

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

MAGISTRSKO DELO
Razvoj in uporaba zapestnega pulznega oksimetra
za avtomatsko merjenje in posredovanje vitalnih
parametrov v informacijske sisteme za nadzor
kroničnih bolezni

MAURIZIO ŠKERLIČ

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE IN
INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

MAGISTRSKO DELO

**Razvoj in uporaba zapestnega pulznega oksimetra
za avtomatsko merjenje in posredovanje vitalnih
parametrov v informacijske sisteme za nadzor
kroničnih bolezni**

Ime in priimek: Maurizio Škerlič
Študijski program: Računalništvo in informatika, 2. stopnja
Mentor: izr. prof. dr. Tatjana Zrimec
Somentor: doc. dr. Peter Rogelj

Koper, september 2014

Ključna dokumentacijska informacija

Ime in PRIIMEK: Maurizio ŠKERLIČ

Naslov magistrskega dela:

Razvoj in uporaba zapestnega pulznega oksimetra za avtomatsko merjenje in posredovanje vitalnih parametrov v informacijske sisteme za nadzor kroničnih bolezni

Kraj: Koper

Leto: 2014

Število listov: 108

Število slik: 80

Število tabel: 4

Število prilog: 21

Število strani prilog: 20

Število referenc: 46

Mentor: izr. prof. dr. Tatjana Zrimec

Somentor: doc. dr. Peter Rogelj

UDK:

Ključne besede: Pulzni oksimeter, pletizmograf, srčni utrip, perfuzija, oksihemoglobin, deoksihemoglobin, nasičenost s kisikom, Beer-Lambertov zakon.

Math. Subj. Class. (2010): 60-02

Izvleček:

V magistrskem delu je predstavljena izvedba zapestnega pulznega oksimetra in informacijski sistem za brezžično merjenje in posredovanje vitalnih parametrov za nadzor kroničnih bolezni. Naprava omogoča ogled podatkov za oddaljene bolnike in enostavno opazovanje ter analizo meritev na računalniku. V delu opišemo načrtovanje in praktično izvedbo elektronskega vezja, razvijanje programske opreme za mikrokontroler in informacijskega sistema za prikaz in shranjevanje meritev srčnega utripa, nasičenosti kisika v krvi in temperature. Zanimalo nas je, če je naša naprava tako zanesljiva in če so meritve tako natančne kot na obstoječih napravah. Primerjali smo lastnosti razvitega izdelka z drugimi napravami, prisotnimi na tržišču, ki imajo podobne lastnosti kot naša naprava. Zaradi stroškov in težav pri nabavi tovrstnih naprav za posojilo smo bili prisiljeni primerjati samo lastnosti naprav, ne pa realnih meritev. Na voljo smo imeli samo tehnične specifikacije proizvajalca posamične naprave. Ugotovili smo, da so lastnosti našega izdelka zelo podobne in v nekaterih primerih celo boljše.

Key words documentation

Name and SURNAME: Maurizio ŠKERLIČ

Title of final project paper:

Development and application of a wrist pulse oximeter equipment for automatic measurement and transmission of vital parameters in information systems for the control of chronic diseases

Place: Koper

Year: 2014

Number of pages: 108 Number of figures: 80 Number of tables: 4

Number of appendices: 21 Number of appendix pages: 20

Number of references: 46

Mentor: izr. prof. dr. Tatjana Zrimec

Co-mentor: doc. dr. Peter Rogelj

UDK:

Keywords: Pulse oximeter, plethysmograph, heart rate, perfusion, oxyhemoglobin, deoxyhemoglobin, oxygen saturation, Beer-Lambert law.

Math. Subj. Class. (2010): 60-02

Abstract:

In this thesis we present the implementation of a wrist oximeter and the information system for wireless measurement and transmission of vital parameters for the control of chronic diseases. The device allows to view data of remote patients and the information is easy to analyze and monitor on the computer. In the present work we describe the design and the practical implementation of electronic circuits, the development of a software for the microcontroller and the information system for displaying and storing measurements of heart rate, blood oxygen saturation and body temperature. We wanted to know if our device is really reliable and if the measurements are as accurate as on existing devices. We compared the characteristics of the developed product with other devices available on the market, which have similar characteristics to our device. The high costs and the difficulty in finding such devices to loan, forced us to compare only the properties of the devices and not the real measurements. We based our comparison merely on the technical specifications provided by the manufacturer of each individual device. The comparison led us to the conclusion that the properties of our product are very similar to other devices and in some cases even better.

Zahvala

Zahvaljujem se ravnatelju Srednje šole Pietro Coppo Izola prof. Albertu Scherianiju, ki mi je omogočil, da se lahko izobražujem kljub službenim obveznostim.

Za pomoč pri lektoriranju magistrskega dela se zahvaljujem prof. slovenskega jezika Mirjam Furlan Brec.

Posebna zahvala je namenjena soprogi in ostalim članom družine za podporo med študijem.

Kazalo vsebine

1	UVOD.....	1
2	TEORETIČNO OZADJE	3
2.1	Hemoglobin	3
2.2	Nasičenost kisika v krvi	4
2.3	Pulzna oksimetrija.....	5
2.3.1	Omejitve pulzne oksimetrije.....	9
2.4	Srčni utrip	9
2.5	Telesna temperatura.....	10
2.6	Plinska analiza krvi	11
2.7	Tipi pulznih oksimetrov.....	11
2.7.1	Odbojni način delovanja.....	11
2.7.2	Presvetljevalni način delovanja	12
3	OPIS SISTEMA	13
3.1	Specifikacija sistema.....	14
3.2	Načrtovanje	17
3.3	Strojna oprema.....	20
3.3.1	Načrtovanje strojne opreme.....	24
3.3.2	Izdelava tiskanih vezij	25
3.3.3	Programiranje strojne opreme	31
3.4	Programska oprema prikazovalnika.....	32
3.4.1	Opis prikazovalnika.....	34
3.5	Simulacija programske opreme UPPO ₂	46
3.6	Programska oprema informacijskega sistema.....	47
3.6.1	Načrtovanje programske opreme informacijskega sistema.....	47
3.6.2	Izvedba programske opreme informacijskega sistema.....	48

3.6.3	Uporabniški vmesnik.....	50
4	KOMERCIALNE IZVEDBE.....	61
4.1	Pulzni oksimeter UPPO ₂	61
4.2	Nonin WristOx2 3150.....	63
4.3	Konika Minolta Pulsox-300i.....	64
4.4	Edan H100N	65
5	ZAKLJUČEK.....	67
6	LITERATURA.....	68

Kazalo tabel

Tabela 1. Razlika srčnega utripa pri odraslih, dojenčkih in otrocih [7].	10
Tabela 2. Normalne vrednosti plinov v krvi [11, 34].	11
Tabela 3. Opis grafičnih ikon pulznega oksimetra UPPO ₂	34
Tabela 4. Primerjava UPPO ₂ z drugimi pulznimi oksimetri podobnih lastnosti, prisotnih na tržišču.	63

Kazalo slik

Slika 1. Struktura hemoglobina [6].	4
Slika 2. Razlika absorpcije deoksihemoglobina in oksihemoglobina pri različnih valovnih dolžinah [5].....	6
Slika 3. Absorpcija svetlobe.	6
Slika 4. Vzorčena umeritvena krivulja, pridobljena z meritvami na zdravih odraslih osebah pri različni nasičenosti kisika.	8
Slika 5. Arterijski utripni val.	9
Slika 6. Odbojni način delovanja pulznega oksimetra.	12
Slika 7. Presvetljevalni način delovanja pulznega oksimetra.....	13
Slika 8. Diagram primera uporabe pulznega oksimetra UPPO ₂	15
Slika 9. Diagram primera uporabe informacijskega sistema.	16
Slika 10. Diagram komponent pulznega oksimetra UPPO ₂	18
Slika 11. Diagram komponent informacijskega sistema.	19
Slika 12. Mikrokrmilnik PIC18F46K20 [38].	21
Slika 13. Arhitektura mikrokrmilnika PIC18F46K20 [38].	22
Slika 14. Grafični prikaz strojnega cikla [39].	23
Slika 15. Grafični prikaz poteka cikla fetch [39].....	23
Slika 16. Električna shema prikazovalnika pulznega oksimetra, izdelanega s programsko opremo Eagle.....	24
Slika 17. Električna shema sprejemnega vmesnika USB, izdelanega s programsko opremo Eagle.	25
Slika 18. Električna shema naprstnega svetlobnega tipala pulznega oksimetra, izdelanega s programsko opremo Eagle.....	25
Slika 19. Slika načrta za izdelavo tiskanega vezja prikazovalnika.....	26
Slika 20. Slika načrta za izdelavo tiskanega vezja sprejemnega vmesnika USB.....	26
Slika 21. Slika načrta za izdelavo tiskanih vezij svetlobnega tipala.	26
Slika 22. Ročno izdelana priprava za osvetljevanje.	27

Slika 23. Raztopine za jedkanje (solna kislina in vodikov peroksid) in razvijanje (natrijev hidroksid). Z leve proti desni so solna kislina, vodikov peroksid in natrijev hidroksid.....	27
Slika 24. Jedkanje tiskanega vezja prikazovalnika.....	28
Slika 25. Izjedkano tiskano vezje sprejemnika vmesnika USB.	28
Slika 26. Spajkana bakrena površina.....	29
Slika 27. Spajkanje elementov SMD na ploščici.....	29
Slika 28. Prototipi v fazi načrtovanja.	30
Slika 29. Končni izdelek pulznega oksimetra. Sprejemni vmesnik USB (A), prikazovalna enota (B), temperaturno tipalo (C) in svetlobno tipalo (D).....	30
Slika 30. Prototip odprtokodnega programatorja Open Programmer v0.9.x [24].	31
Slika 31. Programska oprema OpenProg v0.8.1 [24].	31
Slika 32. Delitev zaslona prikazovalnika pulznega oksimetra.	32
Slika 33. Opis prikazovalnika pulznega oksimetra UPPO ₂	32
Slika 34. Vizitka avtorja (A) in prikaz ure in datuma na zaslonu po vklopu prikazovalnika (B).....	33
Slika 35. Polnjenje baterije s polnilnikom (A), pogled prikazovalnika od strani (B).	33
Slika 36. Združljivi polnilniki USB.....	34
Slika 37. Glavni meni.	36
Slika 38. Digitalni (A) in analogni (B) prikaz ure in datuma.	36
Slika 39. Izbira menija srčnega utripa.	37
Slika 40. Prikazovalnik čaka na signal svetlobnega tipala.	37
Slika 41. Pletizmogram srčnega utripa.	38
Slika 42. Izbira menija nasičenosti krvi s kisikom.	38
Slika 43. Prikazovalnik čaka na priklop tipala.	39
Slika 44. Izpis vrednosti meritve temperature, nasičenosti kisika v krvi in pulza.	39
Slika 45. Izbira menija temperatura.....	40
Slika 46. Izpis vrednosti merjenja temperature.	40

Slika 47. Izbira menija nastavitve.....	41
Slika 48. Izbira menija nastavitvev ure.	41
Slika 49. Nastavitvev ure.....	42
Slika 50. Izbira menija nastavitvev datuma.....	42
Slika 51. Nastavitvev datuma.	43
Slika 52. Izbira menija osvetlitev.	43
Slika 53. Nastavitvev osvetlitve: izklopljena osvetlitev (A), vklopljena osvetlitev (B).....	44
Slika 54. Izbira menija ton tipk.	44
Slika 55. Nastavitvev ton tipk: vključeno (A), izključeno (B).	44
Slika 56. Izbira menija oddajni čas.....	45
Slika 57. Nastavitvev oddajanje podatkov: izklopljeno oddajanje (A), vklopljeno oddajanje (B).....	45
Slika 58. Simulacija delovanja programske opreme pulznega oksimetra UPPO ₂	46
Slika 59. Prijavna stran informacijskega sistema.	50
Slika 60. Napačen vnos uporabniškega računa.	50
Slika 61. Vnos uporabniškega imena in gesla.	51
Slika 62. Okno za vnos bolnikovih podatkov.....	51
Slika 63. Uspešno hranjenje podatkov v podatkovno bazo.	52
Slika 64. Napačen vnos podatkov.....	52
Slika 65. Opozorilo sistema, da v podatkovni bazi bolnikovi podatki že obstajajo.	53
Slika 66. Podatki se shranijo v podatkovni bazi.....	53
Slika 67. Brisanje bolnika iz podatkovne baze.....	54
Slika 68. Uspešno brisani bolnikovi podatki iz podatkovne baze.	54
Slika 69. Izbira bolnika iz padajočega seznama z drsnikom.	55
Slika 70. Sistem nas opozori, da meritve bolnika že obstajajo.....	56
Slika 71. Izpis prejetih podatkov na informacijskem sistemu.	56

Slika 72. Vklon pulznega oksimetra (A) in priklop sprejemnega vmesnika USB (B) v računalnik oziroma strežnik.	57
Slika 73. Aplikacija počaka na sprejem podatkov.....	57
Slika 74. Prikazane vrednosti meritev v tabelarični in grafični obliki.	58
Slika 75. Prikaz grafa meritve srčnega utripa v realnem času.....	58
Slika 76. Izbira bolnika za analizo podatkov.....	60
Slika 77. Zapestni pulzni oksimeter UPPO ₂	62
Slika 78. Zapestni pulzni oksimeter Nonin WristOx2™ 3150 [35].....	64
Slika 79. Zapestni pulzni oksimeter Konika Minolta Pulsox-300i [37].....	65
Slika 80. Ročni pulzni oksimeter Edan H100N s temperaturnim tipalom [15].....	66

Kazalo prilog

Priloga 1. Celoten diagram poteka prikazovalne enote pulznega oksimetra UPPO₂.

Priloga 2. Glavni meni.

Priloga 3. Prikaz pletizmograma.

Priloga 4. Prikaz nasičenosti krvi s kisikom na prikazovalni enoti pulznega oksimetra UPPO₂.

Priloga 5. Prikaz temperature.

Priloga 6. Meni nastavitvev.

Priloga 7. Nastavitvev ure.

Priloga 8. Nastavitvev datuma.

Priloga 9. Nastavitvev osvetlitve

Priloga 10. Nastavitvev zvočnega signala.

Priloga 11. Nastavitvev intervala oddajanja.

Priloga 12. Diagram poteka sprejemnega vmesnika USB.

Priloga 13. Diagram zaporedja prijave skrbnika informacijskega sistema.

Priloga 14. Diagram zaporedja prijave uporabnika informacijskega sistema.

Priloga 15. Diagram zaporedja spletne strani meritev.

Priloga 16. Diagram zaporedja vnosa in urejanje bolnikovih podatkov.

Priloga 17. Skripta za oblikovanje tabele »login« v podatkovni bazi »oximeter«.

Priloga 18. Skripta za namestitev uporabniškega računa za skrbnika.

Priloga 19. Skripta za namestitev uporabniškega računa za uporabnika.

Priloga 20. Skripta za oblikovanje tabele »bolnik« v podatkovni bazi »oximeter«.

Priloga 21. Program za komunikacijo s sprejemnim vmesnikom USB, napisan v Visual Studio C#.

Seznam kratic

AA:	oznaka velikosti alkalne baterije, mednarodna predpisana oznaka LR6
AAA:	oznaka velikosti alkalne baterije, mednarodna predpisana oznaka LR3
AC:	pulzirajoča komponenta signala (spreminjajoča se dinamična komponenta PPG signala)
ADC:	analogni digitalni konverter (angl. <i>Analog to Digital Converter</i>)
AJAX:	asinhroni JavaScript in XML (angl. <i>Asynchronous JavaScript and XML</i>)
angl.:	okrajšava za angleščino
B:	bajt
b:	bit
baud:	število bitov na sekundo
CMOS:	komplementarni kovinsko-oksidni polprevodnik (angl. <i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i>)
COHb:	hemoglobin, na katerega je vezan ogljikov monoksid; karboksihemoglobin
COM:	komunikacijska vrata (angl. <i>Communication Port</i>)
DAC:	digitalni analogni konverter (angl. <i>Digital to Analog Converter</i>)
DC:	nepulzirajoča komponenta signala (statična komponenta PPG signala)
DPI:	število pik na palec (angl. <i>Dots Per Inch</i>)
DRC:	funkcija preverjanja lastnosti povezav načrta (angl. <i>Design Rules Check</i>)
EEPROM:	električno izbrisljiv programirljiv bralni pomnilnik (angl. <i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>)
ERC:	funkcija preverjanja pravilnosti električnih povezav (angl. <i>Electrical Rules Check</i>)
Fetch:	faza nalaganja
FLASH:	bliskovni pomnilnik (angl. <i>Flash Memory</i>)
FTDI:	podjetje Future Technology Device International
Hb:	hemoglobin, na katerega ni vezan kisik; deoksihemoglobin
HbO ₂ :	hemoglobin, na katerega je vezan kisik; oksihemoglobin
HID:	človeška vmesna naprava (angl. <i>Human Interface Device</i>)
HTTP:	protokol za prenos hiperteksta (angl. <i>Hypertext Transfer Protocol</i>)
I _{AC} :	amplituda pulzirajoče komponente fotopletizmografskega signala
I _{DC} :	amplituda nepulzirajoče komponente fotopletizmografskega signala
IDE:	integrirano razvojno okolje (angl. <i>Integrated Development Environment</i>)
I ₀ :	vpadna svetilnost
I _r :	jakost odbojne svetlobe
I ² C:	vodilo I ² C (angl. <i>Inter-Integrated Circuit</i>)
KB:	kilobajt
Kb:	kilobit

LED:	svetleča dioda (angl. <i>Light Emitting Diode</i>)
LCD:	zaslon s tehnologijo tekočih kristalov (angl. <i>Liquid Crystal Display</i>)
mA:	miliamper, enota za električni tok
MetHb:	methemoglobin
MIPS:	milijon ukazov na sekundo (angl. <i>Million Instruction Per Seconds</i>)
nm:	nanometer
OSC:	oscilator (angl. <i>Oscillator</i>)
SaO ₂ :	nasičenost kisika v arterijski krvi
SO ₂ :	nasičenost kisika v krvi
SpO ₂ :	nasičenost kisika v krvi, izračunana po poenostavljeni enačbi
SvO ₂ :	nasičenost kisika v venozni krvi
PaCO ₂ :	arterijski parcialni tlak ogljikovega dioksida
PaO ₂ :	arterijski parcialni tlak kisika
pH:	merilo kislosti oziroma alkalnosti
PHP:	odprtokodni programski jezik, ki se uporablja za razvoj dinamičnih spletnih vsebin (angl. <i>Hypertext Preprocessor</i>)
PIC:	programabilni krmilni vmesnik (angl. <i>Programmable Interface Controller</i>)
PLL:	fazno zaklenjena zanka (angl. <i>Phase-Locked Loop</i>)
PPG:	fotopletizmografski signal
PWM:	pulzna širinska modulacija (angl. <i>Pulse-Width Modulation</i>)
R:	razmerje normaliziranih amplitud pulzirajočih komponent signalov pri dveh različnih valovnih dolžinah
RAM:	spomin z direktnim dostopom, delovni pomnilnik (angl. <i>Random Access Memory</i>)
RISC:	računalnik s skrčenim naborom ukazov (angl. <i>Reduced Instruction Set Computer</i>)
RPO:	odbojno delovanje pulznega oksimetra
RTC:	ura realnega časa (angl. <i>Real Time Clock</i>)
SDA:	priključek za serijsko izmenjavo podatkov (angl. <i>Serial Data</i>)
SCL:	priključek za serijsko uro (angl. <i>Serial Clock</i>)
slov.:	okrajšava za slovenščino
SMD:	površinsko montirani element (angl. <i>Surface Mounted Device</i>)
SPI:	vodilo za serijski periferni vmesnik (angl. <i>Serial Peripheral Interface Bus</i>)
SQL:	strukturiran povpraševalni jezik za delo s podatkovnimi bazami (angl. <i>Structured Query Language</i>)
TPO:	presvetljevalno delovanje pulznega oksimetra
UART:	univerzalni asinhroni sprejemnik in oddajnik
UML:	splošno namenski modelni jezik (angl. <i>Unified Modeling Language</i>)
USB:	tip komunikacijskih vrat, univerzalno serijsko vodilo (angl. <i>Universal Serial Bus</i>)

UV	ultravijolično valovanje (angl. <i>Ultraviolet</i>)
V:	volt, enota za merjenje električnega potenciala in električne napetosti
VCP:	virtualna vrata COM (angl. <i>Virtual COM Port</i>)
XML:	razširljiv označevalni jezik (angl. <i>Extensible Markup Language</i>)
λ_{IR} :	infra rdeča svetloba
λ_{RD} :	rdeča svetloba
μm :	mikrometer

1 UVOD

Kisik je potreben za človeško življenje, zato je zelo pomembno vedeti, kakšna je njegova koncentracija v krvi, še bolj pri bolnikih z različnimi dihalnimi težavami, na primer pri astmi ali pljučnici. Kritične medicinske informacije je mogoče dobiti z merjenjem količine kisika v krvi kot odstotek maksimalne kapacitete.

Pulzna oksimetrija je postala standardna procedura za merjenje nasičenosti krvi s kisikom v operacijskih sobah in sobah za intenzivno nego v bolnišnicah. Oksimetrija skrajša čas ugotavljanja hipoksije (pomanjkanje kisika v krvi) in zagotavlja tudi zgodnje opozarjanje na dihalne motnje. Zagotavlja pomembno funkcijo v oddelku za intenzivno nego, ki omogoča zgodnje opozarjanje za nujne primere bolnikov v sili.

Spremljanje bolnika z brezžično telemetrijo omogoča ogled podatkov za številne oddaljene bolnike na enem zaslonu. Pulzna oksimetrija je učinkovito in cenovno ugodno orodje, ki se lahko uporablja tako v bolnišnici kot doma, saj omogoča shranjevanje meritev nasičenosti krvi s kisikom in srčnega utripa med spanjem v podatkovno bazo. Kasneje je informacije enostavno analizirati in opazovati na računalniku. Poleg tega brezžična pulzna oksimetrija dodaja številne prednosti tradicionalnim žičnim enotam. Je primernejša in udobnejša za bolnikovo uporabo, saj brezžične enote ni treba povezati vsakič, ko se bolnik premakne. Veliko brezžičnih enot je že na voljo pri različnih proizvajalcih.

Prenosne oziroma zapestne naprave so zelo preproste in lahke. Da bi ohranili nizko težo, imajo vgrajene majhne in lahke baterije z majhno kapaciteto, za ohranitev oziroma podaljšanje življenjske dobe baterije imajo omejeno količino funkcij in niso opremljene z brezžično povezavo.

Nasprotno so ročne naprave velike in okorne. Teža ni pomembna, zato imajo lahko vgrajeno večje število baterij, tako da so z veliko več energije na voljo lahko opremljene z zmogljivejšo programsko oziroma strojno opremo. Imajo vgrajen radijski oddajnik za brezžično povezavo, omogočajo merjenje telesne temperature, ozadje zaslona je osvetljeno za lažje branje pri šibki svetlobi ter imajo razširjeni spomin za shranjevanje večje količine podatkov.

V magistrskem delu smo predstavili in opisali razvoj lastnega zapestnega pulznega oksimetra z imenom »UPPO₂« in informacijski sistem, ki naj bi bil uporabljen za nadzor kroničnih bolnikov.

Pulzni oksimeter je sestavljen iz sonde, ki omogoča merjenje, in zapestne enote, ki izračuna in prikaže rezultate meritev. Sonda je povezana z merilno enoto, ki prikaže meritve na zaslonu s tekočimi kristali, tako omogoča majhno porabo energije in podaljša čas delovanja baterije.

Poskušali smo razviti tak izdelek, da bi združil vse najboljše lastnosti prenosnih in ročnih pulzних oksimetrov, danes prisotnih na tržišču, v eno samo napravo.

Poleg tega smo tudi predstavili in opisali informacijski center, v katerem shranimo izmerjene podatke v podatkovno bazo, da bi jih kasneje lažje pregledali in analizirali.

Vrednosti meritev se brezžično prenašajo iz prikazovalnika preko sprejemnega vmesnika USB (angl. *Universal Serial Bus*) na računalnik oziroma strežnik. Aplikacija prikaže meritve na spletni strani in jih istočasno shrani v podatkovni bazi. Vsaka nastavitev meritev na prikazovalniku pulznega oksimetra se preslika na spletno stran, medtem ko se vrednosti, datum in ura posamične meritve shranijo v podatkovni bazi.

Primerjali smo lastnosti razvitega izdelka z drugimi napravami, prisotnimi na tržišču. Izbrali smo naprave različnih proizvajalcev, ki imajo podobne lastnosti naše naprave.

Zaradi stroškov in težav pri nabavi tovrstnih naprav za posojjo smo bili prisiljeni primerjati samo lastnosti naprav, ne pa realnih meritev. Naslonili smo se le na tehnične specifikacije proizvajalca posamične naprave. Ugotavljali smo, če so lastnosti našega izdelka podobne in poskušali celo dokazati, da so boljše v primerjavi z drugimi napravami.

Poudariti moramo, da iz utemeljenih etičnih, praktičnih in birokratskih razlogov meritve niso mogle biti opravljene na bolnikih. Pridobljene meritve smo izvedli kot preizkus na zdravih ljudeh.

2 TEORETIČNO OZADJE

Leta 1935 je nemški zdravnik Karl Matthes (1905-1962) prvi razvil dvovalovni ušesni merilec nasičenosti krvi s kisikom, z rdečim in zelenim filtrom (kasneje zamenjali z rdečim in infrardečim filtrom). Njegov merilec je prva naprava za merjenje nasičenosti krvi s kisikom [27].

Pulzno oksimetrijo sta razvila leta 1972 Takuo Aoyagi in Michio Kishi, bioinženirja japonske vodilne proizvajalne in razvijalne medicinske elektronske opreme Nihon Kohden z uporabo razmerja absorpcije rdeče in infrardeče svetlobe pulzirajoče komponente na merilno območje. Leta 1981 je podjetje Biox predstavilo prvi pulzni oksimeter za komercialno distribucijo in kasneje, leta 1983, je tudi podjetje Nellcor razvilo in začelo tržiti svoj izdelek. Nellcor je tako postalo vodilno podjetje za pulzno oksimetrijo in zagotavlja več različnih rešitev za nadzor nasičenosti krvi s kisikom [41].

Leta 1989 je inženir elektronike Joe Kiani (Massi Joe E. Kiani) ustanovil zasebno podjetje Masimo. Prepričan je bil, da bi z uporabo obdelave prilagodljivega signala pri merjenju fizioloških parametrov lahko rešili množične probleme nizke perfuzije in gibanja bolnika, ki ga pesti nadzor v živo. Danes je Masimo postalo uspešno medicinsko tehnološko podjetje, ki zaposluje več kot 2500 ljudi po vsem svetu in letni prihodki proizvodov so se v zadnjih petih letih povečali za štirikrat. Leta 2004 je ameriška porota ugotovila, da je Nellcor kršil več patentov podjetja Masimo v povezavi s tehnologijo za obdelavo signalov pri merjenju v gibanju in nizki perfuziji [41].

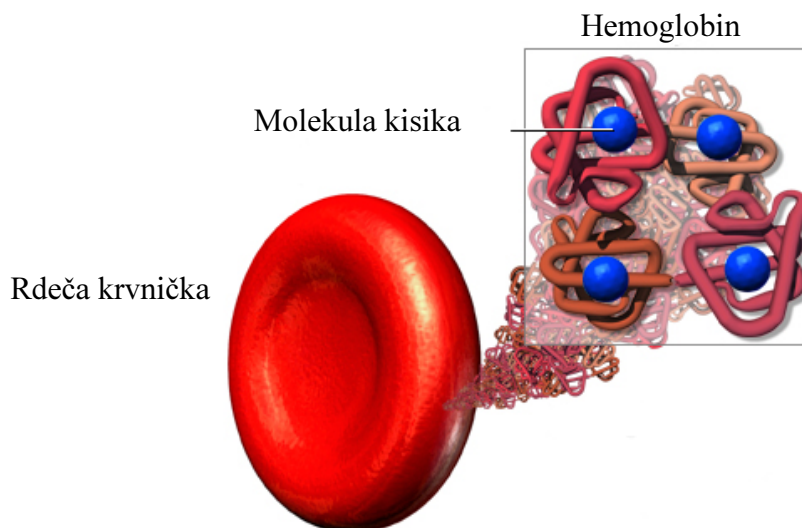
2.1 Hemoglobin

Kri je tekoče tkivo, sestavljeno iz specializiranih celic, imenovanih krvne celice (44 % krvi) in iz medceličnine, tekočega dela krvi, imenovane krvna plazma (56 % krvi). Krvne celice se delijo na rdeče krvničke (eritrociti), bele krvničke (levkociti) in krvne ploščice (trombociti).

Rdeče krvničke so sploščene celice, velikosti od 7 do 8 μm , življenjska doba je v primerjavi z drugimi celicami zelo kratka, približno 4 mesece (100 do 120 dni). Novorojenčki imajo 6 milijonov eritrocitov na μl , otroci od 4 do 5,5 milijonov in odrasli od 4,1 do 6 milijonov na μl . Krvni obtok odraslih vsebuje od 2 do $3 \cdot 10^{13}$ eritrocitov in to je približno ena četrtina od skupnega števila celic v telesu. So rdeče barve, ker vsebujejo beljakovino, imenovano hemoglobin, ki je bogata z železom [43].

Hemoglobin (Hb) je globularna beljakovina s kvarternarno strukturo, ki ima štiri podenote, imenovane globin, je rdeče barve in je prisotna v rdečih krvnih celicah vretenčarjev. Vsaka od njih ima vezano molekulo hema. Molekula hema je protoporfirin, ki ima v sredini vezano molekulo železa (Fe^{2+}). Odgovorna je za prenos molekularnega kisika (O_2) iz predelka z visoko koncentracijo (pljuča) v tkivih. Na Sliki 1 je prikazana struktura molekule hemoglobina. Molekula kisika se na hem veže reverzibilno, hemoglobin se spremeni v oksihemoglobin (HbO_2). Ta reakcija se imenuje oksigenacija. Nasprotna

reakcija, ko se oksihemoglobin spremeni v deoksihemoglobin (Hb brez kisika), se imenuje deoksigenacija. Zaradi vezanega kisika je oksihemoglobin svetlo rdeče barve, medtem ko je deoksihemoglobin temno rdeče barve.



Slika 1. Struktura hemoglobina [6].

Okvirne normalne vrednosti hemoglobina so 140–160 g/l pri moških ter 125–150 g/l pri ženskah. Za otroke je najmanjša vrednost 100 g/l [16].

2.2 Nasičenost kisika v krvi

Kisik v krvi je 98 % vezan na hemoglobin in ostalih 2 % je raztopljenega v krvni plazmi. Nasičenost kisika v krvi (SO_2) je definirana kot merjenje količine raztopljenega kisika v krvi, ki temelji na ugotavljanju razmerja v odstotkih med oksihemoglobinom in vsemi oblikami hemoglobina v krvi. Najdemo ga v štirih oblikah, oksihemoglobin (HbO_2), deoksihemoglobin (Hb), karboksihemoglobin (COHb) in methemoglobin (MetHb). Enačba (1) predstavlja funkcijsko nasičenost hemoglobina [36].

$$SO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb + COHb + MetHb} \cdot 100\% \quad (1)$$

Če enačbo (1) uporabimo za izračun nasičenosti kisika v arterijski krvi, meritev označujemo s kratico SaO_2 , medtem ko za meritev nasičenosti kisika v venozni krvi uporabimo kratico SvO_2 . Ker je prisotnost karboksihemoglobina (COHb) in methemoglobina (MetHb) v krvi zelo nizka, ju lahko zanemarimo, ter enačbo (1) lahko zapišemo z enačbo (2):

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} \cdot 100\% \quad (2)$$

Na splošno poenostavljeno enačbo (2) označimo s kratico SpO_2 , tako je že iz oznake razvidna metoda izračuna. Ta metoda je uporabljena v pulznih oksimetrih, zato moramo biti pozorni, ker v določenih primerih ni zanesljiva in lahko privede do napačnih meritev.

2.3 Pulzna oksimetrija

Oksimetrija temelji na spektrofotometričnih meritvah sprememb v barvi krvi, da bi ugotovili nasičenost s kisikom. Ta metoda temelji na Beer-Lambertovem zakonu, ki opisuje absorpcijo svetlobe pri prehodu skozi obarvano raztopino ali skozi ne povsem prozorno snov.

Pri poznavanju intenzivnosti in valovne dolžine oddane svetlobe, dolžine optične poti in ekstinkcijskega koeficienta snovi pri tej valovni dolžini (absorbanca) lahko določimo koncentracijo topljenca »C« z enačbo (3):

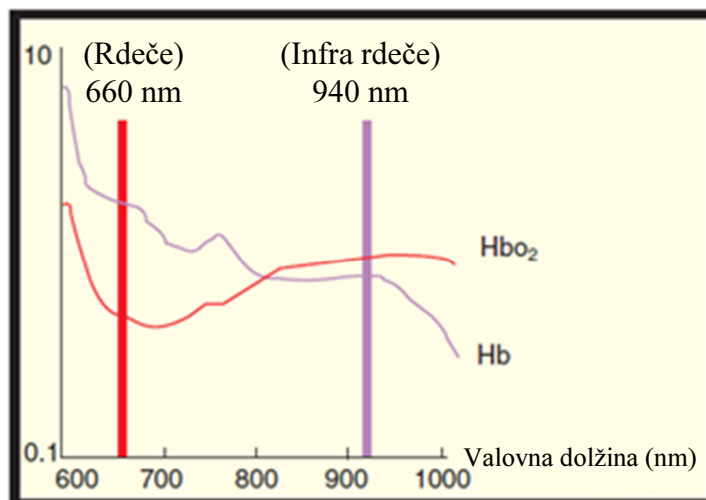
$$C = \frac{A}{D \cdot E} \quad (3)$$

kjer je »A« svetlobna absorpcija, »D« je dolžina optične poti in »E« je koeficient ekstinkcije topljenca. Če je več kot ena raztopina, je »A« vsota absorbance za posamezni topljenec [20].

Pulzni oksimeter meri samo nasičenost kisika v arterijski krvi, ki je najpomembnejša prenašalka kisika. Arterijska kri, ki je nasičena s kisikom, je živo rdeče barve, venozna kri, ki vsebuje malo kisika, pa je temnejše barve.

