

ŠOLSKI CENTER VELENJE
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

Raziskovalna naloga

LAHKO SLEPI UPRAVLJAJO PAMETNE INŠTALACIJE?

Tematsko področje: elektrotehnika, elektronika in robotika

Avtorja:

Gašper Jelenko

Janez Matevž Atelšek

Mentor:

Peter Vrčkovnik, dipl. inž. elektrotehnike

Velenje, 2026

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Šolskem centru Velenje, Elektro in računalniški šoli.

Mentor: Peter Vrčkovnik, dipl. inž.. elektrotehnike

Datum predstavitve: marec 2026

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	ŠC Velenje – Elektro in računalniška šola, šolsko leto 2024/202
KG	Pametne inštalacije slepim in slabovidnim osebam omogočajo večjo samostojnost in neodvisnost, preprosto upravljanje z glasovnimi ukazi, zvočno povratno informacijo, večjo varnost ter prilagoditev sistema njihovim potrebam za udobnejše in dostopnejše bivanje.
AV	JELENKO Gašper, ATELŠEK Janez Matevž
SA	VRČKOVNIK Pete
KZ	3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
ZA	Šolski center Velenje
LI	2026
IN	Lahko slepi upravljajo pametne inštalacije?
TD	Raziskovalna naloga
OP	
IJ	SL
JI	sl/ en
AI	Pametne inštalacije predstavljajo sodobne tehnološke sisteme, ki omogočajo avtomatizirano upravljanje različnih funkcij v stavbah, kot so razsvetljava, ogrevanje, varnostni sistemi in gospodinjske naprave. Njihov cilj je povečati udobje, varnost in energetska učinkovitost uporabnikov z uporabo senzorjev, umetne inteligence in povezljivosti naprav.

Za slepe osebe predstavljajo pametne inštalacije priložnost za večjo samostojnost in dostopnost v vsakdanjem življenju. S pomočjo glasovnih ukazov, zvočnih povratnih informacij in prilagojenih mobilnih aplikacij lahko učinkovito upravljajo okolje brez potrebe po vidnem nadzoru. Kljub temu pa so izzivi, kot so kompleksnost sistemov, pomanjkanje standardizacije in dostopnosti vmesnikov, ključni dejavniki, ki vplivajo na uporabniško izkušnjo slepih in slabovidnih oseb pri uporabi pametnih inštalacij.

KEYWORD DOCUMENTATION

ND	ŠC Velenje – Elektro in računalniška šola, šolsko leto 2024/2025
CX	Smart installations enable blind people to achieve greater independence and autonomy through easy voice control, audio feedback, improved safety, and system adaptation to their needs, providing a more comfortable and accessible living environment.
AU	JELENKO Gašper, ATELŠEK Janez Matevž
AA	VRČKOVNIK Peter
PP	3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
PB	School center Velenje
PY	2025
TI	Lahko slepi upravljajo pametne inštalacije?
DT	RESEARCH WORK
NO	IV, 46. str., 1. graf., 12. sl., 11. vir.
LA	SL
AL	sl/ en
AB	Smart installations are modern systems that automate building functions like lighting, heating, and security to improve comfort, safety, and energy efficiency through sensors and artificial intelligence. For blind individuals, they provide greater independence and accessibility with voice control and audio feedback, though challenges such as system complexity and limited accessibility still affect the user experience.

Kazalo

1.	UVOD	1
2.	PONUDBA PAMETNIH SISTEMOV NA TRGU	2
2.1	Amazon Echo (Alexa)	2
2.2	Google Nest (Google Assistant)	3
2.3	Apple HomePod (Siri)	4
3.	HIPOTEZE	6
4.	MATERIALI IN METODE	7
4.1	IDEJNA ZASNOVA MODELA (preizkušanje posameznih komponent)	7
4.1.1	Krmilna enota – možgani sistema	7
4.1.2	Senzorji – čutila sistema	8
4.1.3	Izvršni členi – roke sistema	9
4.1.4	Zaslon – okno v sistem	10
4.1.5	Braillov izpisovalnik – most do uporabnika	10
4.2	Program	11
5.	KONČNI MODEL	12
5.1	Povezljivost med Raspberry Pi in mikrokontrolerji ESP	12
5.2	Priprava braillovega izpisovalnika	13
6.	REZULTATI	15
7.	FINANČNO OVREDNOTENJE MODELA	16
7.1	Ocenjeni stroški posameznih komponent	16
7.2	Skupna ocenjena vrednost sistema	16
7.3	Primerjava s komercialnimi sistemi	16
7.4	Sklep	17
8.	PREIZKUS MODELA S SLEPIMI IN SLABOVIDNIMI OSEBAMI	17
9.	RAZPRAVA	19
10.	ZAKLJUČEK	20
11.	VIRI IN LITERATURA	22
12.	ZAHVALA	23
13.	PRILOGE	24

Kazalo za Slike

Slika 1 Amazon Echo (Alexa)	3
Slika 2: Google Nest	4
Slika 3: Apple HomePod	4
Slika 4: Model ohišja za krmilno enoto	8
Slika 5: ENS160+AHT21	9
Slika 6: Ultrasonic Sensor.....	9
Slika 7: 4-palčni HDMI Round Touch Display	10
Slika 8: BrailleBot.....	11
Slika 9: BrailleBot.....	13
Slika 10: Vezje za BrailleBota	14
Slika 11: Celotni sistem	15
Slika 12: Testiranje BrailleBota.....	17
Slika 13: Medobčinsko društvo slepih in slabovidnih Celje.....	21

1. UVOD

V zadnjih letih smo priča hitremu napredku pametnih tehnologij, ki vse bolj vplivajo na kakovost bivanja in dostopnost različnih storitev. Ena izmed pomembnih sprememb je razvoj **pametnih inštalacij**, ki omogočajo avtomatizirano upravljanje doma – od razsvetljave in ogrevanja do varnostnih sistemov. Takšne rešitve odpirajo številna vprašanja o tem, kako lahko sodobna tehnologija izboljša **življenje oseb z okvaro vida** ter prispeva k njihovi večji samostojnosti in varnosti.

