

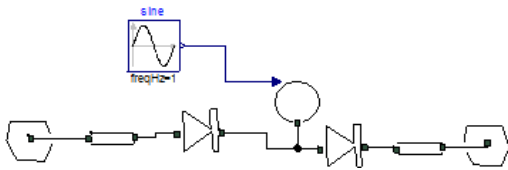
Srdce jako pumpa

Na cvičení jsme si udělali

- Rezistenci
- Chlopeň
- Elastický kompartment

V přiloženém modelu máte předpřipraveno ještě:

- Zdroj tlaku
- Model pulzující komory (Obrázek 1)



Obrázek 1: Předpřipravený model. Pro demonstraci simulujte do času 100

Vaše mise

Implementace bloku **zdroj elasticity**¹ a bloku **srdečních intervalů**.

Vyzkoušíte si:

- Tvorbu vlastního diskrétního konektoru
- Použití when
- Použití if
- Logicky přemýšlet ☺

Heart elasticity

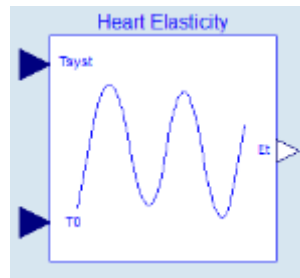
Výstup tohoto bločku E_t bude záviset na vyhodnocení podmínek.

Pokud $\text{time} - T_0 \geq 0$ a zároveň $\text{time} - T_0 \leq T_{\text{syst}}$ budou `true`, pak $E_t = E_{\text{dias}} + (E_{\text{sys}} - E_{\text{dias}}) / 2 * (1 - \cos(\text{Modelica.Constants.pi} * (\text{time} - T_0) / T_{\text{syst}}))$

Pokud $\text{time} - T_0 < (3/2) * T_{\text{syst}}$ bude `true`, pak $E_t = E_{\text{dias}} + (E_{\text{sys}} - E_{\text{dias}}) / 2 * (1 + \cos(2 * \text{Modelica.Constants.pi} * (\text{time} - T_0 - T_{\text{syst}}) / T_{\text{syst}}))$

A pokud nebude podmínka ani jednou `true`, pak $E_t = E_{\text{dias}}$.

¹ Elastance = 1/compliance. Tj. $P = \text{Elastance} * V$ a naopak $P = V / \text{compliance}$. Na cvičení jsme to asi nazývali chybně naopak.



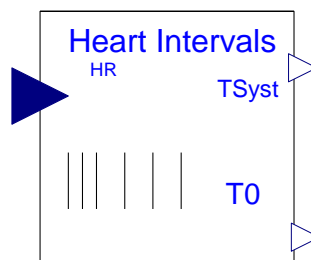
Obrázek 2. Ikona zdroje elasticity

Systolickou a diastolickou elasticitu parametrizujte a přednastavte na hodnoty 1/0,4 a 1/10 [torr/ml].

Heart intervals

Nyní se pokusíme zapojit zdroj skutečné elasticity do komory. Zdroj jej již hotov, nicméně chybí jeho ovládání – před každým beatem je nutné ho naplnit časem počátku následující systoly a její délkou.

Vytvořte si blok, který bude provádět výpočet srdečních intervalů. Bude opatřen jedním vstupem (*RealInput*) a dvěma výstupy (*DiscreteRealOutput*). Např. obrázek níže. HR je spojitá proměnná vyjadřující srdeční frekvenci. Na to musí bloček reagovat a neustále vypočítávat nové intervaly.



Obrázek 3: Ukázka možného vzhledu ikony HeartIntervals

- RealInput použijete ze standard Modelica.Library.Blocks.Interfaces
- RealOutput použijete ze standard Modelica.Library.Blocks.Interfaces. V textovém režimu pak před něj doplňte prefix *discrete*.
- Legenda:
 - HR "Heart rate (beats/min)"
 - TSyst "delka systoly v sec"
 - T0(start=0) "počátek systoly v sec"

Dále je nutné provést deklaraci těchto proměnných:

- `discrete Real TPulsePrev "delka predchoziho srdecního cyklu v sec";`
- `Boolean b;`
- `XXX TPulse;`

Jakého typu bude TPulse? Doplňte správně místo XXX

Nyní se dostáváme k sekci inicializačních rovnic, která bude mít 3 rovnice²:

- `TPulse=60/HR;`

² nastavení počáteční hodnoty v rovnicích v sekci *initial equation* je ekvivalentní použití přímo v deklaraci, např. `discrete Real TPulsePrev(start = TPulse)`

- `TPulsePrev=TPulse;`
- `TSyst=0.3*(TPulse^0.5);`

Než se pustíme do rovnic, tedy sekce *equation*, je důležité pochopit rozdíl mezi `if` a `when`.