Za merjenje dejanske razlike v absorpcijskih spektrih HbO_2 in Hb se uporabljata dve različni svetlobni valovni dolžini, ena v rdečem spektru svetlobe (660 in 750 nm) in druga v infrardečem spektru svetlobe (med 805 in 1000 nm). Oksihemoglobin in deoksihemoglobin absorbirata različne valovne dolžine. Deoksihemoglobin ima večjo absorpcijo pri 660 nm in oksihemoglobin ima večjo absorpcijo pri 940 nm, to je prikazano na Sliki 2.

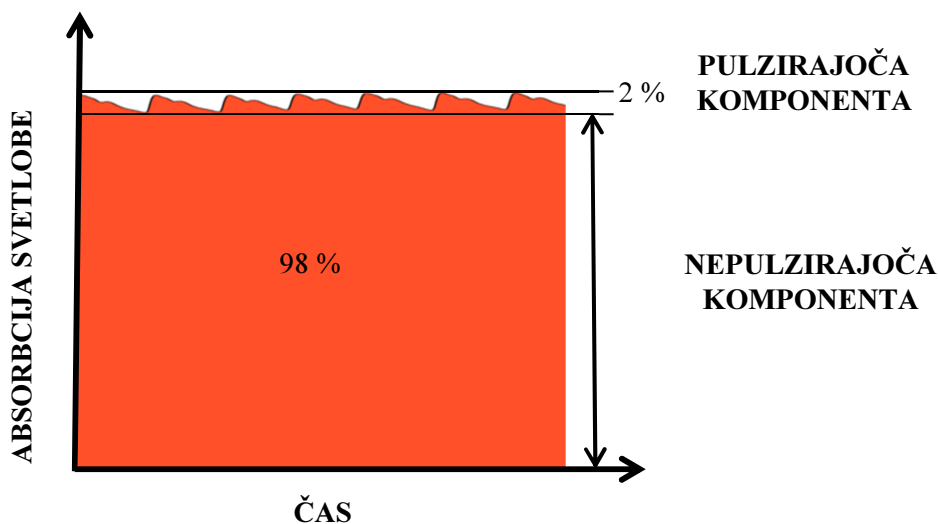
Koeficient absorpcije oksihemoglobina in deoksihemoglobina pri 805 nm se izenači, zato jo uporabimo kot referenčno valovno dolžino.



Slika 2. Razlika absorpcije deoksihemoglobina in oksihemoglobina pri različnih valovnih dolžinah [5].

Svetlobi sta spuščeni skozi prosojne dele telesa, kot so prsti ali ušesne mečice. Ker imamo na drugi strani prosojnega dela telesa samo en senzor, mora za merjenje jakosti svetlobe za vsako valovno dolžino pulzni oksimeter izmenično preklaplјati svetlobne vire, tako da lahko senzor izmeri samo želeno valovno dolžino. Absorpcija svetlobe ob vsakem srčnem utripu se rahlo spreminja. Do tega pride, ker pri vsakem srčnem krčenju pritisk v arterijah narašča in se zaradi pritiska širijo. To je prikazano na Sliki 3.

Razmerje izmerjene jakosti neabsorbirane rdeče in infrardeče svetlobe je odvisno od razmerja med oksihemoglobinom in deoksihemoglobinom.



Slika 3. Absorpcija svetlobe.

Na delih telesa, kot so prsti ali ušesne mečice, arterijska kri ni edino, kar absorbira svetlobo. Koža in druga tkiva absorbirajo tudi nekaj svetlobe. To predstavlja problem, saj pulzni oksimeter analizira le absorpcijo svetlobe arterijske krvi, medtem ko ne upošteva absorpcije svetlobe iz bližnjih tkiv.

Da bi razumeli, kako tkivo vpliva na meritve, vzamemo za primer dve različni situaciji, tanek in debel prst. Tkivo v tankem prstu absorbira le malo svetlobe, medtem ko debelejši prst absorbira veliko več svetlobe. Vendar pulzni oksimeter nima možnosti zaznati, če je prst debel ali tanek oziroma ne ve, koliko svetlobe absorbira kri in koliko jo absorbira tkivo. Rešitev je, da pulzni oksimeter analizira zgolj arterijsko kri in zanemari absorpcijo bližnjega tkiva. Ker je arterijska kri edina pulzirajoča v prosojnem delu telesa in je vse ostalo brez pulza, je katerokoli spreminjanje absorpcije treba pripisati arterijski krvi. Pulzni oksimeter iz celotnega signala odšteje nepulzirajoči signal absorpcije, tako da ostane samo del signala spreminjanja absorpcije, kar ustreza pulzirajoči arterijski krvi [45].

Z drugimi besedami pulzni oksimeter loči pulzirajočo komponento signala »AC« od nepulzirajoče komponente signala »DC«.

Pulzirajoča komponenta predstavlja izmerjeno jakost neabsorbirane svetlobe v odvisnosti od volumna arterijske krvi, nepulzirajoča oziroma statična komponenta pa jakost neabsorbirane svetlobe skozi tkivo, kožo in venozno kri. Na ta način je pulzni oksimeter zmožen izračunati nasičenost kisika v arterijski krvi in zanemariti učinke bližnjih tkiv.

Trenutek, v katerem pulzirajoča komponenta signala doseže minimum, predstavlja povečani arterijski tlak, arterije so razširjene, pretok krvi v njih je povečan in posledično je absorbirana svetloba večja, kar povzroči manjšo izmerjeno jakost svetlobe. Trenutek, v katerem pulzirajoča komponenta signala doseže maksimum, pa predstavlja zoženje arterije z manjšim pretokom krvi in posledično manjšo absorpcijo svetlobe, kar povzroči večjo izmerjeno jakost svetlobe.

V resnici je pulzirajoči signal zelo majhen, le okoli 2 % celotnega absorpcijskega signala. Od vse svetlobe, ki prehaja skozi prosojni del telesa, pulzni oksimeter analizira le majhen pulzirajoči del. Ker je ta količina majhna v primerjavi s celotno svetlobo, je pulzni oksimeter zelo občutljiv na napake, če na primer svetlobno tipalo ni postavljeno pravilno ali če bolnik premakne svetlobno tipalo [45].

Ob predpostavki, da prenos svetlobe skozi kri vpliva na koncentracijo oksihemoglobina in deoksihemoglobina in njunih koeficientov absorpcije na dveh merilnih valovnih dolžinah, se svetilnost logaritmično zmanjša z dolžino poti skladno z Beer-Lambertovim zakonom [21].

Zaradi uporabe dveh virov svetlobe različnih valovnih dolžin dobimo dva pletizmograma, ki se razlikujeta v amplitudi »AC« in »DC« komponent signala. Če ti dve razmerji zapišemo kot razmerje »R«, dobimo enačbo (4) [21]:

$$R = \frac{\log_{10}(I_{DC+AC}/I_{DC})\lambda_{RD}}{\log_{10}(I_{DC+AC}/I_{DC})\lambda_{IR}} \quad (4)$$

kjer,

I_{AC} - pulzirajoča komponenta signala

I_{DC} - nepulzirajoča komponenta signala

λ_{IR} - infra rdeča svetloba

λ_{RD} - rdeča svetloba

Ker nas zanima samo pulzirajoča komponenta signala absorpcije, iz enačbe (4) lahko izločimo nepulzirajočo komponento » I_{DC} «, dobimo tako enačbo (5) [21].

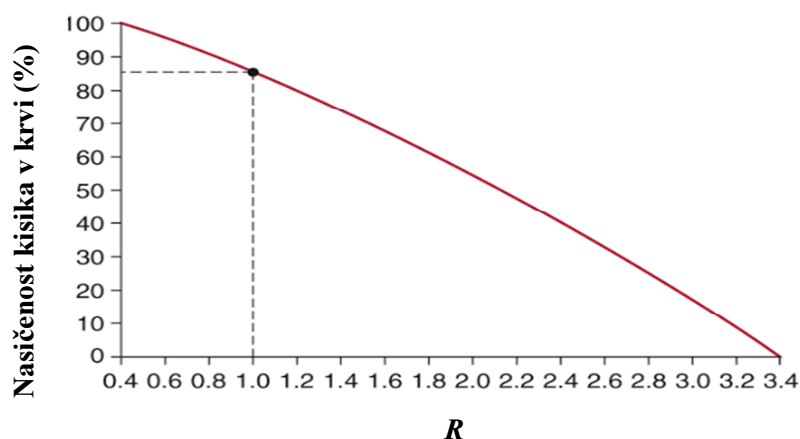
$$R = \frac{\log_{10}(I_{AC})\lambda_{RD}}{\log_{10}(I_{AC})\lambda_{IR}} \quad (5)$$

Če uporabimo neposredno Beer-Lambertov zakon za izračun nasičenosti kisika v krvi, se pojavijo napake. Za odpravo teh napak je uporabljena umeritvena krivulja, pridobljena s poizkusi na odraslih prostovoljcih, ki dihajo zrak z zmanjšano vsebino kisika.

Da ne bi bilo nevarno za prostovoljce, nasičenost kisika vdihanega zraka ne sme pasti pod 75 – 80 %. Ker ne obstajajo realni podatki izpod te meje, pulzni oksimetri niso zanesljivi pri meritvah nasičenosti kisika v krvi, manjše od te vrednosti [21].

Zaradi tega pulzni oksimetri, preden prikažejo na zaslonu izmerjeno vrednost nasičenosti kisika v krvi, primerjajo pridobljeno vrednost » R « s shranjenimi vrednostmi nasičenosti kisika krvi v spominu oziroma jo izračunajo z uporabo enačbe (6). Na Sliki 4 je prikazana umeritvena krivulja, ko je rezultat razmerja » R « enako ena, nasičenost kisika v krvi je 85 %.

$$SpO_2 = 110 - 25 \cdot R \quad (6)$$



Slika 4. Vzorčena umeritvena krivulja, pridobljena z meritvami na zdravih odraslih osebah pri različni nasičenosti kisika.

2.3.1 Omejitve pulzne oksimetrije

Kot pri večini medicinskih pripomočkov občutljivost premika prispeva k nezanimljivim napakam pulznih oksimetrov. Občutljivost na premik je velik problem, običajno zaradi premikanja bolnikove mišice v bližini svetlobnega tipala pulznega oksimetra, ki povzroči lažni utrip, podobnega dejanskemu srčnemu utripu. Taki utripi dajo napačne rezultate.

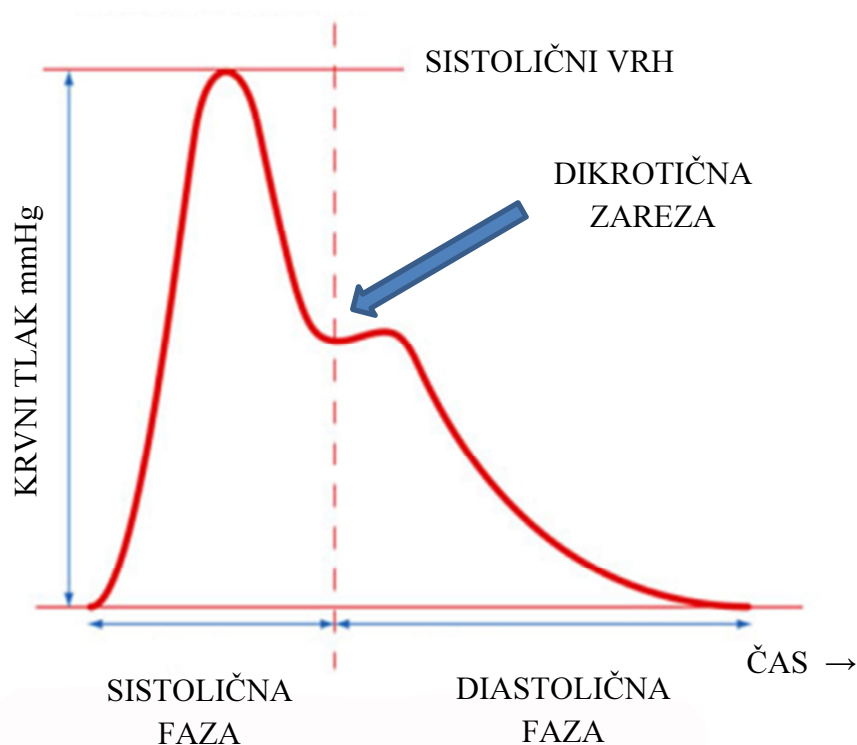
Ta problem je pomemben pri bolnikih in dojenčkih, ki med spremljanjem niso mirni. Ena od možnih rešitev za zmanjšanje teh problemov je uporaba digitalne obdelave signalov ali povprečenje vrednosti za nekaj sekund, preden se izračunana vrednost prikaže na zaslonu. Napake premika se ponavadi prepoznajo z lažnim ali napačnim prikazom srčnega utripa ali izkrivljeno valovno obliko pletizmograma.

2.4 Srčni utrip

Srčni utrip je ritmično krčenje (sistola) in sproščanje srčne mišice (diastola).

Na Sliki 5 je prikazano, kako je videti običajna oblika arterijskega utripnega vala. Frekvenca srčnega utripa pomeni število udarcev srca v eni minuti. Srčni utrip je lahko prehit, prepočasen ali nereden. Kljub temu pa prehit ali prepočasen srčni utrip nista razlog za zaskrbljenost.

Ob razburjenju ali telesnem naporu se vsakomur zviša srčni utrip. Ritem srčnega utripa je pravilen, če razdalja med zaporednimi utripi ne presega 160 milisekund, spremembo normalnega srčnega utripa imenujemo aritmija.



Slika 5. Arterijski utripni val.

Ločimo dve vrsti aritmij: tahikardija, pri kateri je srčni utrip prehit, in bradikardija, pri kateri je srčni utrip prepočasen. V Tabeli 1 je prikazana razlika med vrednostmi normalnega srčnega utripa in aritmijo pri odraslih, otrocih in dojenčkih.

Tabela 1. Razlika srčnega utripa pri odraslih, dojenčkih in otrocih [7].

Dojenčki	120 do 150	Normalno
	> 150	Tahikardija
	< 120	Bradikardija
Otroci od 1 do 5 let	80 do 150	Normalno
	> 150	Tahikardija
	< 80	Bradikardija
Otroci, starejši od 5 let	60 do 80	Normalno
	> 120	Tahikardija
	< 60	Bradikardija
Odrasli	60 do 80	Normalno
	> 100	Tahikardija
	< 50	Bradikardija

Srčni utrip je tesno povezan z dihanjem oziroma nasičenostjo kisika v krvi. Manjša je nasičenost krvi s kisikom, višji bo srčni utrip, v nasprotnem primeru pa bo ob večji nasičenosti krvi s kisikom srčni utrip nižji.

Poleg tega je srčni utrip neposredno sorazmeren s telesno temperaturo, zato se poveča v prisotnosti povišane telesne temperature. Višja je telesna temperatura, višji bo srčni utrip.

2.5 Telesna temperatura

Telesna temperatura je pomemben parameter za preverjanje statusa bolnika in temperature živega organizma. Kemične reakcije, ki omogočajo življenje, lahko potekajo le v določenem temperaturnem območju. Pri človeku je normalna telesna temperatura 37 °C, vendar je to približna vrednost.

Številne študije so pokazale različne možne »normalne« temperature. Nedavne študije na splošno kažejo, da je normalna temperatura 37 °C, z individualno variabilnostjo posameznika približno $\pm 0,4$ °C. Poleg individualne variabilnosti je treba upoštevati tudi, da se telesna temperatura običajno variira čez dan, z najnižjo vrednostjo ob štirih zjutraj in z najvišjo zvečer ob 18. uri. Zato je temperatura 37,5 °C lahko zvišana telesna temperatura zjutraj, vendar ne popoldne.

Lahko vplivajo tudi drugi dejavniki, kot so prebava, starost, telesna aktivnost in pri ženskah menstrualni cikel. Dejansko progesteron, proizveden med ovulacijo, zviša temperaturo za 0,3-0,6 °C. Ker je temperatura neposredno sorazmerna s srčnim utripom, če

štejemo število pulznih utripov srca, lahko empirično izračunamo telesno temperaturo. Za vsakih deset srčnih utripov nad običajnim številom predstavlja za približno eno stopnjo zvišano telesno temperaturo.

2.6 Plinska analiza krvi

Plinska analiza krvi se opravlja na vzorcu arterijske krvi, analiziranem v posebni napravi za natančno določanje vrednosti kisika (PO_2) in ogljikovega dioksida (PCO_2).

Oksimetrija ima nekaj omejitev, saj ni natančna kot analiza plina v arterijski krvi. V nekaterih primerih morda ne zagotavlja zanesljive vrednosti zaradi vpliva različnih dejavnikov, ki motijo zanesljivost, kot so hladna koža, periferna vazokonstrikcija, anemija, srčna aritmija in podobno. Poleg tega je pomanjkljivost pulzne oksimetrije, da ne more izmeriti vrednosti PCO_2 . V Tabeli 2 je prikazana razlika med normalnimi vrednostmi plinov v arterijski in venski krvi.

Tabela 2. Normalne vrednosti plinov v krvi [11, 34].

	Arterijska kri	Venska kri
PaO₂	80 - 100 mmHg	28 - 48 mmHg
PaCO₂	35 - 45 mmHg	30 - 52 mmHg
SaO₂	95 - 100 %	50 - 70 %
HCO₃⁻	22 - 26 mmol/l	19 - 25 mmol/l
pH	7,35 – 7,45	7,32 – 7,42

2.7 Tipi pulznih oksimetrov

Obstajata dve možnosti delovanja pulznega oksimetra, presvetljevalno (TPO angl. *Transmission Pulse Oximetry*) in odbojno (RPO angl. *Reflectance Pulse Oximetry*) merjenje. Pri presvetljevalnem načinu sta oddajnik svetlobe in foto detektor na nasprotni strani merilnega mesta. Pri odbojnem načinu sta oddajnik svetlobe in foto detektor eden ob drugem na vrhu merilnega mesta, svetloba potuje med obema skozi tkivo [42].

2.7.1 Odbojni način delovanja

Pri odbojnem načinu delovanja (Slika 6) se svetloba, ki se odbije iz merilnega mesta, vzorči z dvema različnima valovnima dolžinama (λ_1 in λ_2). Ta način zajemanja signala je veliko bolj občutljiv na premike in pravilno pozicijo prstov. Nasičenost s kisikom ocenimo z empiričnim razmerjem, razvidnim v enačbi (6):

$$SO_2 = A - B \cdot R(\lambda_1) / R(\lambda_2) \quad (6)$$

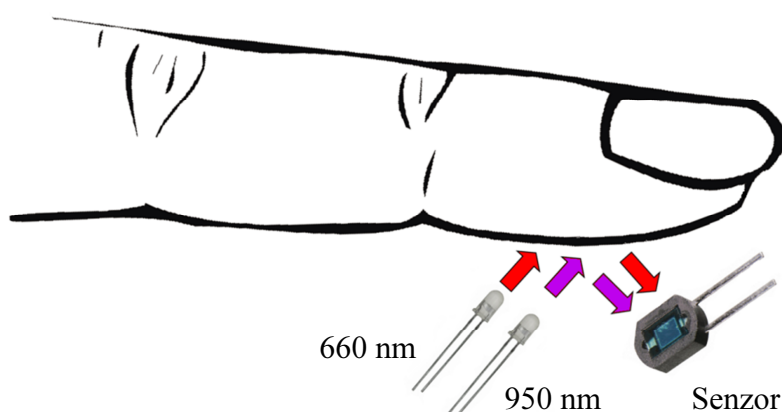
kjer,

$R = \ln(I_o/I_r)$, odbojna;

I_o = vpadna svetilnost;

I_r = jakost odbojne svetlobe.

A in B sta konstanti, odvisni od hematokrita (število rdečih krvnih teles v krvnem obtoku). Za izravnavo te odvisnosti se običajno uporablja še tretjo valovno dolžino, izbrano med λ_1 in λ_2 [42].



Slika 6. Odbojni način delovanja pulznega oksimetra.

2.7.2 Presvetljevalni način delovanja

S presvetljevalnim načinom analiziramo svetlobo, ki prehaja skozi vzorec (Slika 7). Ta način je odpornejši na napake pri zajemanju signala. Optično gostoto (absorbanca) definiramo kot [42]:

$$d = I_o/I_t \quad (7)$$

in z uporabo Beer-Lambertovega zakona na vzorcu snovi dobimo:

$$d = L [h(\text{Hb}) \cdot C(\text{Hb}) + h(\text{HbO}_2) \cdot C(\text{HbO}_2)] \quad (8)$$

kjer,

C = koncentracija;

h = koeficient ekstinkcije (absorpcija);

L = optična pot (linearni prispevek različnih komponent popolne absorpcije).

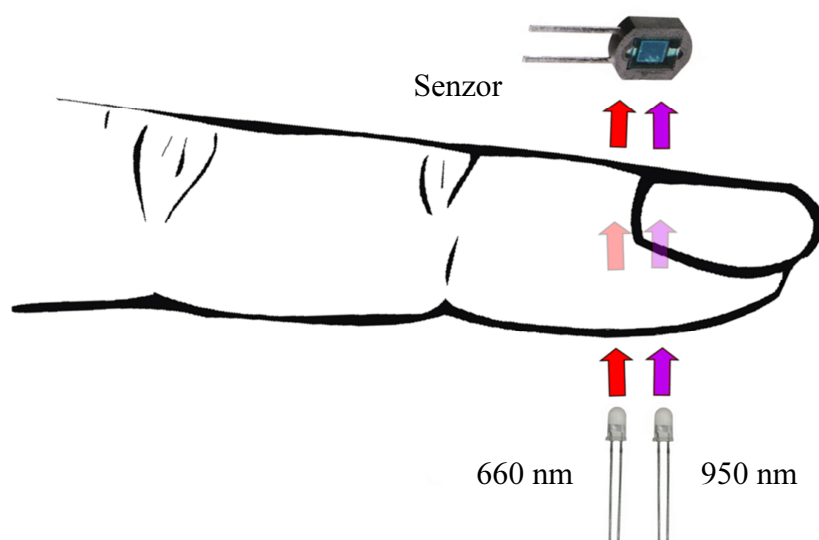
Meritve gostote pri dveh različnih valovnih dolžinah (λ_1 in λ_2), koncentracije hemoglobina

$C(\text{Hb})$ in oksihemoglobina $C(\text{HbO}_2)$ lahko določimo kot neznanke sistema dveh linearnih enačb, v katerem so znani absorpcijski koeficienti h pri različnih valovnih dolžinah ($h(\lambda_1, \text{HbO}_2)$, $h(\lambda_2, \text{HbO}_2)$, $h(\lambda_1, \text{Hb})$, $h(\lambda_2, \text{Hb})$) in dolžini optične poti. Vendar se nasičenost krvi s kisikom lahko izračuna brez poznavanja natančne vrednosti L [42]:

$$C(\text{Hb}) = [h(\lambda_2, \text{Hb}) \cdot d(\lambda_1) - h(\lambda_1, \text{Hb}) \cdot d(\lambda_2)] \cdot (1/L) \cdot [h(\lambda_1, \text{HbO}_2) \cdot h(\lambda_2, \text{Hb}) - h(\lambda_2, \text{HbO}_2) \cdot h(\lambda_1, \text{Hb})]$$

$$C(\text{HbO}_2) = [h(\lambda_2, \text{HbO}_2) \cdot d(\lambda_1) - h(\lambda_1, \text{HbO}_2) \cdot d(\lambda_2)] \cdot (1/L) \cdot [h(\lambda_1, \text{Hb}) \cdot h(\lambda_2, \text{HbO}_2) - h(\lambda_2, \text{Hb}) \cdot h(\lambda_1, \text{HbO}_2)]$$

$$SO_2 = C(\text{HbO}_2) / (C(\text{Hb}) + C(\text{HbO}_2)) \quad (9)$$



Slika 7. Presvetljevalni način delovanja pulznega oksimetra.

3 OPIS SISTEMA

Pulzna oksimetrija je rešila težave, povezane s prejšnjimi pristopi, ki temeljijo na zaznavanju fotopletizmografskega signala (PPG), ki ga proizvajajo spremembe količine arterijske krvi, povezane s periodičnim krčenjem in širjenjem srca.

Velikost krivulje PPG je odvisna od količine krvi, pognane iz srca v vsakem sistoličnem ciklu, absorpcije krvi, tkiva in kože ter valovne dolžine, uporabljene za osvetlitev žilnega tkiva.

Med diastolo se zmanjša količina krvi v žilnem tkivu, kar povečuje količino oddane svetlobe ali povratno sipane svetlobe, ta čas ustreza naraščanju deleža signala PPG. V sistoli, ko je arterijski utrip na vrhuncu, se obseg krvi poveča. Povečan obseg krvi absorbira več svetlobe, s čimer se zmanjša jakost svetlobe, merjene s pulznim oksimetrom. Ta čas ustreza manjšemu deležu signala PPG.

3.1 Specifikacija sistema

Pulzni oksimeter UPPO₂ ni zamenjava za nobeno že obstoječo uveljavljeno medicinsko napravo, saj je njegov namen zagotoviti poceni prenosno napravo za merjenje bolnikovih vitalnih parametrov na daljavo.

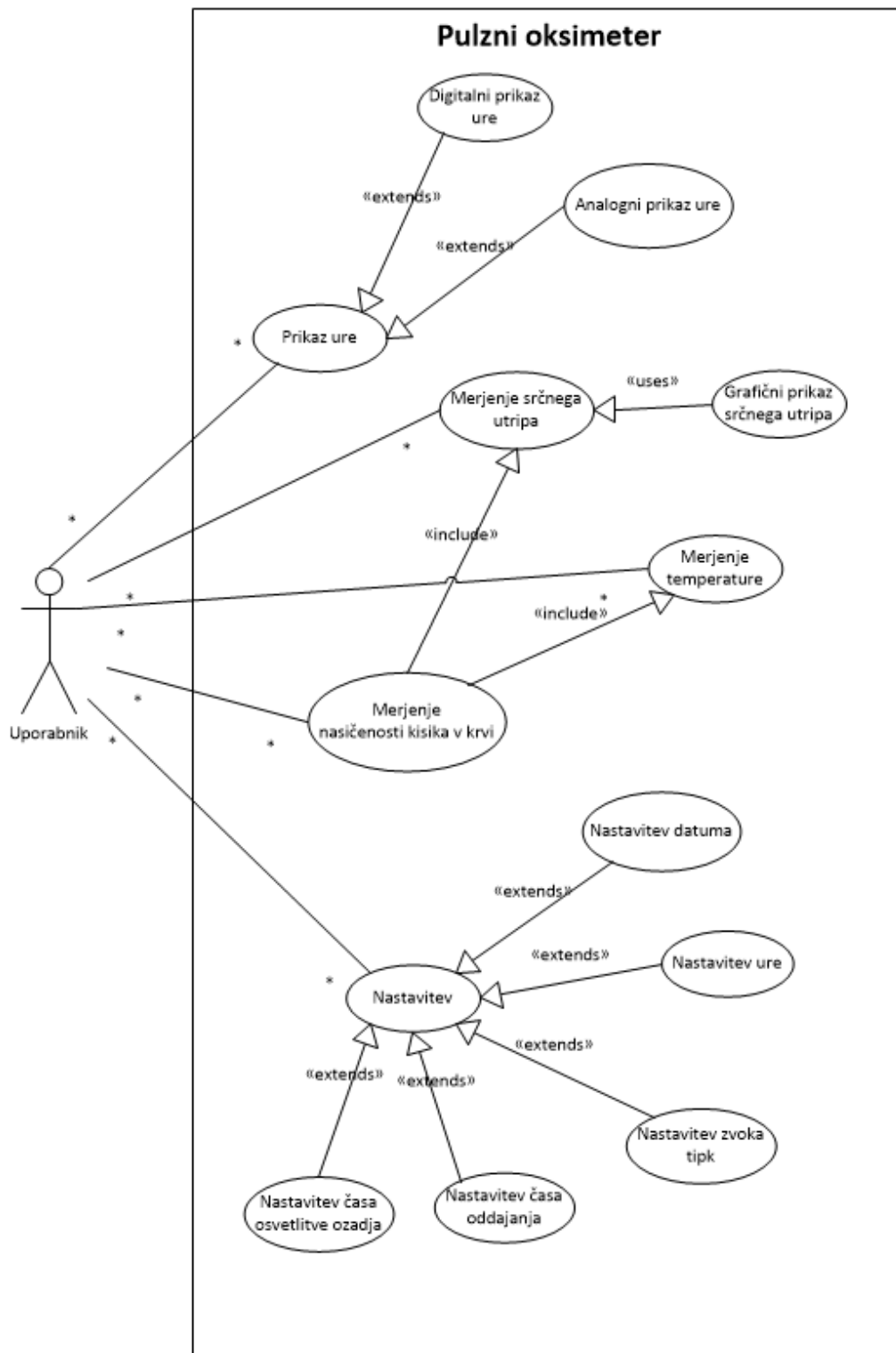
Bolniku se ne bo treba več priklopiti na drage naprave v bolnici. To lahko stori doma, saj pridobljene podatke naprava prek vmesnika posodobi v podatkovni bazi na strežniku, tako da jih zdravnik lahko kasneje analizira.

Sistem je sestavljen iz dveh delov, pulznega oksimetra UPPO₂ in informacijskega sistema. Sistem je zasnovan modularno in omogoča postopno izgradnjo sistema, kar ustreza projektному delu, kjer se funkcionalnost razvija glede na identificirane potrebe ob analizi sistema.

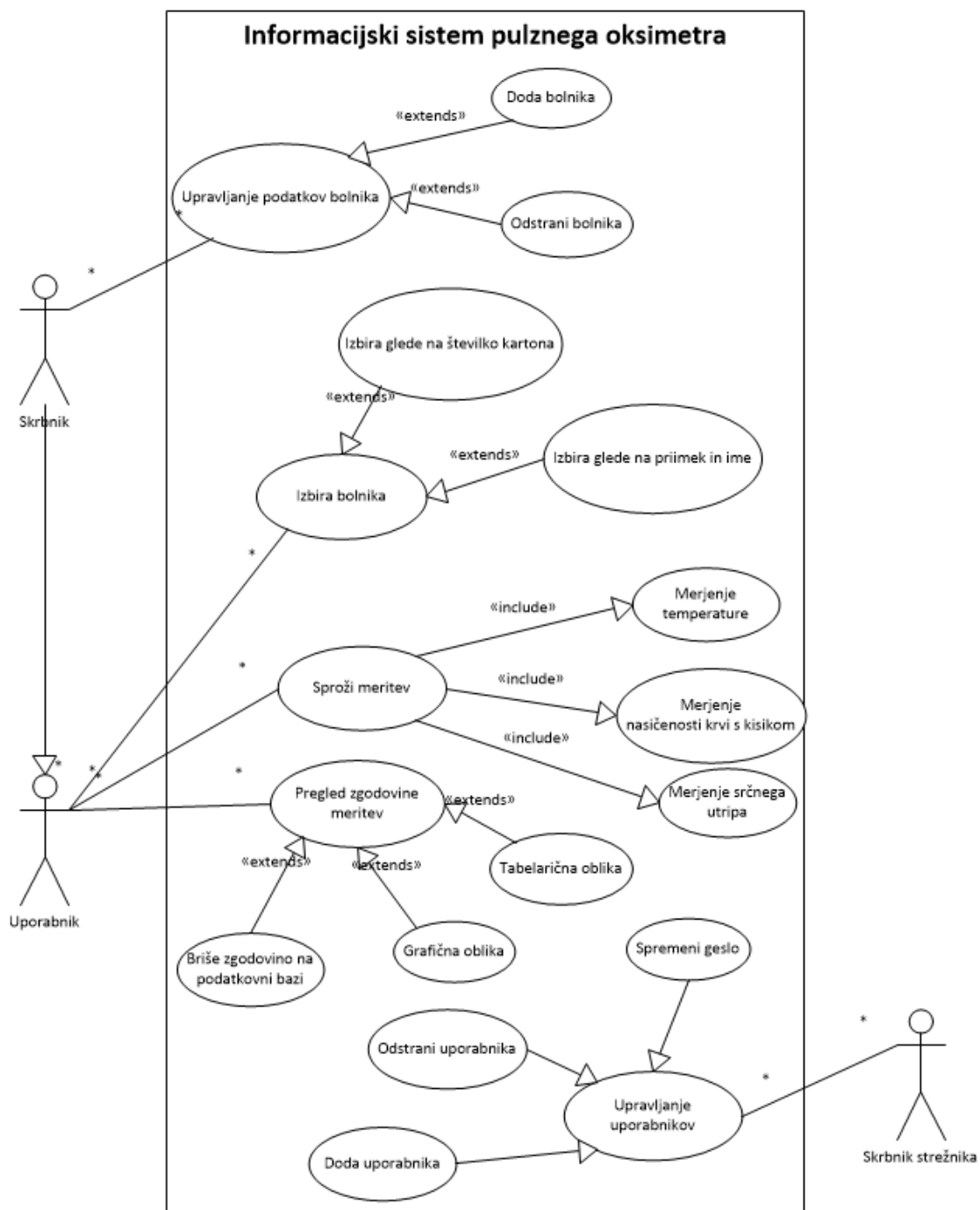
Na Sliki 8 je prikazan diagram primera uporabe (angl. *Use Case*) programske opreme pulznega oksimetra UPPO₂. Uporabnik oziroma bolnik lahko s tipkami na prikazovalniku pulznega oksimetra izbere različne funkcije, kot so merjenje pulznega utripa, merjenje nasičenosti kisika v krvi, prikaz ure in datuma ter prilagoditev nastavitvev. Posamične funkcije imajo tudi dodatne podfunkcije.

Na Sliki 9 je prikazan diagram primera uporabe programske opreme informacijskega sistema, ki temelji na upoštevanju prijaznosti do uporabnika, na zanesljivosti, fleksibilnosti, varnosti ter možnosti dislocirane oziroma mobilne uporabe.

Glavni akterji so uporabnik, skrbnik informacijskega sistema in skrbnik strežnika, v primeru, da podatkovna baza gostuje na istem strežniku informacijskega sistema, je lahko skrbnik informacijskega sistema in strežnika isti akter. Skrbnik strežnika upravlja uporabniške račune, skrbnik informacijskega sistema upravlja s pacientovimi podatki in uporabnik lahko izbere začetek meritev ali pregled zgodovine meritev. Izmerjene podatke uporabnik lahko pregleda tako v tabelarični obliki kot v grafični.



