

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra kybernetiky

Chlazení krve v cévním řečišti

Milan Poláček

Zadání

Vytvořte model chlazení krve pomocí kontroléru Arduino a několika základních součástí. 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 můžeme 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 by měnící se tlak v krevním řečišti mohl způsobit trvalé poškození orgánů, či dokonce usmrtit pacienta.

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

Nevýhodou tohoto řešení je však pomalá regulace.

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 nasávání čerpadla, tak prostorem mezi lopatkou a bubnem. Další nevýhodou je, že výstupem tohoto čerpadla je nepulzatilní proudění, které je, jak bylo v mnoha studiích prokázáno, pro tělo nevhodné. Prvním prokázaným problémem je vznik ischemické cévní mozkové příhody, dalším je selhávání lidských orgánů během několika málo minutách. 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 chladičího 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 nezbyvá mnoho místa. Dalším důvodem je, že samotný princip čerpání krve, který 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

K řešení jsem tedy použil 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. K měření jsem zvolil dva teploměry typu SMT172, které mají vhodné parametry pro měření a to lineární převod a široký teplotní rozsah.

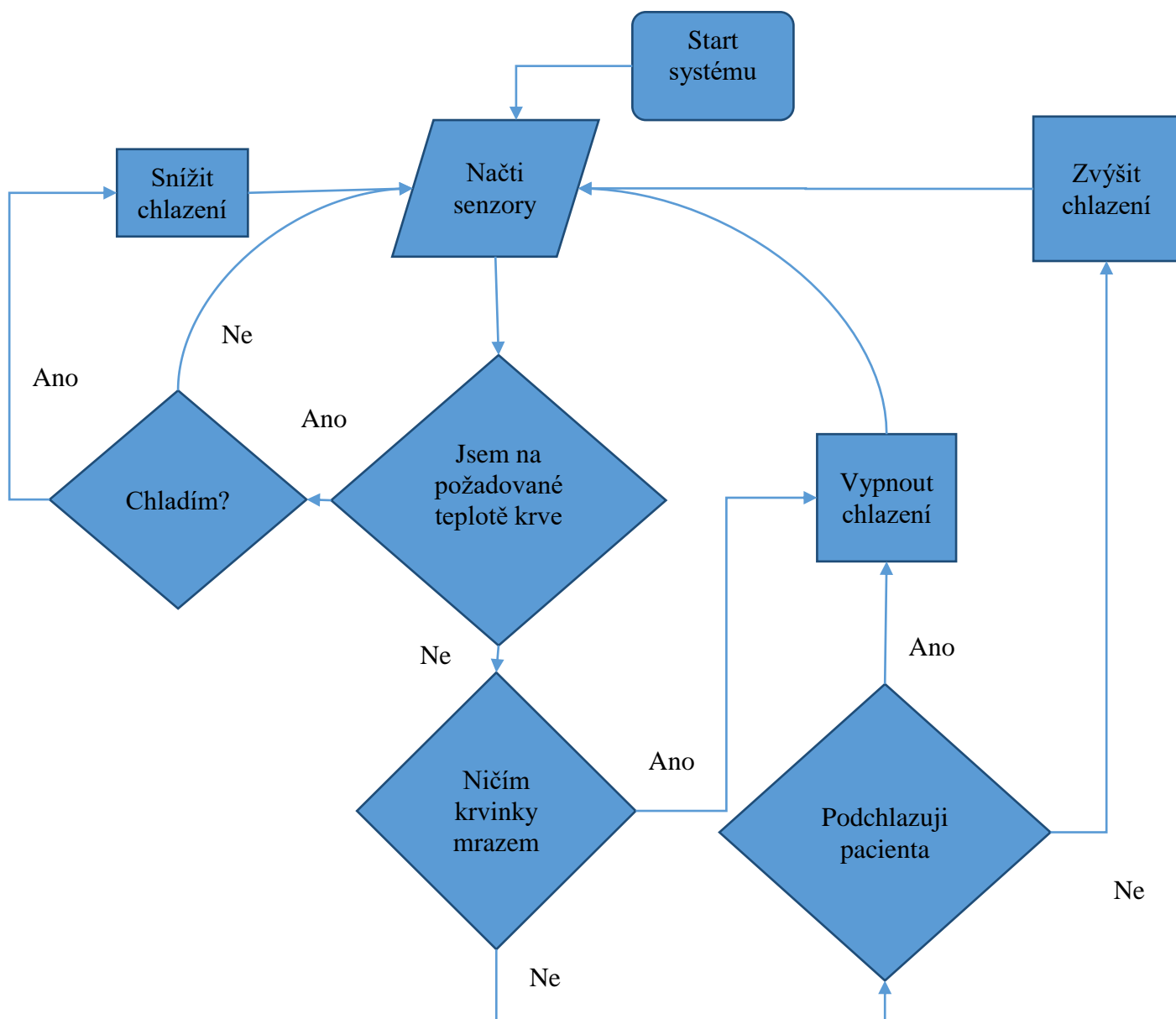
Využití dvou teploměrů je pro zajištění bezpečí pacienta, kdy se snažíme snížit teplotu pacienta na specifickou teplotu. Vzhledem k individualitě pacientů např. někteří trpí obezitou, nebo sice mají normální postavy, ale jsou menšího vzrůstu. Nelze se tedy spoléhat vždy na to, že pacient s ochlazenou 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 kontroluje, zda pacient není podchlazen nebo zda systém nechladí na tolik, že by krev mohla zamrznout 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 $0,5^{\circ}\text{C}$, 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, při které se změna výkonu chlazení (krom kontroly podchlazení) zapne jen každou vteřinu. Toto by mělo ošetřit tzv. dopravní zpoždění a také by mělo eliminovat kmitání chlazení.



1. Diagram řídicí logiky

Diskuze

Přidáním dalšího senzoru teploty vně soustavy bychom mohli využít pro výpočet ekvitermní křivky a tím zpřesnit regulaci a snížit tím i 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 chladicích soustav v budovách, kde jsou stabilnější vstupní parametry. Je tedy možné, 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 také mohou časté výkyvy výkonu opotřebovávat baterie. Musíme také zabezpečit, aby nám nekonzistentní chlazení krve 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 došel k nutnosti komplexního řešení daného problému. Narazil jsem zde na nejedno omezení ze strany fyziologie člověka.

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

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

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