

# Simulujeme elektrické obvody

## Simulátory elektrických obvodů

Simulátorů elektrických obvodů existuje celá řada. Známy je například simulátor z projektu PhET, viz [https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc\\_cs.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_cs.html).

Jednoduché obvody se v něm dají konstruovat velice jednoduše a názorně. (Pokud jste s daným simulátorem už pracovali, asi to potvrdíte. Pokud ne, vyzkoušejte si ho sami, je to pěkné...)

Na druhou stranu je v něm chování součástek oproti skutečnosti zjednodušeno. Třeba žárovka se zde chová jako obyčejný rezistor: Dvakrát vyšší napětí znamená dvakrát vyšší proud.

Což u skutečných žárovek není úplně pravda.

### Co budeme užívat my: simulátor circuitsjs

My využijeme simulátor ne tak barevný a „obrázkový“, ale velice mocný co se týče jak množství součástek, které můžeme použít, tak obvodů, které budeme moci tvořit. (Jde o simulátor, jehož původním autorem je Paul Falstad, viz informace v samotném programu.)

Přitom jde o nástroj volně dostupný. Najdeme ho na <http://falstad.com/circuit/circuitjs.html>, tam se simulátor přímo spustí. Lze ho přepnout i do české verze.

Existují i offline verze. Stáhnout je lze ze stránky <https://www.falstad.com/circuit/>. My budeme pracovat s verzí pro Windows – s mírnými úpravami češtiny a doplněnou o příklady speciálně pro naši dílnu. Pro dílnu lze tuto verzi stáhnout ze stránky <https://kdf.mff.cuni.cz/lide/dvorak/simulator/>.

## Simulátor circuitsjs

### Jak jej nainstalovat na váš PC nebo notebook:

Snadno. Stažený zazipovaný soubor (ten pro naši dílnu se jmenuje circuitSimulator.zip) rozzipujete (to umí samotné Windows, po kliknutí pravým tlačítkem myši volbou Extrahovat vše). Nechte jej „extrahovat“ (tj. rozzipovat) do vhodného adresáře, kde jej budete spouštět. Program nemusíte nijak speciálně instalovat – prostě ve zvoleném adresáři spustíte program **circuitjs1.exe**.

### Spouštíme simulátor...

Program začíná standardní simulací kmitavého obvodu, viz obrázek. Neděste se jím, začneme jednoduššími.

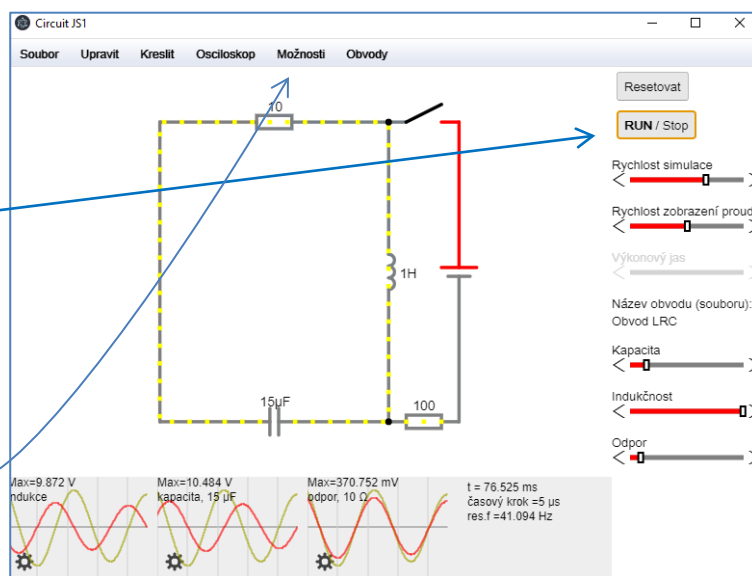
Simulaci zastavíte kliknutím na tlačítko **RUN/Stop**.

Běh simulace se zastaví a tlačítko zčervená.

Program může být po spuštění v angličtině (třeba pokud jste ho stáhli odjinud) a pozadí okna může být černé.

Toto můžeme změnit v menu **Možnosti** (v anglické verzi Options).