Slika 8. Diagram primera uporabe pulznega oksimetra UPPO₂.



Slika 9. Diagram primera uporabe informacijskega sistema.

3.2 Načrtovanje

Pulzni oksimeter UPPO₂ je razvit na osebem računalniku z operativnim sistemom Windows. Za izdelavo celotnega sistema je bilo uporabljenih več odprtokodnih programov ali brezplačne programske opreme.

Programska oprema mikrokrmilnika PIC18F46K20 je bila razvita v Proton IDE okolju, napisanem v Basic jeziku. Pulzni oksimeter UPPO₂ rabi za delovanje poleg prikazovalnika svetlobno (TSL257) in temperaturno (DS18S20) tipalo ter sprejemni vmesnik USB.

Uporabniški vmesnik je načrtovan tako, da bo najpreprostejši in najprijaznejši do končnega uporabnika. V ta namen so vsak meni in podmeniji označeni z ikonami, tako so tudi funkcije prikazane na zaslonu grafično. Nad vsemi tipkami je grafična oznaka, ki prikazuje njihovo funkcijo, in številke meritev so velike, da bi bile lažje berljive.

Komunikacija med mikrokrmilnikom in integriranim vezjem RTC, DAC in EEPROM poteka preko vodila I²C, medtem ko komunikacija s temperaturno sondo poteka preko vodila 1-wire.

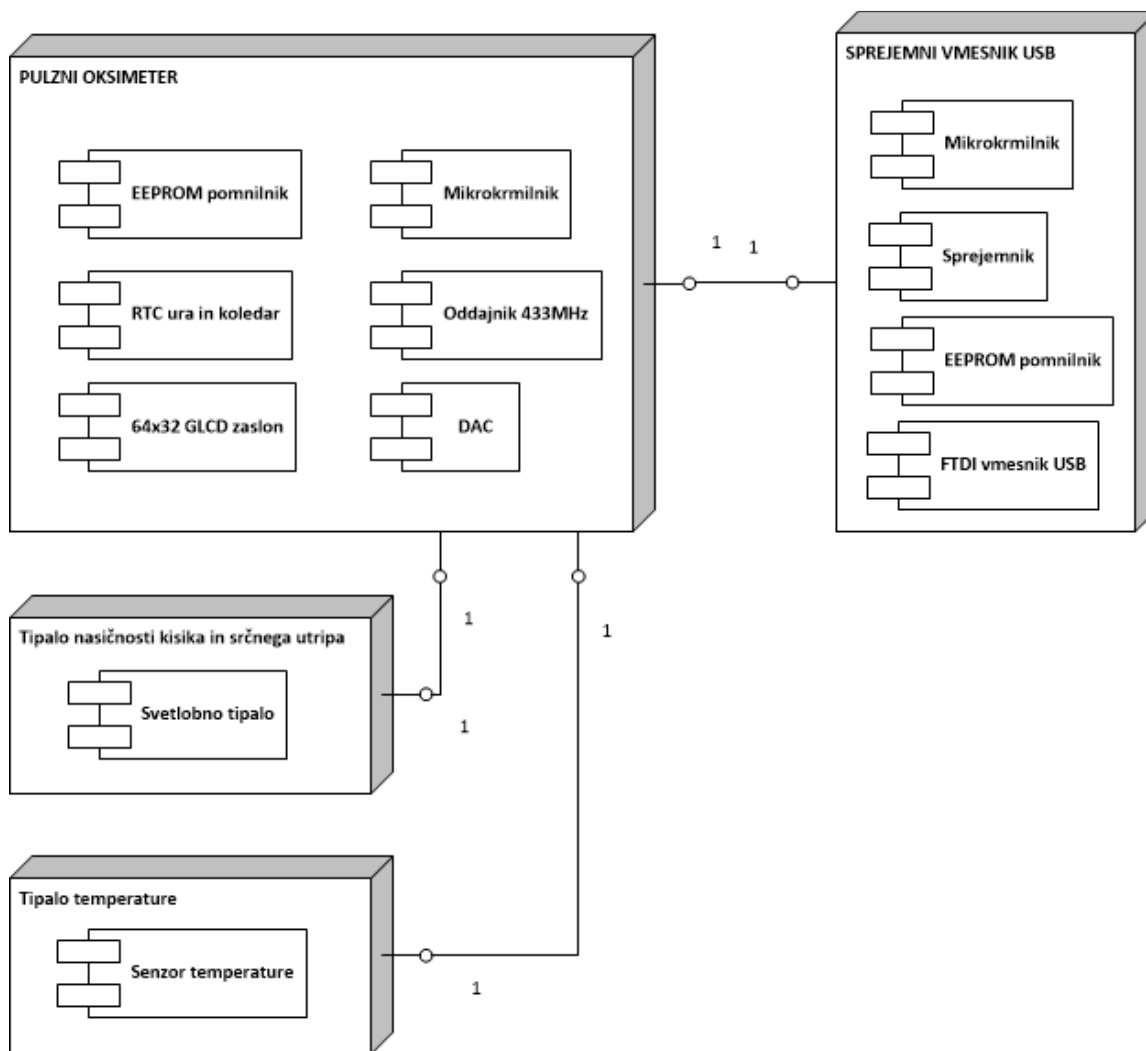
Komunikacijski protokol I²C, razvit v podjetju Philips, je dvosmerni 8-bitni zaporedni protokol, ki potrebuje samo dve žici za komunikacijo, eno za prenos podatkov »SDA« in eno za uro »SCL«. Vsaka naprava, priključena na I²C vodilo, ima edinstven naslov, katerega lahko programsko naslavljamo. Protokol omogoča štiri različne hitrosti prenosa podatkov: standardni 100 Kbit/s, hitri 400 Kbit/s, hitri plus 1 Mbit/s in visoka hitrost 3,4 Mbit/s. Hitrost je odvisna od naprav, ki so priključene na vodilo. Za naš projekt smo izbrali hitrost prenosa 400 Kbit/s.

Prenos podatkov se vedno prične s pogojem »START« in se konča s pogojem »STOP«, ki ga vedno generira gospodar (angl. *Master*). Po pogoju »START« gospodar pošlje naslov naprave, s katero hoče vzpostaviti komunikacijo, dolgo sedem bitov. Osmi bit pove, v katero smer bo potekal prenos podatkov, branje (1) ali pisanje (0). Podatki, ki se prenašajo po vodilu, morajo biti dolgi 8 bitov [32].

Komunikacijsko vodilo 1-wire je razvilo podjetje Maxim Dallas Semiconductor. Protokol komunikacije je zelo preprost, pozna samo štiri osnovne operacije, ponastavitev, zapis bita 0, zapis bita 1 in branje bita. Ker protokol uporablja za prenos podatkov samo eno žico, je dobilo ime 1-wire. Protokol omogoča komunikacijo med glavno napravo, tako imenovano gospodar, in velikim številom naprav, imenovanih sužnji (angl. *Slave*). Za prenos podatkov ni potrebno imeti systemske ure, ker se sinhronizacija izvede ob vsakem začetku pošiljanja podatkov pri padajoči fronti signala [25].

Brezžična komunikacija med pulznim oksimetrom in informacijskim sistemom poteka z asinhronim protokolom s hitrostjo prenosa podatkov 2400 baud.

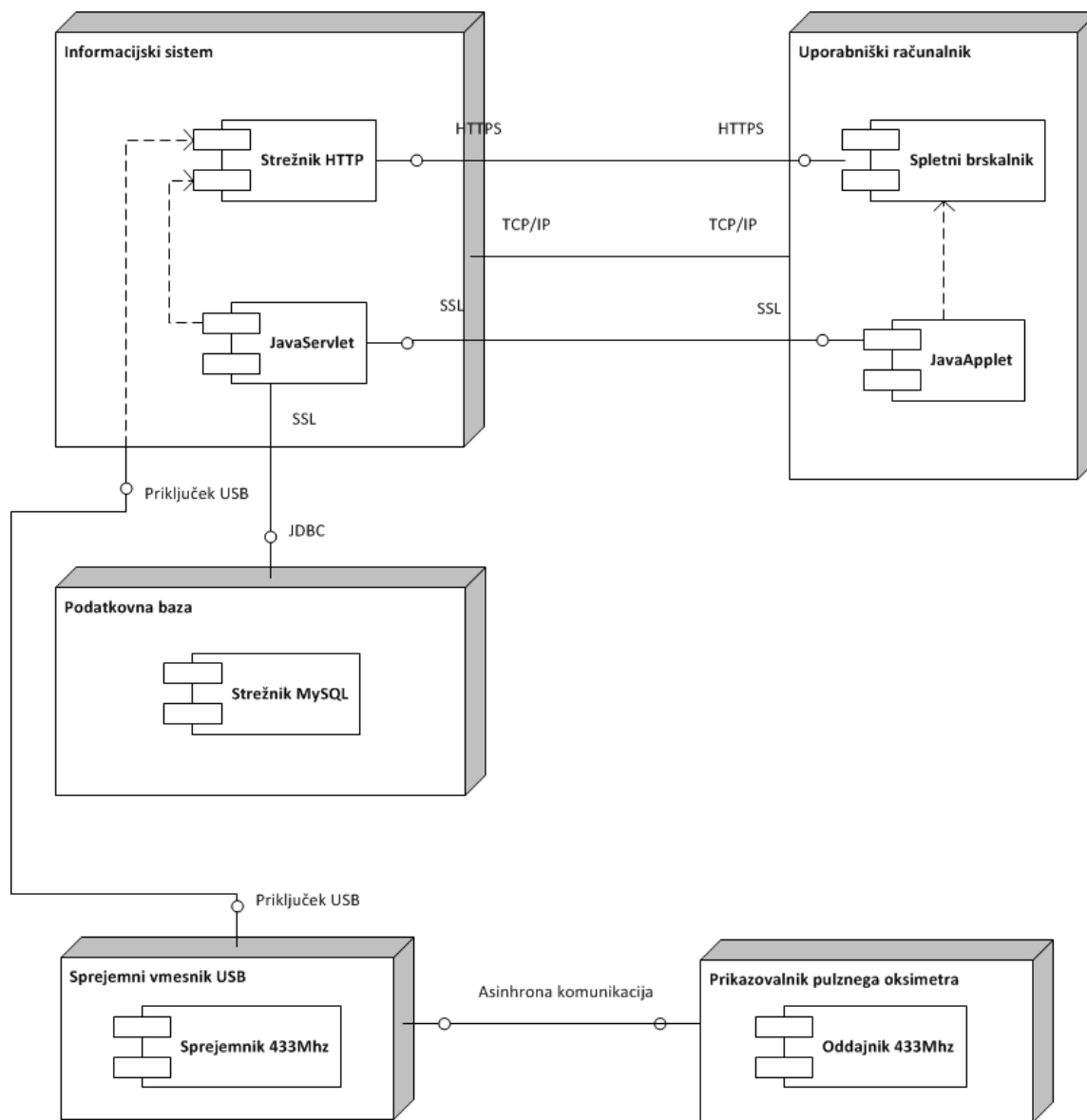
Na Sliki 10 je prikazan diagram komponent pulznega oksimetra UPPO₂.



Slika 10. Diagram komponent pulznega oksimetra UPPO₂.

Da bi imel uporabnik dostop do podatkov meritev in shranjene zgodovine meritev, se mora prijaviti na informacijskem sistemu na strežniku preko brskalnika. Povezava poteka preko protokola HTTPS in SSL, tako se ustvari varna povezava med odjemalcem in strežnikom. Informacijski sistem hrani podatke na podatkovni bazi v dveh zbirkah, zbirki uporabnikov in zbirki meritev za posamičnega uporabnika.

Na Sliki 11 je prikazan diagram komponent informacijskega sistema.



Slika 11. Diagram komponent informacijskega sistema.

3.3 Strojna oprema

Pri razvoju pulznega oksimetra UPPO₂ smo uporabili mikrokrmilnike družine PIC podjetja Microchip. Podjetje ne uporablja izraza PIC, njen točni naziv je »PICmicro«. Čeprav ime pomeni *Programmable Interface Controller* (slov. *programabilni vmesnik*), je njegov prvi proizvajalec General Instrument uporabljal kratico PIC *Programmable Intelligent Computer* (slov. *programabilni inteligentni računalnik*).

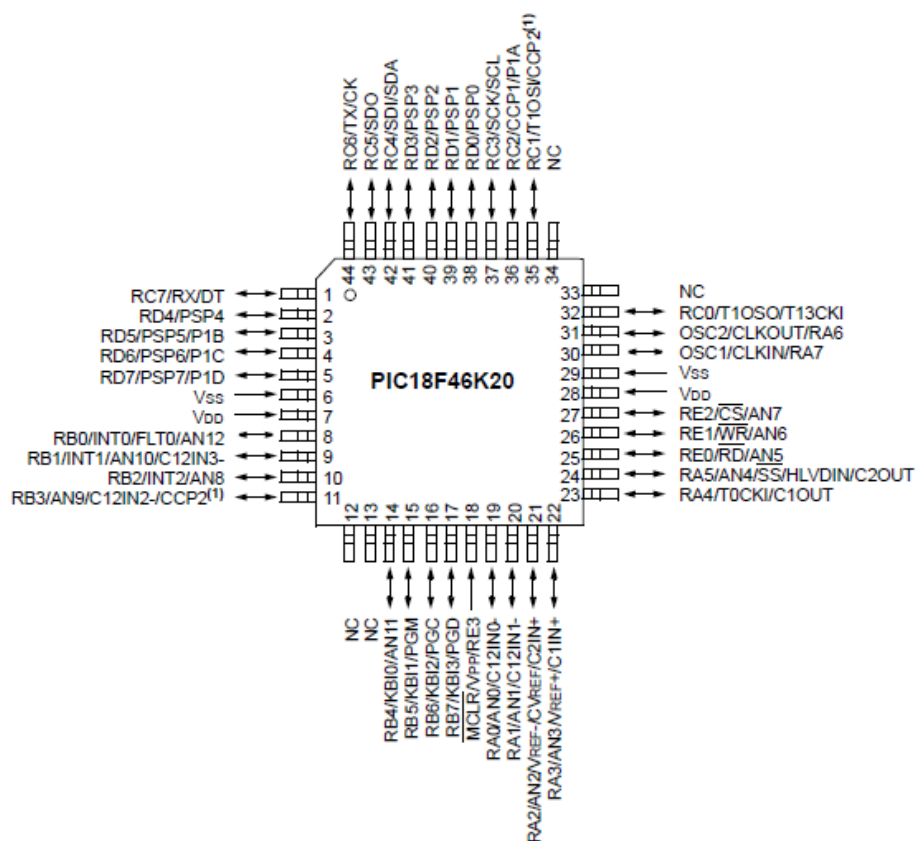
Družina PIC je razdeljena na tri skupine mikrokrmilnikov glede na dolžino ukazne besede. Obstajajo 12-, 14- in 16-bitne dolžine ukaznih besed. Skupino mikrokrmilnikov z 12-bitno dolžino ukazne besede uporabimo za najenostavnejše aplikacije.

Za razvoj našega pulznega oksimetra v magistrski nalogi smo izbrali 16-bitno različico PIC18F46K20 (Slika 12). Mikrokrmilnik podpira 75 ukazov oziroma 83 z razširjenim naborom ukazov. Daljša kot je ukazna beseda, večje je število ukazov, tako lahko gradimo kompleksnejše programe za zahtevnejše aplikacije.

Po fizični konstrukciji PIC18F46K20 spada v 8-bitni visoko sposoben RISC (angl. *Reduced Instruction Set Computer*) mikrokrmilnik, zgrajen v CMOS (angl. *Complementary Metal-Oxide Semiconductor*) tehnologiji z arhitekturo Harvard. Odlikujejo ga velika hitrost delovanja (16 mips), enostavni ukazi, zelo majhna energetska poraba in nizka cena. Ima vgrajen programski pomnilnik FLASH (slov. *bliskovni pomnilnik*), podatkovni pomnilnik RAM (angl. *Read Only Memory*) in pomnilnik EEPROM (angl. *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*).

Poleg tega vsebuje še 3 števec (en 8-bitni in dva 16-bitna) s programabilnim delilnikom (angl. *Prescaler*), čuvaja časa (angl. *Watchdog Timer*), modul PWM (angl. *Pulse-Width Modulation*), tri različna zaporedna vrata I²C (angl. *Inter-Integrated Circuit*), SPI (angl. *Serial Peripheral Interface*) in UART (angl. *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), 13 analognih-digitalnih pretvornikov ADC (angl. *Analog-To-Digital Converter*) ter različna vezja, potrebna za delovanje in zmanjšanje porabe. Ima 36 vhodno-izhodnih priključkov (angl. *Port*), štiri neprogramabilne in osem programabilnih izvorov prekinitvev.

Frekvenca ure je lahko z uporabo multiplikatorja PLL (angl. *Phase Loop Lock*) do 64 MHz. Programski pomnilnik FLASH je območje, ki vsebuje program za zagon. Njegova velikost je 64 kB. Podatkovni pomnilnik EEPROM je območje, ki vsebuje numerične podatke, ki jih program shrani, tako da se ne bi izgubili ob izpadu elektrike, na primer varnostni sistem s kodnim dostopom, pri katerem nadzorno vezje ne sme nikoli izgubiti kode. Njegova velikost je 1 KB. Register datotek (angl. *Register File*) je množica mest RAM pomnilnika, razvrščenih v registre. Njegova zmogljivost je 3936 bajtov.



Slika 12. Mikrokrmilnik PIC18F46K20 [38].

Na Sliki 13 je prikazana arhitektura mikrokrmilnika PIC18F46K20.

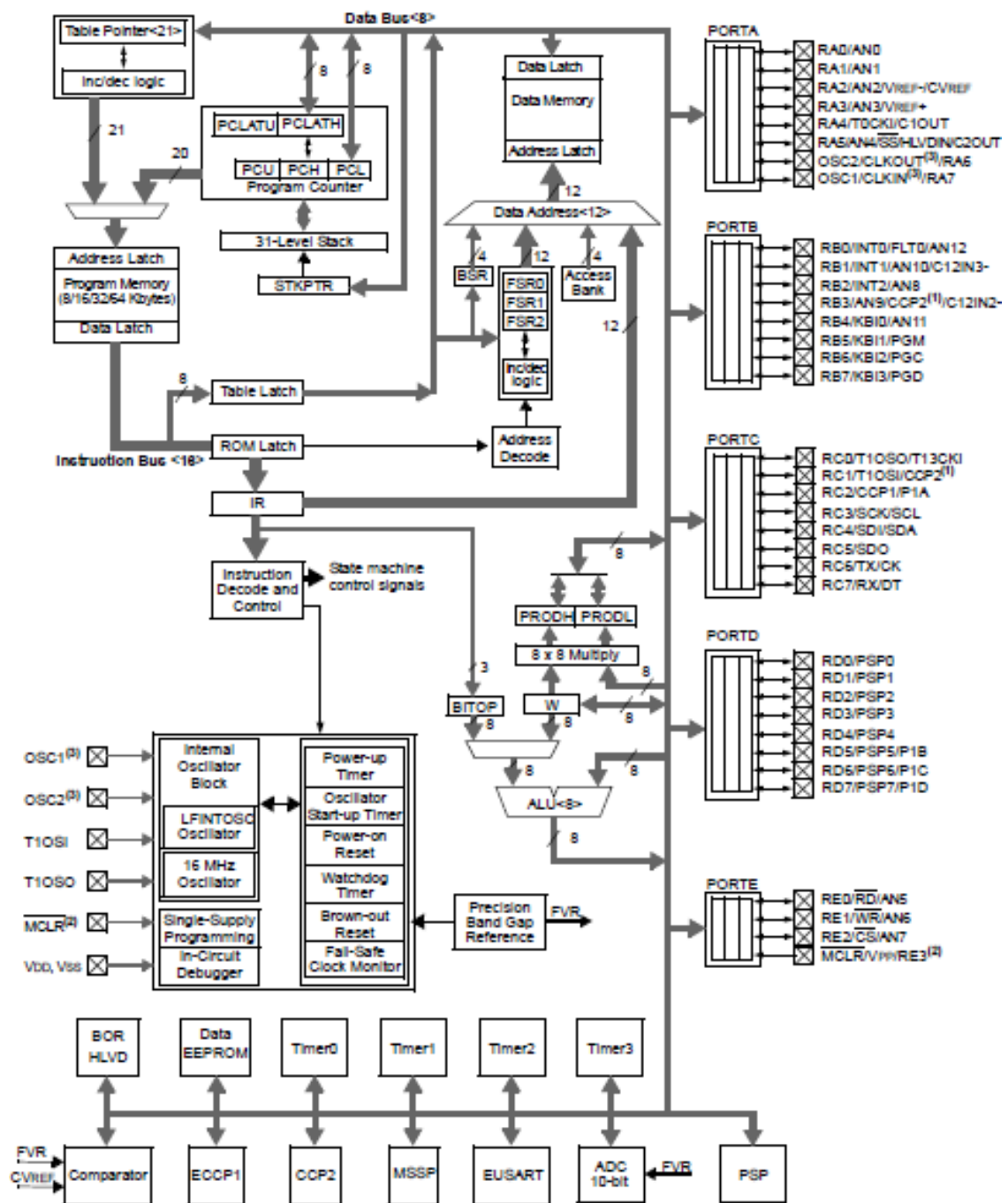
Vsak ukaz, ki ga je treba izvesti, traja 4 cikle, razen ukazi, ki vključujejo skok v pomnilnik (GOTO, CALL in RETLW), ki trajajo 8 ciklov. V zadnjih različicah obstajajo tudi drugi ukazi, ki uporabljajo 8 ciklov, kot so prenos podatkov med pomnilniki (MOVFF).

Zaradi RISC arhitekture, kjer v ukazu poleg pomena zajema tudi naslov shranjevanja ali skok, je pomnilnik segmentiran.

Če želimo spremeniti uporabljen segment, je treba ukrepati na registrih, to otežuje samo programiranje v jeziku assembler, ne pa z visokimi nivojskimi jeziki, kot smo jih uporabili pri razvoju pulznega oksimetra UPPO₂ v magistrski nalogi.

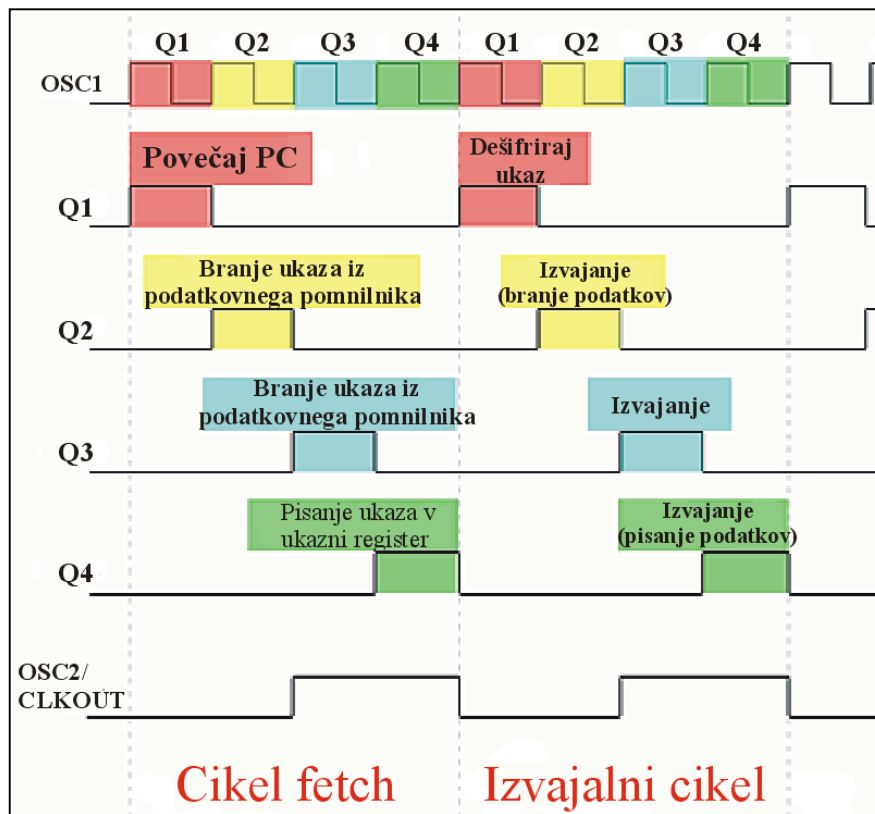
V vsakem mikrokrmilniku se ukazi v programskem pomnilniku izvajajo v zaporedju, zato rabimo uro (angl. *Clock*), ki ustvarja ritmičen takt za opravljanje različnih faz.

V mikrokrmilniku PIC to nalogo izvaja oscilator (kremenčni kristal, keramični resonator itd.). Na Sliki 13 je prikazana pridobljena frekvenca oscilatorja na vhodnih vratih OSC1, ki se deli na štiri dele in ustvarja štiriurne periode (Q1, Q2, Q3, Q4) in dodatno frekvenco (FOSC/4), ki je na voljo na izhodu OSC2/CLKOUT. Štiriurne periode tvorijo en ukazni cikel (ali strojni cikel) in se uporablja, da poudari faze nalaganja (angl. *Fetch*) in izvedbo vsakega ukaza.



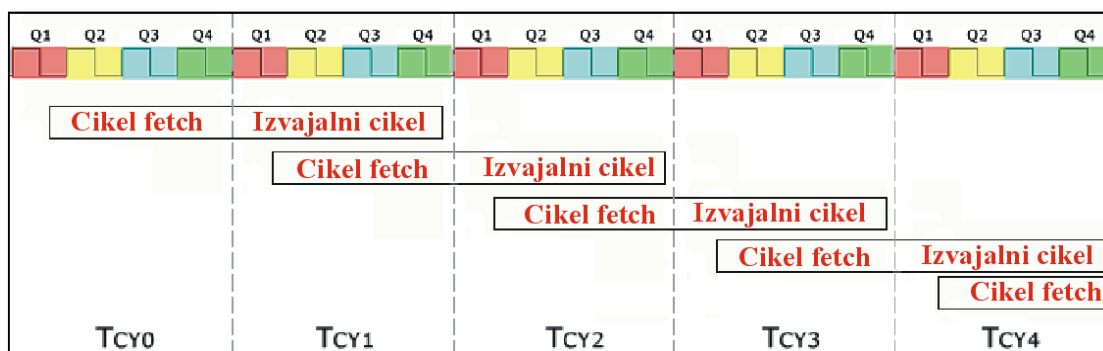
Slika 13. Arhitektura mikrokontroler PIC18F46K20 [38].

Na Sliki 14 je prikazano, da za cikel fetch rabimo en strojni cikel in za izvajalni cikel zahtevamo še dodatnega. To pomeni, da sta za vsak ukaz potrebna dva strojna cikla. V resnici pa uspemo izvesti en ukaz na strojni cikel.



Slika 14. Grafični prikaz strojnega cikla [39].

Arhitektura Harvard omogoča prekriti cikel fetch trenutnega ukaza z izvajalnim ciklom prehodnega ukaza. Kot je prikazano na Sliki 15, le prvi strojni cikel (T_{cy0}) ne bo imel prekritega cikla fetch, medtem ko bodo imeli vsi drugi strojni cikli ($T_{cy1} - T_{cyn}$) prekriti fetch in izvajalni cikel. S takim trikom, ki ga imenujemo »cefovod«, dosežemo, da se vsak ukaz izvaja v enem samem strojnem ciklu.



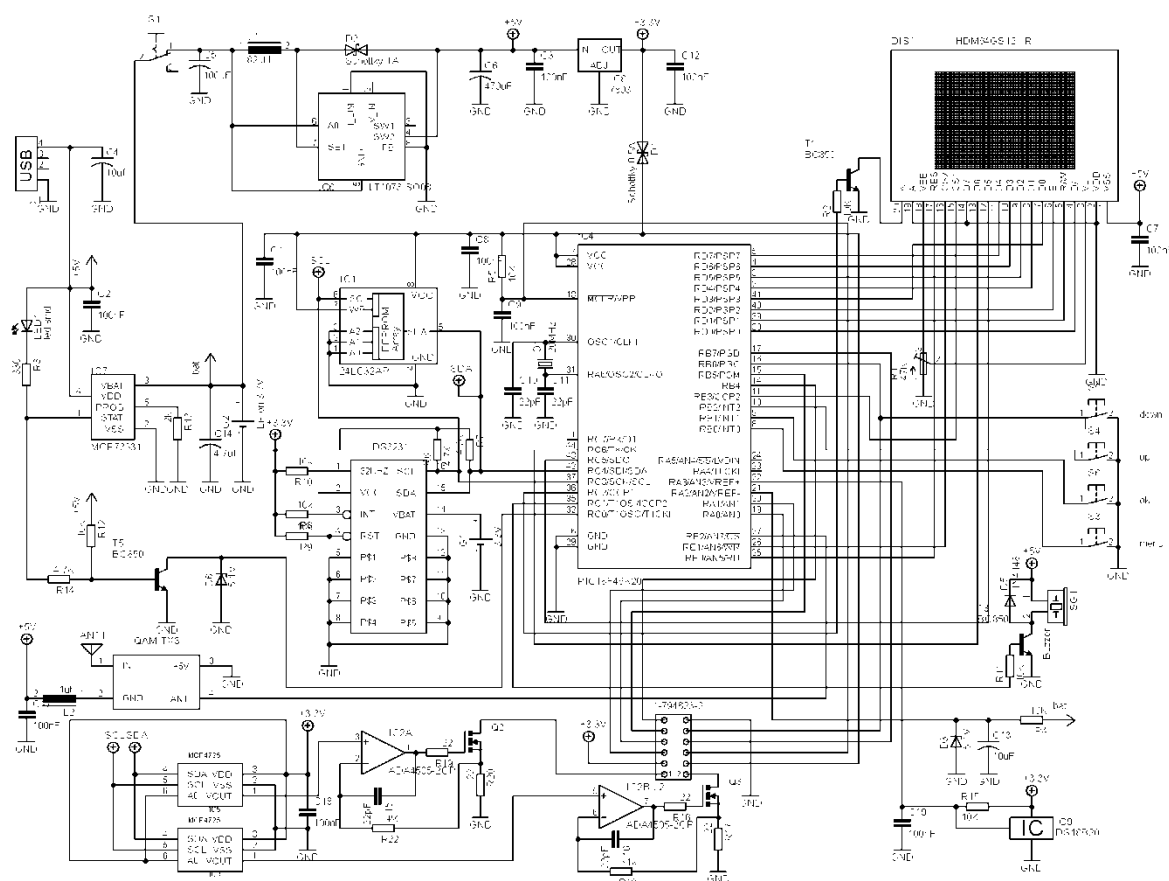
Slika 15. Grafični prikaz poteka cikla fetch [39].

3.3.1 Načrtovanje strojne opreme

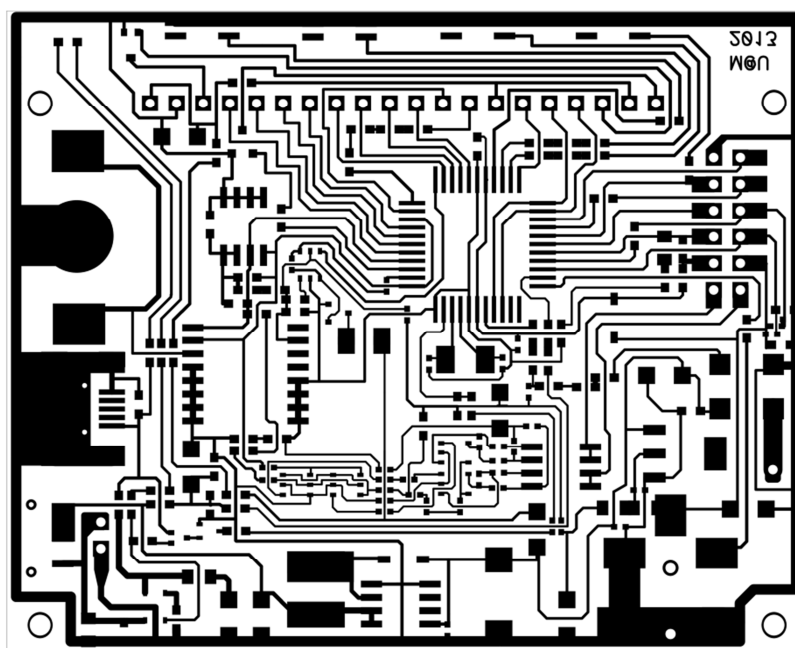
Načrt pulznega oksimetra je bil izdelan s programsko opremo Eagle (kratica za *Easily Applicable Graphical Layout Editor*), in sicer verzijo 6.1.0 podjetja Cadsoft, osnovno izdajo za operativni sistem Windows [26].

Program je sestavljen iz treh modulov za risanje električnih načrtov, risanje tiskanega vezja in avtomatskega povezovalnika (angl. *Autoruter*). Program ima bogato zbirko knjižnic simbolov in podnožja elektronskih komponent. V primeru, da v knjižnici določena komponenta oziroma simbol ne obstaja, nam program omogoča izdelavo lastnih knjižnic in elektronskih komponent. Vgrajeno ima tudi funkcijo preverjanja pravilnosti povezav ERC (angl. *Electrical Rules Check*) in DRC (angl. *Design Rules Check*). Brezplačna različica programa je omejena v velikosti tiskanega vezja, dimenzije 100 mm x 80 mm, omogoča izris električnih načrtov na samo eno stran in je omejena na izdelavo tiskanih vezij na dve plasti.

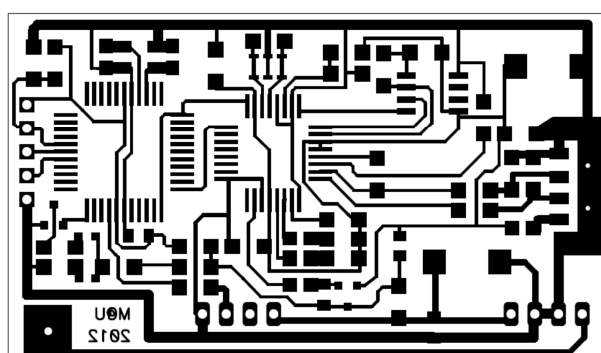
Na Sliki 16 je prikazan električni načrt prikazovalnika pulznega oksimetra, na Sliki 17 sprejemni vmesnik USB in na Sliki 18 naprstno svetlobno tipalo.