Uporaba pametnih inštalacij pri slepih in slabovidnih osebah prinaša **številne priložnosti in izzive**. Na eni strani omogočajo lažje upravljanje doma z glasovnimi ukazi, zvočnimi povratnimi informacijami in mobilnimi aplikacijami, kar povečuje samostojnost uporabnikov. Na drugi strani pa se pojavljajo izzivi, kot so **kompleksnost sistemov, pomanjkanje standardizacije in neustrezna dostopnost vmesnikov**, kar lahko omejuje učinkovito uporabo tehnologije.

Namen te raziskave je **preučiti možnosti in izzive uporabe pametnih inštalacij pri slepih in slabovidnih osebah** ter oceniti njihov vpliv na kakovost življenja in uporabniško izkušnjo.

Raziskava bo analizirala, **kako pametne inštalacije prispevajo k večji samostojnosti in varnosti slepih in slabovidnih uporabnikov**, ter katere funkcionalnosti se izkažejo kot najbolj uporabne (npr. glasovno upravljanje, senzorji gibanja, samodejno prilagajanje svetlobe).

Cilj je **ugotoviti, v kolikšni meri so pametni sistemi dostopni slepim in slabovidnim osebam**, z vidika uporabniškega vmesnika, združljivosti z Braillovimi napravami in enostavnosti uporabe.

Raziskava bo obravnavala **zaznavo slepih in slabovidnih uporabnikov glede zaupanja v tehnologijo**, njihove izkušnje pri uporabi pametnih naprav in vpliv na vsakodnevno življenje. Pomembno je razumeti, ali se uporabniki počutijo bolj vključeni in neodvisni ali pa jih tehnologija še vedno omejuje zaradi pomanjkanja prilagoditev.

Ovrednoteni bodo **ekonomski in tehnični vidiki uvajanja pametnih inštalacij**, vključno s stroški nakupa, vzdrževanja ter potrebo po tehnični podpori.

S to raziskavo želimo prispevati k **boljšemu razumevanju vloge pametnih inštalacij pri podpori slepim in slabovidnim osebam**, spodbuditi razvoj **bolj dostopnih in prilagodljivih sistemov** ter podati **smernice za oblikovanje tehnologije**, ki bo v večji meri upoštevala potrebe vseh uporabnikov, ne glede na njihove zmožnosti.

2. PONUDBA PAMETNIH SISTEMOV NA TRGU

Na trgu je danes že na voljo širok nabor pametnih sistemov, ki jih lahko uporabljajo tudi slepe osebe za lažje upravljanje domačega okolja. Med najpogosteje uporabljenimi so **glasovni asistenti**, kot npr. **Amazon Alexa**, **Google Assistant** in **Apple Siri**, ki omogočajo upravljanje svetlobe, ogrevanja, glasbe in drugih naprav s preprostimi glasovnimi ukazi.

Pomembno vlogo imajo tudi **pametni zvočniki** (npr. **Amazon Echo**, **Google Nest**, **Apple HomePod**), ki delujejo kot središče pametnega doma in omogočajo glasovno komunikacijo brez potrebe po zaslonu.

Za slepe uporabnike so posebej uporabni **pametni stikali** in **senzorji gibanja**, kot jih ponujajo **Philips Hue**, **Bosch Smart Home**, **IKEA Home Smart**, **Samsung SmartThings** in **Aqara**, saj omogočajo samodejno prižiganje luči ali prilagoditev svetlobe glede na gibanje.

Na področju varnosti so dostopne **pametne ključavnice** (npr. **Nuki**, **August Smart Lock**, **Yale Linus**), ki omogočajo odklepanje vrat z glasovnim ukazom ali prek pametnega telefona, ter **pametne kamere in alarmni sistemi**, ki nudijo zvočna obvestila o zaznanih gibanjih ali spremembah v prostoru.

Poleg tega obstajajo tudi **posebne mobilne aplikacije** za slepe, kot so **Be My Eyes**, **Seeing AI** in **Aira**, ki dopolnjujejo uporabo pametnih inštalacij z zvočnimi opisi okolja ali pomočjo na daljavo.

Skupaj ti sistemi tvorijo celovito okolje, ki slepim in slabovidnim osebam omogoča **večjo samostojnost, varnost in udobje** pri vsakodnevem življenju ter dokazujejo, da je tehnologija vse bolj usmerjena v **dostopnost in vključevanje vseh uporabnikov**.

Raziskala sva trg in našla nekaj ponudnikov podobnih storitev.

2.1 Amazon Echo (Alexa)

Amazon Echo je pametni zvočnik z glasovno asistentko Alexo, namenjen uporabnikom, ki želijo široko podporo pametnim napravam.

Alexa deluje z največjim številom naprav na trgu – luči, vtičnice, kamere in drugo. Platforma podpira tisoče dodatnih funkcij ("skills"), od iger do naprednih dodatkov za pametni dom.

Na voljo je več modelov: Echo Dot (kompakten), Echo (srednji), Echo Studio (kakovosten zvok), Echo Show (z zaslonom). Zvočnik uporabljamo za glasbo, opomnike, vprašanja in domače rutine.

Deluje s pomočjo glasovnega pomočnika Alexa. Uporabnik ga upravlja z glasovnimi ukazi, s katerimi lahko pridobi informacije, predvaja glasbo, nastavlja alarme, upravlja pametne naprave v domu ter uporablja različne spletne storitve. Naprava stalno posluša okolico, vendar se aktivira šele ob izgovoru aktivacijske besede (npr. »Alexa«). Po prepoznavi ukaza Echo pošlje podatke v oblak, kjer se obdelajo, nato pa uporabniku posreduje ustrezen odgovor ali izvede zahtevano dejanje.

Prednosti so prilagodljivost in širok nabor cen. Slabosti vključujejo povprečno kakovost zvoka pri cenejših modelih in pomisleke glede zasebnosti.

Za naju ni primerna zaradi ne tekoče izgovarjave slovenskega jezika in zvočni ukazi niso dovolj natančni.



