

Úvod do programování v C

Jan Faigl

Katedra počítačů
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické v Praze

Přednáška 01

BOB36PRP – Procedurální programování

S. G. Kochan: kapitoly 2, 3

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 1 / 59

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Předmět a přednášející

BAB36PRGA – Programování v C

- Webové stránky předmětu <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/bab36prga>
- Odevzdávání domácích úkolů <https://cw.felk.cvut.cz/brute>
- Přednášející:
 - prof. Ing. **Jan Faigl**, Ph.D.
- Detailní informace o předmětu, organizaci a hodnocení na 1. cvičení a na <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/bab36prga>.



*lec*00*.pdf

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 4 / 59

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Další učebnice jazyka C

Practical C Programming, Steve Oualline, O'Reilly Media, Inc., 3rd edition, 1997

Briefer than Kochan's textbook, still comprehensive.

Effective C: An Introduction to Professional C Programming, Robert C. Seacord, William Pollock, 2020.

Great if you already known some of C syntax and like to improve your skill further.

Fluent C, Principles, Practices, and Patterns, Christopher Preschern, O'Reilly Media, Inc., 2022.

Suitable if you like to know more about coding practices.

21st Century C: C Tips from the New School, Ben Klemens, O'Reilly Media, 2012.

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 7 / 59

Přehled témat

- Část 1 – Organizace předmětu
 - Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení
 - Úvod do programování
- Část 2 – Zadání 0. domácího úkolu (HW0)
- Část 3 – Programování (v C)
 - První program (v C)
 - Základních koncepty programování
- Část 4 – Zadání 1. domácího úkolu (HW1)

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 2 / 59

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Organizace a hodnocení BAB36PRGA – Programování v C

- Rozsah: 2p+2c; Zakončení: Z,ZK; Kredity: 6; 1 ECTS kredit je 25–30 hodin za semestr, cca 180 h.
 - Kontaktní část (přednáška a cvičení): 3 hodiny týdně, tj. 42 hodin celkem.
 - Zkouška včetně přípravy: 10 hodin.
 - Domácí příprava (úkoly) cca 9 hodin týdně.
- Průběžná práce v semestru – domácí úkoly a test.
- Zkouškový test a implementační zkouška. Schopnost samostatné práce na počítačích v učebnách. *Medián zátěže!*
- Docházka na cvičení a odevzdání domácích úloh. Samostatná práce (kontrola plagiátů).
 - Postupujte systematicky, budete tak postupně rozvíjet své schopnosti.
 - Využijte čas v prvních úlohách a naučte se psát programy správně.
- Konzultace – Pokud nevíte, tápete nebo řešíte domácí úkol příliš dlouho, konzultujte s cvičícím/přednášejícím. Čtete (učebnic), pochopíte principy (nejen hledat řešení), hledejte si čas a včas konzultujete!
 - Maximálně využijte kontaktní čas na cvičení/přednášce, ptejte se, diskutujte!

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 5 / 59

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Cíle předmětu

- Osvojit si pohled na výpočetní prostředky jako „počítačový vědec“ a naučit se je efektivně používat. *Computer scientist*
 - Formulovat problém a jeho řešení počítačovým programem.
 - Získat povědomí jaké problémy lze výpočetně řešit.
- Získat zkušenost s programováním *získání vlastní zkušenosti*
 - Programování v C *cvičení, domácí úkoly, zkouška*
- Osvojit si schopnost číst, psát a porozumět malým programům
- Získat programovací návyky jak psát
 - Srozumitelné a přehledné zdrojové kódy;
 - Opakovaně použitelné programy.