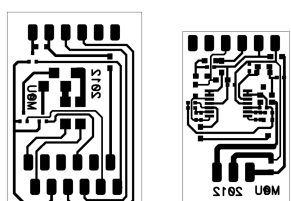
Slika 16. Električna shema prikazovalnika pulznega oksimetra, izdelanega s programsko opremo Eagle.



Slika 19. Slika načrta za izdelavo tiskanega vezja prikazovalnika.



Slika 20. Slika načrta za izdelavo tiskanega vezja sprejemnega vmesnika USB.



Slika 21. Slika načrta za izdelavo tiskanih vezij svetlobnega tipala.

Pridobljeno potemnjeno sliko smo uporabili za izdelavo tiskanega vezja na bakreni ploščici. Nabavili smo že prej popršeno ploščico s fotolakom, nanjo postavili tiskani pavs papir in ga osvetlili za nekaj minut z UV-svetlobo. Na Sliki 22 je prikazana doma izdelana priprava za osvetljevanje.



Slika 22. Ročno izdelana priprava za osvetljevanje.

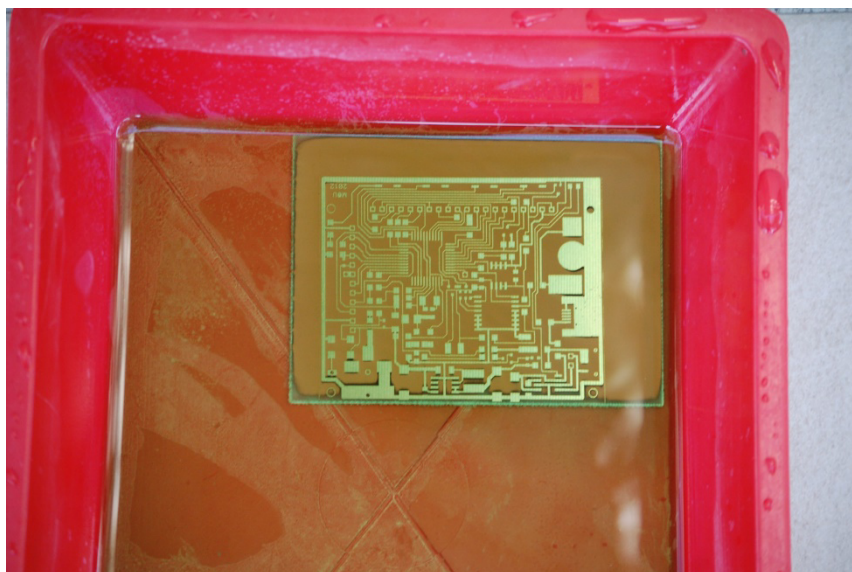
Za razvijanje smo uporabili 5 % raztopino natrijevega hidroksida NaOH (Slika 23). V posodo smo vstavili osvetljeno ploščico in počakali, da se film na neosvetljenih mestih raztopi. Ko se odstrani ves film iz neosvetljenih delov ploščice (po približno dveh minutah), smo razvijanje končali. Vezje smo vzeli iz posode in ga sprali pod tekočo vodo. Ploščica je bila pripravljena na jedkanje.



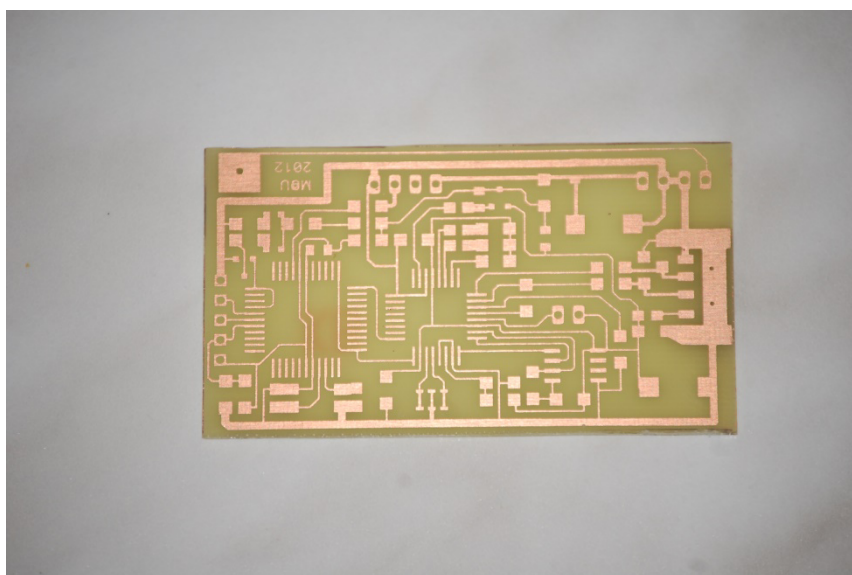
Slika 23. Raztopine za jedkanje (solna kislina in vodikov peroksid) in razvijanje (natrijev hidroksid). Z leve proti desni so solna kislina, vodikov peroksid in natrijev hidroksid.

V posodo smo zlili 1/4 vode (H_2O), 2/4 solne kisline (HCl) in 1/4 vodikovega peroksida (H_2O_2) ter v raztopino vstavili osvetljeno ploščico. Na Sliki 24 je prikazano, kako je začel po nekaj sekundah (odvisno od koncentracije) vidno izginjati baker s ploščice. Takoj ko se je izjedkal ves nezaščiteni baker, smo ploščico vzeli iz posode in jo sprali pod tekočo vodo. Na Sliki 25 je prikazano, kako izgleda jedkana ploščica. V primeru, da jo pustimo v

raztopini predolgo, lahko vezi na ploščici odstopijo. Po končanem jedkanju z namočeno krpo v acetonu odstranimo še preostali film s površine ploščice.

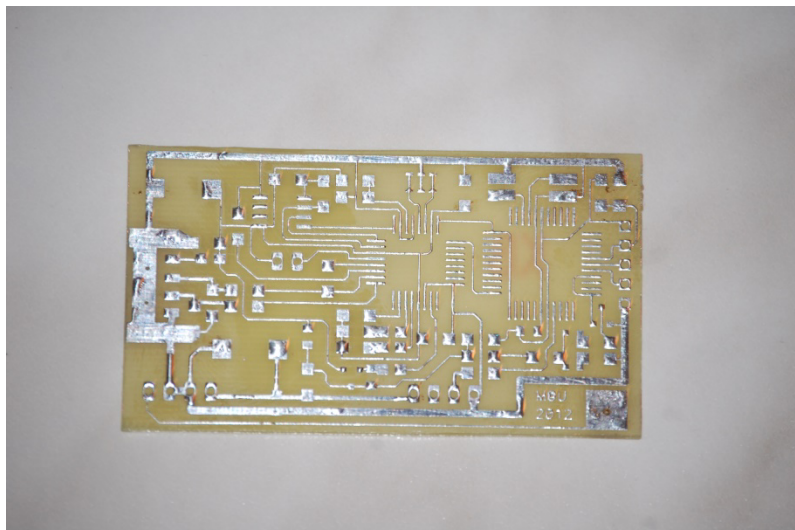


Slika 24. Jedkanje tiskanega vezja prikazovalnika.



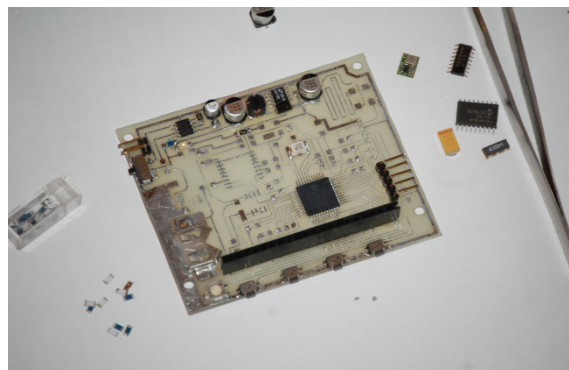
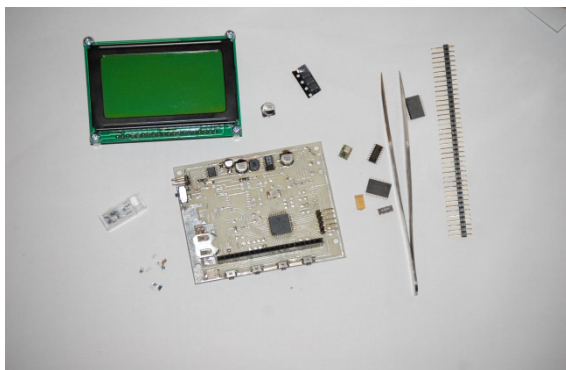
Slika 25. Izjedkano tiskano vezje sprejemnika vmesnika USB.

Da bi zaščitili in istočasno odebelili tanke bakrene vezi smo spajkali celo bakreno površino. To je prikazano na Sliki 26.



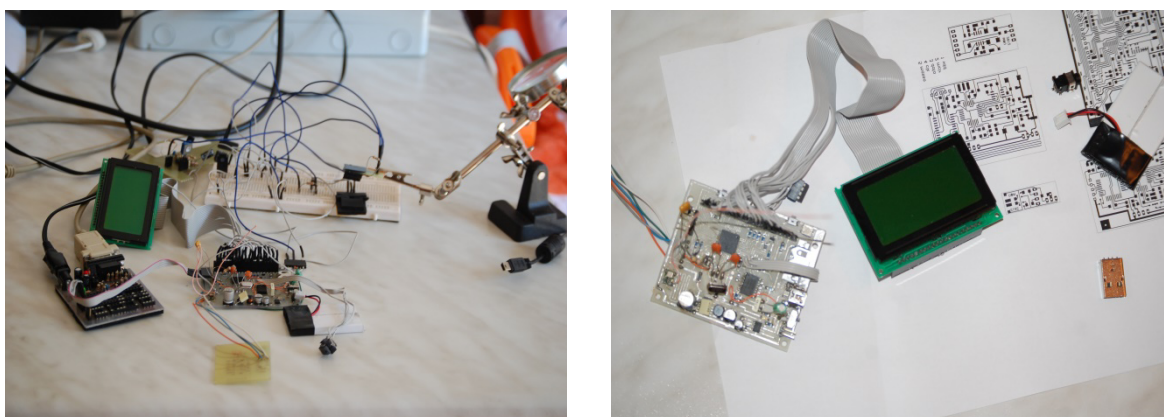
Slika 26. Spajkana bakrena površina.

Pri spajkanju elementov na tiskano vezje smo morali paziti, kako so ti razporejeni po ploščici, saj pri večini elementov moramo upoštevati tudi smer. Pri spajkanju elementov SMD (angl. *Surface Mounted Device*) smo si pomagali s pinceto s tankimi konicami in z napravo za spajkanje na topli zrak (Slika 27). Ker so komponente zelo majhne (1mm), je pri spajkanju priporočljiva uporaba povečevalnega stekla ali mikroskopa.

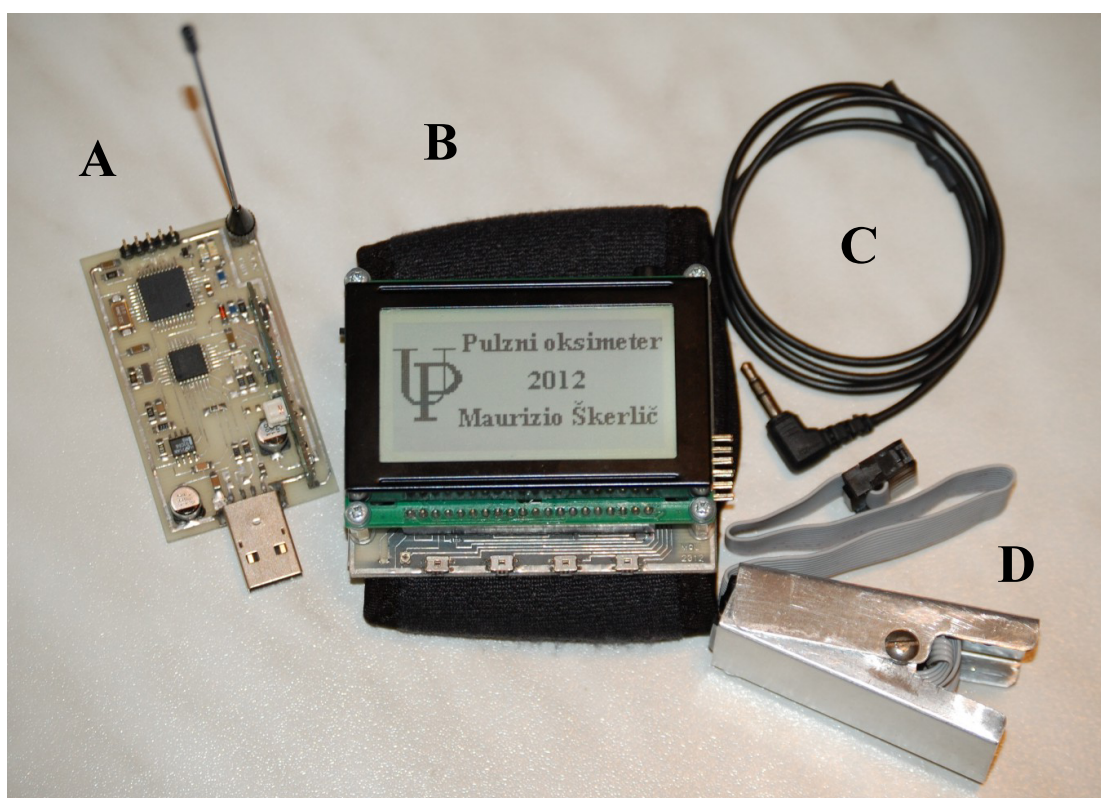


Slika 27. Spajkanje elementov SMD na ploščici.

Za pospešitev razvoja pri načrtovanju izdelka je bilo izdelanih več prototipov. Na Sliki 28 je prikazana faza testiranja prototipov med načrtovanjem. Na Sliki 29 je prikazan končni izdelek pulznega oksimetra UPPO₂.



Slika 28. Prototipi v fazi načrtovanja.



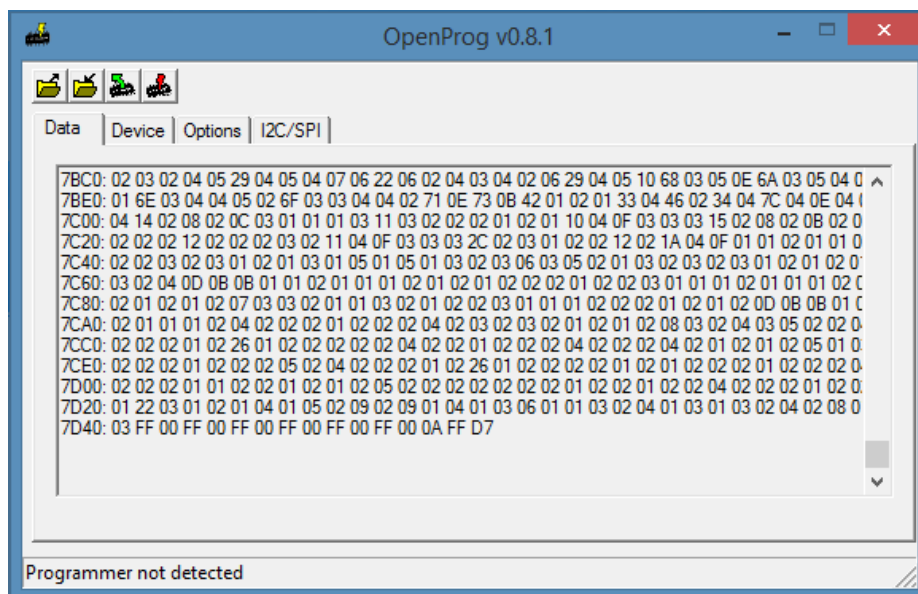
Slika 29. Končni izdelek pulznega oksimetra. Sprejemni vmesnik USB (A), prikazovalna enota (B), temperaturno tipalo (C) in svetlobno tipalo (D).

3.3.3 Programiranje strojne opreme

Mikrokrmilniki so bili programirani s programatorjem USB, izdelanim doma. Ime programatorja je »Open Programmer v0.9.x« (Slika 30), razvil pa ga je Italijan Alberto Maccioni. Poleg strojne opreme je razvil tudi programsko opremo »OpenProg v0.8.1« za operativne sisteme Windows in Linux (Slika 31). To je edini popolnoma brezplačni in odprtokodni programator, ki zna poleg mikrokrmilnikov PIC programirati tudi razne druge mikrokrmilnike in neizbrisljive zaporedne pomnilnike EEPROM.



Slika 30. Prototip odprtokodnega programatorja Open Programmer v0.9.x [24].



Slika 31. Programska oprema OpenProg v0.8.1 [24].

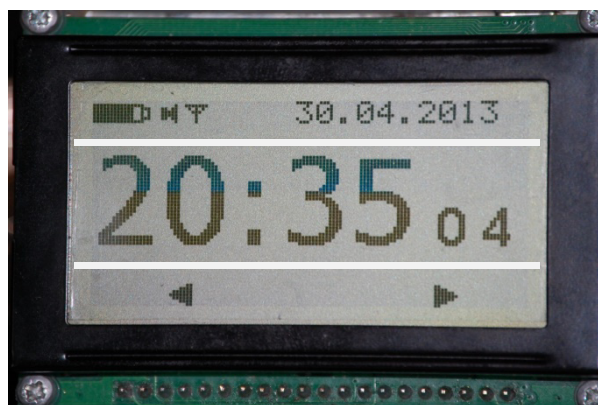
3.4 Programska oprema prikazovalnika

Uporabniški vmesnik je zelo preprost, jasen in vsem razumljiv. Zaslona se deli na tri polja. Gornji del, na katerem so prikazani z leve proti desni strani, na primer: ikone za stanje baterije, za vklopljene oz. izklopljene funkcije ter ura ali datum. Sredinski del predstavlja glavni del zaslona, na katerem so prikazane meritve ali druge vrednosti, odvisno od izbranega menija. Spodnji del zaslona prikazuje grafično funkcije izbirne tipke. Na Sliki 32 je prikazana delitev zaslona prikazovalnika na polja. Na Sliki 33 so prikazani opis ikon na zaslonu in druge funkcije pulznega oksimetra UPPO₂.

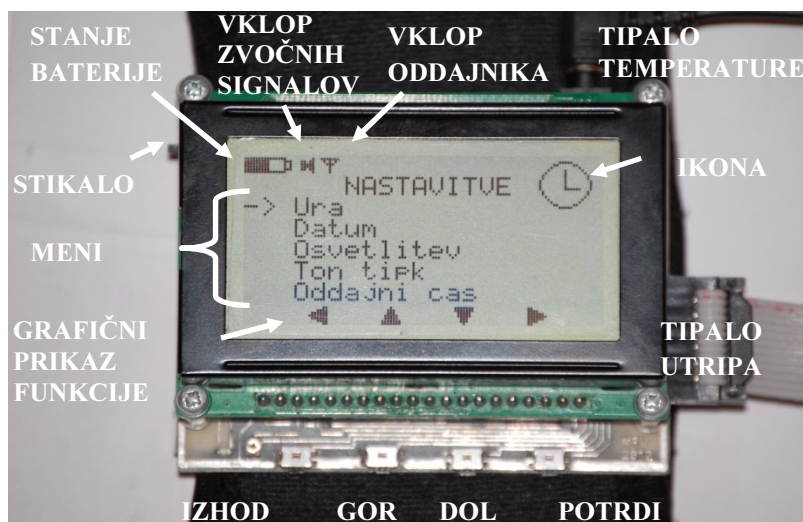
Gornji del zaslona

Sredinski del zaslona

Spodnji del zaslona

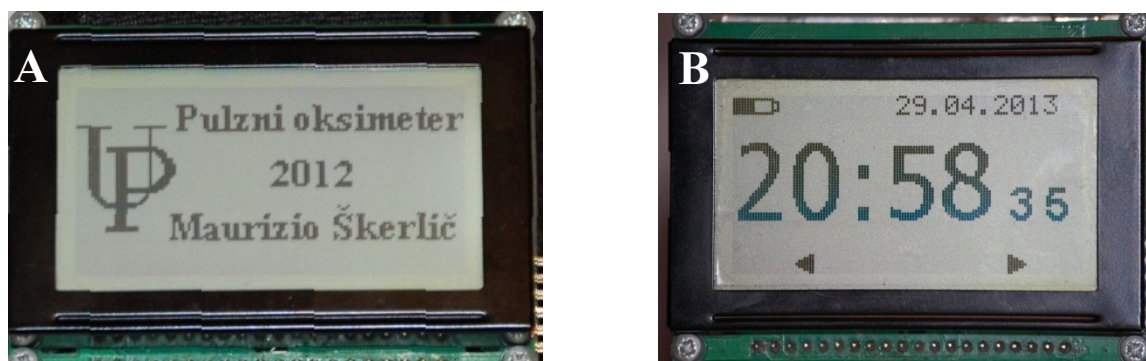


Slika 32. Delitev zaslona prikazovalnika pulznega oksimetra.



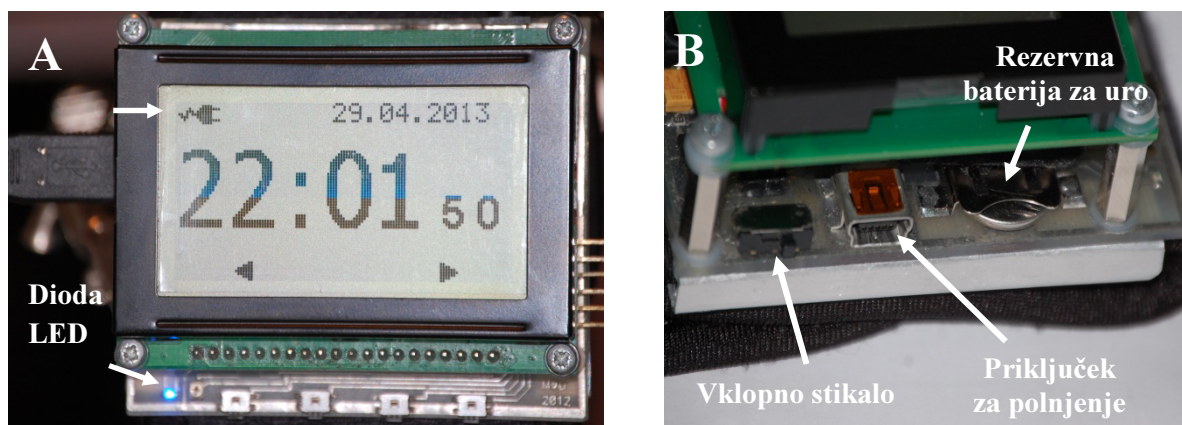
Slika 33. Opis prikazovalnika pulznega oksimetra UPPO₂.

Takoj po vklopu pulznega oksimetra UPPO₂ s stikalom se na zaslonu prikaže vizitka avtorja (Slika 34 A), po nekaj sekundah pa trenutni čas in datum (Slika 34 B). Na isti način napravo izklopimo.



Slika 34. Vizitka avtorja (A) in prikaz ure in datuma na zaslonu po vklopu prikazovalnika (B).

Prikazovalnik ima vgrajeno zmogljivo litij-ionsko baterijo z visoko avtonomijo, ki zagotavlja celodnevno delo. Slika 35 prikazuje, kako lahko baterijo napolnimo preko vtičnice mini USB s polnilnikom ali preko računalniškega priključka USB. Med polnjenjem se vključi plava dioda LED (angl. *Light Emitting Diode*) in na zaslonu se prikaže ikona v obliki vtiča (Slika 35 A). Po končanem polnjenju baterije plava dioda LED ugasne. Ko je baterija povsem polna, najprej iztaknemo polnilnik iz naprave, nato še iz električne vtičnice. Med polnjenjem lahko prikazovalnik uporabljamo, v tem primeru je čas polnjenja daljši.



Slika 35. Polnjenje baterije s polnilnikom (A), pogled prikazovalnika od strani (B).

Za polnilnik lahko uporabimo združljivi polnilnik USB, ki mora zagotoviti stabilizirani tok 5 V in vsaj 500 mA jakosti. Če bi ga med polnjenjem uporabljali, je priporočljivo imeti polnilnik z jakostjo 1000 mA. Na Sliki 36 so prikazani različni modeli polnilnikov. Naprave ni priporočljivo uporabljati, ko je baterija prazna. Ko se baterija izprazni, jo moramo čimprej napolniti ali izklopiti napravo. V nasprotnem primeru se lahko baterija poškoduje oziroma se njena življenjska doba prekomerno skrajša.



Slika 36. Združljivi polnilniki USB.

3.4.1 Opis prikazovalnika

Prikazovalnik UPPO₂ ima na razpolago veliko število grafičnih ikon, od stanja baterije, prikaza srčnega utripa, prikazanega vklopljenega oziroma izklopljenega zvočnega signala in oddajanja podatkov do menija nastavitve ure, datuma in ostalega. V Tabeli 3 so našteje ikone, ki jih prikazuje pulzni oksimeter.

Tabela 3. Opis grafičnih ikon pulznega oksimetra UPPO₂.

IKONE	OPIS GRAFIČNIH IKON
	Prikaz stanja polnjenja litij-ionske baterije
	Prikaz polne litij-ionske baterije
	Prikaz prazne litij-ionske baterije
	Polnjenje baterije preko omrežnega polnilca ali računalniškega priključka USB
	Prikaz funkcije tipke levo
	Prikaz funkcije tipke gor oziroma zvišati vrednost
	Prikaz funkcije tipke dol oziroma znižati vrednost
	Prikaz funkcije tipke desno
	Meni ura oziroma meni nastavitve ure

	Meni srčnega utripa oziroma pletizmografski pogled
	Meni merjenja nasičenosti krvi s kisikom
	Meni merjenja temperature
	Meni nastavitve
	Meni nastavitv datuma
	Izklopljeni zvočni signali
	Vklopljeni zvočni signali
	Izklopljena osvetlitev ozadja zaslona
	Vklopljena osvetlitev ozadja zaslona
	Izklopljeno oddajanje podatkov
	Vklopljeno oddajanje podatkov
	Prikaz srčnega utripa v realnem času
	Prikaz vklopljenega oddajnika
	Prikaz vklopljenega zvočnega signala
	Prikaz oddajanja podatkov

3.4.1.1 Glavni meni

Po vklopu prikazovalnika s pritiskom na tipko »◀« se prikaže glavni meni (Slika 37). S tipkama »▲« in »▼« lahko pomaknemo kazalca »→« gor in dol po meniju. Želeni meni izberemo tako, da potrdimo s pritiskom na tipko »▶«, izbrani meni se prikaže na zaslonu.

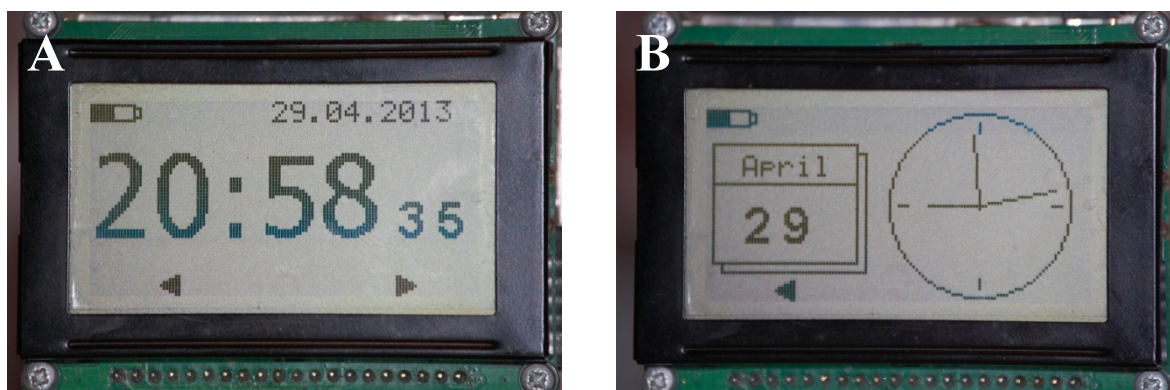


Slika 37. Glavni meni.

3.4.1.2 Prikaz ure in datuma

Prikazovalnik ima dve možnosti za prikaz ure: digitalni (Slika 38 A) in analogni (Slika 38 B). Analognega izberemo tako, da pritisnemo na tipko »▶«. Če želimo, se lahko ponovno vrnemo na digitalni prikaz ure tako, da pritisnemo na tipko »◀«.

Za izhod in ponovno vrnitev na glavni meni pritisnemo na tipko »◀«.



Slika 38. Digitalni (A) in analogni (B) prikaz ure in datuma.

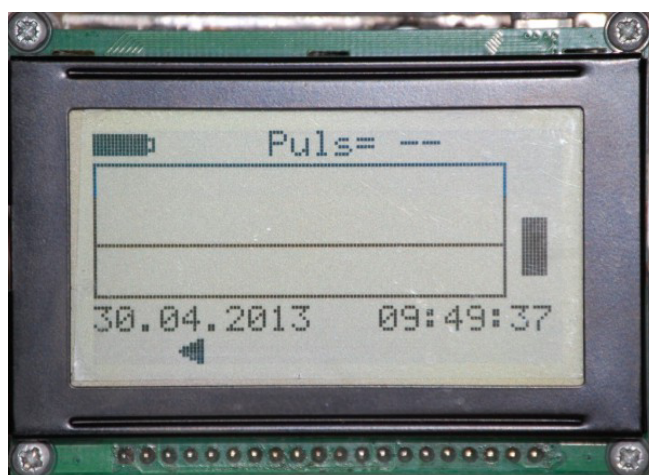
3.4.1.3 Merjenje srčnega utripa

S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »→« na položaj »Srčni utrip« (Slika 39). S kratkim pritiskom na tipko »▶« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



Slika 39. Izbira menija srčnega utripa.

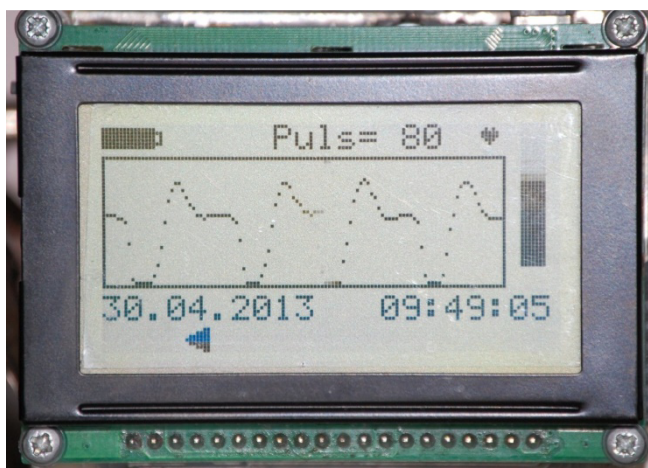
Če smo pozabili priključiti svetlobno tipalo ali ga nismo nataknili na prst, se na zaslonu ne izpiše noben podatek (Slika 40).



Slika 40. Prikazovalnik čaka na signal svetlobnega tipala.

Če smo tipalo priklopili in ga pravilno nataknilo na srednji prst leve roke, ki je najustrežnejši za meritve, stolpec amplitude takoj utripa in se začne pomikati; za vsak srčni utrip na zaslonu se prikaže ikona v obliki srčka. Istočasno se na prikazovalniku izriše pletizmogram srčnega utripa (Slika 41). Prikazovalnik šteje utrip in vsakih 10 sekund izpiše rezultat.

Pri merjenju srčnega utripa mora uporabnik mirovati in ne migati s prsti, saj to vpliva na natančnost podatkov, kar lahko vodi do nepravilnih rezultatov. Tudi naprstno tipalo moramo pazljivo nataknilo, da ne bo pritiskalo na prstno blazinico in preprečevalo prekrvavitve. Zmanjšano prekrvavitev bomo opazili na zaslonu kot zmanjšanje amplitude srčne utripa. Omeniti je treba še, da se na spodnjem polju zaslona ves čas izpisujeta ura in datum. Za izhod in ponovno vrnitev na glavni meni pritisnemo na tipko »◀«.



Slika 41. Pletizmogram srčnega utripa.

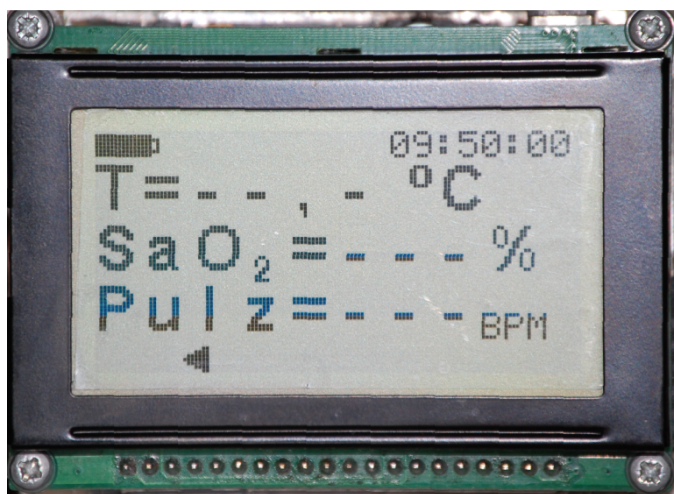
3.4.1.4 Merjenje nasičenosti krvi s kisikom

S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »→« na pozicijo »Nasičenost kisika« (Slika 42). S kratkim pritiskom na tipko »▶« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



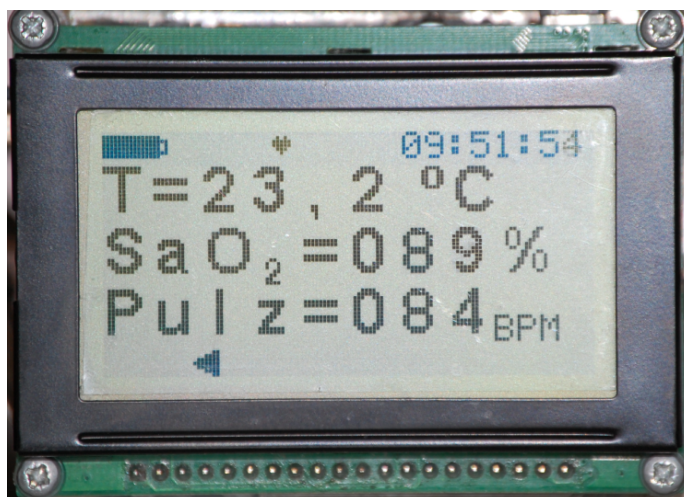
Slika 42. Izbira menija nasičenosti krvi s kisikom.

