

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**



**Vývoj aplikace pro simulaci léčby srdeční arytmie**  
**Bakalárska práce**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Vývoj aplikace pro simulaci léčby srdeční arytmie**  
**Bakalářska práce**

Studijní program: Elektrotechnika, elektronika a komunikační technika  
Zadávací katedra: Katedra mikroelektroniky  
Vedoucí práce: prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

**2020 Praha**

**Ing. Eva Turňová**

### **Abstrakt v SJ**

Táto bakalárska práca je zameraná na simuláciu liečby srdcových arytmií. Popisuje základnú fyziológiu srdca, srdcových arytmií a možností liečby pomocou implantovateľných zariadení. Súčasťou práce je aj vlastná aplikácia simulujúca liečbu arytmií spôsobených „sick sinus“ syndrómom.

### **Kľúčové slová**

srdcová arytmia, kardiostimulácia, „sick sinus“ syndróm

### **Abstrakt v AJ**

This bachelor thesis is focused on simulation of treatment of heart arrhythmias. It describes basic heart physiology and possibilities of treatment with implantable cardiac devices. It contains also own software application for simulation of treatment arrhythmias caused by sick sinus syndrome.

### **Kľúčové slová v AJ**

heart arrhythmia, pacemaking, sick sinus syndrome

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Turnová** Jméno: **Eva** Osobní číslo: **474366**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Elektrotechnika, elektronika a komunikační technika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vývoj aplikace pro simulaci léčby srdeční arytmie**

Název bakalářské práce anglicky:

**Development of Application for Simulation of Cardiac Arrhythmias Treatment**

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte analýzu současného stavu simulací problémů srdečních arytmií. Rozhodněte pro účely práce o možnostech vytvoření vlastní softwarové aplikace.
2. Navrhněte softwarovou aplikaci pro simulaci léčby vybraných srdečních arytmií. Výsledky z navržené aplikace zpracujte graficky s cílem porovnání vhodnosti či nevhodnosti nastavení kardiostimulátorů, porovnejte ideální rytmus činnosti srdce s výstupy aplikace.
3. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte možné úpravy pro jejich zlepšení.

Seznam doporučené literatury:

1. Korpas, D.: Implantable Cardiac Devices Technology. New York: Springer Science Business Media, 2019. 116 s. ISBN 978-1-4814-8908-3
2. Poruchy srdečního rytmu – arytmie [online]. Institut klinické a experimentální medicíny [cit. 2019-09-03]. Dostupné na internetu <<https://www.ikem.cz/cs/poruchy-srdecniho-rytmu-arytmie/a-398/>>
3. Widmaier, E. P. – Raff, H. – Strang, K. T.: Vander's Human Physiology: The mechanisms of Body Function. New York: The McGraw-Hill, 2008. 804 s. ISBN 978-0-07-304962-5

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Miroslav Husák, CSc., katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.02.2020** Termín odevzdání bakalářské práce: **14.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2022**

prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

## **Čestné vyhlásenie**

Vyhlasujem, že som celú diplomovú prácu vypracovala samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Praha, 14. august 2020

.....

*vlastnoručný podpis*

## **Pod'akovanie**

Na tomto mieste by som chcela vyjadriť svoje pod'akovanie všetkým, ktorí mi akýmkoľvek spôsobom pomohli pri vypracovaní tejto bakalárskej práce. Moja vďaka patrí najmä vedúcemu práce, prof. Ing. Miroslavovi Husákovi, CSc. za cenné rady a usmernenia.

# Obsah

<b>Zoznam obrázkov .....</b>	<b>7</b>
<b>Zoznam tabuliek .....</b>	<b>8</b>
<b>Zoznam symbolov a skratiek .....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Fyziológia srdcovej činnosti a srdcové arytmie .....</b>	<b>11</b>
1.1 Prevodový systém srdca .....	11
1.1.1 Šírenie vzruchu prevodovým systémom srdca .....	12
1.2 EKG .....	13
1.2.1 EKG zvody .....	14
1.2.2 Krivka EKG .....	14
1.3 Sínusový rytmus .....	16
1.4 Srdcové arytmie .....	18
1.4.1 „Sick sinus“ syndróm .....	20
<b>2 Kardiostimulačná technika .....</b>	<b>21</b>
2.1 Klasifikácia kardiostimulátorov .....	21
2.2 Nastavovanie parametrov kardiostimulátoru .....	23
<b>3 Aplikácia pre simuláciu liečby srdcovej arytmie .....</b>	<b>25</b>
3.1 Návrh aplikácie .....	25
3.2 Simulácia liečby pomocou navrhnutej aplikácie .....	26
<b>Záver .....</b>	<b>29</b>
<b>Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>30</b>
<b>Prílohy .....</b>	<b>31</b>

---

## Zoznam obrázkov

Obr. 1 Prevodový systém srdca .....	12
Obr. 2 Šírenie depolarizačnej vlny srdcom.....	13
Obr. 3 Einthovenov trojuholník končatinových zvodov.....	14
Obr. 4 Zvody podľa Goldbergera .....	14
Obr. 5 Segmenty krivky EKG.....	15
Obr. 6 Sínusový rytmus natočený 12 zvodovým EKG.....	17
Obr. 7 Normálne parametre EKG .....	18
Obr. 8 Sínusová bradykardia – 33 bpm .....	20
Obr. 9 Junkčný sťah pri „sinus arreste“ .....	20
Obr. 10 SA blokáda II. stupňa .....	20
Obr. 11 Programátor od firmy Medtronic.....	23
Obr. 12 Mechanizmus liečby pomocou AOO a AAI módu .....	25
Obr. 13 Ukážka aplikácie – sínusová bradykardia .....	26
Obr. 14 Sínusové zastavenie s junkčným rytmom (1).....	27
Obr. 15 Sínusové zastavenie s junkčným rytmom (2).....	27
Obr. 16 Ukážka aplikácie - SA blokáda II. stupňa (1).....	28
Obr. 17 Ukážka aplikácie - SA blokáda II. stupňa (2).....	28



---

## Zoznam tabuliek

Tab. 1 EKG charakteristiky normálneho sínusového rytmu.....	16
Tab. 2 Rozdelenie srdcových arytmíí .....	18
Tab. 3 Arytmie podľa miesta poruchy tvorbu vzruchu alebo jeho vedenia.....	19
Tab. 4 Pôvodné označenie kardiostimulátorov podľa ICHD.....	22

## Zoznam symbolov a skratiek

bpm beat per minute – počet úderov srdca za minútu, tzv. srdcová frekvencia

SSS Sick Sinus Syndrome – „sick sinus“ syndróm

## Úvod

Kardiostimulačná technika predstavuje jeden z významných nástrojov liečby srdcových arytmií. Pri výuke toho ako liečba touto technikou funguje a ako jednotlivé parametre a nastavenia kardiostimulátora ovplyvnia danú arytmiu, je výhodné použiť simulačné nástroje.

Jedným cieľom tejto práce bolo zhodnotiť súčasný stav simulačných nástrojov liečby srdcových arytmií. Ako sa ukázalo, týchto nástrojov je dostupných len niekoľko, navyše sa jedná o pomerne nákladné nástroje. Oveľa väčšie množstvo simulačných nástrojov sa venovalo len simulácii elektrickej aktivity srdca ako takej.

Na základe toho bola naprogramovaná aplikácia, ktorá umožňuje simulovať liečbu arytmií spôsobených „sick sinus“ syndrómom pomocou jednokomorového kardiostimulátora.