V menu je toho k nastavení víc, viz obrázek na další straně.

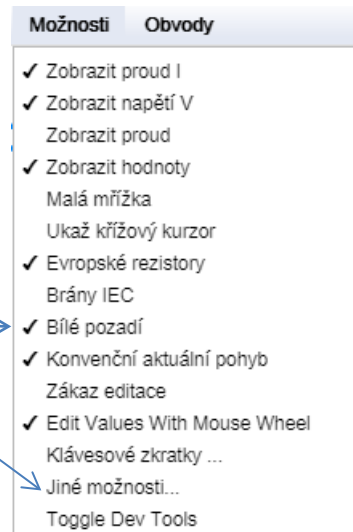


My zaškrtneme **Bílé pozadí** (v angličtině White Background), na obrázku už je zaškrtnuto.

Jazyk nastavíme v podmenu **Jiné možnosti ...** (anglicky Other Options...).

V něm se nastavuje víc věcí, ale možnost **Nastav jazyk** (anglicky Change Language) zde najdeme bez problémů. Program pak ještě žádá souhlas, aby „restartoval“, ale prakticky okamžitě pak naběhne znovu.

V menu Možnosti se ještě přesvědčte, že je zatržena položka **Evropské rezistory**, jinak budou odpory kresleny „zubatě“, jak je zvykem v anglosaských zemích.



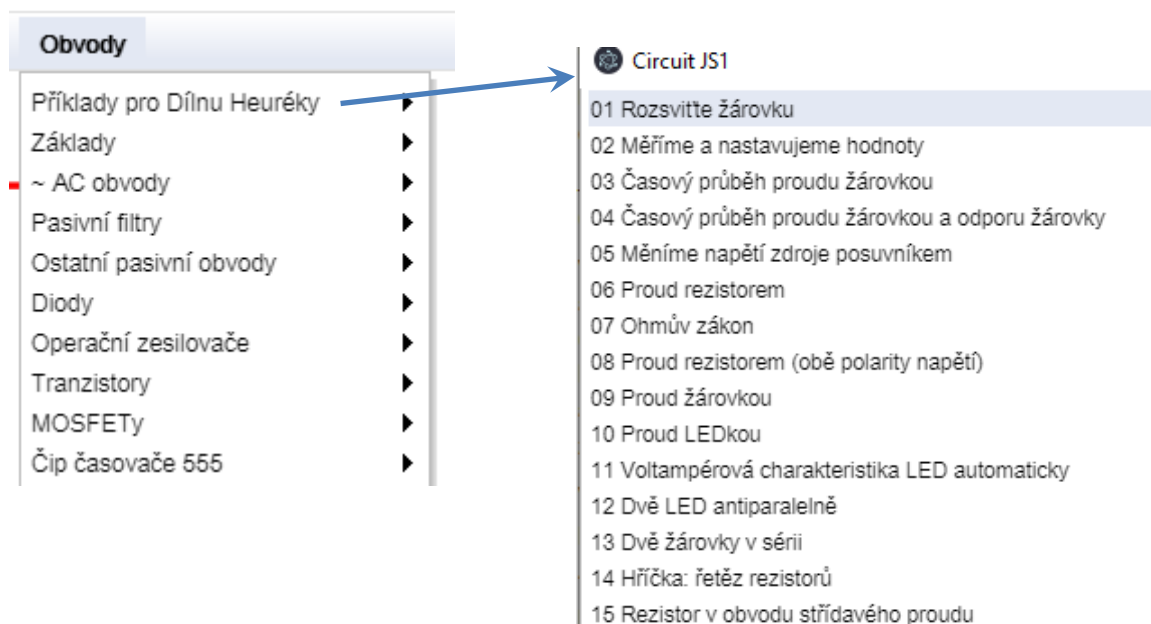
Pozn.: Z obrázku je vidět, že ne všude je ještě čeština „doladěna“. (Omlouvám se, opravil jsem jen něco.) Položka „Konvenční aktuální pohyb“ má správně znít „Konvenční směr proudu“. Když je zaškrtnuta, je tok proudu zobrazován pohybem od plusu k mínusu; chcete-li zobrazovat pohyb elektronů, danou položku odškrtněte.