*Slika 1 Amazon Echo (Alexa)
(Vir: Google)*

2.2 Google Nest (Google Assistant)

Google Nest temelji na Google Assistantu, enem naprednejših glasovnih pomočnikov, ki odlično razume naravni jezik in kompleksna vprašanja. Sistem je integriran z Googlovimi storitvami (YouTube, Google Koledar, Maps, Chromecast) in ima dobro podporo napravam "Works with Google".

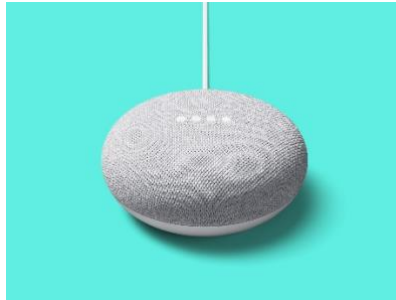
Modeli, ki so na voljo, so Nest Mini, Nest Audio, Nest Hub in Nest Hub Max (z zaslonom).

Odličen je za informacije, prevode, navigacijo in vprašanja. Glasovna komunikacija je jasna in naravna. Ima manj razširitev kot Alexa, kakovost zvoka pa je odvisna od modela.

Deluje z uporabo glasovnega pomočnika Google Assistant. Uporabniku omogoča upravljanje z glasovnimi ukazi, kot so iskanje informacij, predvajanje glasbe, nastavljanje opomnikov in alarmov ter nadzor pametnih naprav v domu. Naprava se aktivira ob izgovoru aktivacijske besede (npr. »Hey Google« ali »Ok Google«). Po prepoznavi ukaza se ta pošlje v oblak, kjer Google Assistant obdela zahtevo, nato vrne odgovor ali izvede željeno nalogo.

Za naju ni primerna zaradi ne tekoče izgovarjave slovenskega jezika in zvočni ukazi niso dovolj natančni

Pri uporabi Google Nasta lahko slepi in slabovidni uporabnik naleti na težave zaradi slabe podpore slovenskemu jeziku. Če izreče ukaz, na primer »*Vklopi luč v sobi*«, Google Assistant ukaza pogosto ne prepozna pravilno ali zahteva ponovitev v tujem jeziku. Ker uporabnik nima vizualne potrditve in je zvočna povratna informacija omejena, ne more zanesljivo preveriti, ali je bil ukaz uspešno izveden.



Slika 2: Google Nest

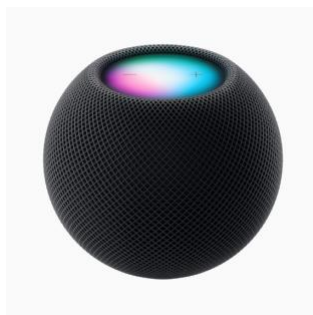
(Vir: Google)

2.3 Apple HomePod (Siri)

HomePod je Applov pametni zvočnik za uporabnike Applovega ekosistema, s poudarkom na kakovosti zvoka in zasebnosti.

Uporablja Siri, integrirano z iPhonom, iPadom, Apple TV-jem in Home Kitom. Zvok je vrhunski zahvaljujoč prostorski obdelavi in prilagajanju akustiki prostora. Podpira AirPlay 2 in povezovanje več naprav.

Modela, ki sta na voljo, sta HomePod mini in večji HomePod (premium zvok).



Slika 3: Apple HomePod

(Vir: Google)

Deluje z uporabo glasovnega pomočnika **Siri**. Uporabniku omogoča upravljanje z glasovnimi ukazi, kot so predvajanje glasbe, iskanje informacij, pošiljanje sporočil, nastavljanje opomnikov ter upravljanje pametnega doma prek sistema Apple HomeKit. Naprava se aktivira z ukazom »Hey Siri«. Po prepoznavi ukaza HomePod pošlje zahtevo v oblak Apple, kjer se obdela, nato pa uporabniku poda odgovor ali izvede zahtevano dejanje.

Prednosti so vrhunska zvočna zmogljivost, visoka zasebnost in odlična integracija za Apple uporabnike. Slabosti vključujejo omejeno združljivost (deluje optimalno v Appleovem okolju) in manj zmogljivo Siri v primerjavi z Alexo in Google Assistantom.

Za naju ni primerna zaradi ne tekoče izgovarjave slovenskega jezika in zvočni ukazi niso dovolj natančni.

3. HIPOTEZE

Hipoteza I:

Slepe in slabovidne osebe bodo uporabljale najin modul za krmiljenje inštalacije, saj omogoča upravljanje v slovenskem jeziku ter posreduje informacije o stanju sistema preko braillovega izpisovalnika in glasovnega sporočanja.

Način testiranja:

Hipotezo smo preverjali s praktičnim preizkusom prototipa pri Medobčinskem društvu za slepe in slabovidne Celje. Uporabniki so upravljali osnovne funkcije sistema (prižig in izklop luči, preverjanje temperature). Informacije o stanju sistema so prejeli preko braillovega izpisovalnika in zvočnih obvestil.

Hipoteza II:

Braillov izpisovalnik je mogoče izdelati kot lastno, cenovno dostopno rešitev.

Način testiranja:

Na podlagi obstoječega odprtokodnega projekta BrailleBot smo izdelali lastno različico braillovega izpisovalnika. Preverjali smo njegovo delovanje, berljivost braillove pisave ter zanesljivost mehanskega delovanja servo motorjev.

Hipoteza III:

Sistem je prilagodljiv in omogoča razširitev z dodatnimi senzorji in funkcijami, npr. lahko ga uporabimo tudi za krmiljenje toplotne postaje, ...

Način testiranja:

Preverili smo možnost dodajanja novih senzorjev in spremembe programske logike brez večjih posegov v obstoječo zasnovo sistema

Hipoteza IV:

Razviti sistem je boljši in cenovno ugodnejši od primerljivih komercialnih pametnih sistemov.

Način testiranja:

Izvedli smo finančno analizo stroškov izdelave prototipa in jih primerjali s povprečnimi cenami komercialnih pametnih sistemov. Prav tako ostali sistemi ne vsebujejo braillovega izpisovalnika.