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 9 / 59

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Část I Organizace předmětu

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 3 / 59

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Zdroje a literatura

- Knihy (učebnice) *Základní učební text „Programming in C“ (Kochan, 2014)*
 - Programming in C, 4th Edition, Stephen G. Kochan, Addison-Wesley, 2014, ISBN 978-0321776419
 - C Programming: A Modern Approach, 2nd Edition, K. N. King, W. W. Norton & Company, 2008, ISBN 860-1406428577
 - The C Programming Language, 2nd Edition (ANSI C), Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie, Prentice Hall, 1988 1st edition 1978
- Přednášky – podpora učebního textu, slidy, videa, poznámky a vlastní poznámky. *Součástí přednášek jsou také zdrojové kódy s příklady!*
- Cvičení – získání praktických dovedností řešením domácích úkolů a dalších úloh. *programovat, programovat, programovat*

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 6 / 59

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Způsob výuky programování v BAB36PRGA

- Naší snahou je vybudovat zkušenost a rozvinout dovednost programování.
 - Programování vs. algoritmicizace;
 - Programování je „řemeslo“, jak správně implementovat nějaký algoritmus.
 - Jen funkční nestaci - program musí být i správně! *Očekávaný vstup vs. co všechno může uživatel na vstup zadat.*
- Studijní zátěž je proto rozložena do výukové části semestru.
 - Úkoly na cvičení a termíny domácích úkolů.
 - Systematické rozvíjení dovednosti programování v průběhu semestru je zásadní. *Na začátku semestru čas pro čtení učebnice!*
- Vědět a umět použít (nikoliv "slepotně"). *Nezávislost na naseptávací!*
 - Začínáme relativně jednoduchými úlohami k osvojení programovacích konstrukcí a způsobu organizace zdrojového kódu. *Přehledný kód a schopnost se efektivně orientovat v kódu!*
 - Úkoly jdou vždy realizovat s tím, co si řekneme na přednášce/cvičení. *Řešení s pokročilejšími konstrukty může být elegantnější(kratší), nemusí však dodat potřebné vhled.*
 - V prvních přednáškách pokrýváme nezbytné znalosti, které jsou dále prohlubovány.
 - Cvičení doplnují přednášky a dávají více prostoru pro praktické osvojení problematiky.
 - Můžete volit praktický způsob vstřebávání znalosti programování z příkladů, který je vhodný doplnit teoretickou přípravou z učebnic(e).

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 10 / 59

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Přehled přednášek

Státní svátek

- 01 - Úvod do programování v C *S. G. Kochan: kapitoly 1–3*
- 02 - Základy programování (v C) *S. G. Kochan: kapitoly 2–5 a část 6*
- 03 - Řídící struktury, výrazy a funkce *S. G. Kochan: kapitoly 4–6 a 12*
- 04 - Pole, ukazatel, textový řetězec, vstup a výstup programu *S. G. Kochan: kapitoly 7, 10 a 11*
- 05 - Ukazatele, paměťové třídy a volání funkcí *S. G. Kochan: kapitoly 8 a 11*
- 06 - Struktury a uniony, přesnost výpočtů a vnitřní reprezentace číselných typů *S. G. Kochan: kapitoly 9, 14, 17 a Appendix B*
- 07 - Standardní knihovny C. Rekurze. (Základní vlastnosti jazyka C probrány) *S. G. Kochan: kapitola 16 a Appendix B*
- 08 - Spojové struktury *S. G. Kochan: kapitola 16 a Appendix B*
- 09 - Abstraktní datový typ (ADT) - zásobník, fronta, prioritní fronta
- 10 - Stromy, Prioritní fronta, halda a heap sort
- 11 - Paralelní programování, paralelní výpočty a synchronizační primitiva (semafory, zprávy a sdílená paměť)
- 12 - Vícevláknové programování, modely aplikací, POSIX vlákna C11 vlákna
- 13 - Rezerva - Rektorský den
- 14 - Přesnost a rychlost výpočtu

Přednáška není jen prezentace slidů – interakce, řešení dotazů a diskuse.
Podklady k přednášce jsou k dispozici před přednáškou podobně jako učebnice.