Opakování z přednášky:

- `If` používáme k rozhodnutí, kterou ze dvou (i více) alternativ programu vykonat. Vždy se ale vykoná jen jedna alternativa či jedna cesta.
- `When` používáme k jednorázovému vykonání části programu nad jeho rámec. Pokud je tedy splněna podmínka, vykoná se „obsah“ v této části.

První rovnice pro booleovskou proměnnou `b` bude vyhodnocovat podmínku:

- `time-pre(T0)` je větší než `pre(TPulse)`

Její výsledek bude `true` nebo `false`. Proto jsme použili `DiscreteRealOutput` → abychom mohli získat hodnoty `T0` v předchozím stavu (`pre(T0)`). Pomocí operátoru `pre` rozlišujeme minulou a budoucí hodnotu³.

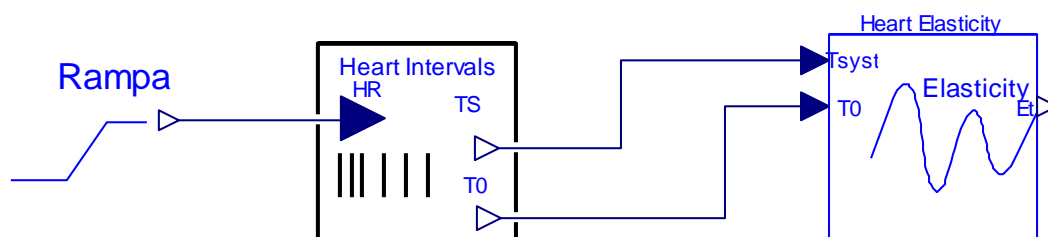
Co vrací `pre(TPulse)`? Odpověď uveďte do zprávy.

Nyní potřebujeme reagovat na událost, kdy dojde k přechodu proměnné `b` z `false` na `true` (z 0 na 1). Bude tedy **reagovat** pouze na **náběžnou hranu** proměnné **`b`** (čili použijete `if`, nebo `when`?). Viz číslicová technika a honění jedniček a nul... A pouze při této změně se vykonají tyto rovnice:

- `T0=time;`
- `TPulse = 60/HR;`
- `TPulsePrev=pre(TPulse);`
- `TSyst = 0.3*(pre(TPulse)^0.5);`

Použijeme `if` nebo `when`? Na co reaguje `when`? Jak bude vypadat podmínka? Dokážete popsat smysl operátorů `pre()`?

Blok je hotový a nyní jej zapojíme do systému.



Obrázek 4: TestHeartElasticity – před a po

Nezapomeňte na vstup vyrobeného bloku (HR) připojit zdroj rychlosti srdečního tepu. Budeme simulovat klidný tep 60 bpm, který se v 10 vteřině začne zvedat a ve 20 vteřině dosáhne 100 bpm, kde setrvá až do 30s, kde ukončíme simulaci.

³ To má samozřejmě smysl jen pro diskrétní proměnnou. U spojité proměnné je to „stejná“ hodnota, ale považuje se to za jiný symbol (nelze tedy v rovnicích vykrátit)

Pro otestování můžete zpočátku použít konstantu, nebo rampu z Modelica.Library, pak bychom ale rádi viděli vlastní implementaci (zde použijete if, nebo when?) – pro upřesnění **povinně**.



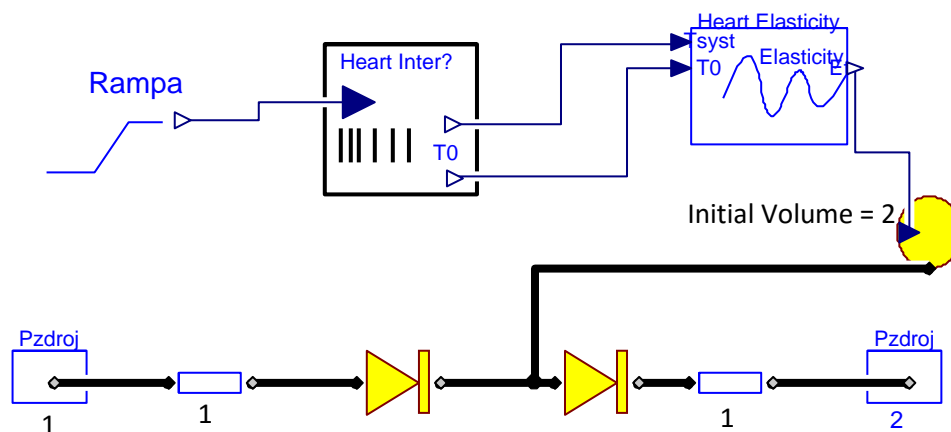
Obrázek 5: Parametry testovací rampy. Poté implementujte vlastní

