**Chlazení krve v cévním řečišti**

**Milan Poláček**

# Zadání

Vytvořte model chlazení krve pomocí kontroléru Arduino a několika základních součástek. Model bude simulovat chlazení krve pomocí Peltierova článku a lopatkového čerpadla. V závislosti na teplotě kapaliny by se spínalo chlazení s čerpadlem, tak aby se dosáhlo požadované teploty. Toto zařízení by mělo být malé a případně mobilní, aby ho bylo možno využívat v sanitních vozech.

# Teoretický rozbor

V praktickém řešení by byl použit Peltierův článek s lopatkovým čerpadlem. Pro dosažení požadované teploty krve by možno zvolit dva způsoby řízení.

První možností je nechat Peltierův článek chladit plným výkonem a teplotu média (v našem případě krve) bychom, pak řídili rychlostí průtoku skrze chladič.

Zde nastává, ale problém, že měnící se tlaku v krevním řečišti by mohl způsobit trvalé poškození orgánů či ba dokonce usmrtit pacienta.

Druhou možností je řídit chlazení krve skrze výkon chlazení Peltierova článku a průtok nechat na stálé hodnotě.

Toto řešení má, ale tu nevýhodu, že regulace může být pomalá.

Využití lopatkového čerpadla má několik nevýhod. První nevýhoda je v tom, že by při čerpání tělní kapaliny (krve, plasmy a dalších látek dále jen krve) může docházet k trhání krvinek. A to jak vysokým tlakem při nasáváním čerpadla, tak prostorem mezi lopatkou a bubnem. Další nevýhodou je, že výstupem tohoto čerpadla je nepulzatilní proudění, které jak bylo v mnoha studiích prokázáno pro tělo nevhodné. Prvním prokázaným problémem je vznik ischemické cévní mozkové příhody, dále že po několika málo minutách selhávají lidské orgány.

Proto by v případě použití tohoto čerpadla bylo potřeba řídit správně tok čerpadlem anebo za systém chlazení vložit ventil nebo membránu, která by zajišťovala pulzatilní tok.

Důvodem nevyužití standartního mimotělního oběhu je hned několik.

Prvním důvodem je, že plánovaným využitím tohoto chladícího zařízení je sanitní vůz. V sanitním voze je nutno mít široké spektrum léků a jiných lékařských prostředků a zařízení a proto na standartní extrakorporální oběh v sanitním voze nezbývá mnoho místa. Dalším důvodem je, že samotný princip čerpání krve je velmi energeticky náročný a to jak z hlediska pump tak chlazení, kdy krev prochází několika hadicemi s velkým průřezem a dochází tedy k dalšímu ohřevu a pro chlazení je tedy potřeba více práce.

Použití tohoto chlazení má dle studií snížit následky některých zranění či onemocnění. Příkladem může být snížení poškození ledvin při jejich selhání. Snížení následků mozkové mrtvice a její případnou mortalitu.

# Řešení

Pro řešení jsem využil Arduino Uno, na který jsem napájel univerzální tištěný spoj pro tuto platformu. Pro zobrazení sepnutí čerpadla a Peltierova článku jsem využil zapojené dvě led diody. Pro měření jsem zvolil dva teploměry typu SMT172, které mají vhodné parametry pro měření a to lineární převod a široký teplotní rozsah.

Využití dvou teploměrů je pro zajištění bezpečí pacienta, kdy se snažíme snížit teplotu pacienta na specifickou teplotu. Protože každý pacient není stejný např. někteří trpí obezitou, nebo jsou sice normální postavy, ale menšího vzrůstu. Nelze se tedy spoléhat vždy na to, že pacient s ochlazenou krví na jednu specifickou teplotu bude mít stejnou teplotu jako jiný. Proto se využívá jednoho teploměru za chladicím systémem, abychom věděli jaká je teplota krve a druhý teploměr je umístěn např. v jícnu, abychom měli referenční teplotu těla a pacienta nepodchladili.

Systém tedy chladí krev na nastavenou teplotu a systém kontroluje, zda pacient není podchlazen nebo zda systém nechladí na tolik, že by krev mohla zamrzat a v důsledku toho by byla poškozována (roztrhání krvinek mrazem).

Aby mi regulace teploty krve nekmitala, uchovávám v paměti starou hodnotu a logiku chlazení spínám jen při diferenci teploty větší než 0,5°C, tato hranice je samozřejmě nastavitelná.

Dalším krokem zdokonalení systému chlazení je zpřesnění výsledků měření teploty. A to tím, že průměruji 2000 výsledků ze senzorů teploty, abych dosáhl vyšší přesnosti.

Pro omezení stavu podchlazení pacienta jsem také zahrnul kontrolu, že změna výkonu chlazení (krom kontroly podchlazení) se zapne jen každou vteřinu. Toto by mělo ošetřit tzv. dopravní zpoždění a také by mělo eliminovat kmitání chlazení.

Jsem na požadované teplotě krve

Ničím krvinky mrazem

Podchlazuji pacienta

Načti senzory

Zvýšit chlazení

Vypnout chlazení

Ne

Ano

Ne

Ano

Snížit chlazení

Start systému

Chladím?

Ano

Ne

Ne

Ano

1. Diagram řídící logiky

# Diskuze

Přidáním dalšího senzoru teploty vně soustavy bychom mohli využívat pro výpočet ekvitermní křivky a tím zpřesnit regulaci a snížit tím potřebný výkon k chlazení. To by mohlo zvýšit výdrž systému na baterie. Otázkou je, zda tato křivka je aplikovatelná na chlazení krve, protože znalost evitermní křivky se využívá u otopných soustav nebo chladících soustav v budovách, kde jsou stabilnější vstupní parametry. Je možné tedy, že by tato snaha o snížení energetické náročnosti měla za následek naopak její zvýšení kvůli zvýšení kmitání systému.

Dalším možným zdokonalením chladicího systému je skrze spínání Peltierova článku na specifický výkon a využití tzv. MPPA (Maximum power point tracking) křivky. Nevýhodou může být, ale vysoký odběr energie z důvodu správného dimenzování článku, aby nám při spínání nezmrazoval krev. Dále aby časté výkyvy výkonu neopotřebovávali baterie a také aby nekonzistentní chlazení krve nám nezpůsobovalo nějaké jiné neblahé účinky na pacienta (např. podchlazení a následné odumírání některých tkání).

# Závěr

Tato práce se měla zabývat osvojením dovedností a znalostí v oblasti biomedicínských senzorů. U zdánlivě jednoduchého zadání jsem narazil na komplexnost problému. Kdy jsem narazil na nejedno omezení ze strany fyziologie člověka.

Z praxe vím, že se touto problematikou zabývá nejeden lékařský team pro různá zadání transplantace, snížení poškození ledvin po selhání, zvýšení šancí na uzdravení po mozkové mrtvici atd.

Jedním mě známých teamů je skupina lékařů a biomedicínských techniků na Fyziologickém ústavu na Albertově 1. Lékařské fakulty Univerzity Karlovi. Kdy prováděli experimenty zchlazení prasnic po zástavě srdce.

V této semestrální práci jsem si teda zopakoval nejenom znalosti z elektrotechniky ze střední školy, ale i z programování mikrokontrolérů, fyziologie a anatomie člověka.