# 1 Fyziológia srdcovej činnosti a srdcové arytmie

## 1.1 Prevodový systém srdca

Okrem svalových vlákien je srdce tvorené aj tkanivom, ktoré sa nezúčastňuje priamo kontrakcie srdca. Toto tkanivo je špecializované priamo na tvorbu a prenos elektrických impulzov, z čoho vyplýva aj jeho názov – vodivý systém srdca, excitomotorický aparát, prevodový systém srdca. Bunky tohto aparátu sú prepojené pomocou tzv. gap junction<sup>1</sup>, ktoré umožňujú prenášať impulz cez celé srdce – do svaloviny siení a predovšetkým komôr. [1][2]

S prevodovým systémom srdca sa spájajú základné fyziologické vlastnosti srdcového svalu, na ktorých závisí činnosť srdca [3]:

- automaticita – srdce je schopné vytvárať elektrické impulzy spontánne, takže srdce je schopné sťahovať sa v pravidelných intervaloch aj bez vonkajšieho podráždenia.
- excitabilita (vzrušivosť) – schopnosť srdcových buniek odpovedať na elektrický impulz
- konduktivita (vodivosť) – schopnosť prenášať vzruch cez celé srdce, v dôsledku čoho je zaistené synchronne stiahnutie všetkých svalových vlákien
- kontraktilita (stiahnuteľnosť) – schopnosť svalovej kontrakcie ako reakcia na elektrickú stimuláciu.

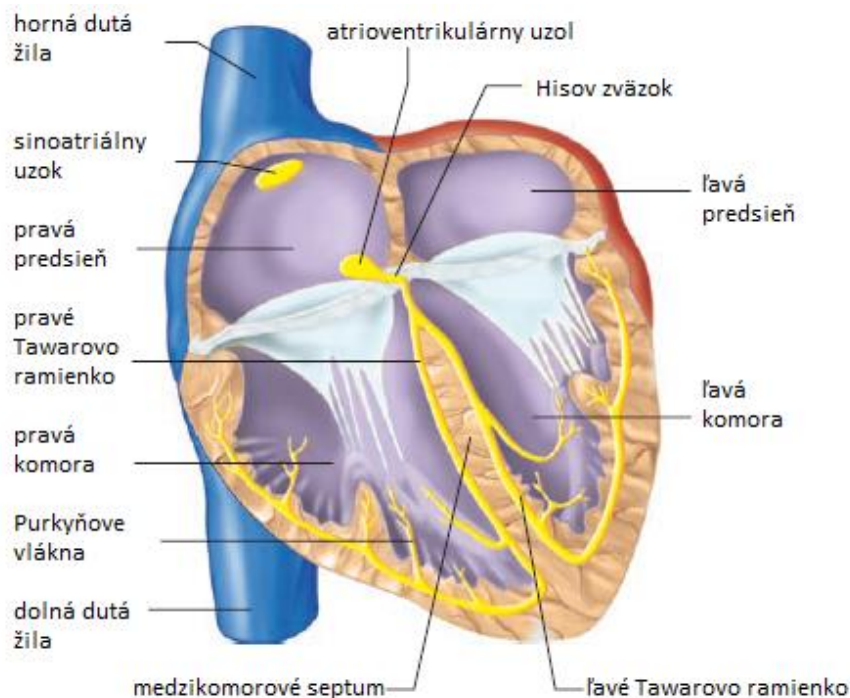
Prevodový systém srdca sa skladá z viacerých častí, z ktorých má každá svoju funkciu [3]:

- sinoatriálny (SA) uzol – sínusový uzol
- internodálne dráhy
- atrioventrikulárny (AV) uzol
- Hissov zväzok
- pravé a ľavé Tawarovo ramienko
- Purkyňove vlákna

Prevodový systém srdca a umiestnenie jeho jednotlivých častí znázorňuje Obr. 1.

---

<sup>1</sup> medzerový spoj



Obr. 1 Prevodový systém srdca

Zdroj: [1]

### 1.1.1 Šírenie vzruchu prevodovým systémom srdca

SA uzol je prirodzeným pacemakerom<sup>2</sup>. Jeho hlavnou činnosťou je udržiavanie spontánnej elektrickej aktivity<sup>3</sup>. Jeho depolarizácia generuje akčný potenciál, ktorý vedie k depolarizácii všetkých ostatných buniek a frekvencia „vybíjania“ určuje frekvenciu srdca (beat rate). Akčný potenciál sa šíri prostredníctvom gap junctions. Depolarizačná vlna ako prvú zasiahne srdcové predsieň a spôsobí ich kontrakciu [1].

Šírenie akčného potenciálu do srdcových komôr je zložitejšie. Predsieň a komory sú spojené AV uzlom. Akčný potenciál, ktorý sa šíri pravou predsieňou spôsobí depolarizáciu AV uzla. AV uzol je prirodzeným „spomaľovačom“ vedenia vzruchu. Funguje ako poistka brániaca prevodu príliš rýchlych vzruchov z predsiení do komôr. Vďaka tomu je zabezpečené dokončenie kontrakcie srdcových predsiení skôr ako nastane excitácia komôr. [1][3]

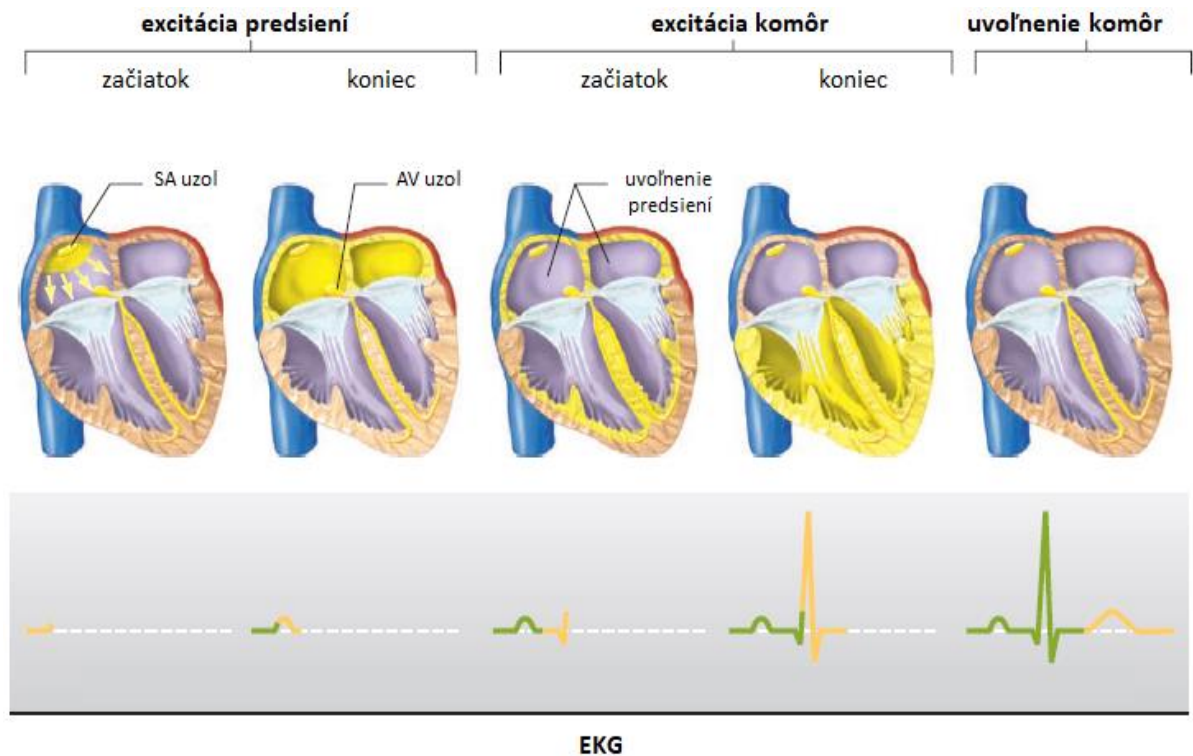
Z AV uzla sa elektrický impulz šíri ďalej cez Hisov zväzok. Hisov zväzok tvorí jediné elektrické spojenie medzi srdcovými predsieňami a komorami. S výnimkou tejto cesty sú predsieň úplne oddelené od komôr vrstvou nevodivého spojivového tkaniva. [1]

<sup>2</sup> pacemaker – udávateľ rytmu, resp. kroku

<sup>3</sup> pokiaľ dôjde k poškodeniu SA uzlu, elektrickú aktivitu preberajú sekundárne centrá z AV uzlu alebo terciárne centrá v komorách srdca. Tieto centrá však majú nižšiu tepovú frekvenciu, ako frekvencia vyvolaná SA uzlom

Hissov zväzok rozdeľuje na pravé a ľavé Tawarovo ramienko. Ľavé Tawarovo ramienko sa rozbieha ešte na ľavý predný a ľavý zadný zväzok. Zväzky a ramienka sú zakončené drobnými vláknami, ktoré sa nazývajú Purkyňove vlákna. Úlohou tejto časti prevodového systému srdca je rýchle a rovnomerné šírenie depolarizačnej vlny do komôr tak, aby ich stiahnutie bolo čo najsynchrónnejšie.