Blok HR

Pomocí *if a time* si rozdělte čas do intervalů 0, 10 a 20. V některých blocích bude hodnota konstantní, jinde bude určitou rychlostí (tu si spočtete, ať už předem, nebo dynamicky) stoupat (trik: místo derivace můžete použít znovu *time*, tentokrát ale jako hodnotu). Poté je opět fixována na určitou hodnotu.

Zapojení do obvodu

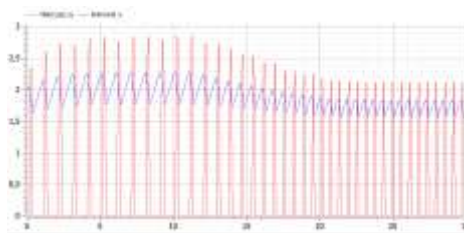
Nyní to všechno spojte dohromady, jako je na obrázku 4. $P_1 = 1$, $R_1 = 1$, $R_2 = 1$, $P_2 = 2$, $V_0 = 2$.



Obrázek 4: Finální diagram, včetně parametrů. P

Simulace

- Pozorujte průběhy v Elastický kompartment (d), konkrétně elastanci. Čím je tento průběh omezen?
- Jak se mění proměnné ve zdrojích tlaku - Zdroj tlaku (a)?
- Jakým způsobem dochází k uzavírání a otevírání chlopní?
- Pozorujte vygenerovaný průtok a srovnajte tlaky a průtoky s realitou



Obrázek 6: Vzorový průběh průtoku blokem Pzdroj a objem komory.

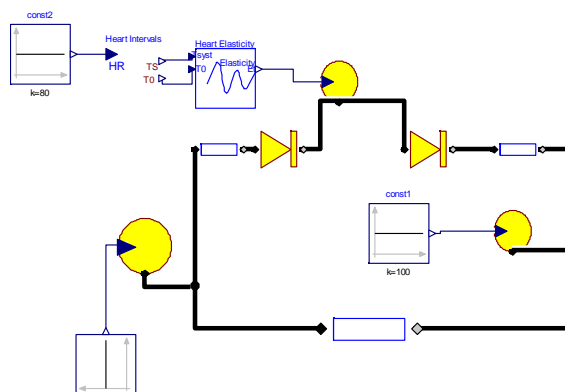
Pokud to není jasné..

ČTĚTE chybové hlášky – většinou se vám snaží něco sdělit!

Případnou potřebnou nápovědu můžete žádat na fóru, pokud myslíte, že to bude lépe probrat na konzultaci, obraťte se na filip.jezek@fel.cvut.cz.

Bonus (+1b)

1. Vytvořte model celého oběhového systému

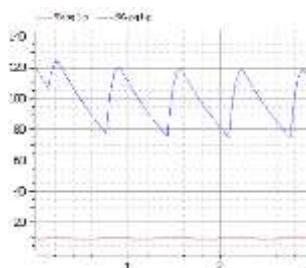


Obrázek 7: Možné schéma nejjednoduššího modelu pulsálního oběhu. Jako poddajnosti arterií (vpravo) a vén (vlevo) jsme použili objekt komora s náležitým vstupem elasticity.

2. Oparametrizujte:

Arterial Elastance	Arterial initial volume	Arterial Resistance	Systemic Resistance	Venous Elastance	Venous initial volume	Venous resistance
[torr/ml]	[ml]	[torr*s/ml]	[torr*s/ml]	[torr/ml]	[ml]	[torr*s/ml]
1.2	100	0.001	1.2	0.01	1000	0.001

3. Prezентуйте průběhy arteriálního a žilního tlaku (na konektorech příslušných elastancí), diskutujte objevené závislosti.



Obrázek 8: Vzorový výstup