4. MATERIALI IN METODE

4.1 IDEJNA ZASNOVA MODELA (preizkušanje posameznih komponent)

V okviru raziskovalne naloge smo razvili idejno zasnovo pametnih inštalacij, ki so posebej prilagojene potrebam slepih in slabovidnih uporabnikov. Zasnova temelji na modularnem pristopu. Najprej smo vsako komponento razvili in preizkusili posebej, šele nato smo preverili, kako delujejo skupaj v povezanem sistemu.

Pomembno je poudariti, da ne gre za končni izdelek, temveč za funkcionalni prototip. Njegov namen je pokazati, kako lahko slepi ali slabovidni osebi omogočimo učinkovito upravljanje pametnih naprav.

Naš model združuje pet ključnih komponent:

- krmilno enoto,
- senzorje,
- izvršne člene,
- uporabniški zaslon
- in braillov izpisovalnik.

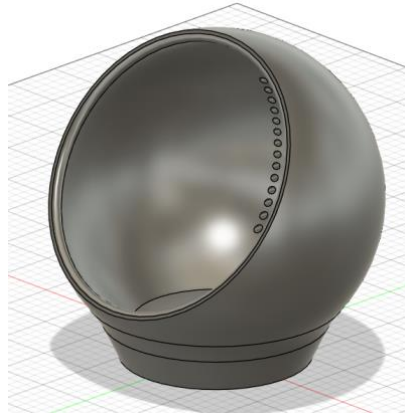
Vsaka od teh komponent ima svojo specifično vlogo; od zaznavanja okolja, obdelave podatkov, do posredovanja informacij slepemu uporabniku na način, ki mu je dostopen.

4.1.1 Krmilna enota – možgani sistema

Krmilna enota je srce celotnega sistema. Skrbi za povezavo med senzorji, izvršnimi členi in uporabniškimi vmesniki. Za ta namen so primerni mikrokontrolerji, kot so Arduino, ESP32 ali Raspberry Pi. Ti omogočajo:

- sprejemanje signalov s senzorjev,
- procesiranje in obdelavo podatkov,
- upravljanje relejev in aktuatorjev,
- komunikacijo z zaslonom ali braillovim izpisovalnikom,
- podporo za glasovne ukaze ali brezžično povezavo.

Za krmilno enoto sva izdelala posebno ohišje, ki nama omogoča vizualno boljši videz in lažje shranjevanje žic.



Slika 4: Model ohišja za krmilno enoto

(Vir: lasten)

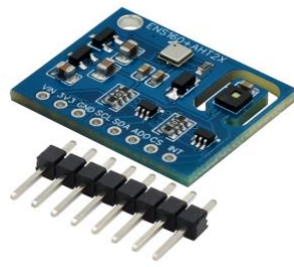
Pri izbiri krmilne enote je najpomembnejše, da je dovolj odzivna in zanesljiva, saj mora slepi uporabnik dobiti informacijo o stanju sistema pravočasno in brez zamud.

4.1.2 Senzorji – čutila sistema

Senzorji delujejo kot oči sistema in zaznavajo spremembe v okolju. Vključimo lahko različne vrste:

- senzor svetlobe (zazna stopnjo osvetlitve),
- temperaturni senzor,
- senzor gibanja,
- dotikalna tipala ali fizične tipke,
- ultrazvočni senzor za zaznavanje prisotnosti.

Podatke, ki jih senzorji zberejo, sistem pošlje krmilni enoti. Ta jih nato pretvori v informacije, ki jih slepi ali slabovidni uporabnik lahko sprejme in razume, preko zvočnih signalov ali braillovih povratnih informacij.



Slika 5: ENS160+AHT21

(Vir: Google)



Slika 6: Ultrasonic Sensor

(Vir: Google)

4.1.3 Izvršni členi – roke sistema

Izvršni členi skrbijo, da se ukazi dejansko izvedejo. Med njimi so:

- releji za prižiganje in ugašanje luči,
- servomotorji za premikanje žaluzij ali stikal,
- LED indikatorji (čeprav so za slepe uporabnike manj koristni),
- zvočni aktuatorji za preproste signale in opozorila.

Ideja je preprosta: slepi in slabovidni uporabnik preko dostopnega vmesnika sproži določeno dejanje, izvršni člen pa poskrbi, da se to natančno izvede.

3.1.4 Zaslón – okno v sistem

Klasični zaslon je namenjen predvsem testiranju sistema in spremljevalnim uporabnikom, ki vidijo. Uporabljava 4-palčni HDMI Round Touch Display podjetja Waveshare.



Slika 7: 4-palčni HDMI Round Touch Display

(Vir: Google)

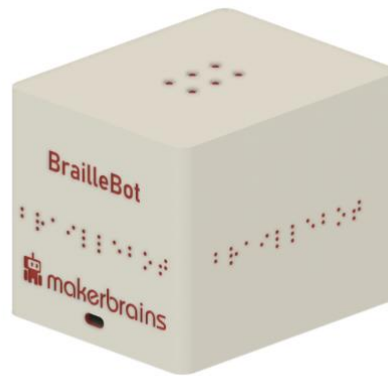
Na njem se prikazujejo osnovni podatki: temperatura, stanje luči, izbrani režim delovanja itd. Čeprav slepi uporabnik zaslona ne potrebuje, je ta zelo uporaben pri nastavitvah in preverjanju pravilnega delovanja sistema.

4.1.5 Braillov izpisovalnik – most do uporabnika

Braillov izpisovalnik je morda najpomembnejša komponenta za slepe uporabnike, saj jim omogoča neposreden in samostojen dostop do informacij. Preko njega lahko preverijo osnovne informacije, kot so temperatura, vlaga, ura, ...

Za najboljšo uporabniško izkušnjo uporabljava kombinacijo braillovega izpisa in zvočnih ukazov. Tako povečamo dostopnost sistema in omogočimo uporabniku, da izbere način interakcije, ki mu najbolj ustreza.