Če smo pozabili priklopiti svetlobno tipalo oziroma ga nismo nataknili na prst ali nismo priklopili temperaturnega tipala na zaslonu, se izpiše izbrana funkcija, prikazana na Sliki 43. Če smo svetlobno tipalo priklopili in ga pravilno nataknili na srednji prst, začne za vsak srčni utrip utripati ikona v obliki srčka. Prikazovalnik šteje utrip in vsakih 10 sekund izpiše vrednost srčnega utripa in nasičenost kisika. Če na prikazovalniku priklopimo temperaturno tipalo, se na zaslonu takoj izpiše vrednost izračunane temperature. Če tipalo odstranimo iz prikazovalnika ali če pride do napake pri komunikaciji, se na zaslonu izpiše simbol »-,-« . To je prikazano na Sliki 43.



Slika 43. Prikazovalnik čaka na priklop tipala.

Pri izmerjeni vrednosti temperature, nasičenosti kisika v krvi in pri pulzu se izpišejo vrednosti na zaslonu, kot je prikazano na Sliki 44.



Slika 44. Izpis vrednosti meritve temperature, nasičenosti kisika v krvi in pulza.

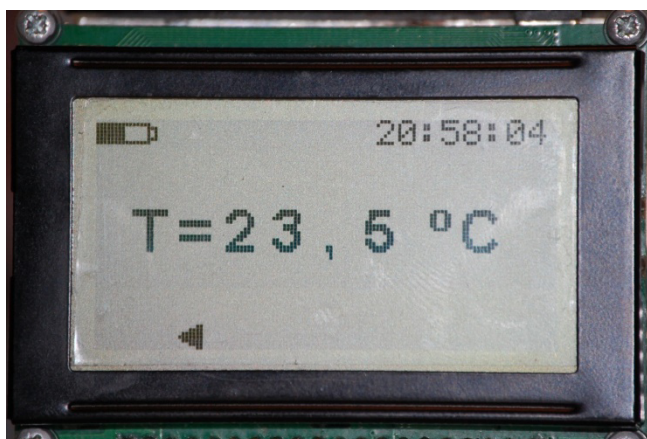
3.4.1.5 Merjenje temperature

S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »→« na pozicijo »Temperatura« (Slika 45). S kratkim pritiskom na tipko »►« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



Slika 45. Izbira menija temperatura.

Če na prikazovalniku priklopimo temperaturno tipalo, se takoj izpiše vrednost izračunane temperature na zaslonu, kot je prikazano na Sliki 46. Če tipalo odstranimo iz prikazovalnika ali pride do napake pri komunikaciji, se na zaslonu izpiše simbol »-,-«.



Slika 46. Izpis vrednosti merjenja temperature.

3.4.1.6 Nastavitve

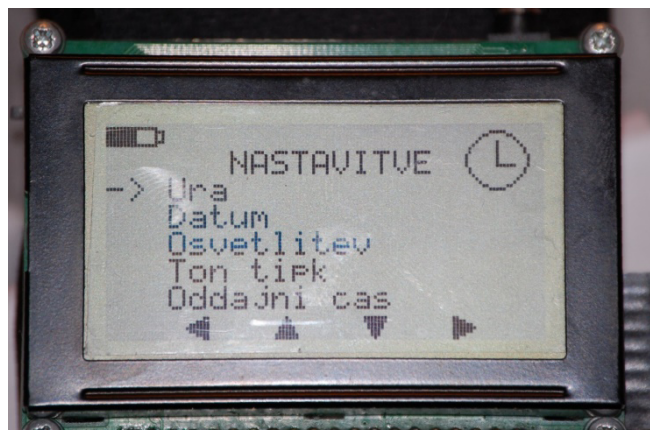
S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »->« na pozicijo »Nastavitve« (Slika 47). S kratkim pritiskom na tipko »▶« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



Slika 47. Izbira menija nastavitve.

3.4.1.7 Nastavitve ure

S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »->« na pozicijo »Ura« (Slika 48). S kratkim pritiskom na tipko »▶« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



Slika 48. Izbira menija nastavitvev ure.

Prednastavljena ura je poudarjena s potemnjnim ozadjem številke. Zaslona je prikazan na Sliki 49. S tipkama »▲« in »▼« nastavimo želeno uro in s tipko »▶« potrdimo izbiro, zatem nam program ponuja, da nastavimo minute in tudi sekunde. Tako je ura nameščena in program se samodejno vrača na meni nastavitve. Če hočemo preklicati izbiro ali se želimo vrniti na meni nastavitve, moramo pritisniti na tipko »◀«.



Slika 49. Nastavitev ure.

3.4.1.8 Nastavitev datuma

S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »→« na pozicijo »Datum« (Slika 50). S kratkim pritiskom na tipko »►« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



Slika 50. Izbira menija nastavitve datuma.

Prednastavljen je dan v tednu, ki je poudarjen s potemnjem ozadjem, to je prikazano na Sliki 51. S tipkama »▲« in »▼« nastavimo želeni dan in s tipko »►« potrdimo izbiro, zatem nam program ponuja, da nastavimo dan v mesecu, mesec in leto. Po končani nastavitvi datuma se program samodejno vrača na meni nastavitve. Če hočemo preklicati izbiro ali se želimo vrniti na meni nastavitve, moramo pritisniti na tipko »◀«.



Slika 51. Nastavitev datuma.

3.4.1.9 Nastavitev osvetlitve

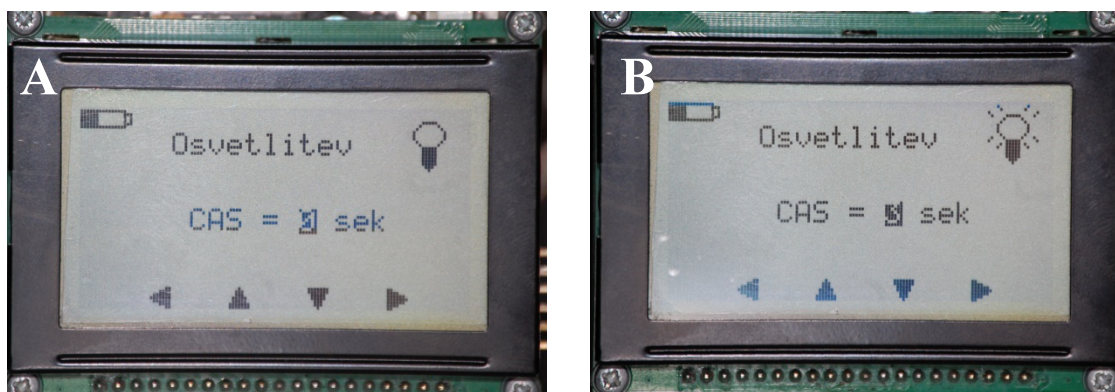
V tem meniju nastavljammo zakasnitev izklopa osvetlitve ozadja zaslona.

S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »→« na pozicijo »Osvetlitev« (Slika 52). S kratkim pritiskom na tipko »▶« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



Slika 52. Izbira menija osvetlitev.

Zaslon je prikazan na Sliki 53. S tipkama »▲« in »▼« izberemo želeno vrednost od 0 do 255 in s tipko »▶« potrdimo izbiro. Po končani nastavitvi se program samodejno vrača na meni nastavitve. Če hočemo preklicati izbiro ali se želimo vrniti na meni nastavitve, moramo pritisniti na tipko »◀«. Ko izberemo zakasnitev 0, je osvetlitev ozadja izključena.



Slika 53. Nastavitev osvetlitve: izklopljena osvetlitev (A), vklopljena osvetlitev (B).

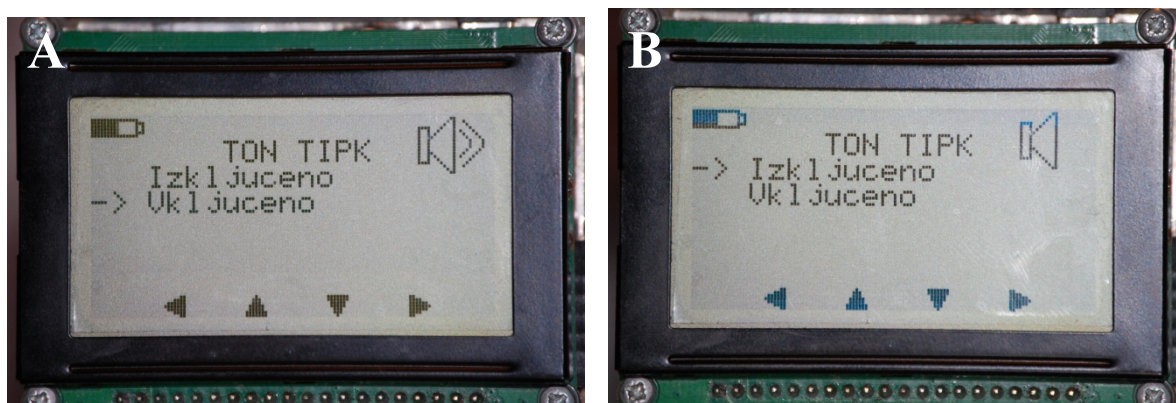
3.4.1.10 Nastavitev tona tipk

S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »→« na pozicijo »Ton tipk« (Slika 54). S kratkim pritiskom na tipko »▶« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



Slika 54. Izbira menija ton tipk.

Zaslon je prikazan na Sliki 55. S tipkama »▲« in »▼« lahko izbiramo med vključenim ali izključenim zvočnim signalom in s tipko »▶« potrdimo izbiro. Po končani nastavitvi se program samodejno vrača na meni nastavitve. Če hočemo preklicati izbiro ali se želimo vrniti na meni nastavitve, moramo pritisniti na tipko »◀«. Ko je vključen zvočni signal, se na gornjem polju zaslona menija prikaže ikona v obliki zvočnika. Če je zvočni signal vključen, je pri meritvah srčnega utripa za vsak utrip poleg ikone v obliki srčka slišati kratek pisk.



Slika 55. Nastavitev ton tipk: vključeno (A), izključeno (B).

3.4.1.11 Nastavitev oddajnega časa

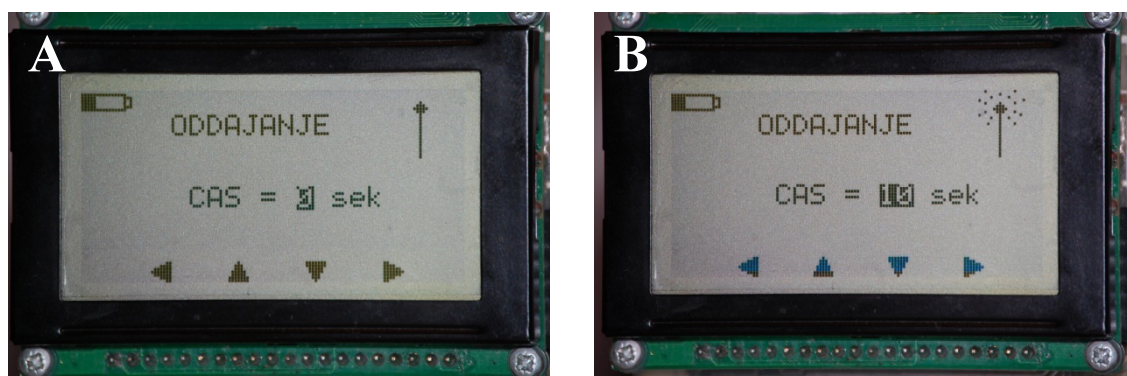
V tem meniju nastavljamo interval oddajanja podatkov.

S tipkama »▲« in »▼« pomaknemo kazalec »→« na pozicijo »Oddajni čas« (Slika 56). S kratkim pritiskom na tipko »▶« potrdimo izbiro in izbrani meni se prikaže na zaslonu.



Slika 56. Izbira menija oddajni čas.

Zaslon je prikazan na Sliki 57. S tipkama »▲« in »▼« izberemo želeno vrednost od 0 do 255 in s tipko »▶« potrdimo izbiro. Po končani nastavitvi se program samodejno vrača na meni nastavitve. Če hočemo preklicati izbiro ali se želimo vrniti na meni nastavitve, moramo pritisniti na tipko »◀«. Ko izberemo zakasnitev 0 sekund, je oddajanje izključeno.



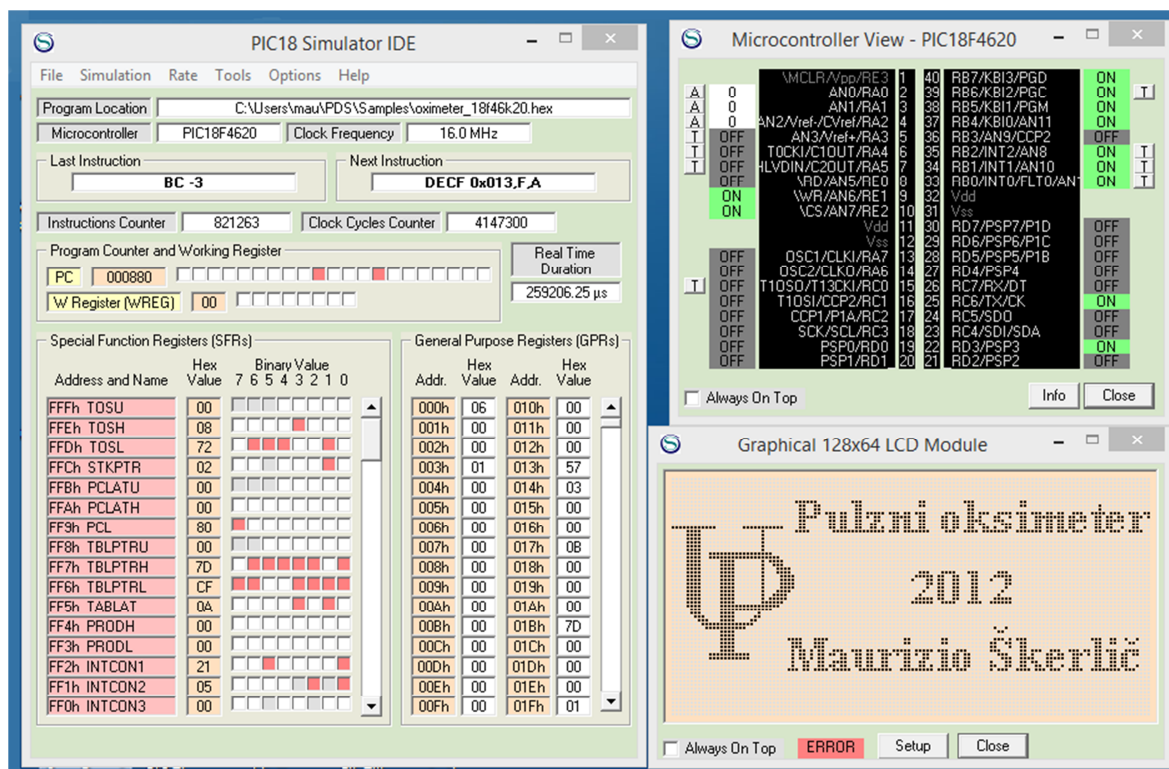
Slika 57. Nastavitev oddajanje podatkov: izklopljeno oddajanje (A), vklopljeno oddajanje (B).

3.5 Simulacija programske opreme UPPO₂

Da bi lažje razvili programsko opremo pulznega oksimetra UPPO₂, smo za simulacijo uporabili programsko orodje »PIC 18 Simulator IDE«, prikazano na Sliki 58.

S simulacijo smo si poenostavili delo, zmanjšali možnost napak, hitro ugotovili nepredvidljive napake pri programiranju in tako optimizirali zmogljivost sistema.

Programsko orodje je plačljivo in ga razvija podjetje Oshon. Slika 58 prikazuje simulacijo delovanja programske opreme pulznega oksimetra UPPO₂.



Slika 58. Simulacija delovanja programske opreme pulznega oksimetra UPPO₂.

3.6 Programska oprema informacijskega sistema

Programska oprema informacijskega sistema je razširitev prikazovalnika pulznega oksimetra. Vrednosti meritve srčnega utripa, nasičenosti krvi s kisikom in merjenja temperature se brezžično prenašajo iz prikazovalnika preko sprejemnega vmesnika USB na računalnik oziroma strežnik. Vsaka nastavitev meritve na prikazovalniku pulznega oksimetra se preslika na spletno stran, vrednost, datum in ura posamične meritve pa se shranijo v podatkovni bazi.

Cilj informacijskega sistema je ohraniti sistem enostaven za uporabo, vendar dovolj učinkovit in varen. Aplikacija shrani v podatkovno bazo poleg meritev tudi bolnikove osebne podatke.

Informacijski sistem po vsaki meritvi neposredno izračuna minimalno, maksimalno in srednjo vrednost. Zmožen je analizirati zgodovino meritev, tako da vrednosti iz podatkovne baze prebere in prikaže na spletni aplikaciji informacijskega sistema v tabelarni ali grafični obliki. Osnovni komponenti informacijskega sistema sta spletni strežnik in strežnik s podatkovno bazo. Spletni strežnik gosti informacijski sistem in hkrati vsebuje sprejemni vmesnik USB. Spletni strežnik komunicira s strežnikom podatkovne baze prek vmesnika za pošiljanje poizvedb oziroma posodobitev baze podatkov.

Specifičnih omejitev pri postavitvi informacijskega sistema ni, saj ne vsebuje kompleksnih procesov, ki bi zahtevali veliko količino resursov. Specifikacije strežnika je težko določiti, le-te so odvisne od števila bolnikov, saj se z njihovim številom sorazmerno povečuje tudi število uporabnikov, posledično spletni portal obiskuje več oseb.

To je eden izmed razlogov za zahtevo po dodatnem strežniku, na katerem bo postavljena podatkovna baza. Tako bodo podatki hranjeni v lokalnem omrežju in ne bodo izpostavljeni medmrežju.

3.6.1 Načrtovanje programske opreme informacijskega sistema

Uspešno, učinkovito in varno delovanje informacijskih sistemov je odvisno predvsem od ustreznega načrtovanja, v katerem morajo biti predhodno zelo jasni zahteve in cilji. Za zanesljivo delovanje pa je še bolj pomembno kvalitetno vzdrževanje.

Da bi hitreje, učinkoviteje in modularno razvili komponente, smo pri načrtovanju informacijskega sistema uporabili UML modeliranje. Zahvaljujoč dokumentaciji jezika UML postane še lažje razvijati programsko opremo in izvajati v prihodnosti morebitne spremembe kode; vse to je v korist vzdrževalnih stroškov sistema.

Kot smo že razpravljali v poglavju 3.1 in 3.2, smo poleg diagramov primera uporabe in diagramov komponent za modeliranje informacijskega sistema uporabili tudi diagrame zaporedja, prikazani v Prilogi B.

Kot pri modeliranju programske opreme pulznega oksimetra smo tudi za informacijski sistem najprej uporabili statični diagram UML, kot je diagram komponente, ki daje statični pogled na sistem, nato smo uporabili dinamične diagrame UML, kot so diagram primera

uporabe in diagrami zaporedja (angl. *Sequence Diagram*), ki dajo dinamičen pregled na sistem.

Na Prilogi 12 je prikazan diagram zaporedja prijave skrbnika informacijskega sistema. Skrbnik v prijavno spletno stran vpiše uporabniško ime in geslo. Po potrditvi vnosa prijavnna spletna stran preveri uporabniško ime in geslo v podatkovni bazi. V primeru, da je vnos pravilen, se prikaže spletna stran skrbnika, v nasprotnem primeru se prikaže sporočilo »Vnesli ste napačno uporabniško ime ali geslo«.

Prijava uporabnika v informacijski sistem je podobna prijavi skrbnika informacijskega sistema, to je prikazano na Prilogi 13. Diagram zaporedja prikaže, kako prijavnna spletna stran po uspešnem preverjanju uporabniškega imena in gesla v podatkovno bazo prikaže uporabniško spletno stran.

Na Prilogi 16 je prikazan diagram zaporedja vnosa in urejanje bolnikovih podatkov.

Skrbnik informacijskega sistema lahko izbere bolnika po imenu ali po številki zdravstvenega kartona. Po izbiri ima na voljo dve možnosti urejanja bolnikovih osebnih podatkov ali izbris bolnika iz podatkovne baze. V primeru, da se odloči za urejanje bolnikovih osebnih podatkov, da bi se ti shranili v podatkovni bazi, mora potrditi s pritiskom na gumb »shrani«.

Najobsežnejši del informacijskega sistema je diagram zaporedja spletne strani meritev, prikazan na Prilogi 15.

Uporabnik po uspešni prijavi lahko izbere bolnika po imenu ali številki zdravstvenega kartona. Spletna stran iz podatkovne baze zahteva osebne podatke izbranega bolnika in jih prikaže na zaslonu. Uporabnik ima na voljo dve možnosti. Lahko izbere prikaz zgodovine izmerjenih podatkov izbranega bolnika ali pa začanja novo meritev. V primeru, da v podatkovni bazi že obstajajo stare meritve, se prikaže sporočilno okno, ki nas opomni, da lahko stare podatke izbrišemo ali obdržimo. Po izbiri se prikaže spletna stran meritve. Izmerjeni podatki, posredovani iz pulznega oksimetra, se neposredno izpišejo na spletno stran in v podatkovno bazo meritev.

3.6.2 Izvedba programske opreme informacijskega sistema

Spletne strani informacijskega sistema verzija 2.0 je treba namestiti v mapi z imenom »pulzni_oksimer« na strežniku HTTP (na primer Apache).

Poleg omenjenega strežnika rabi aplikacija za delovanje podatkovno bazo (na primer odprtokodni sistem MySQL [33]), v katero shrani tudi vrednosti meritev, poleg uporabniškega računa in bolnikovih osebnih podatkov. Podatkovna baza in spletne strani so lahko nameščene na istem strežniku. Spletno aplikacijo uporabnik upravlja preko spletnega brskalnika z uporabo namiznega računalnika, tabličnega računalnika ali mobilnega pametnega telefona.

Za izdelavo informacijskega sistema smo uporabili programske jezike Javascript [18], AJAX [3] in PHP [2]. Priporočljivo je na strežniku namestiti najnovejšo različico programske opreme PHP.

Za brezžično komunikacijo med pulznim oksimetrom in informacijskim sistemom na strežniku je treba priklopiti sprejemni vmesnik USB. Pri načrtovanju vezja za komunikacijo preko priključka USB je bilo uporabljeno integrirano vezje FT232B. To je virtualni pretvornik vrat COM oziroma pretvornik vmesnika UART (angl. *Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) na USB.

Da bi operacijski sistem pravilno zaznal strojno opremo sprejemnega vmesnika, je treba pred priklopom v priključku USB naložiti ustrezni gonilnik. Programsko opremo gonilnika VCP (angl. *Virtual Com Port*) verzija 2.08.28 lahko prenesemo iz spletne strani podjetja FTDI iz [13]. Za morebitna pojasnila o namestitvi gonilnika lahko preberemo navodila, ki so dosegljiva na spletni strani [13].

Po uspešni namestitvi gonilnika vstavimo sprejemni vmesnik v računalniški priključek USB. Ker uporabljeni jeziki zaradi varnosti ne podpirajo komunikacije z napravami USB s človeškim vmesnikom HID (angl. *Human Interface Device*), smo morali napisati sami program v programskem jeziku C#, ki informacijski sistem samodejno zažene pred začetkom meritev. Program je uporabniku neviden, v ozadju komunicira s sprejemnim vmesnikom USB, prebere meritve in jih shrani v datoteko XML.

Informacijski sistem ves čas nadzira datoteko XML in v slučaju, da se vsebina spremeni, jo prebere, vrednosti prikaže na zaslonu in jih neposredno shrani v podatkovno bazo.

Informacijski sistem rabi za pravilno delovanje dve podatkovni bazi, eno z imenom »oximeter« in drugo z imenom »bolniki«. V podatkovni bazi »oximeter« se shranijo uporabniški računi in bolnikovi podatki, v ta namen je treba ustvariti dve tabeli, eno z imenom »login« za uporabniške račune in drugo z imenom »bolnik« za bolnikove podatke. Ker informacijski sistem v podatkovni bazi »bolniki« samodejno shranjuje bolnikove meritve, ne spreminjamo ničesar. V prilogi C so podane skripte SQL za izdelavo potrebnih tabel v podatkovni bazi.

3.6.3 Uporabniški vmesnik

Uporabniški vmesnik spletnega portala je zelo preprost, jasen in vsem razumljiv. Informacijski sistem lahko preprosto razširi obstoječi medicinski sistem na strežniku HTTP, saj gre za samostojno aplikacijo.

3.6.3.1 Prijava v sistem

Da bi imeli dostop do sistema, se je treba najprej prijaviti (Slika 59). Prijava poteka tako, da v tekstovna polja napišemo veljavno uporabniško ime in geslo. Zaradi varnosti osebnih podatkov sistem razlikuje dva tipa uporabniškega računa: skrbnika informacijskega sistema, ki lahko v sistem vnaša, briše in ureja osebne podatke bolnikov, ter navadnega uporabnika, ki lahko začne meritve za izbranega bolnika.



Slika 59. Prijavna stran informacijskega sistema.

V primeru, če uporabnik napiše napačno geslo ali vnese napačno uporabniško ime, se ob pritisku na gumb »PRIJAVA« prikaže napis s sporočilom »Vnesli ste napačno uporabniško ime ali geslo!« (Slika 60). Na Sliki 61 je prikazano, kako vnesemo uporabniško ime in geslo. Zaradi varnosti na zaslonu se namesto gesla izpišejo simboli v obliki črnega krogca.



Slika 60. Napačen vnos uporabniškega računa.



Slika 61. Vnos uporabniškega imena in gesla.

V slučaju, da smo izgubili geslo ali je naš uporabniški račun blokiran, lahko to sporočimo skrbniku sistema tako, da kliknemo na besedno zvezo »Ste pozabili geslo?«. Samodejno se bo odprlo okno za pošiljanje elektronske pošte skrbniku, napišemo naše zahteve in pošljemo.

Če se hočemo vrniti na prejšnje stanje, pritisnemo na zapis sive barve »Domov« na spodnjem delu prijavnega okna.

3.6.3.2 Vnos bolnika v sistem

Prijavimo se z uporabniškim imenom in geslom skrbnika informacijskega sistema, če je račun pravilen, se odpre okno za vnos in urejanje bolnikovih podatkov (Slika 62).



Slika 62. Okno za vnos bolnikovih podatkov.

S pritiskom na gumb »NOV VNOS« se briše vsa tekstovna polja, številko kartona, ime, priimek, stalno prebivališče, občino, pošto številko, spol, telefonsko številko in opombe.

Po vnosu podatkov pritisnemo na gumb »SHRANI«. Če so podatki pravilno vneseni, se bo prikazalo pojavno okno z napisom »Podatki so bili uspešno shranjeni!«. Na Sliki 63 je prikazan uspešen vnos podatkov v podatkovno bazo.

Pri vnosu moramo paziti, da so vsa polja polna, edino polje »Opombe« lahko pustimo prazno.

Univerza na Primorskem - Pulzni oksimeter

BOLNIK: ŠKERLIČ MAURIZIO >1< KARTON: Najdi Odjava

PODATKI BOLNIKA

Številka kartona: 1

Ime: MAURIZIO Priimek: SKERLIČ

Stalno prebivališče: KOPER

Občina: KOPER Poštna številka: 6000

Spol: M Ž

Telefonska številka: 06123456

Opombe:

NOV VNOS ODSTRANI SHRANI

Message - Internet... Podatki so bili uspešno shranjeni!

Slika 63. Uspešno hranjenje podatkov v podatkovno bazo.

Če smo v tekstovno polje napačno vnesli podatke, na primer, če smo vnesli črke v polju za številke ali smo pozabili kakšno polje prazno, nas sistem obvesti s prikazom opozorila v rdeči barvi pod vsakim poljem, kjer se je pojavila napaka. To je prikazano na Sliki 64.

Univerza na Primorskem - Pulzni oksimeter

BOLNIK: ŠKERLIČ MAURIZIO >1< KARTON: Najdi Odjava

PODATKI BOLNIKA

Številka kartona: številka Vnesi samo številke!

Ime: MAURIZIO Priimek: SKERLIČ

Stalno prebivališče: KOPER

Občina: KOPER Poštna številka: Vnesi poštno številko!

Spol: M Ž

Telefonska številka: 06123456

Opombe:

NOV VNOS ODSTRANI SHRANI

Slika 64. Napačen vnos podatkov.

3.6.3.3 Urejanje bolnikovih podatkov

Bolnika lahko izberemo po imenu iz padajočega seznama ali v tekstovno polje neposredno napišemo številko bolnikovega kartona in pritisnemo na gumb »Najdi«. Ko se podatki izpišejo iz podatkovne baze v okno informacijskega sistema, jih lahko uredimo. Ko smo podatke uredili, pritisnemo na gumb »SHRANI«. Če v podatkovni bazi številka kartona že obstaja, se pojavi opozorilno pojavno okno, ki nas vpraša, če želimo nadaljevati (Slika 65).

Univerza na Primorskem - Pulzni oksimeter

BOLNIK: ŠKERLIČ MAURIZIO >10< KARTON: Najdi Odjava

PODATKI BOLNIKA

Številka kartona:

Ime: MAURIZIO Priimek: ŠKERLIČ

Stalno prebivališče: UNIVERZA NA PRIMORSKEM

Občina: KOPER Poštna številka: 6000

Spol: M Ž

Telefonska številka: 06123456

Opombe:

NOV VNOS ODSTRANI SHRANI

– By M@U 2013 –

Sporočilo s spletne strani

Karton številka > 10 < že obstaja!
Želite nadaljevati?

V redu Prekliči

Slika 65. Opozorilo sistema, da v podatkovni bazi bolnikovi podatki že obstajajo.

Če pritisnemo na gumb »V redu«, pojavno okno izgine, podatki se zapišejo v podatkovni bazi in se prikaže modro pojavno okno z napisom »Podatki so bili uspešno shranjeni!« (Slika 66). Če pritisnemo na gumb »Prekliči«, pojavno okno izgine in podatki se v podatkovni bazi ne zapišejo.

Univerza na Primorskem - Pulzni oksimeter

BOLNIK: ŠKERLIČ MAURIZIO >10< KARTON: Najdi Odjava

PODATKI BOLNIKA

Številka kartona:

Ime: MAURIZIO Priimek: ŠKERLIČ

Stalno prebivališče: UNIVERZA NA PRIMORSKEM

Občina: KOPER Poštna številka: 6000

Spol: M Ž

Telefonska številka: 06123456

Opombe:

NOV VNOS ODSTRANI SHRANI

– By M@U 2013 –

Message - Internet...

Podatki so bili uspešno shranjeni!

Slika 66. Podatki se shranijo v podatkovni bazi.

3.6.3.4 Brisanje bolnikovih podatkov

Namen te funkcije je brisanje bolnika iz podatkovne baze informacijskega sistema.

Bolnika izberemo po imenu iz padajočega seznama ali neposredno v tekstovno polje napišemo številko bolnikovega kartona in pritisnemo na gumb »Najdi«. Ko se podatki izpišejo iz podatkovne baze v okno informacijskega sistema, pritisnemo na gumb »ODSTRANI« in se prikaže opozorilno pojavno okno, ki nam javi, da bo izbrani bolnik zbrisan iz podatkovne baze. Vpraša nas, če hočemo nadaljevati (Slika 67).

The screenshot shows a web application interface for 'Univerza na Primorskem - Pulzni oksimeter'. At the top, there is a search bar with 'BOLNIK:' and a dropdown menu showing 'ŠKERLIČ MAURIZIO >10<', and a 'KARTON:' input field. Below this is a section titled 'PODATKI BOLNIKA' with various form fields: 'Številka kartona:' (10), 'Ime:' (MAURIZIO), 'Priimek:' (ŠKERLIČ), 'Stalno prebivališče:' (UNIVERZA NA PRIMORSKEM), 'Občina:' (KOPER), 'Poštna številka:' (6000), 'Spol:' (M), and 'Telefonska številka:' (06123456). There are buttons for 'NOV VNOS', 'ODSTRANI', and 'SHRANI'. A modal dialog box is open, titled 'Sporočilo s spletne strani', with the text: 'Karton številka > 10 < bo izbrisan iz podatkovne baze! Želite nadaljevati?' and buttons for 'V redu' and 'Prekliči'.

Slika 67. Brisanje bolnika iz podatkovne baze.

Če pritisnemo na gumb »V redu«, pojavno okno izgine, izbrani bolnik je zbrisan iz podatkovne baze in se prikaže modro pojavno okno z napisom »Podatki so bili uspešno brisani!« (Slika 68).

The screenshot shows the same web application interface as in Slika 67, but with a different modal dialog box. The dialog box is titled 'Message - Internet...' and contains the text: 'Podatki so bili uspešno brisani!'. The background form is partially visible, showing the 'PODATKI BOLNIKA' section with the same fields as before, but the 'Številka kartona:' field now contains '17'.

Slika 68. Uspešno brisani bolnikovi podatki iz podatkovne baze.

3.6.3.5 Začetek meritev

Da bi lahko uporabili to sistemsko funkcionalnost, moramo imeti aktiven uporabniški račun in se pravilno prijaviti. Osnovni namen funkcije je preko sprejemnega vmesnika USB brezžično pridobivati vrednosti meritev pulznega oksimetra ter jih prikazati in shraniti v podatkovno bazo. Poleg vrednosti meritev pulznega utripa, nasičenosti krvi s kisikom in temperature se izpišeta tudi ura in datum merjenja ter izračunana minimalna, maksimalna in srednja vrednost meritev. Bolnika lahko izberemo po imenu iz padajočega seznama ali neposredno v tekstovnem polju napišemo številko bolnikovega kartona in pritisnemo na gumb »Najdi« (Slika 69).