Šírenie depolarizačnej vlny cez prevodový systém srdca ilustruje Obr. 2. Na obrázku je znázornené, ktorou časťou prevodového srdca práve depolarizačná vlna prechádza spolu s príslušnou časťou krivky EKG, podľa ktorej je možné následne diagnostikovať prípadné srdcové arytmie.



Obr. 2 Šírenie depolarizačnej vlny srdcom

Zdroj: [1]

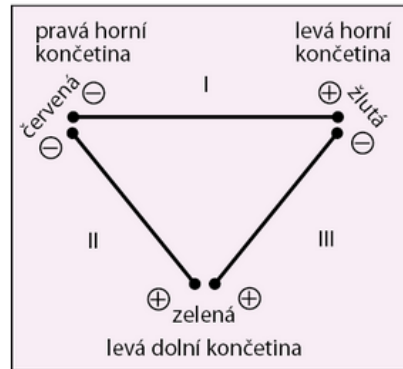
## 1.2 EKG

Elektrickú aktivitu srdca je možné zaznamenávať pomocou elektrokardiografie (EKG). EKG sníma a zobrazuje elektrickú aktivitu srdcového svalu, nejedná sa o priame snímanie elektrickej aktivity prevodového systému. Napriek tomu môžeme z priebehu EKG krivky určiť, či šírenie depolarizačnej vlny prebieha normálnym spôsobom.

### 1.2.1 EKG zvody

Štandardné 12 zvodové EKG sa skladá z nasledujúcich zvodov [4]:

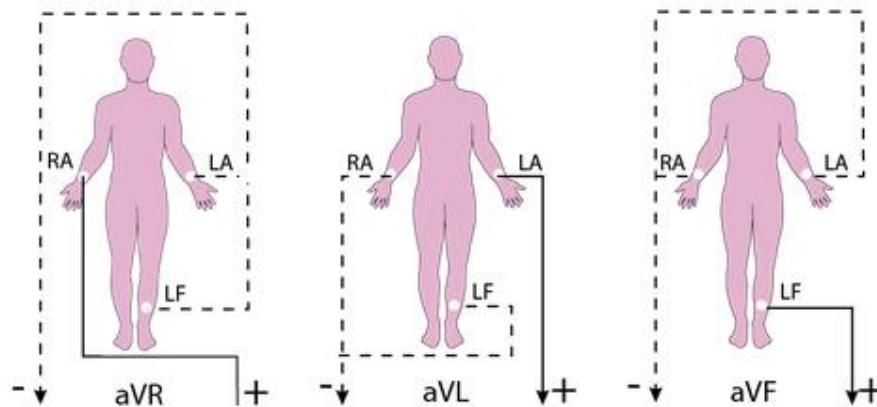
- *končatinové vody podľa Einthovena (I, II, III)* – bipolárne zvody so zápisom pozitívnej výchylky, ak sa depolarizácia šíri smerom k elektróde označenej +



Obr. 3 Einthovenov trojuholník končatinových zvodov

Zdroj: [4]

- *hrudné zvody podľa Wilsona (V1-V6)* – unipolárne zvody s presne definovaným umiestnením vzhľadom k elektroneutrálnemu bodu uprostred hrudníka
- *zvody podľa Goldbergera (aVR, aVL, aVF)* – unipolárne zvody získané prepojením končatinových zvodov



Obr. 4 Zvody podľa Goldbergera

Zdroj: [4]

### 1.2.2 Krivka EKG

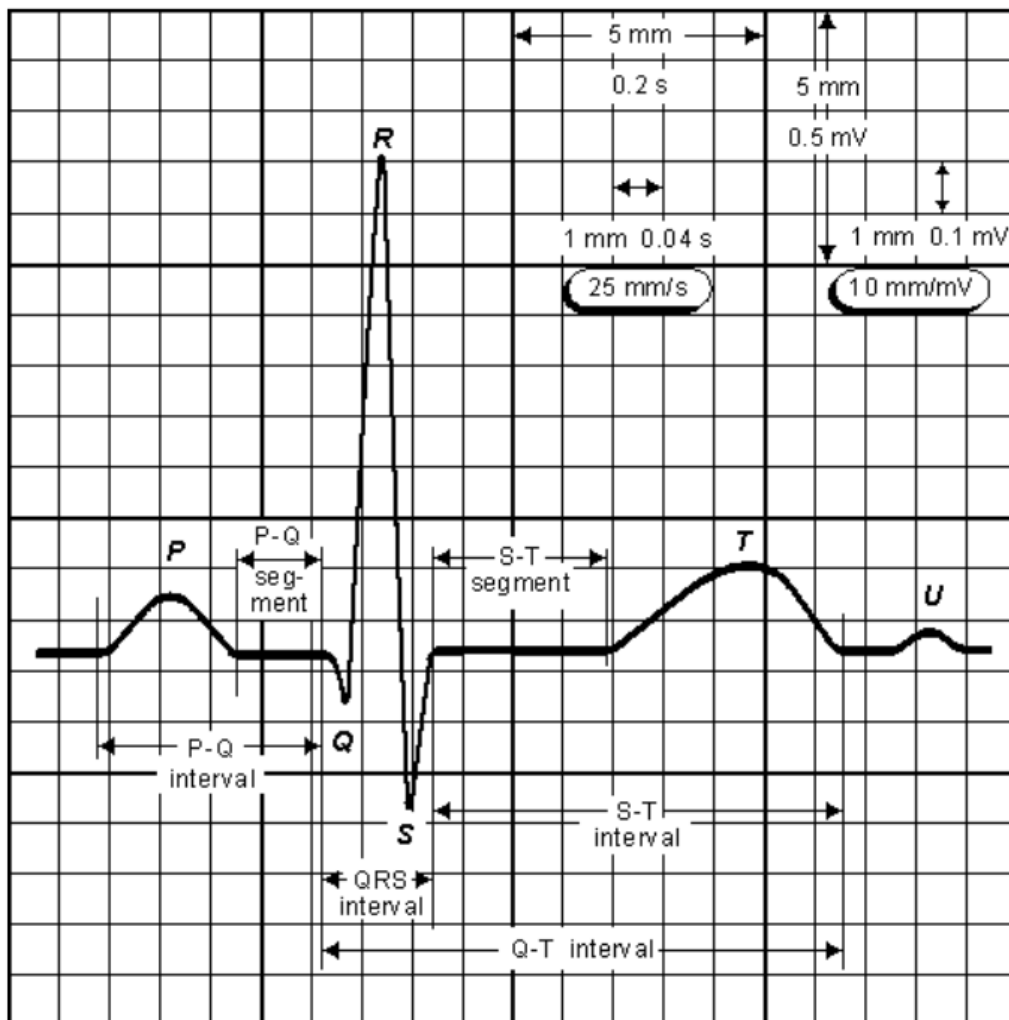
Na priebehu krivky EKG môžeme rozoznať niekoľko segmentov [1]:

- *P vlna* – úsek znázorňujúci depolarizáciu predsiení elektrickým impulzom, ktorý prišiel z SA uzla. Nízka amplitúda tejto časti krivky je daná tenkou stenou predsiení.