Za braillov izpisovalnik sva na spletu našla izdelek osebe Mukes Sankhla in vzela njegov 3D model ter kodo in jo malo spremenila.



Slika 8: BrailleBot

(Vir: Mukesh_Sankhla)

Braillov izpisovalnik deluje s pomočjo majhnih servomotorjev, ki mehansko dvigujejo in spuščajo posamezne braillove pike. Vsaka braillova celica je sestavljena iz šestih pik, kjer kombinacija dvignjenih pik predstavlja določen znak. Ko sistem prejme podatek (npr. temperatura ali ura), krmilnik pošlje ukaz servomotorjem, ki nastavijo pravilne položaje pik. Uporabnik nato s tipanjem prebere izpisano informacijo. Po potrebi se pike ponastavijo in izpis se posodobi z novimi podatki.

4.2 Program

Program upravlja pametno instalacijo, zasnovano za pomoč slepim in slabovidnim uporabnikom. Sistem temelji na uporabi naprav Raspberry Pi in ESP mikrokontrolerjev ter omogoča zaznavanje in razumevanje okolja, v katerem je uporabnik.

Enote ESP zbirajo podatke iz različnih senzorjev, ki spremljajo dogajanje v okolici, ter jih posredujejo osrednji enoti – Raspberry Piju. Ta deluje kot glavni krmilnik sistema, kjer se podatki obdelajo in analizirajo, nato pa se glede na zaznano situacijo sprožijo ustrezni odzivi.

Uporabniku so informacije predstavljene na dostopen in prilagojen način, in sicer preko BrailleBota in zaslona. Program omogoča pretvorbo podatkov v braillovo pisavo ter prikaz osnovnih informacij na prikazovalniku, kar uporabniku olajša orientacijo v prostoru in uporabo sistema.

Celoten program sva priložila pod priloge.

5. KONČNI MODEL

Končni model pametne inštalacije je zasnovan kot funkcionalen prototip, namenjen upravljanju osnovnih hišnih funkcij, s poudarkom na dostopnosti za slepe in slabovidne osebe.

V središču sistema je krmilna enota, ki temelji na Raspberry Piju in skrbi za obdelavo podatkov ter usklajevanje delovanja vseh povezanih komponent. Z njo so povezani mikrokontrolerji ESP, ki omogočajo razširitev sistema in povezavo posameznih modulov.

Sistem vključuje senzorje za spremljanje okoljskih podatkov, kot sta temperatura in kakovost zraka, katerih podatki se obdelujejo v krmilni enoti in posredujejo uporabniku v dostopni obliki. Izvršni del sistema sestavljajo releji in servomotorji, ki omogočajo fizično izvajanje ukazov, na primer vklop in izklop električnih porabnikov.

Uporabniški vmesnik za slepe temelji na braillovmem izpisovalniku lastne izdelave. Ta s pomočjo servomotorjev mehansko oblikuje braillove pike in uporabniku omogoča branje informacij o stanju sistema, kot so osnovni podatki o delovanju in trenutne vrednosti senzorjev. Braillov izpis predstavlja glavni način interakcije uporabnika s sistemom.

Za namen testiranja, nastavljanja in nadzora delovanja je v model vključen tudi 4-palčni zaslon HDMI, ki prikazuje osnovne sistemske informacije, vendar ni namenjen neposredni uporabi slepih in slabovidnih oseb.

Celoten končni model je zasnovan kot cenovno dostopen, modularen in razširljiv sistem, ki je prilagojen potrebam slepih in slabovidnih uporabnikov ter predstavlja osnovo za nadaljnji razvoj dostopnih pametnih inštalacij.

5.1 Povezljivost med Raspberry Pi in mikrokontrolerji ESP

Eden izmed večjih izzivov je bila stabilna komunikacija med Raspberry Pi krmilno enoto in mikrokontrolerji ESP preko brezžične povezave Wi-Fi.

Ker v omrežju ni bil nastavljen statični IP-naslov, se je IP-naslov Raspberry Pi enote ob ponovnem zagonu ali ponovni povezavi na omrežje spremenil. Posledično mikrokontrolerji ESP niso mogli več vzpostaviti povezave s strežnikom, saj so pošiljali podatke na zastarel IP-naslov.

Težava je bila odpravljena z uvedbo statičnega IP-naslova oziroma z ustrežno konfiguracijo omrežnih nastavitev, kar je omogočilo zanesljivo in stalno komunikacijo med napravami.

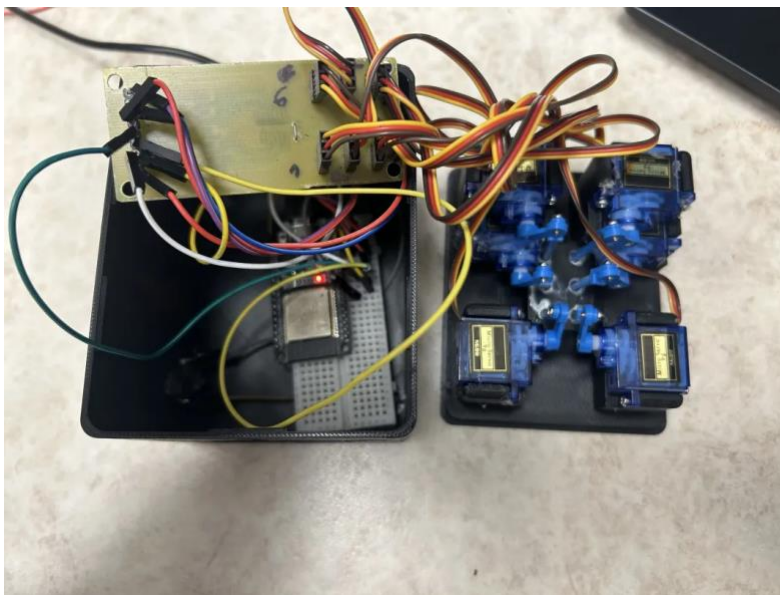
5.2 Priprava braillovega izpisovalnika

Pri razvoju braillovega izpisovalnika so se pojavile mehanske težave, povezane z delovanjem servomotorjev in prenosnim mehanizmom za premik braillovih pik.