Zvolené možnosti si program pamatuje, nemusíte je při příštím spuštění zadávat znovu.

### Vybíráme si z hotových simulací:

Z předem připravených elektrických obvodů si můžeme vybrat v menu **Obvody**. Již ve standardní verzi simulátor nabízí takřka nepřebornou řadu obvodů. Přibližně jsem jich napočítal asi 250, takže si vyberou i „profíci“.

Pro naši dílnu je speciálně připraveno přes dvacet obvodů doplněných stručným popisem. Najdete je také v menu Obvody, hned na začátku, viz obrázek ukazující část daných podmenu:



Všechny obvody můžete upravovat, přepisovat v nich komentáře i texty zobrazené v okně simulace, vytvářet jejich varianty – prostě přizpůsobit si vše svým potřebám a své výuce.

Upravené nebo nově vytvořené obvody můžete ukládat a pak zase nahrávat. (Podmenu **Soubor** nabízí několik možností.) I tyto obvody pak můžete přidat do menu Obvody – naučíme se, jak na to.

## Spouštíme a ovládáme první simulaci

Vyberte si z nabídky pro naši dílnu hned první simulaci: **01 Rozsviďte žárovku**. Uvidíte okno, které ukazuje obrázek:



### Ještě než spustíte simulaci:

- Zoomování: Je-li text nebo zobrazený obvod příliš malý (někdy se to stává), můžete celý obsah okna zvětšovat nebo zmenšovat kolečkem myši. (Zoomovat lze také v menu **Upravit**, tam najdete i příslušné klávesové zkratky.)
- Posouvání: Když při zoomování vyjde třeba část textu mimo okno, můžete posouvat celý obsah okna myší, když přitom držíte klávesu Alt.
- Změna velikosti okna: Samozřejmě zcela standardně...
- Informace: V šedém obdélníčku dole se vypisují informace týkající se prvku obvodu, na který ukážete myší. (To platí i za běhu simulace; když neukazujete na nic, vypisuje se čas a časový krok.)

### Spuštění a zastavení simulace:

Simulaci spustíte tlačítkem **Run/STOP**. Když simulace neběží, je červené, když běží, tlačítko je šedé a nápis se drobně změní na RUN/Stop; kliknutím na něj simulaci zase zastavíte. Přepínat mezi během a zastavením se dá i na klávesnici stiskem mezerníku. Tlačítko **Resetovat** nastaví čas na nulu.

### Ovládání simulace:

Aby tekla nějaký proud, je třeba sepnout spínač ve schématu: klepněte na něj myší. Ovládat můžete:

- Rychlost, jakou se zobrazuje tok proudu vodiči – příslušným posuvníkem.
- Rychlost simulace, tj. rychlost běhu času v simulaci – opět příslušným posuvníkem.

Nastavte pomalou rychlost simulace (posunem posuvníku doleva) a zapínejte a vypínejte spínač. Uvidíte, že žárovka se nerozsvěcí a nezhasíná okamžitě. Stejně jako u reálné žárovky to vláknu chvíli trvá.

**Nastavení parametrů součástek:**

V pozastavené simulaci poklepte myší třeba na zdroj napětí. (Poklepání = dvojklik tedy rychlé „ťuk ťuk“.) V okénku, které se otevře, můžete nastavit například velikost napětí zdroje. (Mohli byste si také vybrat, že místo stejnosměrného zdroje chcete střídavý, k dispozici jsou různé průběhy, nejen sinusový.)

Při poklepání na žárovku můžete nastavit její jmenovité napětí a příkon. (Ne přímo jmenovitý proud žárovkou, ale ten spočtete z napětí a příkonu.) Zadat můžete také dobu zahřívání a chladnutí žárovky.

Když poklepete na vodič (ve spodní části obvodu), máte možnost nechat za běhu vypisovat například proud daným vodičem. (A také napětí, ale to se v daném případě bere vzhledem k zápornému pólu zdroje, takže by ukazovalo stále 0 V.)

Když poklepete na nějaký nápis, budete moci změnit příslušný text a velikost jeho písma.