- PQ interval – úsek znázorňujúci prenos vzruchov z predsiení na komory
- QRS komplex (interval) – úsek znázorňujúci depolarizáciu komôr
- T vlna – úsek znázorňujúci repolarizáciu komôr
- U vlna – význam tejto časti nie je známy, ale predpokladá sa, že ide o prejav oneskorenej repolarizácie koncových častí prevodového systému srdca.

Štandardné 12 zvodové EKG obsahuje pre každý zvod jednu krivku. Jednotlivé intervaly je potrebné odčítavať vždy zo zvodu s najväčšou výchylkou [4]. Takto zložená krivka je znázornená na Obr. 5. Okrem hodnotenia amplitúdy a dĺžky trvania jednotlivých segmentov sa z EKG záznamu určuje aj sklon elektrickej osi srdca.

Štandardne je záznam EKG zapisovaný rýchlosťou 50 mm/s, resp. 25 mm/s so zosilnením 1mV/cm.



Obr. 5 Segmenty krivky EKG

Zdroj: [6]



### 1.3 Sínusový rytmus

Normálny srdcový rytmus sa nazýva sínusový. Jeho EKG charakteristiky sú zhrnuté v Tab. 1. V tabuľke je namiesto QT intervalu uvedený korigovaný QT interval ( $QT_c$ ). Táto korekcia je nutná, pretože dĺžka QT intervalu je závislá srdcovej frekvencii. Korekcia sa prevádza pomocou tzv. Bazettovho vzorca

$$QT_c = \frac{QT [s]}{\sqrt{RR[s]}}$$

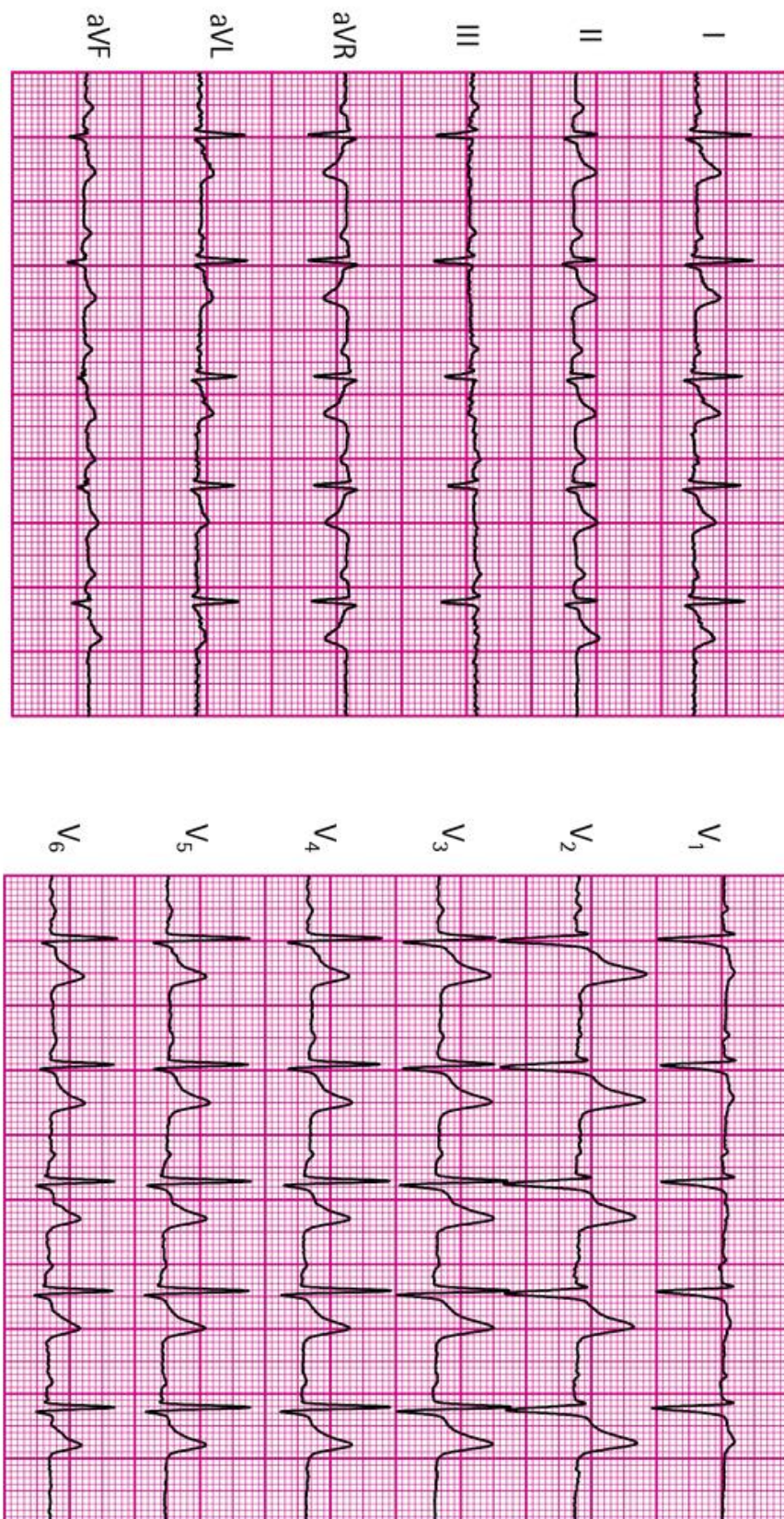
kde  $QT_c$  je korigovaný QT interval,  $QT$  je dĺžka trvania (najdlhšieho) QT intervalu a  $RR$  je časový odstup 2 QRS komplexov.

Tab. 1 EKG charakteristiky normálneho sínusového rytmu

Segment EKG	Charakteristika
<b>Vlna P</b>	prítomná pred QRS komplexom pozitívna výchylka v zvodoch III a VF negatívna výchylka v zvodoch aVR maximálna dĺžka 0,10 s amplitúda do 0,2 mV
<b>PQ interval</b>	dĺžka 0,12 – 0,21 s
<b>QRS komplex</b>	amplitúda vyššia ako amplitúda P vlny dĺžka 0,06 – 0,10 s
<b>QTc interval</b>	maximálna dĺžka intervalu 0,42 (muži), 0,44 s (ženy)

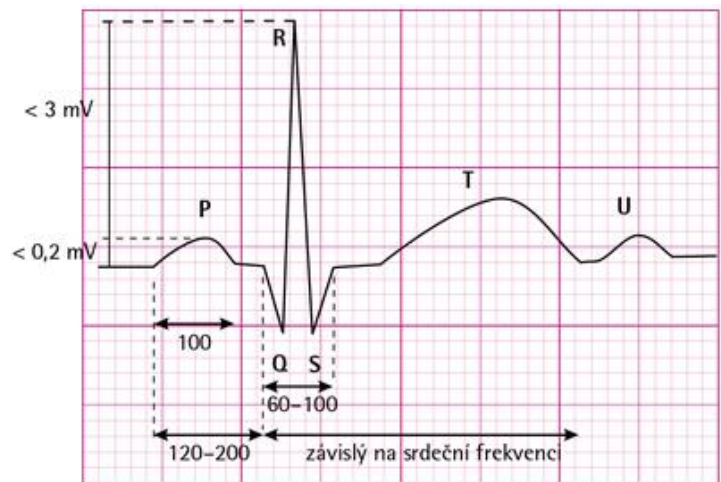
Zdroj: Spracované podľa [4] [5]

Na Obr. 6 je znázornených všetkých 12 kriviek 12 zvodového EKG spolu s označením príslušných zvodov. Ako už bolo spomenuté, jednotlivé segmenty zo zvodu s najväčšou výchylkou. Z takto vybraných segmentov je možné zložiť jednu krivku tak ako je znázornená na Obr. 7.