Univerza na Primorskem - Pulzni oksimeter

BOLNIK: **Izberite bolnika**
NOVAK BORIS >2<
CANKAR IGOR >4<
LEŠNIK MARKO >3<
ŠKERLIČ MAURIZIO >1<
ŠKERLIČ MAURIZIO >10<
ŠKERLIČ MAURIZIO >11<
ŠKERLIČ MAURIZIO >12<
ŠKERLIČ MAURIZIO >13<
ŠKERLIČ MAURIZIO >14<
ŠKERLIČ MAURIZIO >15<
ŠKERLIČ MAURIZIO >16<

PODA

Številka k

Ime:

Priimek:

Stalno prebivališče:

Občina:

Poštna številka:

Spol:

Telefonska številka:

Opombe:

Pokaži podatke **ZAČETEK MERJENJA**

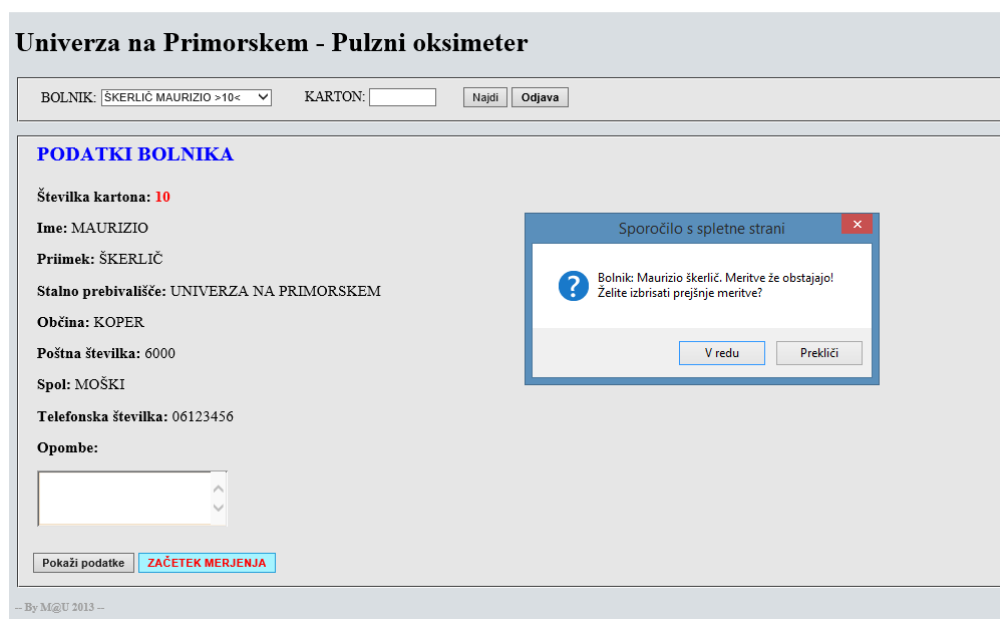
-- By M@U 2013 --

Slika 69. Izbira bolnika iz padajočega seznama z drsnikom.

Ko je v podatkovni bazi število bolnikov večje od 30, se v padajočem seznamu pojavi desni drsnik. To je prikazano na Sliki 69.

Ko se podatki izpišejo iz podatkovne baze v okno informacijskega sistema, pritisnemo na gumb »Začetek merjenja«.

Če v podatkovni bazi že obstajajo predhodne meritve bolnika, nas aplikacija v pojavnem oknu opozori in vpraša, če predhodne meritve želimo ohraniti ali odstraniti (Slika 70).

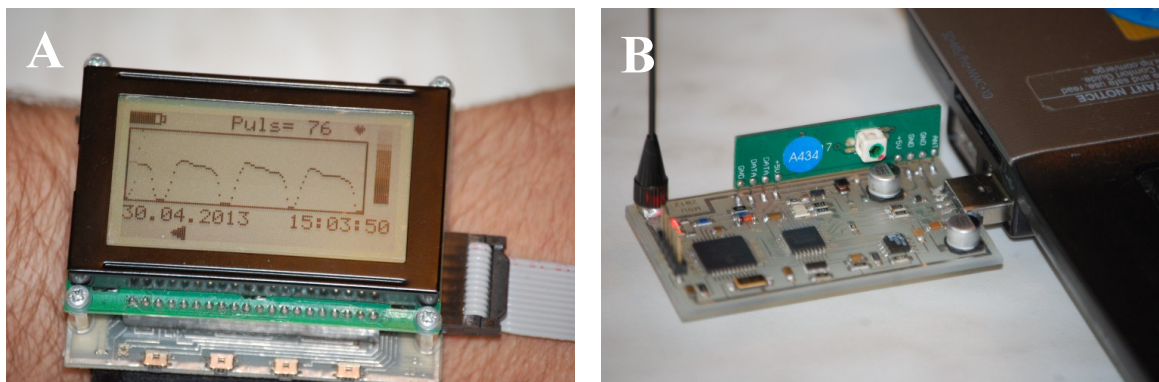


Slika 70. Sistem nas opozori, da meritve bolnika že obstajajo.

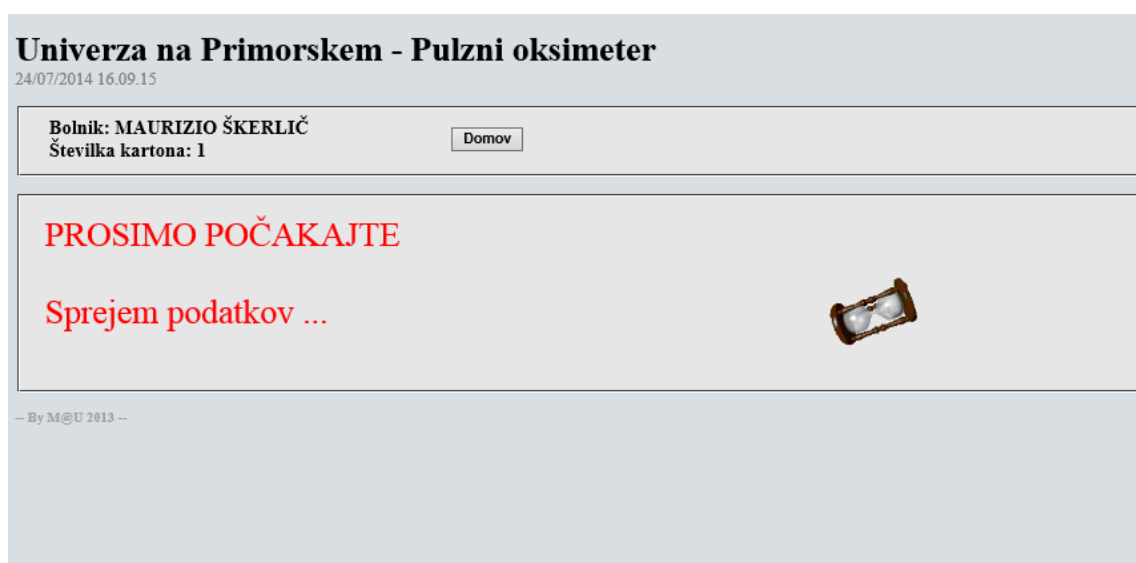
Če pritisnemo na gumb »Prekliči«, se stare vrednosti meritev ohranijo in nove si zaporedno sledijo v podatkovni bazi. Če pritisnemo na gumb »Da«, se vse predhodne meritve zbršejo in začnejo nove (Slika 71). Če nismo vklopili pulznega oksimetra ali smo pozabili namestiti sprejemni vmesnik USB na računalnik oziroma strežnik (Slika 72), se pojavi okno s peščeno uro – sistem nas opozarja, da čaka na sprejem podatkov (Slika 73).



Slika 71. Izpis prejetih podatkov na informacijskem sistemu.



Slika 72. Vključitev pulznega oksimetra (A) in priklop sprejemnega vmesnika USB (B) v računalnik oziroma strežnik.



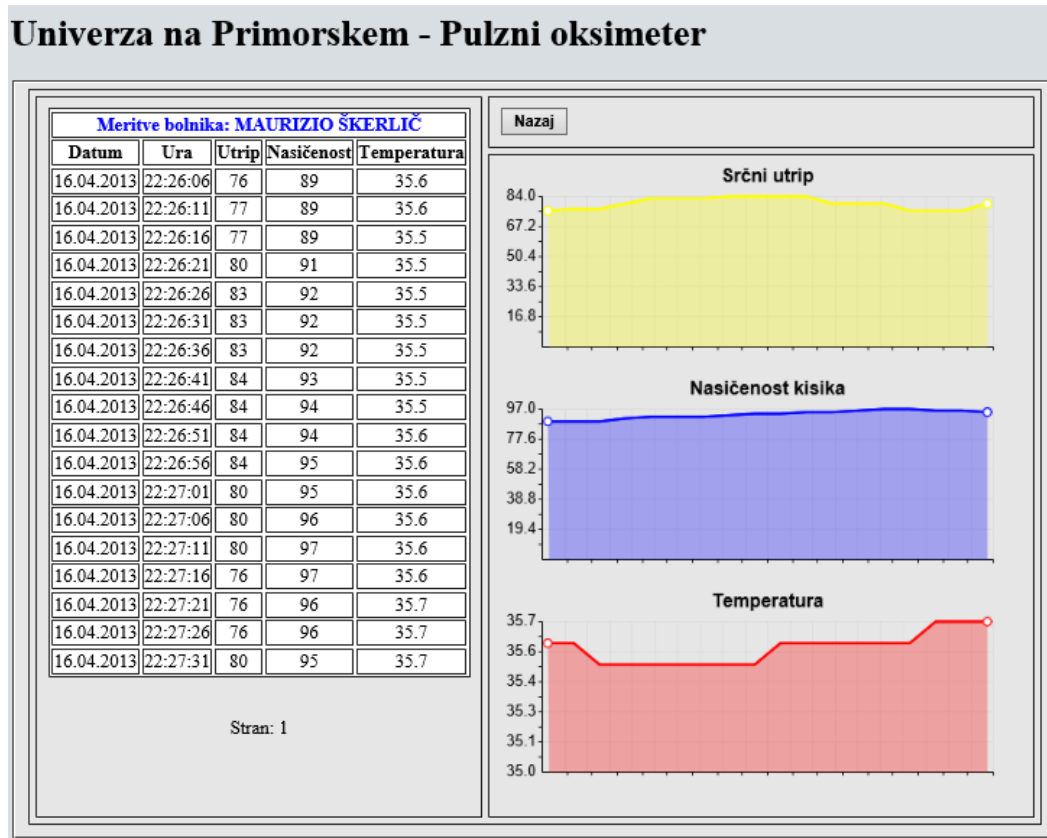
Slika 73. Aplikacija počaka na sprejem podatkov.

Na spodnjem delu okna meritve lahko izberemo gumb »Ponastavi«, tako se zgodovina bolnikovih meritev v podatkovni bazi popolnoma zbrise in sistem začne nove meritve.

Če izberemo gumb »Pokaži podatke«, se pojavi novo okno, v katerem se na desnem polju izpišejo meritve iz podatkovne baze v tabelarni obliki, po 20 meritev na stran; vsaka je sestavljena iz datuma, ure, srčnega utripa, nasičenosti krvi s kisikom in temperature. Na levi strani pa so podatki prikazani v grafični obliki.

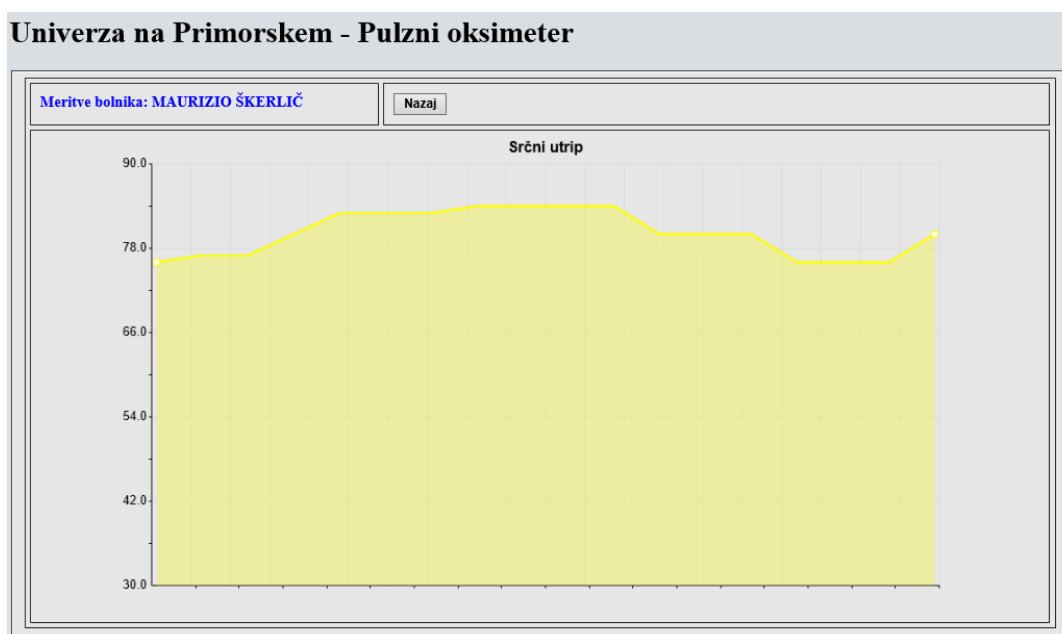
Da bi poenostavili in pospešili analizo podatkov, je vsak graf prikazan z različno barvo. Izbrane barve odražajo tip podatkov, tako da jih uporabnik lažje in hitreje razlikuje. Od zgoraj navzdol je prvi podatek za srčni utrip pobarvan rumeno, drugi podatek za nasičenost krvi s kisikom je moder in tretji za temperaturo je rdeč.

Nad tabelo je napisano ime in priimek bolnika, medtem ko imamo pod tabelo možnost izbire prikaza strani direktno z izbiro številke ali s puščicami levo in desno. Na Sliki 74 je prikazano zgoraj omenjeno okno. Lahko izberemo prikaz meritve v realnem času za posamični graf, tako da z miško kliknemo na graf. Odpre se nam novo okno, kot prikazuje Slika 75.



Slika 74. Prikazane vrednosti meritev v tabelarni in grafični obliki.

Med meritvijo lahko kadarkoli ustavimo delovanje, tako da pritisnemo na gumb »Domov«. Okno za meritve se zapre in pojavi se okno za izbiro bolnika.



Slika 75. Prikaz grafa meritve srčnega utripa v realnem času.

Za izdelavo spletnih grafov smo uporabili HTML5 JavaScript knjižnico RGraph, ki lahko vizualizira več kot dvajset različnih vrst grafikonov. Z značko <canvas> RGraph ustvarja grafikone neposredno znotraj spletnega brskalnika z uporabo skriptnega programskega jezika JavaScripta, kar omogoča hitrejše nalaganje strani in manj obremenitev strežnika. To vodi do manjše velikosti in hitrejše spletne strani. RGraph je odprtokodna knjižnica in uporablja MIT licenco, ki je ena izmed najbolj liberalnih odprtokodnih licenc [46].

V nadaljevanju je prikazana v programskem jeziku JavaScript napisana skripta za uporabo knjižnice RGraph v spletni strani za izris grafa srčnega utripa, prikazan na Sliki 75.

```
<script>
```

```
    window.onload = function () {  
        var line = new RGraph.Line('cvs', [<?php echo $asx_hr[0]; for($i = 1;$i <  
            $num_records; $i++){ echo " ".$asx_hr[$i]; }?> ]);  
        line.Set('chart.fillstyle', ['rgba(255,255,0,0.3) ']);  
        line.Set('chart.colors', ['yellow']);  
        line.Set('chart.filled', true);  
        line.Set('chart.filled.accumulative', true);  
        line.Set('chart.title', 'Srčni utrip');  
        line.Set('chart.hmargin', 5);  
        line.Set('chart.linewidth', 2);  
        line.Set('chart.scale.decimals', true);  
        line.Set('chart.gutter.left', 35);  
        line.Set('chart.ymax', <?php echo $max_hr; ?>);  
        line.Set('chart.ymin', 30);  
        line.Set('chart.tickmarks', 'endcircle');  
        line.Draw();  
    }
```

```
</script>
```

3.6.3.6 Analiza meritve

Zdravnik lahko kadarkoli analizira bolnikove meritve v informacijskem sistemu, tako v tabelarni kot v grafični obliki.

Najprej se mora pravilno prijaviti, nato mora izbrati poljubnega bolnika iz padajočega seznama ali neposredno z vnosom številke kartona, nato pritisne na gumb »Pokaži podatke« (Slika 76).

Univerza na Primorskem - Pulzni oksimeter

BOLNIK: ŠKERLIČ MAURIZIO >10< KARTON:

PODATKI BOLNIKA

Številka kartona: 10
Ime: MAURIZIO
Priimek: ŠKERLIČ
Stalno prebivališče: UNIVERZA NA PRIMORSKEM
Občina: KOPER
Poštna številka: 6000
Spol: MOŠKI
Telefonska številka: 06123456
Opombe:

– By M@U 2013 –

Izbira bolnika po številki kartona

Izbira bolnika po imenu

Tipka za prikaz podatke

Slika 76. Izbira bolnika za analizo podatkov.

4 KOMERCIALNE IZVEDBE

Danes imamo na razpolago veliko proizvajalcev pulznih oksimetrov različnih namembnosti, kakovosti in natančnosti. Tisti, ki se uporabljajo v zdravstvu, so zagotovo boljši in dražji, kot tisti za domačo uporabo.

Na tržišču lahko dobimo naprstne, zapestne in ročne pulzne oksimetre. Naprstni pulzni oksimetri na ščipalko, ki jo nataknemo na prst, vsebujejo vso strojno opremo za izračunavanje meritev in zaslon za prikazovanje podatkov. Zapestni pulzni oksimetri imajo ščipalko povezano preko kabla na prikazovalno enoto, ki jo pritrdimo s pasom na zapestju, medtem ko so ročni pulzni oksimetri večji, imajo več funkcij, zato rabijo več energije in so opremljeni z večjim številom baterij. Zaradi tega so težji.

Glede natančnosti pulznih oksimetrov so bile narejene številne študije, ki bolj ali manj argumentirano ugotavljajo natančnost tega pripomočka. Študije kategorizirajo natančnost glede na mesto meritve, glede proizvajalca in modela. Pulzni oksimetri so ob optimalnih pogojih zanesljivi, če je SpO_2 med 90 in 100 %. Ko ta pade med 80 in 90 %, so možna manjša odstopanja, ko pa je SpO_2 pod 80 %, je odstopanje še večje. To pomeni, da so vsi oksimetri relativno zanesljivi, ko je vrednost nasičenosti krvi s kisikom med 70 in 100 %. Razlog je v principu delovanja. Oksimetri merjene vrednosti nasičenosti kisika v krvi primerjajo s shranjenimi referenčnimi koeficienti, izračunanimi na podlagi meritev na odraslih zdravih prostovoljcih. Ker izpod 70 % ni zanesljivih vrednosti nasičenosti za primerjavo, tudi meritve nasičenosti s pulznimi oksimetri niso natančne [8].

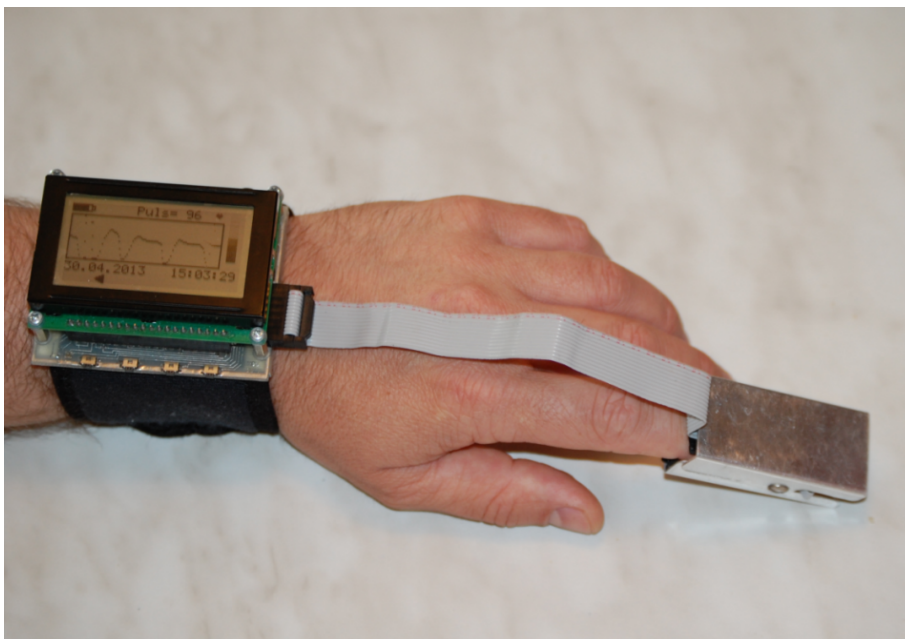
Brezžična pulzna oksimetrija dodaja številne prednosti tradicionalnim žičnim enotam. Je primernejša in udobnejša za bolnikovo uporabo, saj brezžične enote ni treba povezati vsakič, ko se bolnik premakne. Veliko brezžičnih enot je že na voljo pri različnih proizvajalcih.

Za primerjavo našega izdelka z ostalimi pulznimi oksimetri na tržišču s podobnimi lastnostmi smo izbrali tri naprave različnih proizvajalcev. To so zapestni pulzni oksimeter Nonin WristOx2™ 3150, zapestni pulzni oksimeter Konika Minolta Pulsox-300i in ročni pulzni oksimeter Edan H100N.

4.1 Pulzni oksimeter UPPO₂

Na Sliki 77 je prikazan zapestni pulzni oksimeter UPPO₂, ki je širok 61 mm, dolg 75 mm in visok 30 mm, z zapestnim pasom in brez naprstnega tipala tehta približno 140 g. V nasprotju z drugimi napravami ne uporablja običajne alkalne baterije, temveč sodobnejše polnilne Litij-ionske (Li-Ion) baterije. Polnjenje baterij traja približno 5 ur, kar zagotovi brezhibno neprekinjeno delovanje pulznega oksimetra za več kot 24 ur. Tok polnjenja je namerno ohranjen nizko, na približno 300 mA, da ne bi kršili specifikacije vmesnika USB, ki omogoča tok največ do 500 mA. Tako se lahko naprava polni neposredno na priključku USB računalnika ali na kateri koli drugi napravi. Podatki se izpišejo na grafičnem zaslonu LCD z resolucijo 128 x 68 matriko pik z belo LED osvetlitvijo ozadja. Omogoča vse

kombinacije prikazovanj, prikaz nasičenosti kisika v krvi v območju od 50 do 100 %, srčnega utripa v območju od 15 do 300 utripov na minuto, telesno temperaturo v območju od 0 do 50 stopinj Celzija, stanje napoljenosti baterije, stopnjo jakosti srčnega utripa, uro in datum v digitalnem ali analognem formatu, pletizmografski prikaz srčnega utripa, stanje brezžičnega oddajanja podatkov in stanje zvočnih signalov. Vgrajen brezžični oddajnik omogoča povezavo s sprejemnim vmesnikom USB do razdalje 150 m.



Slika 77. Zapestni pulzni oksimeter UPPO₂.

V primerjavi z drugimi preučeni pulznimi oksimetri v magistrskem delu pulzni oksimeter UPPO₂ omogoča v realnem času istočasno meritve, prikaz in prenos podatkov v podatkovno bazo na računalniku. Čeprav tega še nismo izvajali v programski opremi, pulzni oksimeter UPPO₂ lahko shrani meritve do 250 ur, kar je odvisno od pogostosti meritev in količine podatkov v vgrajenem neizbrisljivem pomnilniku. Naprava deluje v okolju s temperaturo od -20 do +70 stopinj Celzija in v območju vlažnosti brez kondenzacije od 30 do 80 %.

Kot je prikazano v Tabeli 4, smo poskušali razviti tako napravo, da bi združili vse najboljše lastnosti prenosnih in ročnih pulzних oksimetrov, danes prisotnih na tržišču, v eno samo napravo.

Ohraniti nizko težo, značilno za zapestne pulzne oksimetre, in vgraditi vso strojno opremo, značilno za ročne naprave, ni lahka naloga. Zahvaljujoč novi tehnologiji smo bili sposobni ustvariti uspešen izdelek, ki se lahko kosa z drugimi podobnimi napravami.

Prikazovalnik ima vgrajeno zmogljivo litij-ionsko baterijo z visoko avtonomijo, ki zagotavlja celodnevno delo. Baterijo lahko napolnimo preko vtičnice mini USB s polnilnikom ali preko računalniškega priključka USB.

Tabela 4. Primerjava UPPO₂ z drugimi pulznimi oksimetri podobnih lastnosti, prisotnih na tržišču.

	Nonin WristOx₂ 3150	Konika Minolta Pulsox-300i	Edan H100N	UPPO₂
Nasičenost krvi s kisikom	0 – 100 %	0 – 100 %	1 – 100 %	50 – 100 %
Srčni utrip	18 – 321 bpm	30 – 230 bpm	20 – 300 bpm	15 – 300 bpm
Telesna temperatura	NE	NE	0 – 50 °C	0 – 50 °C
Prikaz ure in datuma	NE	NE	DA (ura)	DA (ura in datum)
Prikaz pletizmograma na zaslonu	NE	NE	DA	DA
Prikaz jakosti srčnega utripa	DA	DA	DA	DA
Brezžična komunikacija	Bluetooth: 100 m	NE	NE	DA: 150 m
Količina shranjenih meritev	270 ur	300 ur	300 ur	250 ur
Temperature okolja	-5 – 40 °C	0 – 40 °C	-5 – 40 °C	-20 – 70 °C
Vlažnosti okolja	10 – 90 %	30 – 85 %	25 – 80	30 – 80%
Tip baterije	2 x AAA (LR03)	1 x AAA (LR03)	4 x AA (LR06)	Li-Ion
Trajanje baterije	48 ur	30 ur	48 ur	24 ur
Tip zaslona	LCD	LCD	LCD	LCD
Osvetlitev ozadja	NE	NE	LED BELA	LED BELA
Dimenzije (š x d x v)	51 x 71 x 19	68 x 58 x 15	70 x 160 x 37,6	61 x 75 x 30
Teža	70 g	56 g	185 g	140 g

4.2 Nonin WristOx2 3150

Pulzni oksimeter Nonin model WristOx2 3150 (Slika 78) je naprava, široka 51 mm, dolga 71 mm in visoka 19 mm. Z baterijami in zapestnim pasom, brez naprstnega tipala, tehta približno 70 g. Delovanje z dvema alkalnima baterijama tipa AAA (LR03), brez uporabe povezave Bluetooth, traja približno 48 ur, medtem ko se z vključenim oddajnikom delovna doba zniža na osem ur. Prikazovalnik je tipa LCD in omogoča prikaz nasičenosti kisika v krvi v območju od 0 do 100 %, srčnega utripa v območju od 18 do 321 utripov na minuto, stanje napolnjenosti baterije in prikaz stopnje jakosti srčnega utripa [44].

Proizvajalec izjavlja, da lahko naprava meri nasičenost krvi s kisikom do 0 %, čeprav meritve izpod 70 % pri katerem koli oksimetru niso zanesljive [44].

Med izbranimi prenosnimi napravami je edini oksimeter, ki ima poleg žične povezave USB vgrajen oddajnik Bluetooth, kar omogoča brezžično povezavo s sprejemnikom do razdalje 100 metrov. Pomembno je omeniti, da v primeru prenosa podatkov preko žične ali brezžične povezave naprava ne omogoča prikaza nobene meritve [44].



Slika 78. Zapestni pulzni oksimeter Nonin WristOx2™ 3150 [35].

Povezava USB z računalnikom omogoča zgolj prenos predhodno shranjenih podatkov v pomnilniku. Vgrajen neizbrisljivi pomnilnik omogoča hraniti meritve do 270 ur. Pletizmografski podatki se prenašajo zgolj preko brezžične povezave z združljivo napravo s tehnologijo Bluetooth [44].

Pulzni oksimeter UPPO₂ ima v primerjavi z njim veliko prednost, ker omogoča v realnem času prikaz podatkov na zaslonu LCD in istočasno jih shrani v podatkovno bazo.

Naprava ima tudi nekaj pomanjkljivosti, saj nima možnosti osvetlitve ozadja zaslona. Čeprav ima vgrajeno uro, med delovanjem na zaslonu ne prikaže niti časa niti datuma. Naprava deluje v okolju s temperaturo od -5 do +40 stopinj Celzija in z vlažnostjo brez kondenzacije od 10 do 90 % [44].

Podjetje Nonin je z modelom WristOx2 3150 uspelo odstraniti žično povezavo med tipalom in prikazovalnikom, tako je povečalo bolnikovo možnost, da se svobodno giblje, ne da bi ga kabli ovirali, kar omogoča nižje stroške zdravstvenega varstva.

4.3 Konika Minolta Pulsox-300i

Na Sliki 79 je prikazan pulzni oksimeter Pulsox-300i podjetja Konika Minolta. Dimenzije naprave so 68 mm širine, 58 mm dolžine in 15 mm višine. Teža z baterijami, brez zapestnega pasu in naprstnega tipala, je približno 56 g. Naprava deluje s samo eno alkalno baterijo tipa AAA (LR03), delovni čas pa je približno 30 ur. Prikazovalnik je tipa LCD z LED osvetlitvijo ozadja; omogoča prikaz nasičenosti kisika v krvi v območju od 0 do 100 %, srčnega utripa v območju od 30 do 230 utripov na minuto, stanje napolnjenosti baterije in prikaz stopnje jakosti srčnega utripa. Meritve nasičenosti krvi s kisikom izpod 70 % niso zanesljive [37].



Slika 79. Zapestni pulzni oksimeter Konika Minolta Pulsox-300i [37].

Naprava nima brezžične povezave. Prenos podatkov na računalniku, predhodno shranjenih v pomnilniku, poteka z žično povezavo preko vmesnika USB. Vgrajen neizbrisljivi pomnilnik omogoča ohranitev meritev do 300 ur [37].

Ne omogoča grafičnega prikaza pletizmograma srčnih utripov. Naprava deluje v okolju s temperaturo od 0 do 40 stopinj Celzija in z relativno vlažnostjo brez kondenzacije od 30 do 85 % [37].

Pulzni oksimeter Pulsox.300i je po izgledu in lastnostih zelo podoben Noninovemu modelu WristOx2 3510. Razlikujeta se po brezžični povezavi Bluetooth.

4.4 Edan H100N

Pulzni oksimeter model H100 podjetja Edan (Slika 80) ni zapestna oziroma prenosna naprava. Izbrali smo jo zato, ker med ročnimi napravami poleg merjenja nasičenosti krvi s kisikom in srčnega utripa omogoča tudi merjenje telesne temperature. Zaradi te in drugih lastnosti ima pulzni oksimeter H100 podobne lastnosti, kot jih ima naš izdelek, le da je večji, težji in ni prenosen. Dimenzije naprave so 70 mm širine, 160 mm dolžine in 37,6 mm višine. Teža brez baterije in naprstnega tipala je približno 185 g [15].



Slika 80. Ročni pulzni oksimeter Edan H100N s temperaturnim tipalom [15].

Naprava deluje s štirimi alkalnimi ali polnilnimi Ni-Mh baterijami tipa AA (LR06). Delovni čas je odvisen od tipa baterije. Z alkalnimi baterijami je delovni čas približno 48 ur, medtem ko s polnilnimi Ni-Mh baterijami delovni čas ne preseže 36 ur [15].

Prikazovalnik ima vgrajen grafični zaslon LCD z resolucijo 128 x 68 matriko pik z belo LED osvetlitvijo ozadja. Omogoča prikaz nasičenosti kisika v krvi v območju od 1 do 100 %, srčnega utripa v območju od 20 do 300 utripov na minuto, telesno temperaturo v območju od 0 do 50 stopinj Celzija, stanje napolnjenosti baterije, prikaz stopnje jakosti srčnega utripa, prikaz ure in pletizmografski prikaz srčnega utripa [15].

Natančnost merjenja nasičenosti krvi s kisikom izpod 70 % ni zanesljiva. Naprava nima vgrajenega vmesnika za brezžično povezavo. Prenos podatkov na računalniku, predhodno shranjenih v pomnilniku, poteka z žično povezavo preko vmesnika USB. Vgrajen neizbrisljivi pomnilnik omogoča ohranitev meritev do 300 ur. Tudi ta naprava pri prenosu podatkov preko žične povezave ne omogoča prikaza nobenih meritev [15].

Naprava deluje v okolju s temperaturo od 5 do 40 stopinj Celzija in vlažnosti brez kondenzacije od 25 do 80 % [15].

Omeniti je treba, da ima pulzni oksimeter H100, čeprav je kitajskega porekla, vgrajeno strojno opremo vodilnega ameriškega podjetja Nellcor, kar prispeva k visoki stopnji zanesljivosti in natančnosti pri meritvi.

5 ZAKLJUČEK

V magistrskem delu smo razvili strojno in programsko opremo pulznega oksimetra UPPO₂ ter programsko opremo informacijskega sistema. Primerjali smo ga z drugimi napravami, prisotnimi na tržišču. Izbrali smo naprave različnih proizvajalcev, ki so imele podobne lastnosti naši napravi. Za vzorec smo izbrali dve zapestni napravi in eno prenosno napravo. Ugotovili smo, da so prenosne oziroma zapestne naprave zelo preproste in lahke. Da bi ohranili nizko težo, imajo vgrajene majhne in lahke baterije z majhno kapaciteto, za ohranitev oziroma podaljšanje življenjske dobe baterije imajo omejeno količino funkcij in niso opremljene z brezžično povezavo.

Nasprotno so ročne naprave velike in okorne. Teža ni pomembna, zato imajo lahko vgrajeno večje število baterij, tako da so z veliko več energije lahko opremljene z zmogljivejšo programsko in strojno opremo.

Če bodo raziskave in tehnologija sledile zapestnim napravam, bomo v nekaj letih videli na tržišču veliko majhnih in lahkih izdelkov z veliko več funkcionalnosti po zelo nizkih cenah.