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Přehled domácích úkolů

- Domácí úkoly s povinným, **volitelným**, případně bonusovým zadáním. *66 h, bonus +18 h*
<https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/b3b36prga/hw/start>

- HW 0 - První program *1 h*
- HW 1 - Načítání vstupu, výpočet a výstup *5 h*
(**Kontrola přehlednosti kódu** – až -100% z dosažených bodů)
Seznámení se s prostředím, psaním programů, jejich laděním, testováním a odevzdáváním. ~ 20–40 h
- HW 2 - Kreslení (ASCII art) (**Kontrola kódu** – až -100%) *6 h*
- HW 3 - Prvočíselný rozklad (**Kontrola kódu** – až -100%) *8 h, bonus +8 h*
- HW 4 - Caesarova šifra (**Kontrola kódu** – až -100%) *8 h, bonus +5 h*
- HW 5 - Hledání textu v souborech *8 h*
- HW 6 - Maticové počty (**Kontrola kódu** – až -100%) *10 h bonus +5 h*
- HW 7 - Kruhovná fronta v poli - *Dynamicky linkovaná knihovna* *8 h*
- HW 9 - Prioritní fronta haldou (binární strom v poli) a Heap Sort. *12 h*

- Podmínkou zápočtu je úspěšné odevzdání všech domácích úkolů.
- Odevzdání volitelného zadání je doporučeno (není částečné odevzdání).
Celkové body za povinné zadání 30b, volitelné zadání 15b, bonusové 15b.

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Medián reportované časové náročnosti vypracování úloh

- Očekávaná náročnost cca 84 h.
 - Součet mediánů cca 66 h celkem bez bonus úloh.
 - Bonusy cca 18 h.
 - Celkem cca 84 h.
- Od HW3 jsou úlohy přibližně stejně časově náročné.
- V prvních týdnech věnujte čas seznámení se s prostředím, trénování kódování (přepisujte a zprehlednujte) a čtení učebnice.
Řešení pozdějších úloh pak může být rychlejší.
- Časová dotace cca 180 h.
42 h kontaktní část, 16 h zkouška, 84 h úlohy, "rezerva" cca 38 h.
- Změna úloha v roce 2023 a 2024.
HW1 a HW9 (HW8 z 2023 přesun do lab12 a lab13).

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Odevzdávání domácích úkolů – BRUTE

- BRUTE** – Bundle for Reservation, Uploading, Testing and Evaluation
 - Formální kontrola – kompilace programu.
 - Testování funkčnosti a správnosti – **kontrola výstupu pro daný vstup**.
 - Veřejné vstupy a odpovídající výstupy / neveřejné vstupy.
 - Před uploadem programu si program otestujete sami.
 - S využitím dostupných vstupů a výstupů.
 - Vytvoření vlastních vstupů a laděním programu.
 - Vytvoření vstupů **přiloženým generátorem vstupů**.
 - Overení výstupu **přiloženým testovacím nebo referenčním programem**.
- Porozumění kódu a kontrola možných stavů.
 - Pro každý řádek byste měli být schopni odpovědět proč tam je a co dělá!**
 - Pro každou funkci nebo načtení vstupu** od uživatele analyzujte možné vstupní hodnoty nebo **návratové hodnoty funkcí!**
 - Pokud je z hlediska funkčnosti vstup nebo návratová hodnota zásadní, **provedte kontrolu vstupu a/nebo příslušnou akci**, jako je vypsaní hlášení a ukončení programu.
Např. očekávaný vstup je číslo a uživatel zadá něco jiného.

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Úkoly a BRUTE

- Úkoly nejsou jen o odevzdání implementace, která projde BRUTE testy.
 - Cíl není odevzdat úkoly v BRUTE, je to prostředek ověření funkčnosti programu.**
 - BRUTE je nástroj průběžné kontroly postupu a získávání znalostí.**
 - Cíl je naučit se samostatně programovat funkční programy správně.**
- Úkoly jsou o **postupném získání zkušeností** s konkrétními konstrukty.
- Úkoly mají relativní obtížnost velmi podobnou.
 - Je důležité postupně samostatně řešit jednotlivé úkoly a osvojit si dílčí dovednosti.
Absolutně jsou úlohy postupně náročnější a náročnější!
- Netrapte se s řešením příliš dlouho sami, ptejte se (discord), cvičících, na přednášce nebo **konzultaci**.
- Úkoly HW1–HW4 a HW6 budou kontrolovány na správnost a přehlednost kódu.
 - Zaměřeno na konzistenci, čitelnost, a **modularitu** (rozdělení do funkcí).
Z hlediska tréninku a učení, i zdánlivě triviální program se snažte rozumně rozdělit na více funkcí.
 - Motivace je netravit příliš mnoho času implementací bez výrazného postupu.**