Obr. 6 Sinusový rytmus natočený 12 zvodovým EKG

Zdroj: [4]



Obr. 7 Normálne parametre EKG

Zdroj: [4]

## 1.4 Srdcové arytmie

Poruchy srdcového rytmu sa nazývajú srdcové arytmie a vznikajú ako dôsledok chybného vytvárania alebo vedenia elektrických vzruchov prevodovým systémom srdca. Normálny sínusový rytmus má frekvenciu približne 60 – 100 krát za minútu.

Arytmie môžeme rozdeliť podľa charakteristického klinického prejavu. Rozdelenie arytmií a ich prejavy sú zhrnuté v Tab. 2.

Tab. 2 Rozdelenie srdcových arytmií

Arytmia	Srdcová frekvencia	Pravidelnosť
(sínusová) bradykardia	menej ako 60 bpm	pravidelná
(sínusová) tachykardia	viac ako 100 bpm	pravidelná
bradyarytmia	menej ako 60 bpm	nepravidelná
tachyarytmia	viac ako 100 bpm	nepravidelná

Zdroj: Spracované podľa [7]

Bradykardia môže byť fyziologická, kedy sa nejedná o prejav choroby. Fyziologická bradykardia sa môže vyskytovať počas spánku alebo u športovcov. Príčiny patologických bradykardií môžu byť ako kardiálne (akútny infarkt myokardu, sick sinus syndróm), tak nekardiálne (hypotyreóza, žltáčka). Tachykardia býva spôsobovaná napríklad fyzickou záťažou, úzkosťou alebo ochoreniami, ktoré zvyšujú aktivitu sympatického nervového systému, často sa však príčina nenájde. Vo vzácných prípadoch je spôsobená primárnou poruchou sínusového uzlu. [5]

Bradyarytmie vznikajú ako dôsledok pomalého vzniku vzruchu v SA uzle alebo prerušenia vedenia cez AV uzol do komôr. Pri tachyarytmii vznikajú vzruchy v inej oblasti v SA uzle, prípadne elektrický impulz krúži okolo celého srdca a aktivuje okolitú svalovinu [8].

Keďže k srdcovej arytmii môže dôjsť v dôsledku poruchy tvorby alebo vedenia vzruchu v rôznych častiach srdca, je možné ich rozdeliť aj z tohto hľadiska.

**Tab. 3 Arytmie podľa miesta poruchy tvorbu vzruchu alebo jeho vedenia**

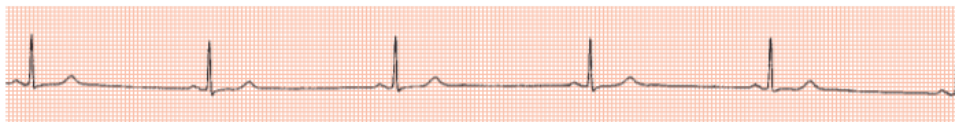
<b>Miesto</b>	<b>Bradyarytmia</b>	<b>Tachyarytmia</b>
<b>SA uzol</b>	sínusová bradykardia „sick sinus“ syndróm uniklé rytmy	sínusová tachykardia
<b>Predsiene</b>		predsieňové extrasystoly predsieňový flutter predsieňová fibrilácia paroxyzmálna supraventrikulárna tachykardia neparoxyzmálna supraventrikulárna tachykardia multifokálna predsieňová tachykardia
<b>AV uzol</b>	prevodné blokády 2 a 3 stupňa	paroxyzmálna supraventrikulárna tachykardia
<b>Komorový prevodový systém a komory</b>		komorové extrasystoly komorová tachykardia „torsade de pointes“ komorová fibrilácia

Zdroj: [7]

### 1.4.1 „Sick sinus“ syndróm

Príčinou „sick sinus“ syndrómu sú poruchy funkcie SA uzlu alebo prevodu vzduchu z SA uzlu do siení. SSS sa môže prejavíť vo forme sínusovej bradykardie, sinoatriálnej blokády alebo „sinus arrestom“.

*Sínusová bradykardia* je „sínusový rytmus s frekvenciou nižšou ako 60 bpm“ [5].



**Obr. 8 Sínusová bradykardia – 33 bpm**

Zdroj: [5]

*Sinus arrest* (sínusové zastavenie) je spôsobený výpadkami v tvorbe vzruchov v SA uzle, preto nedochádza k depolarizácii siení. Po tomto výpadku môže dôjsť k vzniku náhradného rytmu z AV uzla, tzv. junkčného rytmu. Na krivke EKG je možné pozorovať chýbajúce P vlny. [4][5]



**Obr. 9 Junkčný sťah pri „sinus arreste“**

Zdroj: [5]

Pri *sinoatriálnej blokáde* dochádza k poruche vedenia vzruchu medzi SA uzlu a predsiení. SA blokády rozdeľujeme na:

- SA blokády I. stupňa – na povrchovom EKG je nerozpoznatel'ná
- SA blokády II. stupňa – na EKG sa prejaví ako predĺženie intervalu medzi dvoma P vlnami pri sínusovom rytme
- SA blokády III. stupňa – na povrchovom EKG sa prejaví ako sinus arrest [8].



**Obr. 10 SA blokáda II. stupňa**

Zdroj: [5]

## 2 Kardiostimulačná technika

Srdcové arytmie je možné okrem farmakologickej liečby korigovať aj elektrickou stimuláciou. Cieľom elektrickej stimulácie je maximálne priblíženie k normálnej funkcii srdca.

Rozlišujeme tri základné typy stimulácie srdcového svalu [9]:

- kardiostimulácia (pacemakers) – nahradenie poruchy rytmickej funkcie,
- kardiovezia – rušenie poruchy srdcového rytmu,
- defibrilácia – rušenie fibrilácie komôr.

V prípade, že sa jedná o dočasnú stimuláciu, hovoríme o klinickej stimulácii. V prípade, že sa jedná o trvalú stimuláciu, je stimulátor zavedený do tela pacienta, z čoho je odvodený aj názov implantabilné zariadenie.

Implantovateľné zariadenia na riadenie srdcového rytmu môžeme rozdeliť na kardioverter-defibrilátory (ICD, defibrilátory) a generátory pulzov (IPG, pacemakery) [9].

Kardiostimulátory sú zariadenia, ktoré slúžia na liečbu bradyarytmií. Skladajú sa z generátora pulzov a elektród, ktoré sú umiestňované do príslušných dutín srdca.

### 2.1 Klasifikácia kardiostimulátorov

Na rozdelenie kardiostimulátorov je možné pozerať z viacerých hľadísk [9]:

- A. doba stimulácie
  - a. dočasná – klinická
  - b. trvalá – implantabilná
- B. spôsob stimulácie
  - a. priamy – endokardiálna, myokardiálna, epikardiálna
  - b. nepriamy – hrudníkový, pažerákový
- C. funkcia stimulátoru
  - a. neriadená
  - b. riadená
  - c. programovateľná
- D. počet ovládaných srdcových dutín
  - a. jednodutinové

- b. dvojduťinové
- E. typ stimulačných elektród
  - a. unipolárne
  - b. bipolárne
- F. typ napájania stimúlátoru
  - a. batériové
  - b. budené vysokou frekvenciou

Na označenie kardiostimulátorov sa používa identifikačný kód navrhnutý Medzinárodnou komisiou pre srdcové ochorenia ICHD (International Commission for Heart Disease) a zavedený ako kód NBG.

Pôvodný ICHD identifikačný kód pozostával z 3 písmen, tak ako uvádza Tab. 4. Ako príklad možno uviesť kardiostimulátor označený ako VOO – kardiostimulátor stimulujúci predsieň bez funkcie snímania.