6 LITERATURA

- [1] ADA4505-2, Analog Device (2009).
Dostopno na: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADA4505-1_4505-2_4505-4.pdf (*Ni citirano*).
- [2] M. Achour, F. Betz, A. Dovgal, N. Lopes, H. Magnusson, G. Richter, D. Seguy in J. Vrana, PHP manual, *Philip Olson* (2014).
Dostopno na: <http://www.php.net/manual/en/>.
- [3] Ajax tutorial, *W3Schools.org* (2014).
Dostopno na: <http://www.w3schools.com/css/DEFAULT.asp>.
- [4] S. Barker, History of Pulse Oximetry, *Oximetry.org* (2002) Dostopno na: <http://www.oximetry.org/pulseox/history.htm> (*Ni citirano*).
- [5] S. Barker, Principles of Pulse Oximetry Technology, *Oximetry.org* (2002). Dostopno na: <http://www.oximetry.org/pulseox/principles.htm>.
- [6] Bloodless Medicine, *ADAM* (2014). Dostopno na: <http://pennstatehershey.adam.com/content.aspx?productId=28&pid=28&gid=000210>.
- [7] Corso per soccorritori, *Servizio operativo sanitario* (2011).
Dostopno na: <http://www.sos-sona.it/wp-content/104-parametri-e-ossigeno-terapia.pdf>.
- [8] I. Crnić, Pulzna oksimetrija in kisik-uporabno a ne samoumevno, *Reševalec št:02* (2006), stran 24. Dostopno na: http://www.resevalci.org/casopis/01_02-2006/03_Crnic_kisik_1838.pdf.
- [9] CSS tutorial, *W3Schools.org* (2014).
Dostopno na: <http://www.w3schools.com/css/DEFAULT.asp> (*Ni citirano*).
- [10] J. Derganc, Na urgenci: pulzni oksimeter, *Kvarkadabra* (2006). Dostopno na: <http://www.kvarkadabra.net/article.php/Na-urgenci-pulzni-oksimer> (*Ni citirano*).
- [11] A. Fabjan, *Dihalna funkcija krvi*, Medicinska Fakulteta Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2012.
Dostopno na: <http://www.mf-fizio.si/fabjan/Dihalna%20funkcija%20krvi.pdf>.
- [12] Z. Feng, Pulse Oximeter Design Using Microchip's dsPIC® Digital Signal Controllers (DSCs) and Analog Devices. Microchip Technology Inc. (2013).
Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00001525A.pdf> (*Ni citirano*).
- [13] Future Technology devices international Ltd.
Dostopno na: <http://www.ftdichip.com/Drivers/VCP.htm>.

- [14] FT232BL/BQ USB UART IC, *Future Technology Devices International Ltd.* (2011), Glasgow, UK. Dostopno na: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232BL_BQ.pdf (*Ni citirano*).
- [15] H100 Handheld Pulse Oximeter, *Edan* (2013). Dostopno na: <http://www.edan.com.cn/html/EN/products/patientmonitoring/VitalSigns/201203/20444.html>.
- [16] Hemoglobin, Wikipedia (2014). Dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Hemoglobin>.
- [17] R. Heyes, Use HTML5 charts and the canvas tag to build faster websites, *Rgraph* (2014). Dostopno na: <http://www.rgraph.net/docs/index.html>.
- [18] Javascript Core JavaScript Reference 1.5, JavaScriptSource (2006). Dostopno na: <http://www.javascriptsource.com>.
- [19] jQuery API, *The jQuery Foundation* (2014). Privzeto iz <http://api.jquery.com> (*Ni citirano*).
- [20] V. Kamat, Pulse Oximetry, *Indian Journal of Anesthesia* 46 (4) (2002), 261-8.
- [21] Y.-T. Li, *Pulse oximetry*. Department of Electronic Engineering, University of Surrey, Guildford (2007). Dostopno na: <http://personal.ph.surrey.ac.uk/~phs3ps/surj/v2/li.pdf>.
- [22] S. Lopez, Pulse Oximeter Fundamentals and Design., *Freescale Semiconductor* (2012). Dostopno na: http://cache.freescale.com/files/32bit/doc/app_note/AN4327.pdf?fasp=1&WT_TYPE=ApplicationNotes&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FORMAT=pdf&WT_ASSET=Documentation&Parent_nodeId=1251744589383728807AB7&Parent_pageType=application (*Ni citirano*).
- [23] LT1073, Micropower DC/DC Converter, *Linear technology corporation* (2000). Dostopno na: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/1073fa.pdf> (*Ni citirano*).
- [24] A. Maccioni, Open programmer v0.9.x (2014). Dostopno na: http://openprog.altervista.org/OP_eng.html.
- [25] S. Maniyar, 1-wire communication with PIC microcontroller. Microchip Technology Inc (2008), AN1199. Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01199a.pdf>.
- [26] Manual Eagle 6.1, *Cadsoft* (2011). Dostopno na: http://www.cadsoft.de/wp-content/uploads/2011/05/V6_manual_en.pdf.
- [27] K. Matthes, Studies on the Oxygen Saturation of Arterial Human Blood. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology* 179 (1935), 698–711.

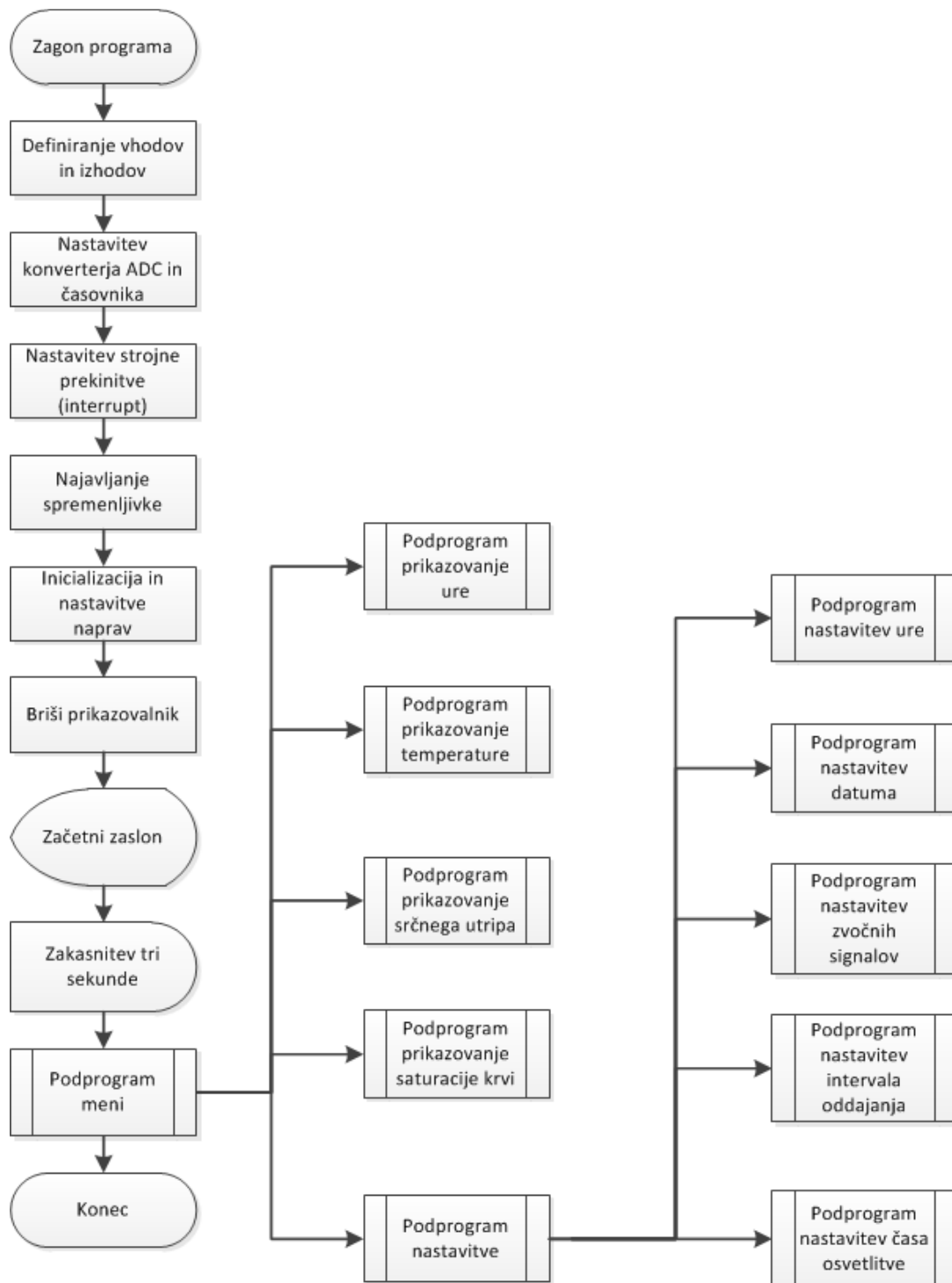
- [28] S. Matviyenko, Pulse Oximeter, *Cypress Semiconductor Corporation* (2005). Dostopno na: <http://www.scribd.com/doc/77945816/An2313-Pulse-Oximeter>. (Ni citirano).
- [29] MCP4725, *Microchip Technology Inc.* (2009). Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22039d.pdf> (Ni citirano).
- [30] MCP6072, *Microchip Technology Inc.* (2010). Dostopno na: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22142_B_MCP6071.pdf (Ni citirano).
- [31] MCP73812, *Microchip Technology Inc.* (2007). Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22036b.pdf> (Ni citirano).
- [32] V. Mitrović, I²C monitor. *Svet elektronike* 164 (2009), 42-45. Dostopno na: <http://svet-el.si/revija/login.php?Action=READ&ID=1617&state=0>.
- [33] MySQL 5.7 Reference Manual, *MySQL* (2014). Dostopno na: <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/index.html>.
- [34] Normal Blood Gases, *GlobalRPH* (2014). Dostopno na: http://www.globalrph.com/abg_analysis.htm.
- [35] G. Ostrovsky, On-the-go wireless enabled pulse oximeter from Nonin. *Med gadget* (2010). Dostopno na: http://www.medgadget.com/2010/09/onthego_wireless_enabled_pulse_oximeter_from_nonin.html.
- [36] Oxygen saturation in medicine, *Wikipedia* (2014). Dostopno na: http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_saturation_in_medicine.
- [37] *Oxygen saturation monitor Pulsox 300i*, Instruction manual, Konika Minolta, 2007-2013. Dostopno na: http://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/medical/pdf/pulsox-300i_instruction_eng.pdf.
- [38] PIC18F23K20/24K20/25K20/26K20/43K20/44K20/45K20/46K20 Data Sheet, *Microchip Technology Inc.* (2008).
- [39] Pic architettura. *Beduel*, 2012. Dostopna: <http://www.beduel.altervista.org/pagine/elettronica/PIC/pic/pic01/pic1a1.html>.
- [40] Precision Pulse Oximeter LED Current Sinks Using the ADA4505-2 Op Amp, the ADR1581 Shunt Reference, and the ADG1636 Switches, *Analog Device* (2010). Dostopno na: <http://www.analog.com/en/circuits-from-the-lab/CN0125/vc.html> (Ni citirano).
- [41] Pulse oximetry, *Wikipedia* (2014). Dostopno na: http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse_oximetry.

- [42] Pulsiossimetro, *Wikipedia* (2014).
Dostopno na: <http://it.wikipedia.org/wiki/Pulsiossimetro>.
- [43] Red blood cell, *Wikipedia* (2014).
Dostopno na: http://en.wikipedia.org/wiki/Red_blood_cell.
- [44] The WristOx2™, Model 3150 Wrist-worn Pulse Oximeter, *Nonin* (2013). Dostopno na: <http://www.nonin.com/OEMSolutions/WristOx2-Model-3150-OEM> .
Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41303G.pdf>.
- [45] P. Tilakaratna, Pulse oximetry. How medical equipment works explained simply (2014).
Dostopno na: http://www.howequipmentworks.com/physics/respi_measurements/oxygen/oximeter/pulse_oximeter.html.
- [46] TSL250, TSL251, TSL252 light-to-voltage optical sensors, *Texas instruments incorporated* (1991). Dostopno na: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tsl250.pdf> (*Ni citirano*).

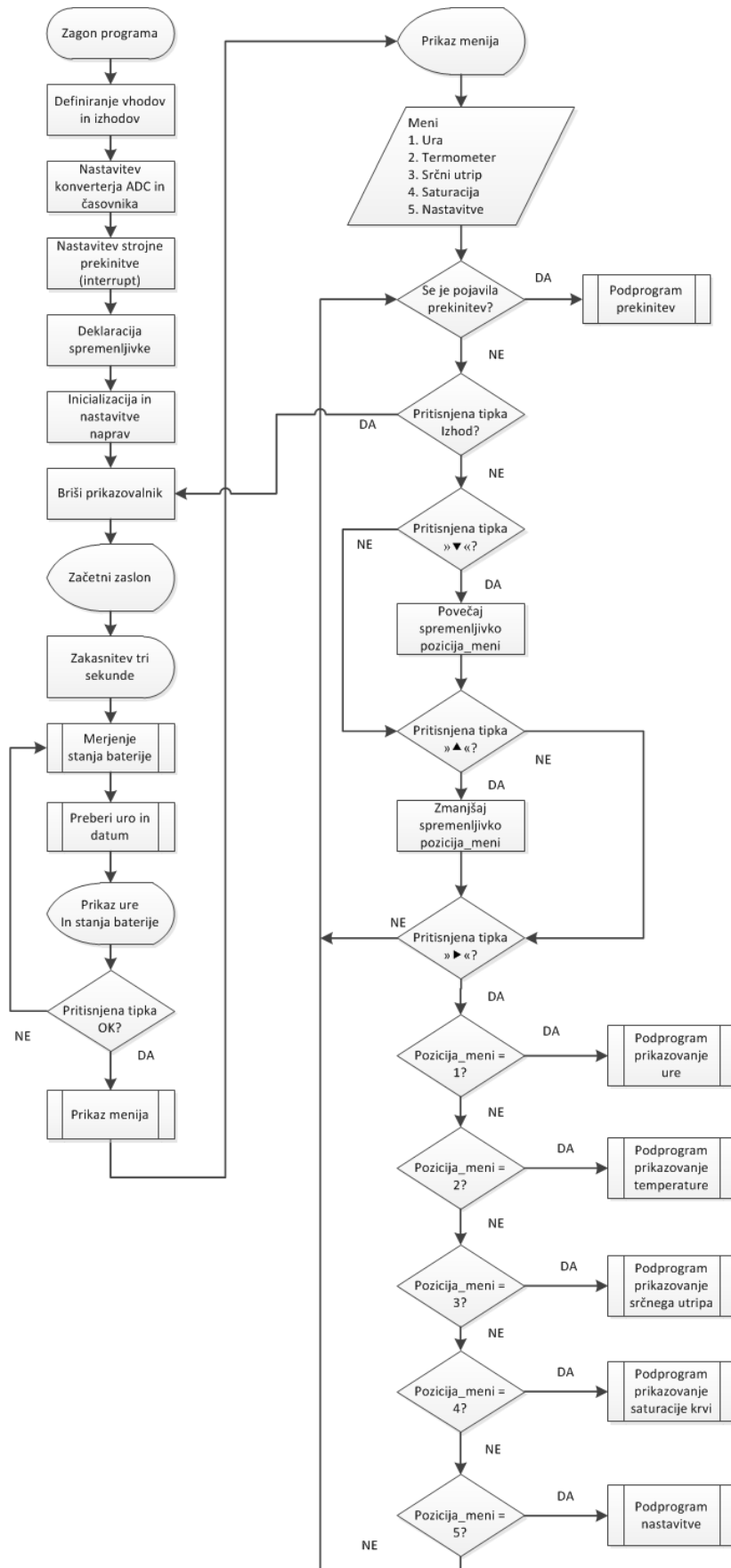
Priloge

A DIAGRAMI POTEKA PULZNEGA OKSIMETRA UPPO₂

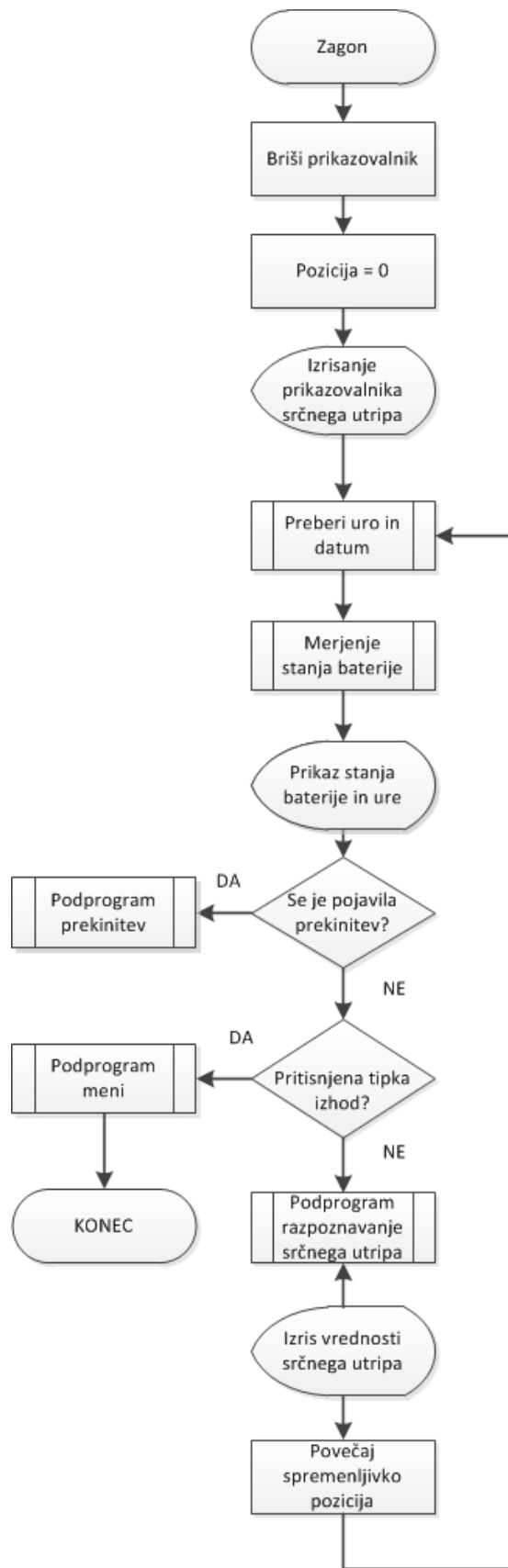
V nadaljevanju so prikazani diagrami poteka (angl. *Flow Chart*) programske opreme pulznega oksimetra UPPO₂ in sprejemnega vmesnika USB.



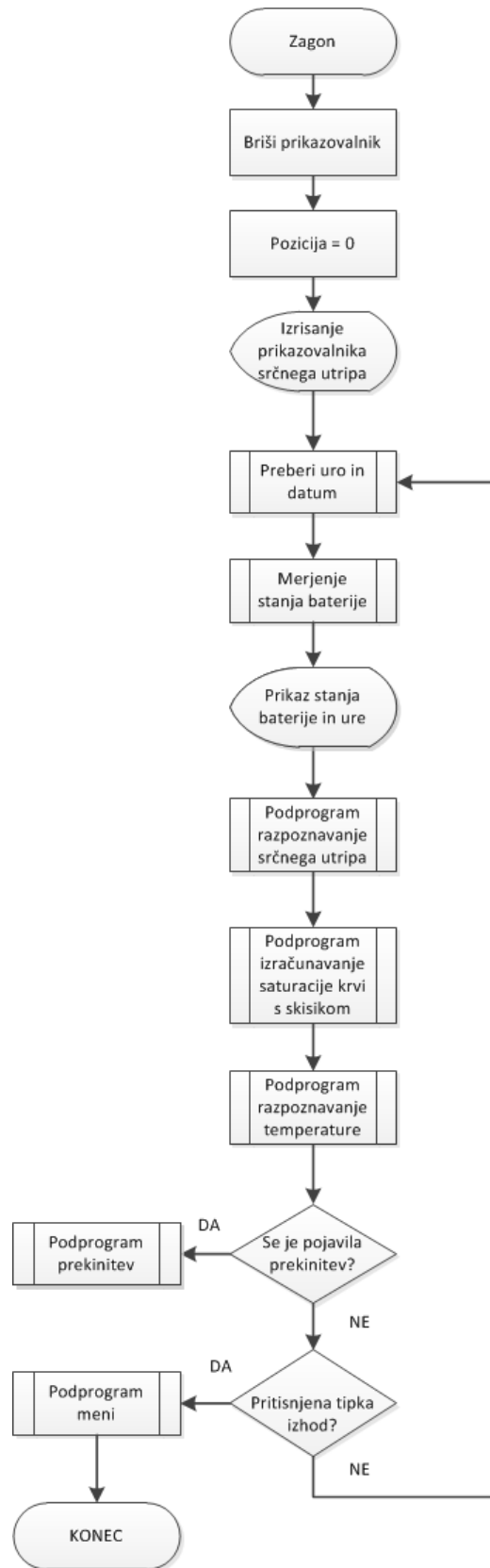
Priloga 1. Celoten diagram poteka prikazovalne enote pulznega oksimetra UPPO₂.



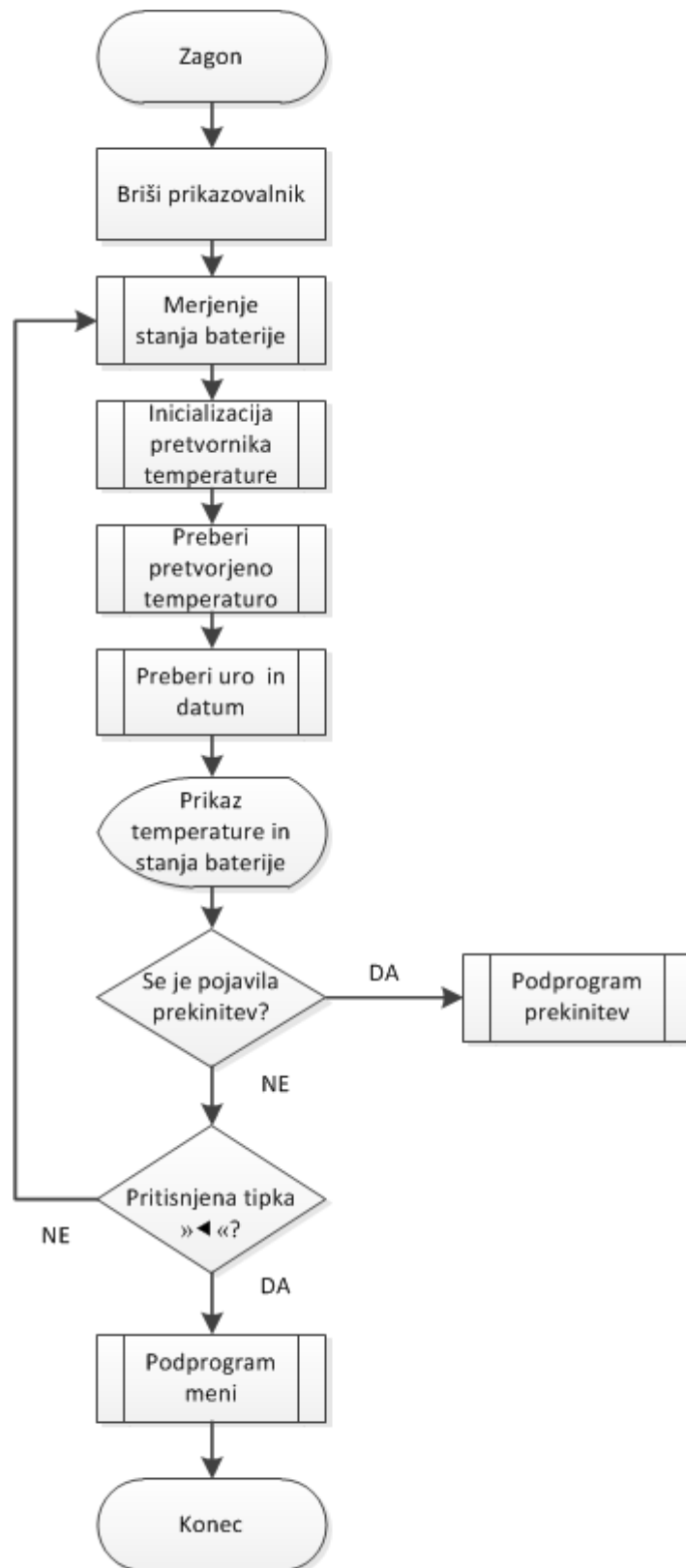
Priloga 2. Glavni meni.



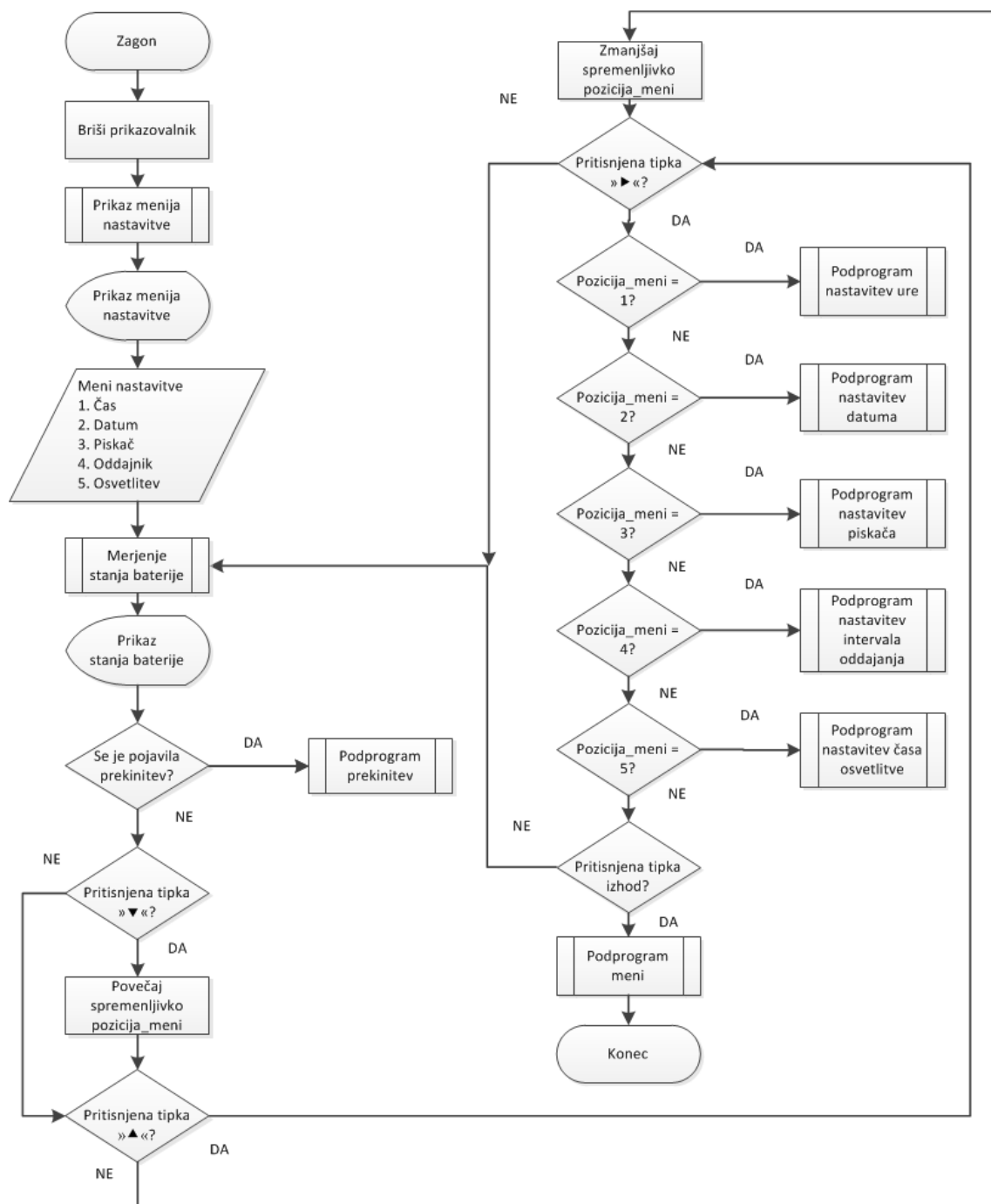
Priloga 3. Prikaz pletizmograma.



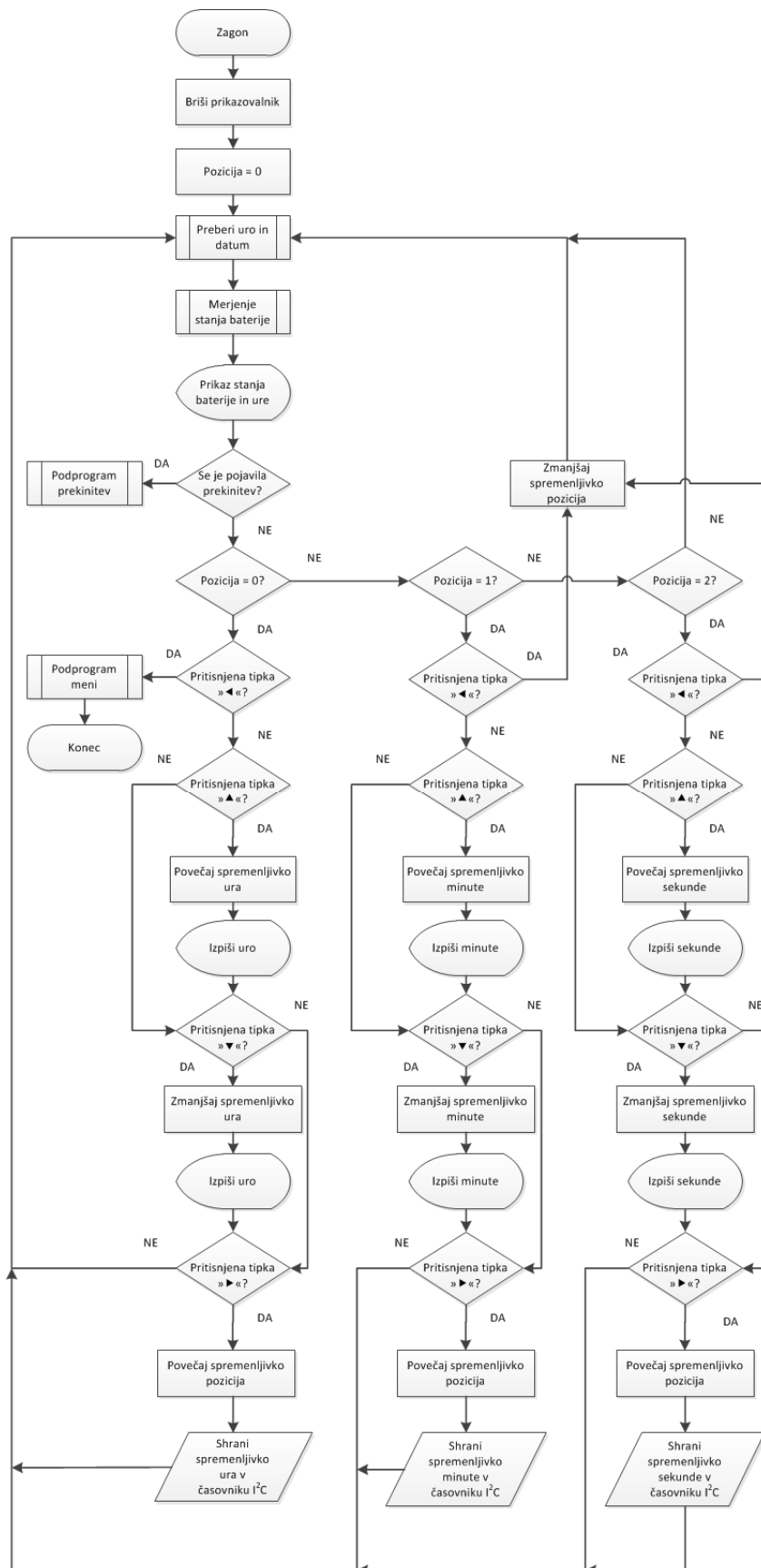
Priloga 4. Prikaz nasičenosti krvi s kisikom na prikazovalni enoti pulznega oksimetra UPPO₂.



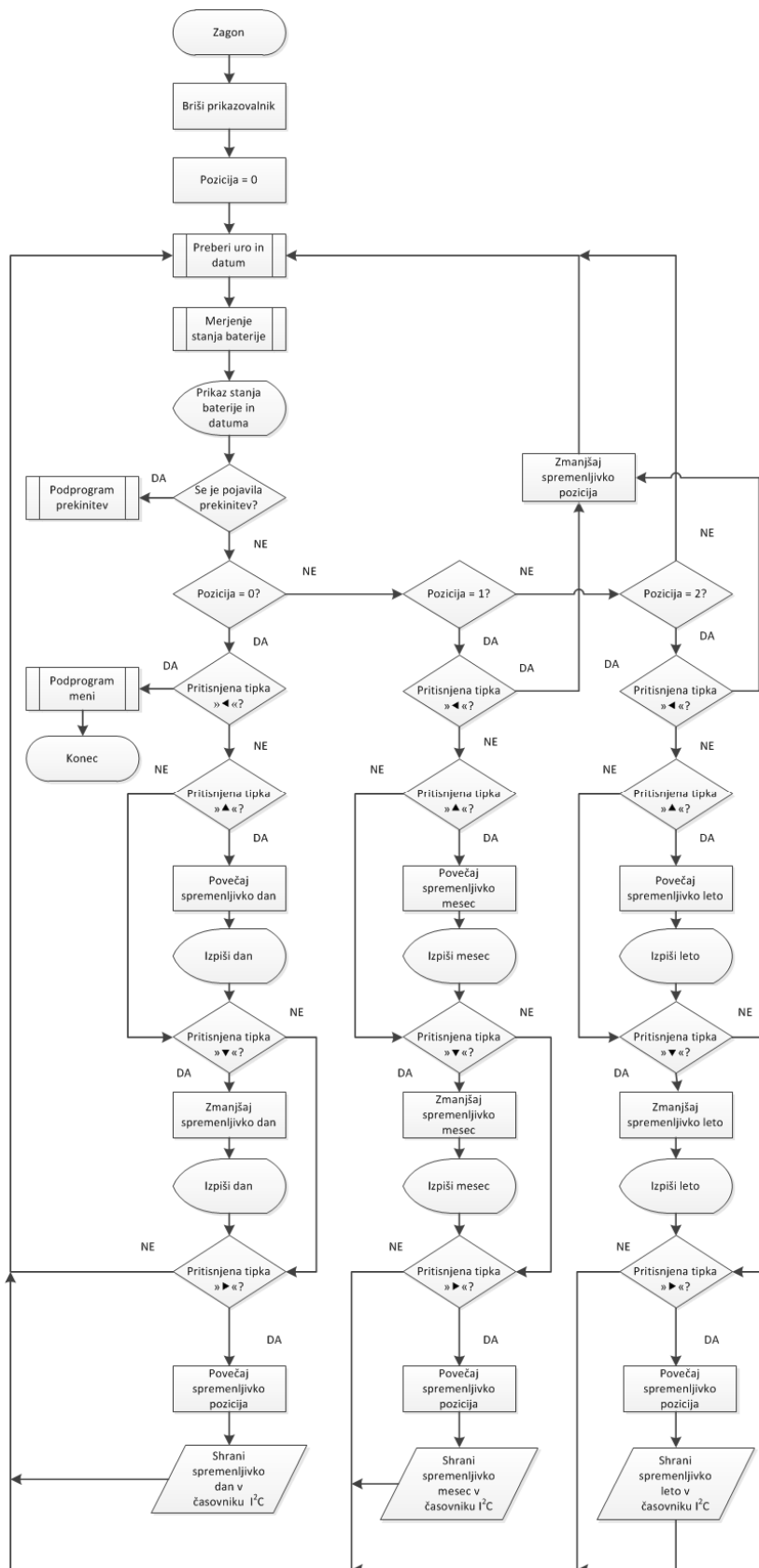
Priloga 5. Prikaz temperature.