Sprva zasnovan mehanizem ni omogočal dovolj natančnega in zanesljivega gibanja pik, zato je bilo treba konstrukcijo prilagoditi. Spremenjen je bil način prenosa gibanja iz servomotorjev na braillove pike, da se je izboljšala stabilnost in ponovljivost izpisa.

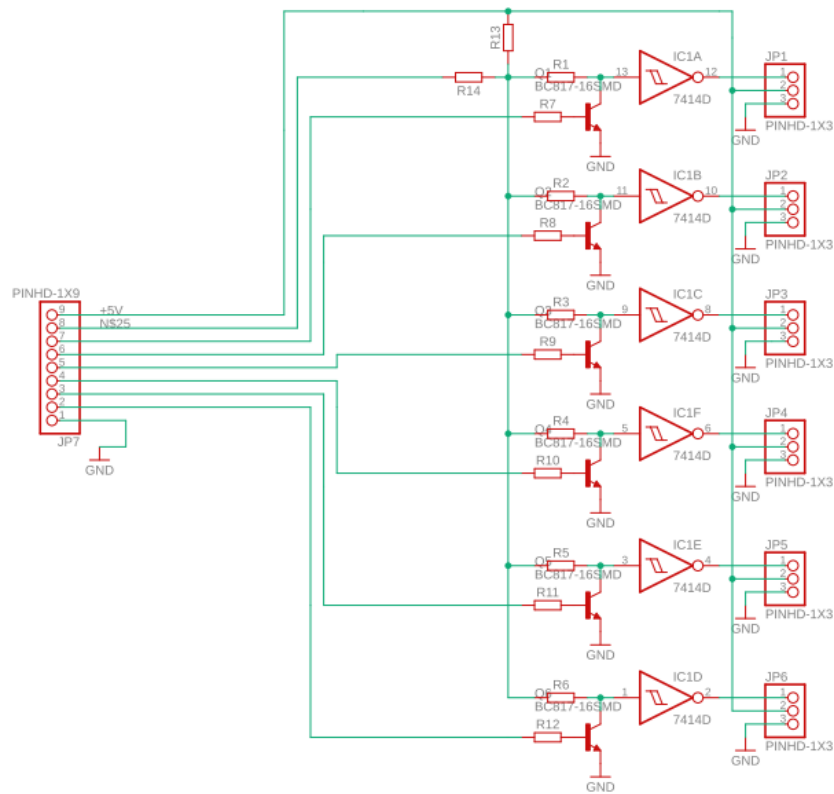
Dodatno se je pri enem izmed servomotorjev pojavila specifična mehanska težava, saj se braillova pika ni premikala sorazmerno navzven in nazaj v ohišje. To je povzročalo neenakomeren izpis in zmanjšano berljivost. Po pregledu je bilo ugotovljeno, da je bila težava v mehanski povezavi med servomotorjem in pomičnim delom, zato je bilo treba mehanizem dodatno prilagoditi in optimizirati.

Po izvedenih popravkih je delovanje postalo stabilno, gibanje pik pa bolj natančno in ponovljivo.



Slika 9: BrailleBot

(vir: lasten)



Slika 10: Vezje za BrailleBota

(vir: lasten)

6. REZULTATI

Rezultati končnega modela kažejo, da je mogoče z relativno preprostim in cenovno dostopnim sistemom slepim in slabovidnim osebam omogočiti samostojen nadzor nad pametno inštalacijo. Model deluje stabilno in zanesljivo, saj krmilna enota pravilno sprejema podatke iz senzorjev, jih obdeluje ter jih v razumljivi obliki posreduje uporabniku.

Eden izmed ključnih rezultatov je uspešno delovanje braillovega izpisovalnika. Informacije, ki jih sistem zazna ali izračuna, so pravilno pretvorjene v braillovo pisavo, pike se mehansko natančno dvignejo in omogočajo jasno taktilno zaznavo. Uporabnik lahko brez pomoči vida preveri stanje sistema in osnovne okoljske podatke, kar potrjuje uporabnost takšnega vmesnika.

Rezultati testiranja kažejo tudi, da je povezava med Raspberry Pijem in mikrokontrolerji ESP zanesljiva. Prenos podatkov poteka brez večjih zakasnitev, sistem pa se ob spremembah pravilno odzove. Izvršni členi delujejo skladno z ukazi krmilne enote, kar pomeni, da sistem pravilno izvaja predvidene naloge.

Pomemben rezultat je tudi finančni vidik. Skupni strošek izdelave prototipa je bistveno nižji od primerljivih komercialnih rešitev, hkrati pa model ponuja večjo prilagoditev potrebam slepih in slabovidnih uporabnikov. To potrjuje, da je takšen pristop ne le tehnično izvedljiv, temveč tudi ekonomsko upravičen.

Na podlagi rezultatov lahko zaključimo, da končni model uspešno izpolnjuje zastavljene cilje raziskave. Dokazuje, da je mogoče razviti dostopno pametno inštalacijo, ki slepim in slabovidnim uporabnikom omogoča večjo samostojnost, boljši nadzor nad okoljem in večjo varnost pri vsakodnevni uporabi sistema.



Slika 11: Celotni sistem

(vir: lasten)

7. FINANČNO OVREDNOTENJE MODELA

V tem poglavju smo ovrednotili stroške izdelave prototipa pametne inštalacije, prilagojene slepim in slabovidnim osebam. Namen finančne analize je ugotoviti, ali je tak sistem cenovno dostopen in konkurenčen v primerjavi s komercialnimi rešitvami pametnega doma.

Pri izračunu smo upoštevali cene osnovnih elektronskih komponent, senzorjev, izvršnih členov in materialov, potrebnih za izdelavo prototipa. Cene temeljijo na povprečnih tržnih vrednostih spletnih trgovin z elektronskimi komponentami.