**Tab. 4 Pôvodné označenie kardiostimulátorov podľa ICHD**

1. písmeno miesto stimulovania	2. písmeno miesto snímania	3. písmeno spôsob stimulovania
O – žiadne	O – žiadne	O – žiadny
A – predsieň	A – predsieň	T – spúšťací/stimulujúci <sup>4</sup>
V – komora	V – komora	I – inhibičný <sup>5</sup>
D – duálne (dvojduťinové)	D – duálne (dvojduťinové)	D – duálny (spustenie siene a vypnutie komory)

Zdroj: [10]

Neskôr bolo toto značenie rozšírené o ďalšie dve písmená a päťpísmenové označenie je známe ako NBG kód. Štvrté písmeno predstavuje programovateľnosť<sup>6</sup>, piate antiarytmickú funkciu<sup>7</sup>.

Kardiostimulátory sú implantované v oblasti kľúčnej kosti a elektródy sú do srdca vedené cez podkľúčnu žilu. Podľa typu kardiostimulátora sú elektródy umiestnené do jednotlivých dutín srdca. Jednoduťinové kardiostimulátory majú len jednu elektródu,

<sup>4</sup> pozitívny sensing inhibuje pacing

<sup>5</sup> Pozitívny sensing stimuluje pacing

<sup>6</sup> P – jednoduché, M – multiprogramovateľný, C – komunikovateľný, R – frekvenčne adaptibilný

<sup>7</sup> P – antitachykardiálny stimul, S – šok, D (P + S)

ktorá je zavedená do pravej predsieni alebo pravej komory. Dvojduťinový kardiostimulátor má dve elektródy, z ktorých jedna je umiestnená do pravej predsieni alebo pravej komory. Dvojkomorové kardiostimulátory majú tri elektródy umiestnené v pravej predsieni, pravej komore a ľavej komore. [11][12]

## 2.2 Nastavovanie parametrov kardiostimulátoru

Prvá generácia kardiostimulátorov umožňovala len režim s pevne nastavenou frekvenciou stimulácie. Bez ohľadu na spontánnu srdcovú aktivitu bola nastavená frekvencia približne 70 bpm a stimulácia oboch komôr. Neskorší vývoj umožnil vývoj „on demand“ stimulácie, kedy je detekovaný spontánný QRS komplex a tým je možné načasovať nasledujúci stimul. Neskorší vývoj priniesol rozvoj v oblasti sensingu a/alebo stimulácie aj siení aj komôr. [5]

Súčasný kardiostimulátor je možné nastavovať prostredníctvom tzv. programátorov. Programátor je zariadenie podobné počítaču s vlastným operačným systémom, ktoré obsahuje špeciálny softvér pre programovanie konkrétnych kardiostimulátorov. [12]



Obr. 11 Programátor od firmy Medtronic

Zdroj: [13]

Základné parametre, ktoré je možné naprogramovať pomocou programátoru sú:

- kardiostimulačný mód (ICHD),
- sensing – unipolárny, resp. bipolárny,



- citlivost',
- stimulačný pulz (jeho amplitúda a šírka pulzu),
- adaptive-rate pacing [12].

### 3 Aplikácia pre simuláciu liečby srdcovej arytmie

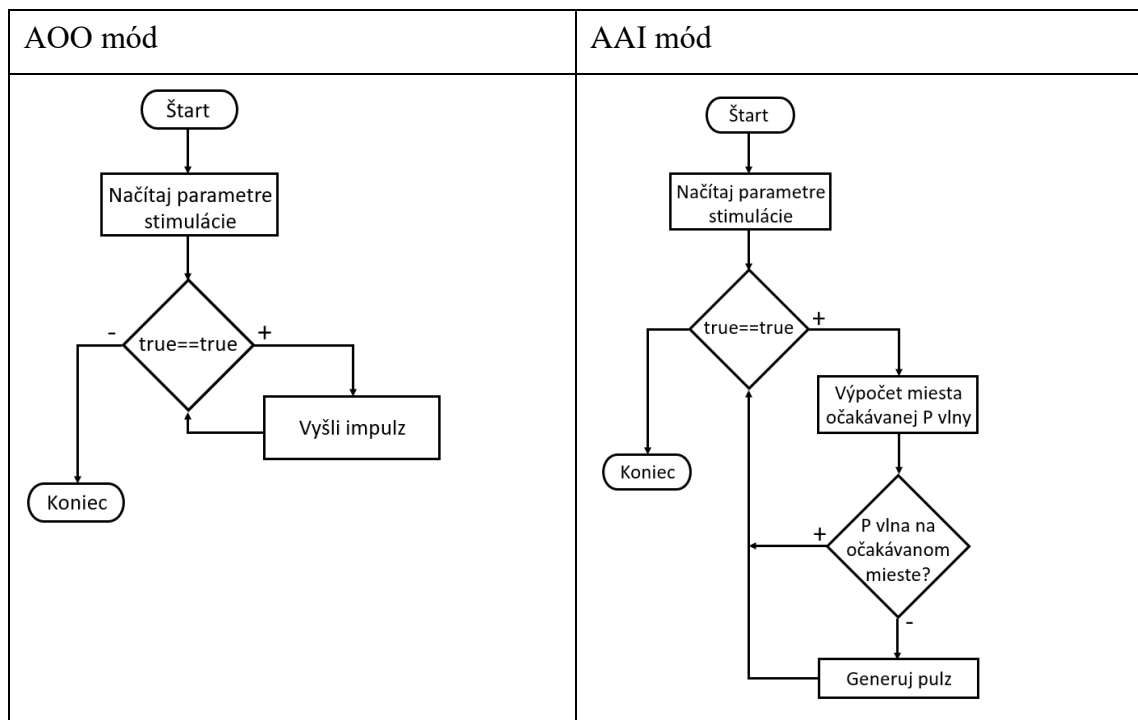
#### 3.1 Návrh aplikácie

Nakoľko moderné kardiostimulátory umožňujú nastaviť širokú škálu parametrov, navrhovaná aplikácia je zameraná len na nastavovanie stimulačného módu a frekvencie, pričom bude zanedbaná šírka a amplitúda stimulačného pulzu. Pre svoju aplikáciu som si zvolila arytmie, ktoré vznikajú v dôsledku SSS a jednoduchinový kardiostimulátor s elektródou zavedenou do pravej predsieni.

Aplikácia by mala obsahovať krivku normálneho sínusového rytmu požadovanej frekvencie, možnosť voľby srdcovej frekvencie, krivku EKG zvolenej arytmie, možnosť voľby stimulačného módu a výslednú krivku EKG s naprogramovanou terapiou.

Pre implementáciu som si zvolila jazyk C# a WPF framework. Vzhľadom k zvolenej arytmií a kardiostimulátoru, sú v aplikácii dostupné 3 stimulačné módy: OOO, AOO, AAI.

Mód OOO nesníma, ani nestimuluje srdcovú činnosť a preto na liečbu nemá žiaden vplyv.