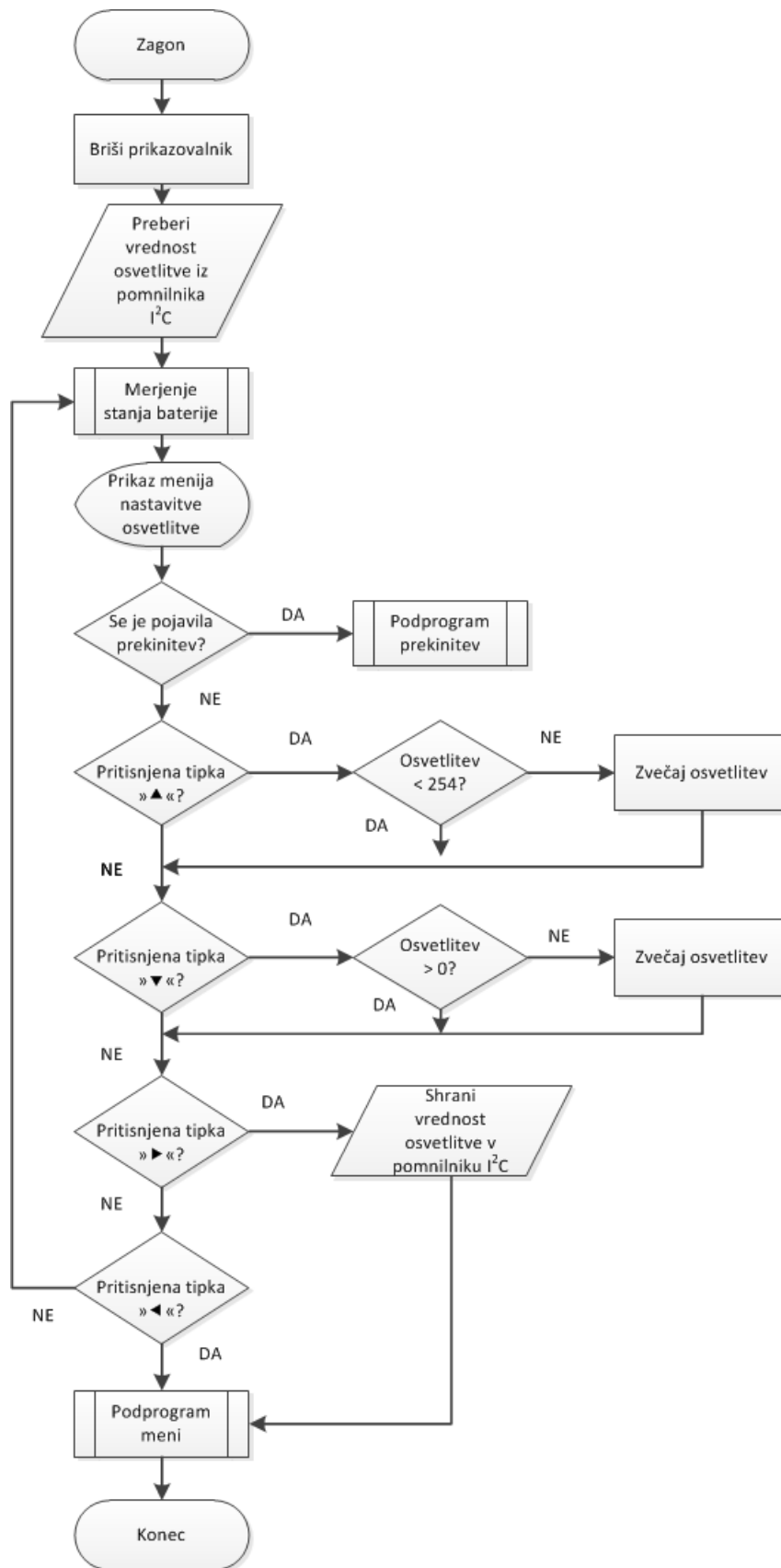
Priloga 6. Meni nastavitve.



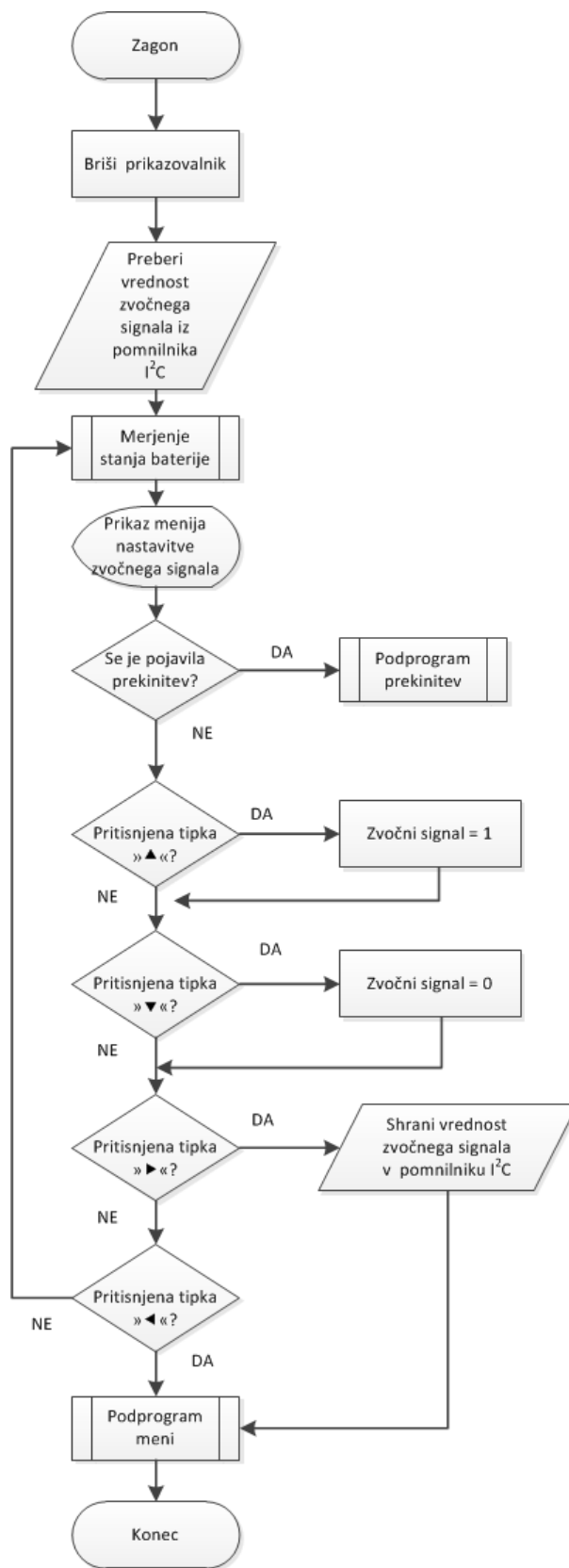
Priloga 7. Nastavitev ure.



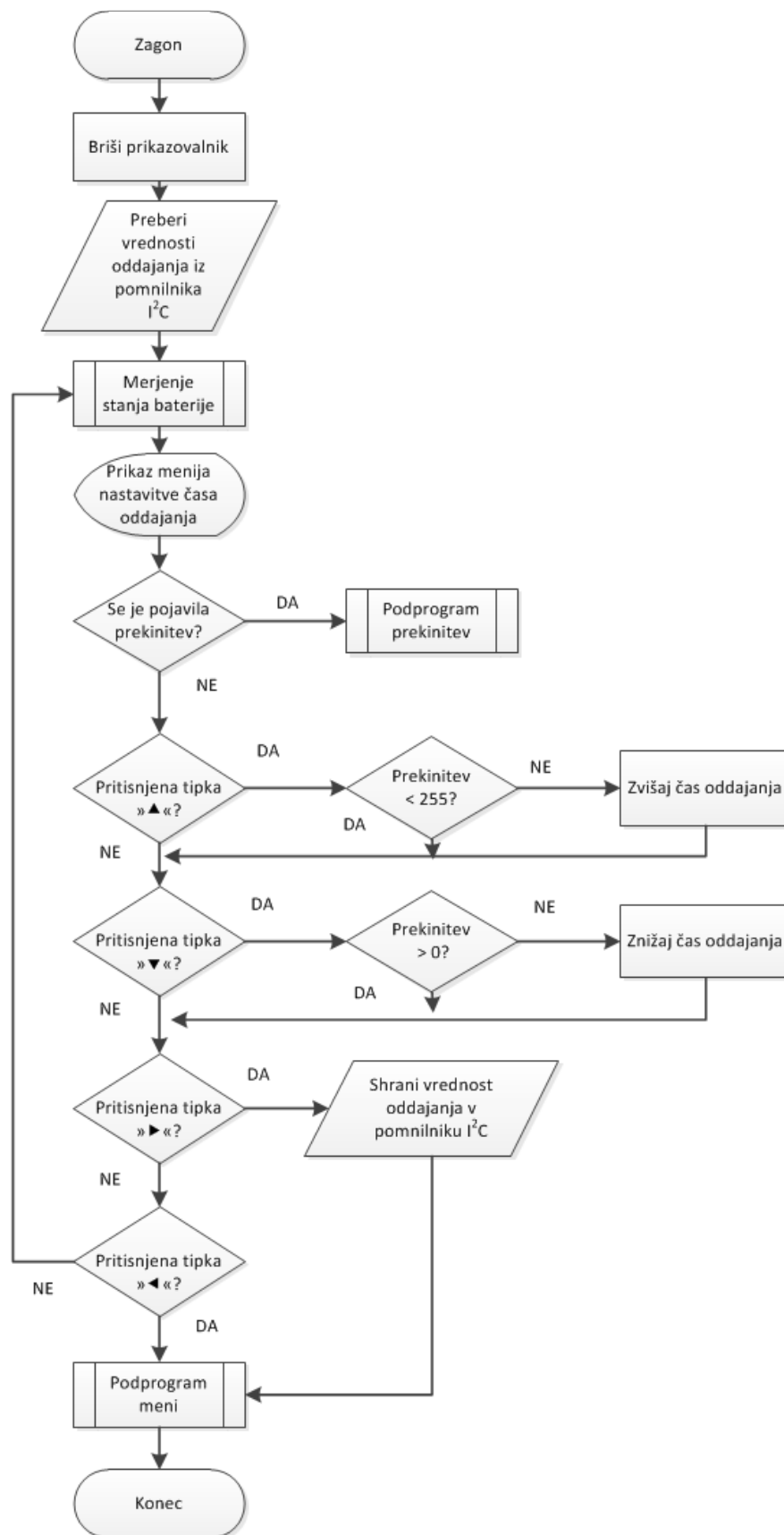
Priloga 8. Nastavitev datuma.



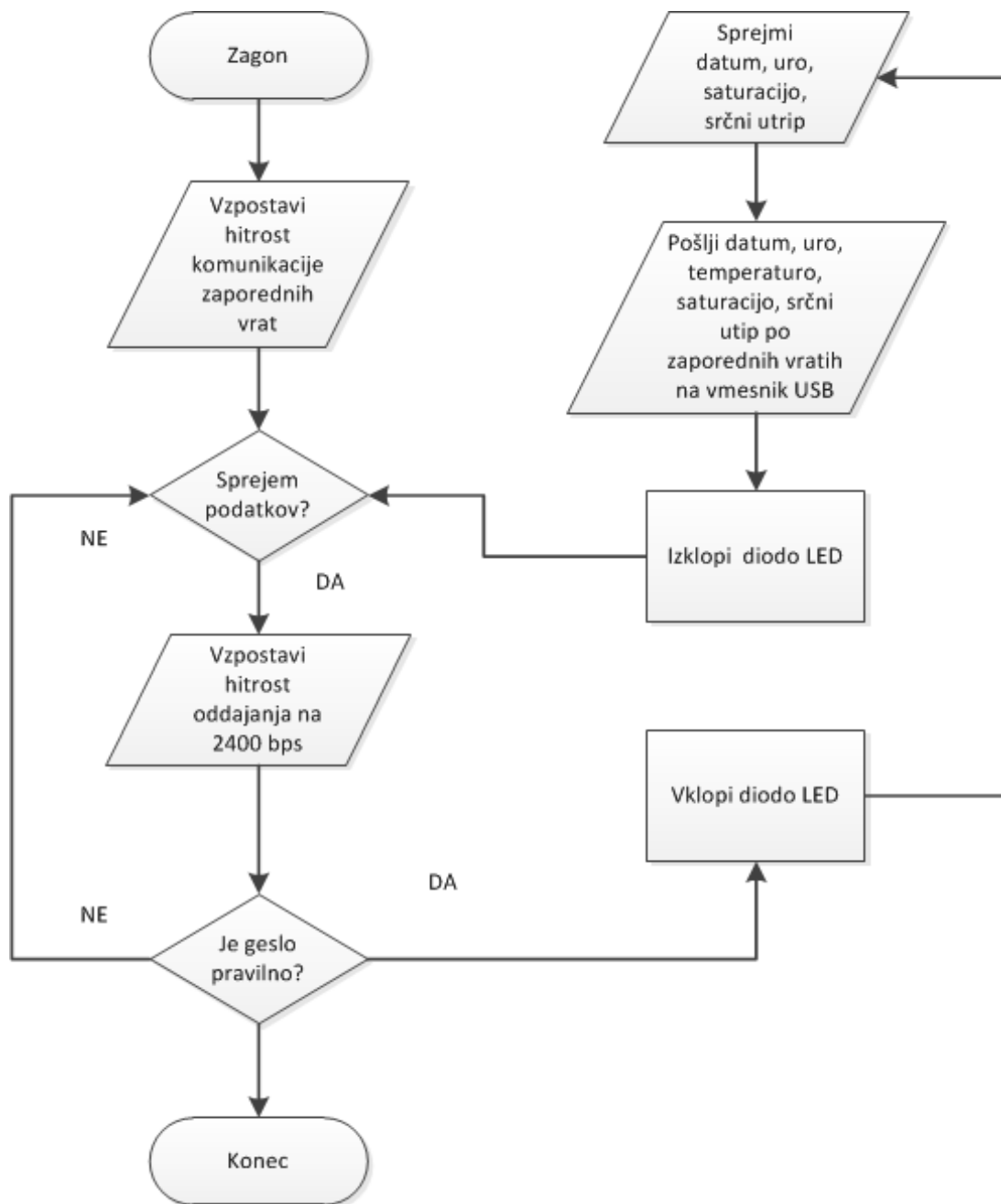
Priloga 9. Nastavitev osvetlitve



Priloga 10. Nastavitev zvočnega signala.

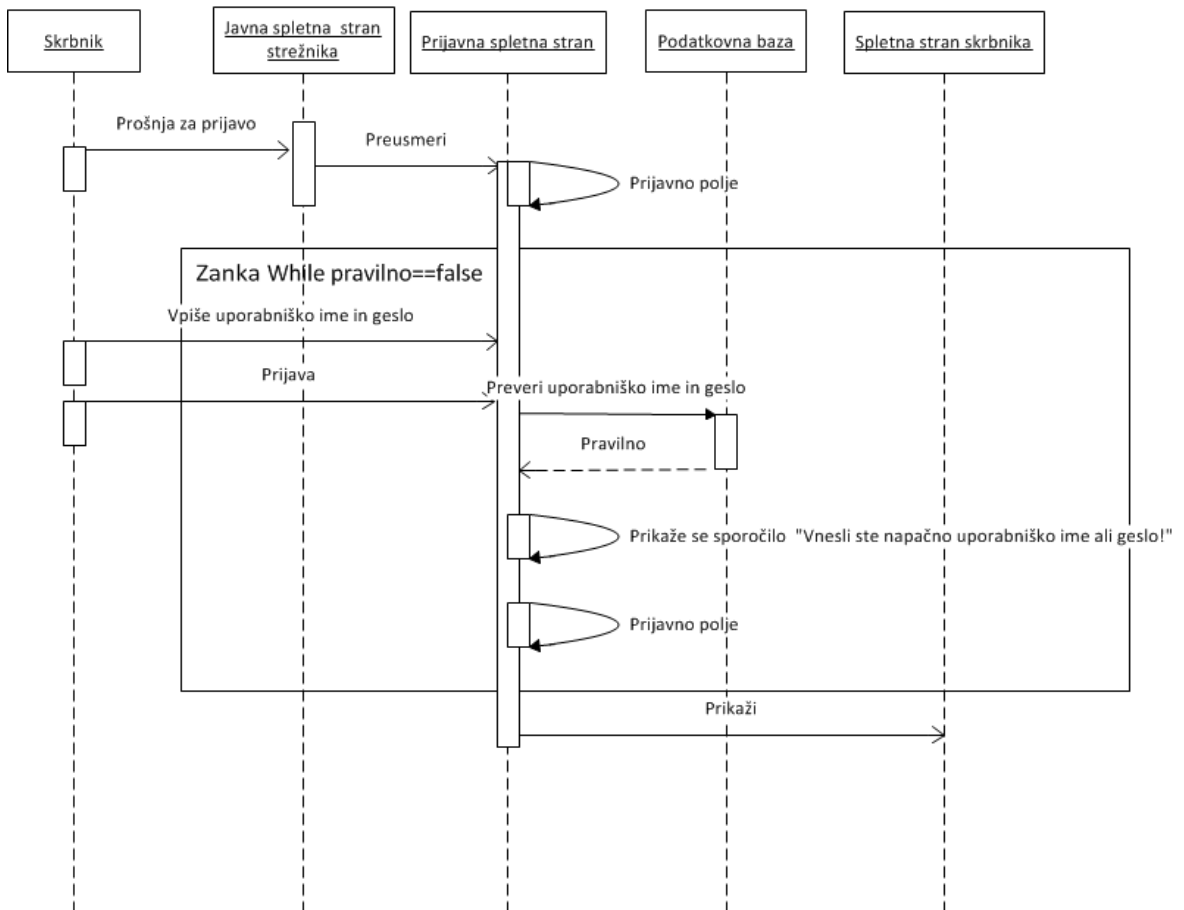


Priloga 11. Nastavitev intervala oddajanja.

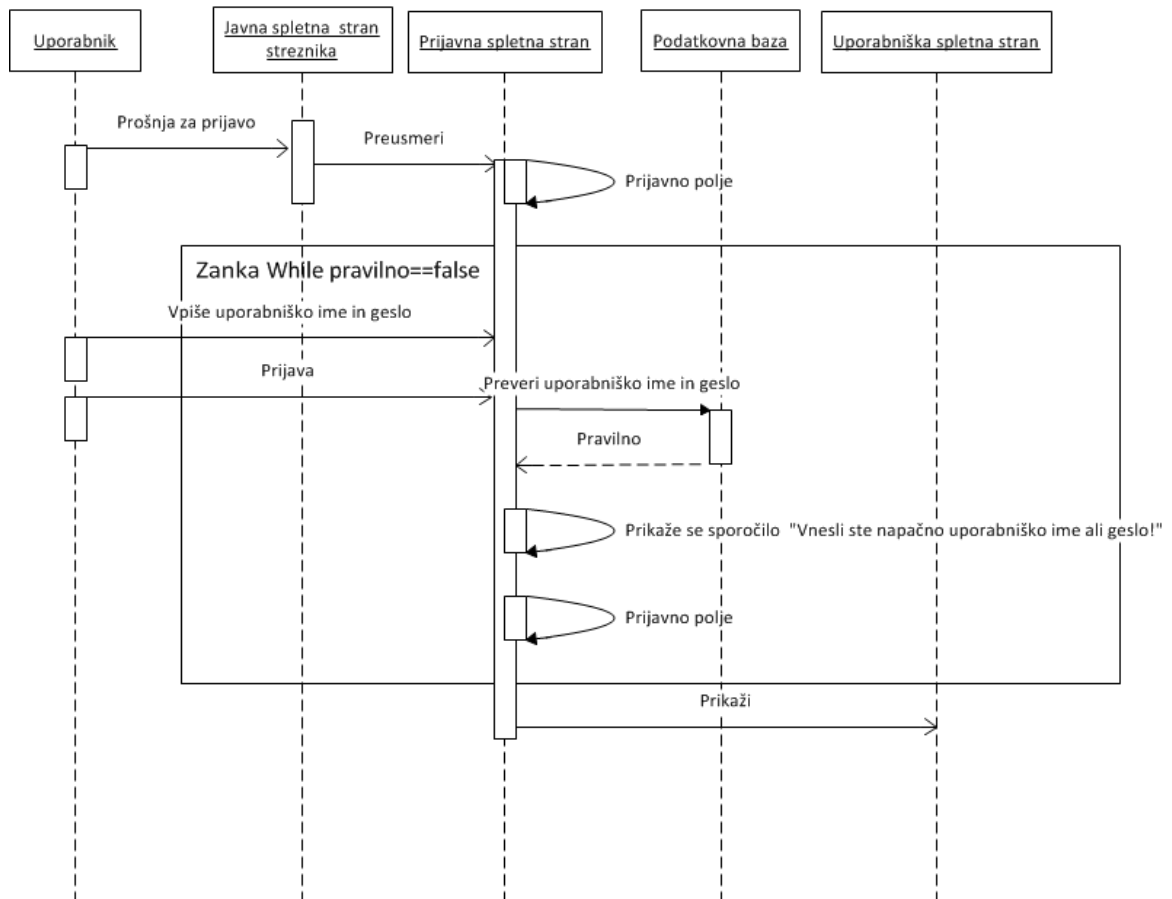


Priloga 12. Diagram poteka sprejemnega vmesnika USB.

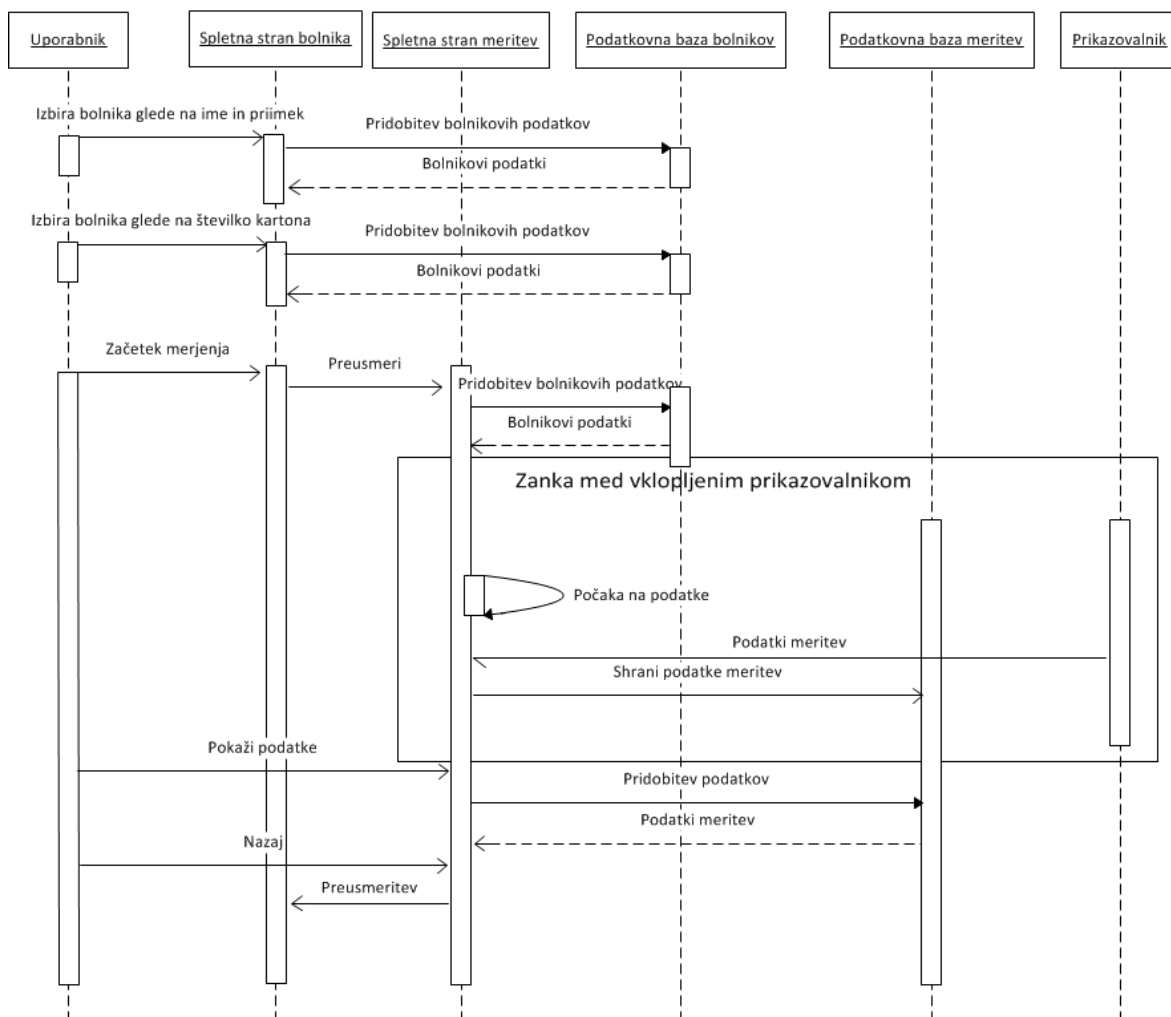
B SEKVENČNI DIAGRAMI INFORMACIJSKEGA SISTEMA



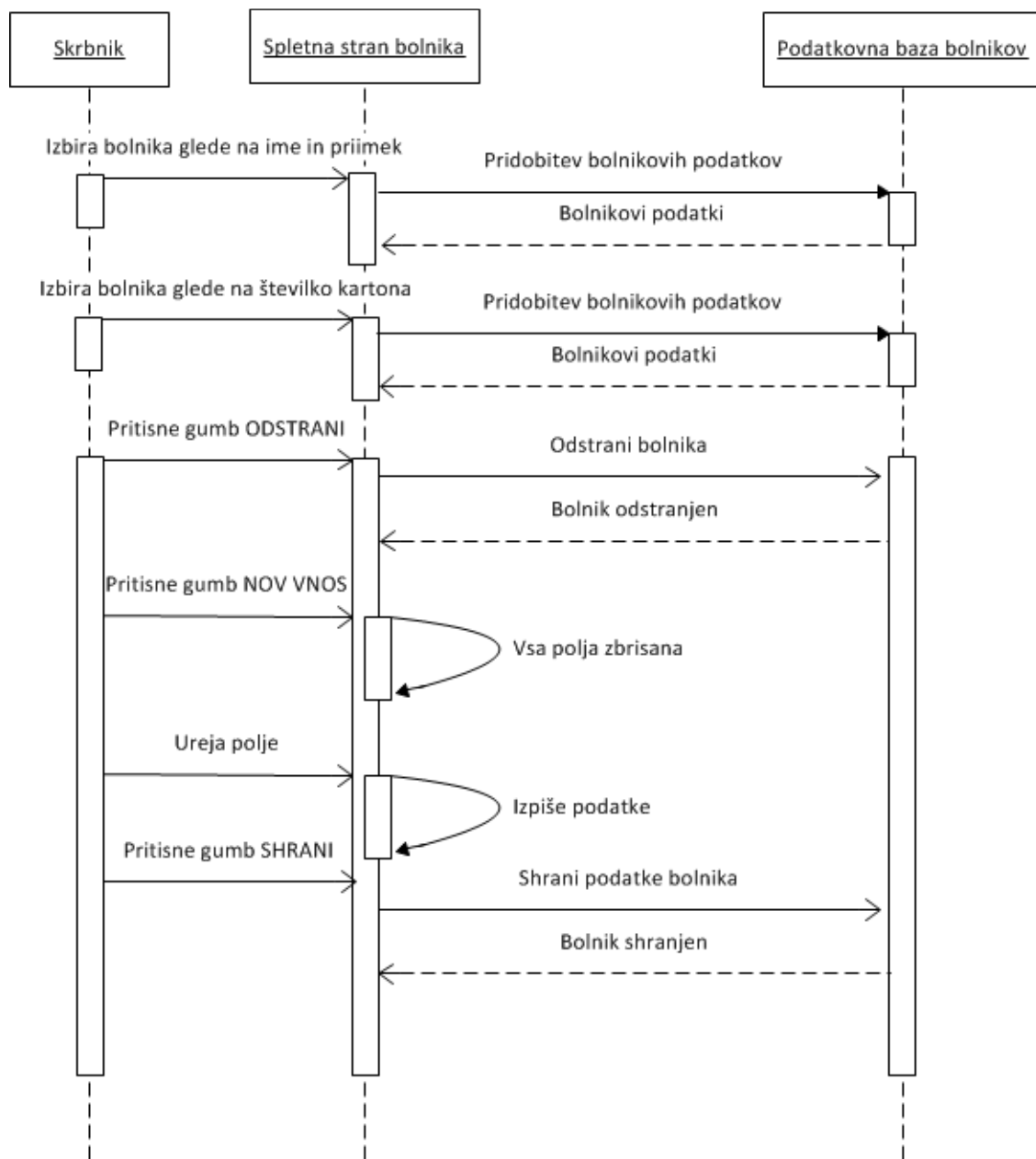
Priloga 13. Diagram zaporedja prijave skrbnika informacijskega sistema.



Priloga 14. Diagram zaporedja prijave uporabnika informacijskega sistema.



Priloga 15. Diagram zaporedja spletne strani meritev.



Priloga 16. Diagram zaporedja vnosa in urejanje bolnikovih podatkov.

C SKRIPTE SQL

```
CREATE TABLE `login` (  
  `id` INT(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT ,  
  `uporabnisko_ime` VARCHAR(64) NOT NULL ,  
  `geslo` VARCHAR(64) NOT NULL ,  
  `blokiran_racun` INT(3) NOT NULL ,  
  `preusmeritev` VARCHAR(45) NOT NULL ,  
  PRIMARY KEY ( `id` )  
)
```

Priloga 17. Skripta za oblikovanje tabele »login« v podatkovni bazi »oximeter«.

```
INSERT INTO `login` (  
  `id` ,  
  `uporabnisko_ime` ,  
  `geslo` ,  
  `blokiran_racun` ,  
  `preusmeritev`  
)  
VALUES (  
  NULL , 'admin', MD5( 'admin' ), '0', 'admin.php'  
)
```

Priloga 18. Skripta za namestitev uporabniškega računa za skrbnika.

```
INSERT INTO `login` (  
  `id` ,  
  `uporabnisko_ime` ,  
  `geslo` ,  
  `blokiran_racun` ,  
  `preusmeritev`  
)  
VALUES (  
  NULL , 'user', MD5( 'user' ), '0', 'user.php'  
)
```

Priloga 19. Skripta za namestitev uporabniškega računa za uporabnika.

```
CREATE TABLE `bolnik` (  
  `id` INT( 11 ) NOT NULL AUTO_INCREMENT ,  
  `ime` VARCHAR( 64 ) NOT NULL ,  
  `priimek` VARCHAR( 64 ) NOT NULL ,  
  `karton` VARCHAR (20) NOT NULL,  
  `spol` VARCHAR (2),  
  `ulica` VARCHAR (64),  
  `obcina` VARCHAR (45),  
  `posta` VARCHAR (45),  
  `telefon` VARCHAR (20),  
  `opombe` VARCHAR (200),  
  PRIMARY KEY ( `id` )  
);
```

Priloga 20. Skripta za oblikovanje tabele »bolnik« v podatkovni bazi »oximeter«.

D PROGRAM ZA KOMUNIKACIJO S SPREJEMNIM VMESNIKOM USB, NAPISAN V VISUAL STUDIO C#

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.IO.Ports;
using System.IO; //required for SerialPort class

namespace SerialPortCommunicationExample
{
    class Program
    {
        static SerialPort port1;
        static Boolean portstate = false;
        //*****
        static void Main(string[] args)
        {
            // choose usb port
            chooseSerialPort();
            // read from port
            while (portstate == true)
            {
                //port1.WriteLine(Console.ReadLine());
            }
            //Console.ReadLine();
            port1.Close();
        }
        //*****
        static void chooseSerialPort()
        {
            try
            {
                //create serial port as configured below
                //BaudRate = 9600 bps, Parity:None, 8-bit data, 1 Stop-bit
                port1 = new SerialPort("COM14", 9600, Parity.None, 8, StopBits.One);
                //create asynchronous event(it's a secondary threat of the main program)
                //will activate every time our serial device sends data to computer
                port1.DataReceived += new
                SerialDataReceivedEventHandler(port1_DataReceived);
                //finally open port
                port1.Open();
                portstate = true;
                //Console.WriteLine("COM14" + " is now open");
            }
            catch (Exception)
```

```

        Console.WriteLine("Unable to open Port. Please set USB port 14");
        getch();
        portstate = false;
    }
}

//*****
static void port1_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    string[] lines = { port1.ReadLine(), port1.ReadLine(), port1.ReadLine(),
port1.ReadLine(), port1.ReadLine(), port1.ReadLine(), port1.ReadLine(),
port1.ReadLine(), port1.ReadLine(), port1.ReadLine()};
    System.IO.File.WriteAllLines(@"oxi.txt", lines);
}

//*****
}
}

```

Priloga 21. Program za komunikacijo s sprejemnim vmesnikom USB, napisan v Visual Studio C#.