7.1 Ocenjeni stroški posameznih komponent

Komponenta	Opis	Ocenjena cena (€)
Raspberry Pi	Krmilna enota sistema	70 €
Mikrokontrolerji ESP	Več kosov za zajem senzorjev	30 €
Senzorji	Temperatura, gibanje, svetloba	25 €
Releji in servomotorji	Izvršni členi sistema	35 €
Braillov izpisovalnik (BrailleBot)	Servomotorji, mehanski deli, 3D-tisk	60 €
Zaslon	4-palčni prikazovalnik HDMI	50 €
Dodatni material	Kabli, napajalniki, vezalne plošče, ohišje	30 €
Skupaj	≈ 300 €	

7.2 Skupna ocenjena vrednost sistema

Skupni strošek izdelave prototipa znaša približno **300 €**.

7.3 Primerjava s komercialnimi sistemi

Komercialni sistemi pametnega doma (Amazon Alexa, Google Nest, Apple HomeKit) pogosto zahtevajo začetno investicijo med **400 € in 800 €**, pri čemer dodatne naprave, naročnine in omejena prilagodljivost za slepe uporabnike predstavljajo dodatne stroške.

Naš sistem je:

- cenovno ugodnejši,
- prilagojen slovenskemu jeziku,
- razširljiv in modularen,
- zasnovan posebej za potrebe slepih in slabovidnih uporabnikov.

7.4 Sklep

Na podlagi finančne analize ugotavljamo, da je izdelava prilagojenega pametnega sistema za slepe osebe ekonomsko smiselna. Ob nadaljnjem razvoju in serijski proizvodnji bi se stroški lahko še dodatno znižali, kar bi sistem naredilo še dostopnejši širšemu krogu uporabnikov.

8. PREIZKUS MODELA S SLEPIMI IN SLABOVIDNIMI OSEBAMI

Za preverjanje uporabnosti svojega sistema v realnem okolju sva se odločila za sodelovanje z uporabniki, ki se vsakodnevno soočajo z izzivi slepote in slabovidnosti. Zato sva obiskala Medobčinsko društvo slepih in slabovidnih Celje, kjer sva predstavila svoj prototip pametne inštalacije ter ga dala v praktično preizkušnjo.

Najprej sva članom društva razložila namen raziskovalne naloge, osnovno delovanje sistema ter posebej poudarila vlogo braillovega izpisovalnika (BrailleBot) kot glavnega vmesnika za slepe uporabnike. Nato so imeli možnost, da sami preizkusijo delovanje naprave: tipajo braillov izpis, spremljajo informacije o stanju sistema ter razumejo, kako bi takšen sistem lahko uporabljali v domačem okolju.



Slika 12: Testiranje BrailleBota

(Vir: lasten)

8.1 Povratne informacije uporabnikov

Uporabniki so najin izdelek sprejeli zelo pozitivno. Izpostavili so predvsem:

- da je ideja pametne inštalacije, prilagojene slepim in slabovidnim zelo dobrodošla,
- da jim je tipen izpis informacij preko braillove pisave razumljiv in uporaben,
- da vidijo velik potencial pri povečanju samostojnosti v vsakdanjem življenju.

Pohvalili so predvsem to, da sva v sistem vključila braillov izpis, saj se v zadnjem času pri številnih sodobnih napravah daje več poudarka govoru, medtem ko se uporabo brajice pogosto zanemarja. Po njihovem mnenju najin projekt prispeva tudi k ozaveščanju o pomembnosti ohranjanja znanja brajice, saj je ta ključna za pismenost in samostojnost slepih in slabovidnih oseb.

Posnela sva tudi kratke filme.

8.2 Predlogi za izboljšave

Kljub splošno pozitivnim odzivom sva prejela tudi nekaj koristnih priporočil, ki bi lahko sistem še izboljšala. Med najpomembnejšimi je bila:

- uporaba 8-pikne braillove celice namesto klasične 6-pikne, ki jo uporablja najin trenutni BrailleBot.

Uporabniki so poudarili, da 8-pikna brajica omogoča:

- prikaz več znakov in simbolov (npr. posebni znaki, razširjeni nabor),
- lažje prilagajanje računalniški brajici, ki se pogosto uporablja pri sodobnih braillovi vrsticah,
- boljšo združljivost z obstoječimi braillovimi pripomočki.

9. RAZPRAVA

Na podlagi izvedenega testiranja in analize delovanja sistema sva ugotovila, da sva zastavljene hipoteze lahko potrdila, vendar z določenimi omejitvami.

Uporabniki so sistem lahko upravljali tudi brez vizualnega nadzora, pri čemer so razumeli podane povratne informacije sistema. Glasovni ukazi v slovenskem jeziku še niso delovali popolnoma zanesljivo, saj je prihajalo do napak pri prepoznavanju oziroma nedoslednega odzivanja sistema. Kljub temu sva ugotovila, da ima takšen način upravljanja velik potencial za izboljšanje uporabniške izkušnje in intuitivnosti uporabe v prihodnje. Na podlagi teh ugotovitev lahko potrdiva, da je hipoteza I delno potrjena.

Braillov izpisovalnik je pravilno prikazoval ključne informacije, kot so temperatura, ura in stanje sistema. Delovanje je bilo stabilno skozi celotno obdobje testiranja. Pomemben rezultat predstavlja tudi dejstvo, da so stroški izdelave bistveno nižji v primerjavi s komercialnimi braillovimi prikazovalniki, kar potrjuje možnost cenovno dostopnejših rešitev za slepe in slabovidne uporabnike. Zato lahko potrdiva, da je hipoteza II potrjena.

Sistem sva zasnovala modularno, kar omogoča preprosto dodajanje novih komponent ter prilagajanje delovanja glede na potrebe uporabnika. Takšna zasnova omogoča nadaljnji razvoj sistema brez večjih posegov v osnovno strukturo ter povečuje njegovo uporabnost v različnih okoljih. Na tej osnovi lahko potrdiva, da je hipoteza III potrjena.