Obr. 12 Mechanizmus liečby pomocou AOO a AAI módu

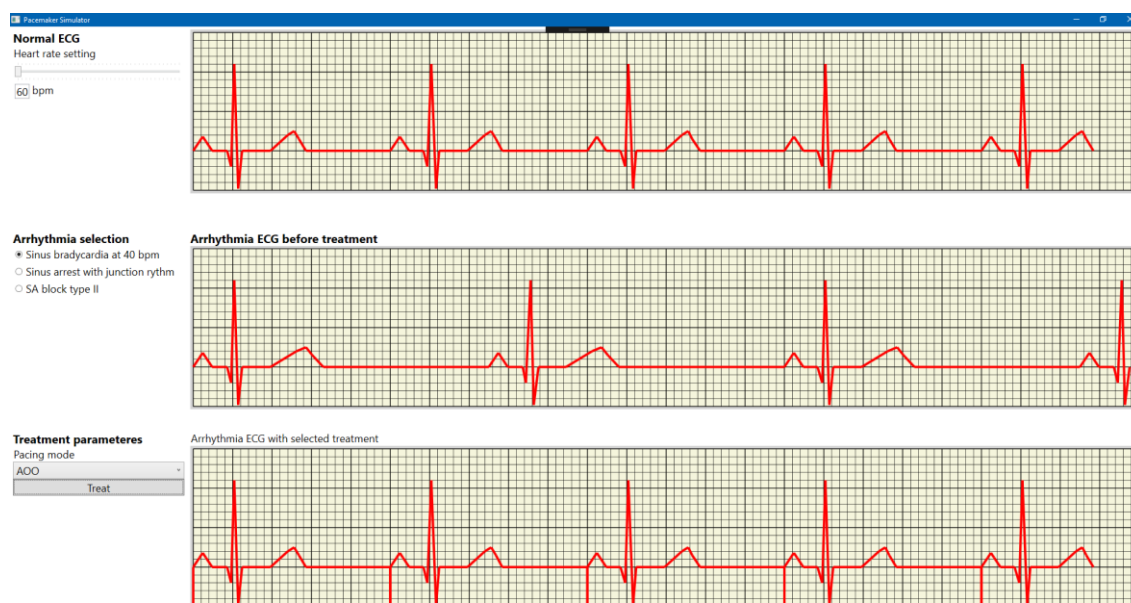
Jednotlivé arytmie boli nasimulované s týmito hodnotami:

- sínusová bradykardia – 40 bpm

- sínusové zastavenie s junkčným rytmom – sínusový rytmus frekvencie 60 bpm, jeden junkčný rytmus
- SA blokáda II. stupňa – sínusový rytmus frekvencie 60 bpm, s výpadkom v trvaní 2 rytmov

### 3.2 Simulácia liečby pomocou navrhnutej aplikácie

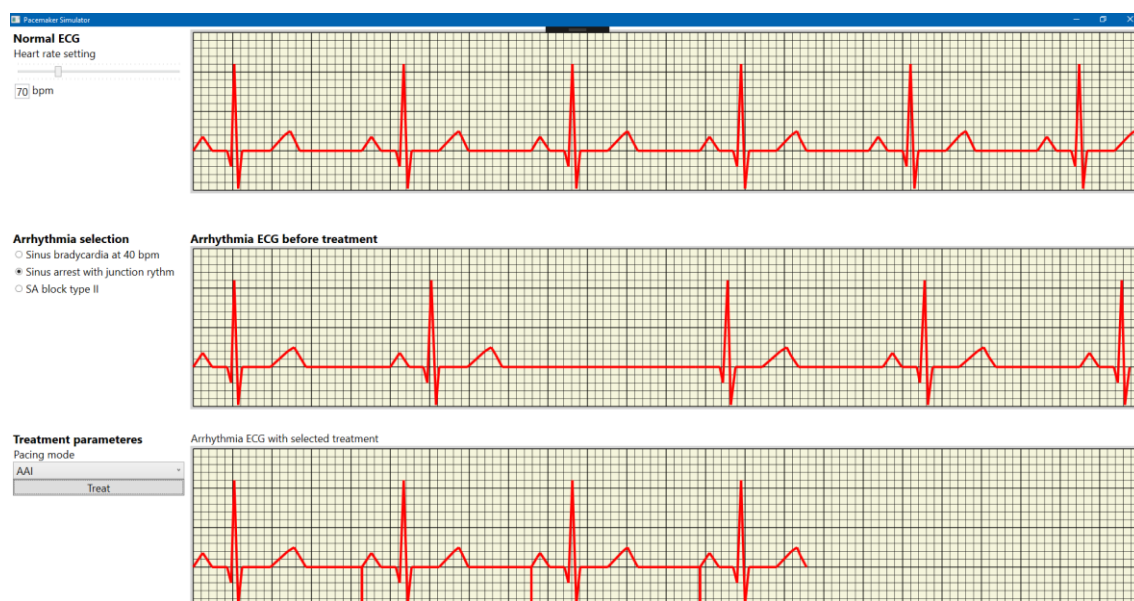
Obr. 13 ilustruje liečbu sínusovej bradykardie. Pre liečbu bol zvolený AOO mód. Je viditeľné, že k pulzu, ktorý vyvolá vznik P vlny dochádza bez ohľadu na to, či P vlna bola na mieste, na ktorom by bola očakávaná pri zvolenej frekvencii stimulácie



**Obr. 13 Ukážka aplikácie – sínusová bradykardia**

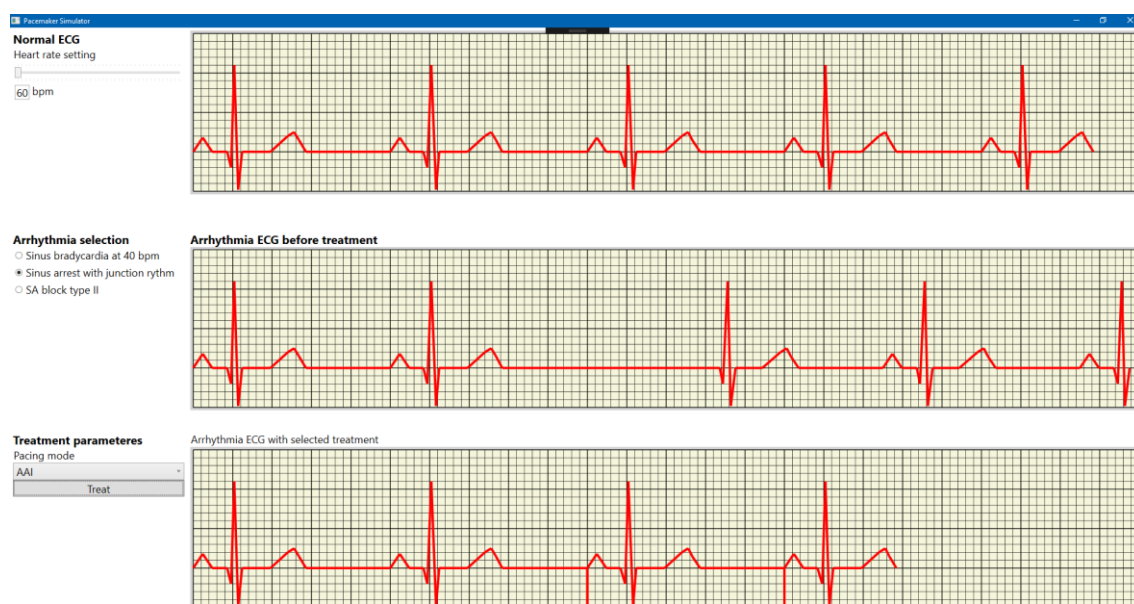
Zdroj: Vlastné spracovanie

Liečba sínusového zastavenia s junkčným rytmom je prevádzaná pomocou AAI módu pri dvoch rôznych frekvenciách. Na tomto príklade je možné dobre pozorovať podstatu AAI módu – k stimulácii dochádza len v prípade výpadku vzniku pulzu.



