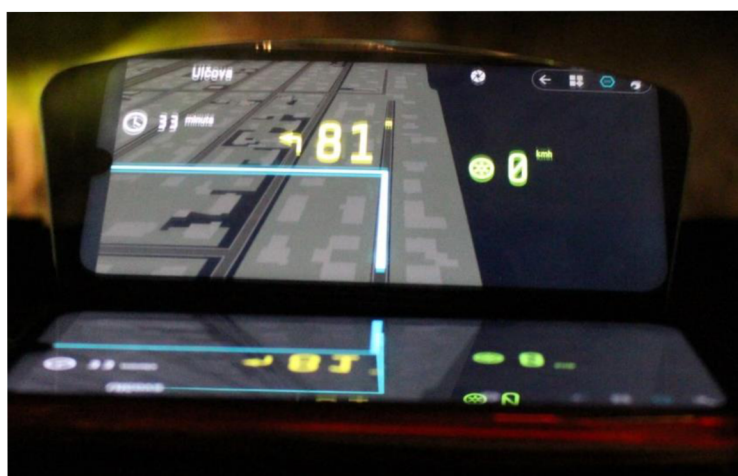
Příloha 3: Fotografie HUD ve tmě



Vlevo: HUD A, vpravo HUD B



Vlevo: HUD C, vpravo: HUD D



HUD E

Příloha 4: Fotografie HUD za použití polarizačních brýlí



Vlevo: HUD A, vpravo: HUD B



Vlevo: HUD C, vpravo: HUD D



HUD E

Příloha 5: Fotografie HUD za použití slunečních brýlí



Vlevo: HUD A, vpravo: HUD B



Vlevo: HUD C, vpravo: HUD D



HUD E