Skupna vrednost izdelave sistema znaša približno 300 €, kar je bistveno manj od večine komercialnih rešitev, ki pogosto ne vključujejo prilagoditev za slepe uporabnike. Nizka cena ob ohranjeni funkcionalnosti predstavlja pomembno prednost razvite rešitve, zato lahko potrdiva tudi, da je hipoteza IV potrjena. Tudi če bi izdelovala masovno, bi se strošek znižal zaradi masovnega nakupa materiala.

Na koncu lahko ugotoviva, da razviti sistem predstavlja učinkovito, cenovno dostopno in prilagodljivo rešitev, ki ima potencial za nadaljnji razvoj, predvsem na področju izboljšanja glasovnega upravljanja, ter praktično uporabo v vsakdanjem življenju slepih in slabovidnih oseb.

10. ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sva želela ugotoviti, ali lahko slepe in slabovidne osebe učinkovito upravljajo pametne inštalacije ter kakšne prilagoditve so pri tem potrebne. Zato sva najprej pregledala obstoječe pametne sisteme (Amazon Echo, Google Nest, Apple HomePod) in ugotovila, da imajo sicer veliko funkcij, vendar niso prilagojeni slovenskemu jeziku in ne omogočajo braillovega izpisa, kar slepim in slabovidnim uporabnikom predstavlja pomembno oviro.

Na tej podlagi sva razvila lasten prototip pametne inštalacije, ki je posebej prilagojen slepim in slabovidnim. Sistem vključuje krmilno enoto z Raspberry Pi in mikrokontrolerji ESP, senzorje za spremljanje okolja, izvršne člene za izvajanje ukazov ter braillov izpisovalnik (BrailleBot) kot glavni uporabniški vmesnik za slepe osebe. Zasnova je modularna, kar omogoča kasnejše dodajanje novih funkcij in senzorjev.

Rezultati delovanja sistema so pokazali, da:

- prototip deluje stabilno in zanesljivo,
- braillov izpisovalnik pravilno prikazuje osnovne informacije (npr. temperatura, stanje sistema),
- je skupni strošek izdelave sistema, približno 300 €, nižji od številnih komercialnih rešitev, ki obenem niso posebej prilagojene slepim in slabovidnim uporabnikom.

Pomemben del raziskave je bil tudi preizkus v Medobčinskem društvu slepih in slabovidnih Celje. Uporabniki so najin izdelek ocenili pozitivno in idejo podprli, saj omogoča večjo samostojnost pri upravljanju doma ter spodbuja uporabo brajice, ki je v zadnjem času pogosto zapostavljena. Ob tem so podali tudi nekaj koristnih predlogov, med katerimi izstopa uporaba 8-pikne braillove celice, ki je bolj prilagojena sodobnim braillovim pripomočkom in omogoča širši nabor znakov.



Slika 13: Medobčinsko društvo slepih in slabovidnih Celje

(Vir: lasten)

Na osnovi opravljenega dela lahko povzameva:

- slepi in slabovidni lahko upravljajo pametne inštalacije, če je sistem prilagojen njihovim potrebam (brajlica, jasne povratne informacije, enostaven vmesnik),
- braillov izpisovalnik je ključna komponenta, saj omogoča taktilno in samostojno preverjanje stanja sistema,
- modularna in cenovno ugodna zasnova kaže, da je takšen pristop tehnično in ekonomsko smiselno.

Najin prototip ni končni izdelek, temveč osnova za nadaljnji razvoj. V prihodnje bi bilo smiselno izboljšati glasovno upravljanje v slovenskem jeziku, preiti na 8-pikni braillov sistem ter sistem še dodatno testirati z večjim številom uporabnikov. Kljub temu pa lahko zaključiva, da lahko pametne inštalacije, če so ustrezno prilagojene, pomembno prispevajo k večji samostojnosti, varnosti in vključevanju slepih in slabovidnih oseb v sodobno družbo.

11. VIRI IN LITERATURA

1. Amazon. (2025). *Amazon Echo & Alexa – Official website*. Dostopno na: <https://www.amazon.com/echo>
2. Google. (2025). *Google Nest & Google Assistant*. Dostopno na: <https://store.google.com>
3. Apple. (2025). *HomePod – Apple*. Dostopno na: <https://www.apple.com/homepod>
4. Sankhla, M. (2023). *BrailleBot – Open source Braille display project*. Dostopno na: <https://www.thingiverse.com>
5. Raspberry Pi Foundation. (2025). *Raspberry Pi Documentation*. Dostopno na: <https://www.raspberrypi.org/documentation>
6. Espressif Systems. (2025). *ESP32 Technical Reference Manual*. Dostopno na: <https://www.espressif.com>
7. Adafruit Industries. (2025). *ENS160 and AHT21 sensor documentation*. Dostopno na: <https://learn.adafruit.com>
8. Waveshare. (2025). *4-inch HDMI Round Touch Display – User Manual*. Dostopno na: <https://www.waveshare.com>
9. Medobčinsko društvo slepih in slabovidnih Celje. (2026). Osebna komunikacija in praktično testiranje sistema.
10. Seeing AI – Microsoft. (2025). *Official website*. Dostopno na: <https://www.microsoft.com/seeing-ai>
11. Be My Eyes. (2025). *Official website*. Dostopno na: <https://www.bemyeyes.com>

12. ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujema mentorju Petru Vrčkovniku, dipl. ing. elektrotehnike, za strokovno pomoč, usmerjanje in podporo pri izdelavi raziskovalne naloge. Njegovi nasveti in konstruktivne pripombe so pomembno prispevali k uspešni izvedbi projekta.

Zahvaljujema se tudi Medobčinskemu društvu slepih in slabovidnih Celje za pripravljenost na sodelovanje, možnost testiranja sistema ter za dragocene povratne informacije, ki so nama pomagale izboljšati prototip.

13. PRILOGE

Testiranje BrailleBota <https://youtube.com/shorts/oFQYJaNQbYc?feature=share>

Index.html - GUI Raspberry PI <https://pastebin.com/uAchBzLe>

Esp_sensors – Koda za Senzorje <https://pastebin.com/iYWeVhLa>

App.py - Koda Raspberry PI <https://pastebin.com/ESzSLgW2>