**Obr. 14** Sínusové zastavenie s junkčným rytmom (1)

Zdroj: Vlastné spracovanie

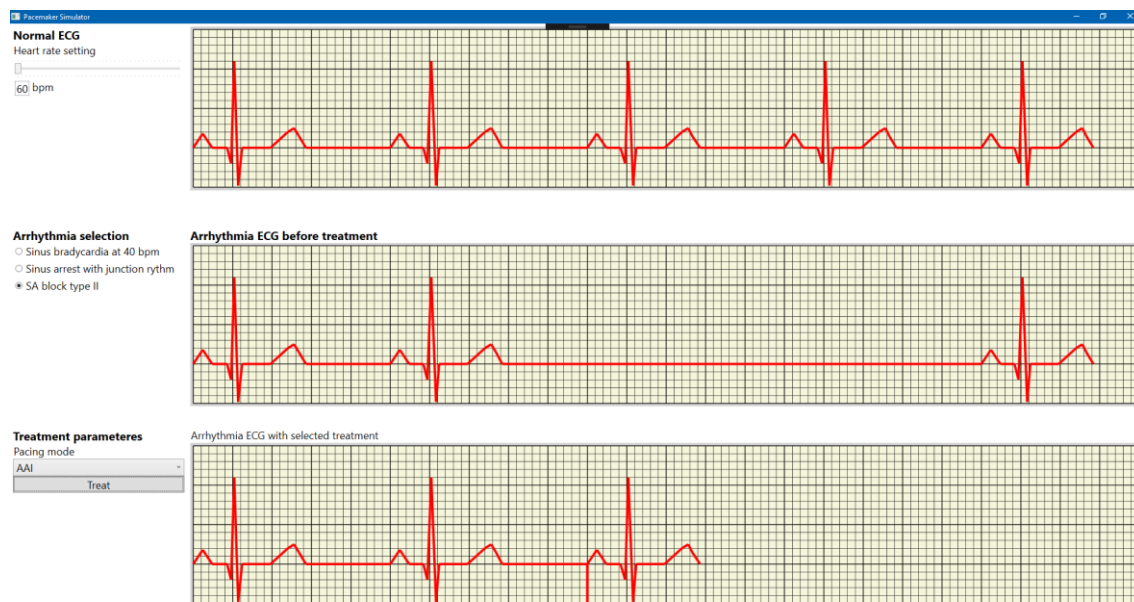


**Obr. 15** Sínusové zastavenie s junkčným rytmom (2)

Zdroj: Vlastné spracovanie

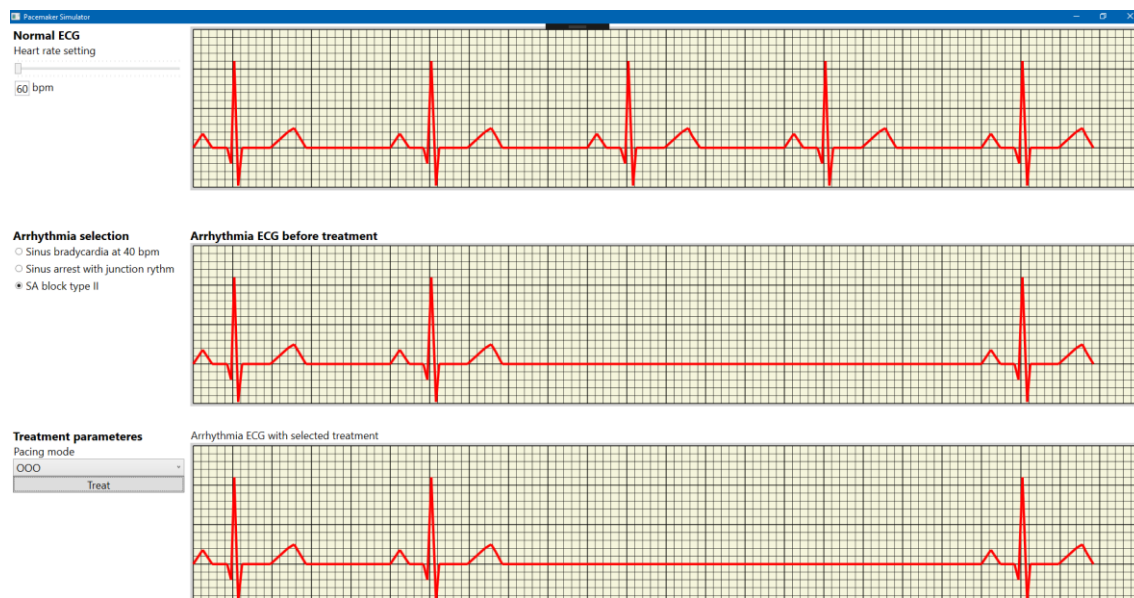
SA blokáda II. stupňa je znázornená na Obr. 16 a Obr. 17. Za dvoma sínusovými rytmami frekvencie 60 bpm nasleduje výpadok rytmu. Pre liečbu bol zvolený AAI mód s frekvenciou 60 bpm. Na výslednej krivke je možné opäť pozorovať, že k impulzu

z kardiostimulátora došlo len v prípade výpadku rytmu. Pri voľbe OOO módu nedochádza



**Obr. 16 Ukážka aplikácie - SA blokáda II. stupňa (1)**

Zdroj: Vlastné spracovanie



**Obr. 17 Ukážka aplikácie - SA blokáda II. stupňa (2)**

## Záver

Nakoľko je problematika kardiostimulácie pomerne rozsiahla, aplikácia je naozaj len veľmi zjednodušeným modelom. Nepočíta s reálnym signálom, ktorý by bol dynamicky generovaný v čase a to prinieslo určité obmedzenia pri implementácii. Napriek tomu môže poslúžiť ako základ pre vývoj aplikácie, ktorá by dokázala simulovať liečbu viacerých arytmií v podstate akýmkoľvek nastavením stimulácie.

## Zoznam použitej literatúry

- [1] WIDMAIER, E. P. – RAFF, H. – STRANG, K. T.: Vander's Human Physiology: The mechanisms of Body Function. New York: The McGraw-Hill, 2008. 804 s. ISBN 978-0-07-304962-5
- [2] ROKYTA, R. a kol.: Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech. Praha: ISV nakladatelství, 2000. 359 s. ISBN 80-85866-45-5
- [3] BULAVA, A.: Kardiologie pro nelekářské zdravotnícké obory. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007. 224 s. ISBN 978-80-271-0468-0
- [4] HABERL, R.: EKG do kapsy. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. 288 s. ISBN 978-80-247-4192-5
- [5] BENNET, D. H.: Srdeční arytmie. Praktické poznámky k interpretaci a léčbě. Praha: Grada Publishing, a.s., 2014. 384 s. ISBN 978-80-247-5134-4
- [6] STANKOVIČOVÁ, T. a kol.: Anatomia a fyziológia: teoretické a praktické návody na cvičenia pre farmaceutov. Bratislava: Vydavateľstvo Univerzity Komenského, 2015. 268 s. ISBN 978-80-223-3944-5
- [7] NEČAS, E. a kol.: Patologická fyziologie, Část I. Praha: Nakladatelství Karloolinum, 2004. 379 s. ISBN 80-246-0615-1
- [8] Poruchy srdečního rytmu – arytmie [online]. Institut klinické a experimentální medicíny [cit. 2019-09-03]. Dostupné na internete <<https://www.ikem.cz/cs/poruchy-srdecniho-rytmu-arytmie/a-398/>>
- [9] ROZMAN, J. a kol.: Elektrické přístroje v lékařství. Praha: Academia, 2006. 408 s. ISBN 80-200-1308-3
- [10] Implantable Cardiac Pacemakers Status Report and Resource Guideline. Pacemaker Study Group. Inter-Society Commission for Heart Disease Resources. Circulation, vol. 50 1974
- [11] Implantace kardiostimulátoru [online]. Institut klinické a experimentální medicíny [cit. 2019-09-04]. Dostupné na internete: <<https://www.ikem.cz/cs/implantace-kardiostimulatoru/a-403/>>
- [12] Korpas, D.: Implantable Cardiac Devices Technology. New York: Springer Science Business Media, 2019. 116 s. ISBN 978-1-4614-6906-3
- [13] CareLink Programmer – Model 2090 [online]. Medtronic [cit. 2020-08-13]. Dostupné na internete: <[https://www.medtronicacademy.com/jquery\\_ajax\\_load/get/image/carelink-programmer-model-2090-0](https://www.medtronicacademy.com/jquery_ajax_load/get/image/carelink-programmer-model-2090-0)>

## **Prílohy**

Príloha A: CD médium – bakalárska práca v elektronickej podobe, aplikácia