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Způsob reprezentace znalostí

- Z hlediska výpočtu můžeme rozlišit dva základní typy znalostí. *Způsoby popisu problému.*

Deklarativní

- Tvrzení popisující stav.
- Axiomatické.
- Umožňuje jednoduše ověřovat (testovat) pravdivost tvrzení.
- Neposkytujete návod, jak hodnotu vypočítat.
 $\sqrt{x} = y, y^2 = x, x \geq 0, y \geq 0.$

Imperativní

- Popis jak něco vypočítat.
- Posoupnost výpočtu.
- Test jak ovlivnit průběh výpočtu.
 - If $y^2 \approx x$ *Využití deklarativní znalosti.*
 - Then
 - return y
 - Else $y \leftarrow \frac{y+\frac{x}{y}}{2}$
Go to Step 1

- Program je „recept“ – posoupnost kroků (výpočtů) popisující průběh řešení problému.**

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Program a programování

Základní koncept je princip přiřazení hodnoty proměnné!

```

1 int a = 10;
2 int b = 20;
3
4 a = b;

```

- Co je int?*
- Co je a a b?*
- Co je = na řádku 1–2 a na řádku 4?*

- Program (posoupnost instrukcí v paměti programu) je předpis práce s pamětí dat.
- Instrukce přesouvají hodnoty v paměti, počítají a testují (porovnávají) hodnoty.
 - Posoupnost** instrukcí (příkazů).
 - Větvení** - podmíněný skok na posoupnost instrukcí v závislosti na hodnotě proměnné.
 - Cykly** - opakování stejné posoupnosti instrukcí s jinými daty.
- Programování je schopnost **samostatně**
 - tvořit programy;**
 - dekomponovat** úlohy na menší celky;
 - sestavovat z **dílčích částí větší programy** řešící komplexní úlohu.
- Programování je dovednost (řemeslo) zapsat řešení výpočetního problému programem.**
Čitelný, srozumitelný a udržitelný zápis!

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Část II

Část 2 – Zadání 0. domácího úkolu (HW0)

Cíle předmětu a prostředky jejich dosažení

Úvod do programování

Zadání 0. domácího úkolu HW0

Téma: První program

Povinné zadání: 1b; Volitelné zadání: není; Bonusové zadání: není

- Motivace:** Seznámení se s odevzdávacím systémem BRUTE.
- Cíl:** Osvojit si kompilaci a odevzdávání domácích úkolů
- Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/bab36prga/hw/hw0>
 - Napište program, který vytiskne na obrazovku text Hello PRGA! zakončený znakem nového řádku \n.
- Termín odevzdání: 10.03.2024, 23:59:59 PST.**

PST – Pacific Standard Time

První program (v C) Základních koncepty programování

Část III

Část 3 – Programování (v C)

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 21 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Program a jeho zápis

- V předmětu BAB36PRGA používáme programovací jazyk **C**.
Programování není o znalosti konkrétního programovacího jazyka, je to o způsobu uvažování a řešení problému. Jazyk C nám dává příležitost osvojit si základní koncepty, které lze využít i v jiných jazycích.
- Klíčové pro správné fungování programu je zacházení s pamětí.
Cílem kurzu PRGA je naučit se základním principům, které lze následně generalizovat též pro jiné programovací jazyky. Pochopení těchto principů je klíčem k efektivnímu psaní efektivních programů.
- Program se skládá z
 - klíčových slov, výrazů (operátorů/volání funkci), literálů (hodnot);
 - identifikátorů proměnných a funkcí.