**Když čísla nejdou přepsat:**

Někdy se stane, že v příslušném okénku nejde napsat jiné číslo (třeba hodnota napětí). Jde zřejmě o chybu programu, naštěstí nenastává často. Zkušenost ukázala, že pomůže program ukončit (tedy standardně zavřít okno simulátoru křížkem vpravo nahoře) a pak ho znovu spustit. Příslušnou simulaci pak ovšem musíme otevřít znovu.

**Jak posouvat součástky:**

Pokud na nějaký text nebo prvek obvodu jen klepnete, zvýrazní se odlišnou barvou a myší ho můžete posouvat.

Pokud budete posouvat nějakou součástku, pozor, abyste nepřerušili spojení, která mají v obvodu být. (U obvodu s žárovkou to nevádí, u některých složitějších obvodů by mohl program protestovat.) Pokud chcete posunout celý obvod, označte ho myší (táhněte kolem něj obdélník, až bude celý obvod modrozelenou barvou), pak myší uchopte nějaký jeho bod a táhněte. (Nikoli k čertu, ale ten obvod...)

**Jak zabránit, abyste si součástky či vodiče nechtěně neposouvali:**

V menu Možnosti můžete zaškrtnout položku Zákaz editace. V levém horním rohu okna se objeví ikona zámečku. Zapnout a vypnout spínač klepnutím stále můžete – ale rozhodně si ho přitom nechtěně neposunete. Ovšem pozor: Pokud budete chtít nastavovat parametry součástek, musíte editaci zase povolit, tedy v menu Možnosti příslušnou položku odškrtnout.

**Proč jsou za běhu a po něm některé vodiče a části obvodu barevné:**

Barvou se vyznačuje napětí na daném vodiči. Červená barva znamená kladnou polaritu, modrá zápornou. Bere se napětí „vůči zemi“, což je většinou záporný pól zdroje napětí v obvodu (nepetejte se, jak je to v případě, kdy je zdrojů víc, spoustu vlastností a možností simulátoru jsem ještě nerozšifroval). Také lze explicitě použít značku uzemnění, pak je napětí vůči vodiči spojeném s touto značkou.

Barevné značení napětí lze vypnout v menu Možnosti odškrtnutím položky Zobrazit napětí V. Podobně lze vypnout zobrazování proudu pohybem čárek ve vodičích – položkou Zobrazit proud I.

**Zkoušejte, co hrdlo ráčí...**

Základní ovládání simulací máme za sebou, tak už si zkoušejte, co je vám libo. Na některých obvodech se přiučíte ještě dalším možnostem simulátoru:

- V obvodu **03 Časový průběh proudu žárovkou** uvidíme, že lze mít v simulaci „osciloskop“, tedy graf, který ukazuje časový průběh nějaké veličiny. Graf je spojen s nějakým prvkem obvodu, třeba s žárovkou nebo i s vodičem. Vlastnosti „osciloskopu“ (tedy grafu) lze nastavovat a měnit kliknutím na zubaté kolečko v jeho levém dolním rohu nebo po stisku pravého tlačítka myši kliknutím na Vlastnosti.

- V obvodu **04 Časový průběh proudu žárovkou a odporu žárovky** uvidíme, že takových „osciloskopů“ můžeme mít v simulaci víc. (Všimněte si, že v pozastavení běhu můžeme z grafů odečítat hodnoty; čas je přitom shodný v obou grafech.)
- V obvodu **05 Měníme napětí zdroje posuvníkem** poznáme, že parametry součástek lze měnit pomocí posuvníků. (Po kliknutí na zdroj pravým tlačítkem myši a volbou **Vlastnosti** v lokálním menu lze v okénku nastavovat meze hodnot a další parametry daného posuvníku.)
- Posuvníků může být v simulaci také víc, viz třeba obvod **06 Proud rezistorem**, kde vidíme, že s rostoucím napětím proud roste a s rostoucím odporem naopak klesá; hodnoty napětí a proudu jsou přitom zobrazeny u vodiče.
- V obvodech **08, 09 a 10 (Proud rezistorem a Proud žárovkou a Proud LEDkou)** poznáme, že graf nemusí být jen závislostí na čase – vykresluje zde závislost  $I = I(U)$ , tedy voltampérovou charakteristiku. Při změně napětí posuvníkem, tedy „manuálně“ ovšem napětí většinou měníme trochu trhaně, což díky tepelné setrvačnosti žárovky znamená, že výsledný graf je „zubatý“.  
Je proto lepší, aby se napětí měnilo plynule automaticky – pro proud LEDkou to ukazují obvody **11 a 12 (Voltampérová charakteristika LED automaticky a Dvě LED antiparalelně)**.
- V obvodu **13 Dvě žárovky sériově** vidíme, že „osciloskopy“ nemusejí být jen u spodního okraje okna, ale může jít i o „malé osciloskopy“ umístěné třeba u příslušných součástek. A hlavně si můžeme vyzkoušet, jak se mění proud třeba při zkratování jedné z žárovek.
- Obvod **14** vychází z úlohy, která je spíše hříčkou: spočítat odpor nekonečného řetězce stejných rezistorů. (Analytické řešení dá výsledek  $(1+\sqrt{5})/2 R \approx 1,618033989 R$ .) Také vidíme, že mezi měřicími přístroji v obvodech může být i ohmmetr.
- ... a pak už tam máme obvody ukazující chování obvodů se střídavými proudy... z nich mohou být i na ZŠ názorné třeba usměrňovače (obvody **20, 20a a 21**). Končíme jednoduchým zapojením s jedním tranzistorem. Dalo by se přidat ještě dost a dost, ale na jednu dílnu možná tohle stačí.

### Můžete spustit víc simulací

V menu **Soubor** volbou **Otevře nový program** otevřete nové okno simulátoru. Pak můžete ukazovat a porovnávat dvě simulace (nebo i víc).

### Vytváříme nové simulace

Když chceme začít vytvářet nový obvod, nejdřív si pro něj připravíme prázdné okno. A to buď v menu **Soubor** položkou **New Blank Circuit** (je vidět, že ne vše je počestěno), nebo v menu **Obvody** položkou **Prázdný obvod**.

Pak přidáváme prvky, které chceme v obvodu mít. Vybíráme je z menu **Kreslit**. Jak ukazuje obrázek, nabídka je široká.

Například ve skupině **Pasivní součásti** najdeme kondenzátory, cívky, ale i vypínače, přepínače, tlačítka, potenciometr a třeba i jiskřiště.

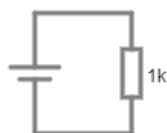
Ve skupině **Generátory a zdroje napětí** pak stejnosměrné i střídavé zdroje napětí, ale také značku pro zem a leccos dalšího.

Pod trochu kryptickým názvem skupiny **Výstupy a štítky** se skrývají LED dioda a žárovka, ale třeba i voltmetr a ampérmetr (byť nebudou vykresleny značkami, na které jsme zvyklí), ale také kreslení čar a psaní textů.

A tak dále...

Kreslit	Osciloskop	Možnosti	O
Vodič			w
Rezistor (odpor)			r
Pasivní součásti			▶
Generátory a zdroje napětí			▶
Výstupy a štítky			▶
Aktivní komponenty			▶
Aktivní stavební bloky			▶
Logické hradla, vstup a výstup			▶
Digitální čipy			▶
Analogové a hybridní čipy			▶
Subcircuits			▶
Přetáhněte			▶

Zkuste si pro začátek vytvořit co nejjednodušší obvod – třeba jen rezistor připojený ke zdroji napětí.



Z menu vyberete, jakou součástku chcete do obvodu vložit, pak ukážete myší na místo, kam chcete vložit jeden její konec, stisknete levé tlačítko myši, táhnete a pak pustíte. Koncové body součástek jsou v síti (neviditelného) rastru, takže se k sobě snadno napojují.

Když se s polohou vývodu součástky netrefíme, nic se neděje, polohu součástky můžeme změnit a její vývody podle potřeby natáhnout.

Jak naznačují písmena v menu Kreslit, některé součástky můžeme pomocí zkratk, jen stiskem klávesy. Například pro kreslení vodiče (tedy drátu, anglicky wire) stiskneme **w**, pro kreslení rezistoru **r**.

## Jak ukládat vytvořené obvody

Samozřejmě, v menu **Soubor** volbou **Uložit jako...**

Rada: Ukládejte obvody jako textové soubory, tedy s příponou **.txt**. Ve skutečnosti to totiž textové soubory jsou a můžete se do nich podívat běžným textovým editorem (třeba PSPad nebo obyčejným Notepadem, tedy editorem Poznámkový blok). Můžete do nich dopsat i vlastní komentáře – viz poznámku níže.

Můžete též zvolit možnost Exportovat jako text. Program nabídne zkopírování textu do Schránky (Copy to Clipboard), z ní pak můžeme text popisující daný obvod vložit kamkoli.

Uložený soubor samozřejmě můžeme do simulátoru opět nahrát.

---

## Poznámky pro ty, kdo se chtějí „vrtat hlouběji“ v maličko technických záležitostech

### Chcete mít v uloženém souboru komentáře?

Na začátek textového souboru s obvodem můžete dodatečně napsat komentáře, kde popíšete, o jaký obvod jde, k čemu ho užít apod. Při načtení takového souboru program circuitjs1 tyto komentáře ignoruje. Ovšem pozor: Když daný soubor načtete do simulátoru a pak znovu uložíte, komentáře už tam nebudou.

### Kde jsou uloženy obvody, které máme v menu Obvody?

Trošku hlouběji v podadresářích složky, v níž máte program circuitjs1.exe. Dejme tomu, že ho máte ve složce D: \PrimaProgramy\CircuitSimulator. ☺ Pak soubory s obvody budou na adrese D: \PrimaProgramy\CircuitSimulator\resources\app\war\circuitjs1\circuits.

Můžete se podívat, že v takovéto podsložce najdete např. soubor \_01\_RozsvitteZarovku.txt a další soubory pro naši dílnu. (Podívejte se, že jsou to opravdu textové soubory s vloženými komentáři.) A můžete si tam uložit soubory vlastní.

### A jak se tyto soubory dostanou do nabídky v menu Obvody?

Inu, ve složce D: \PrimaProgramy\CircuitSimulator\resources\app\war\circuitjs1 je soubor **setuplist.txt**. Když si ho otevřete, bude vám vše jasné a můžete dané menu směle předělávat dle libosti – cokoli z něj vypouštět, přejmenovávat a přidávat tam obvody vlastní. Změny v menu Obvody se ale projeví, až když simulátor zavřete a zase spustíte.

### Potřebujete opravit češtinu v některých položkách menu?

Ve složce, kterou jsme popsali v předchozím odstavci (té, co končí ... \circuitjs1) je soubor **locale\_csx.txt**, kde jsou anglické názvy a vedle nich po rovnítku české ekvivalenty. Je-li něco chybně, můžeme to zde opravit.

---

## Závěrečná poznámka

Je jasné, že **simulace nenahradí skutečné experimentování s elektrickými obvody**. Mohou nám však pomoci chování obvodů názorně vizualizovat a umožnit teoreticky prozkoumat – kvalitativně i kvantitativně – co se v nich děje a jak na sobě co závisí.

Také je třeba upozornit, že **simulace** v programu circuitjs1.exe **nedají přesné chování reálných obvodů**. (Upozorňuje na to například stránka <http://lushprojects.com/circuitjs/>.) Součástky v simulacích jsou totiž prakticky všechny brány jako **ideální**: zdroje nemají vnitřní odpor, spojovací vodiče mají nulový odpor, kondenzátory a cívky jsou bezztrátové. Pokud bychom se chtěli chování reálných obvodů přiblížit, museli bychom například ke zdrojům připojit do série vhodné odpory apod. Druhou možností je použít nějaký opravdu profesionální simulátor. Ty ovšem většinou nebývají zadarmo a také budou obecně složitější na ovládání.

Berme tedy simulace jako vhodný doplněk pokusů. Je na vás, zda a do jaké míry je ve výuce použijete, jaké vyberete a jak je uzpůsobíte úrovni a potřebám svých žáků.

Pokud vás zaujmou, ať vám a vašim žákům přinesou hodně radosti a poučení!

Leoš Dvořák