Identifikátor proměnné je pojmenování datové oblasti v paměti. Identifikátor funkce je pojmenování posloupnosti instrukcí (příkazů).

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 25 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Zápis programu

```

1 /*
2  * Funkce main je hlavní funkce programu v c, je spuštěna
3  * po spuštění programu.
4  */
5 int main(void) // Funkce main vrací hodnotu typu int.
6 {
7     int a = 10; // Definice proměnné a typu int.
8               // inicializace literálem 10 (typ int).
9
10    int b = 20; // Definice proměnné b je přiřazení symbolu
11              // alokovanému paměťovému místu.
12
13    int c;     // Hodnota proměnné c není definována.
14
15    c = a + b / 2; // Výraz má hodnotu typu int.
16                // Dělení je celočíselné (oba operandy typu int).
17
18    return c; // Návrátová hodnota funkce (v případě main(), návratová hodnota programu).
19 }
    
```

- Použít klíčová slova **int**, **void** a **return**.
- Literály jsou 10, 20 a 2.
- Použití operace ve výrazu jsou sčítání, dělení a přiřazení.
- Identifikátory jsou jména proměnných a, b, c a jméno funkce main().

Jméno hlavní funkce main() je přeepsané.

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 28 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Program a definice programovacího jazyka

- Program je posloupnost kroků (výpočtů) popisující průběh výpočtu řešení problému.
- Programovací jazyk je způsob zápisu programu, který definuje sadu konstrukcí programu.
Zapisovaný v textové („lidsky čitelné“) podobě.
- Syntax** – definice povolených výrazů a konstrukcí programu.
Plná kontrola a podpora vývojových prostředí.
 - Příklad popisu výrazu gramatikou v **Backus-Naurově formě**
 $\langle \text{exp} \rangle ::= \langle \text{exp} \rangle + \langle \text{exp} \rangle \mid \langle \text{exp} \rangle * \langle \text{exp} \rangle \mid \langle \text{exp} \rangle \mid \langle \text{number} \rangle \langle \text{number} \rangle ::= \langle \text{number} \rangle \langle \text{digit} \rangle \mid \langle \text{digit} \rangle \langle \text{digit} \rangle ::= 0 \mid 1 \mid 2 \mid 3 \mid 4 \mid 5 \mid 6 \mid 7 \mid 8 \mid 9.$
- Statická sémantika** – definuje jak jsou konstrukty používány.
Částečná kontrola a podpora prostředí.
 - Příklad axiomatické specifikace: $\{P\} S \{Q\}$,
 - P - precondition,
 - Q - postcondition,
 - S - konstrukce jazyka.
- Plná sémantika** – co program znamená a dělá, jeho smysluplnost.
Kontrola a ověření správnosti je v režii programátora/ky.

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 23 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Platné znaky pro zápis zdrojových souborů

- Malá a velká písmena, číselné znaky, symboly a oddělovače.
ASCII – American Standard Code for Information Interchange.
 - a–z A–Z 0–9
 - ! " # % & ' () * + , - . / : ; < = > ? [\] ^ _ { | } ~
 - mezera, tab, nový řádek.
- Escape sekvence pro symboly
 - \ ' - >, \ " - ", \ ? - ?, \ | - |, \ \ - \.
- Escape sekvence pro tisk číselných hodnot v textovém řetězci
 - \ o, \ oo, kde o je osmíčková číslice;
 - \ xh, \ xhh, kde h je šestnáctková číslice.

```

1 int i = 'a';
2 int h = 0x61;
3 int o = 0141;
4
5 printf("i: %i h: %i o: %i c: %c\n", i, h, o, i);
6 printf("oct: \141 hex: \x61\n");
    
```

Např. \141, \x61 lec01/esqdh.c
- \0 – znak pro konec textového řetězce (null character).

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 26 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Literály – Zápis hodnot

- Hodnoty datových typů označujeme jako **literály**.
- Zápis celých čísel (celočíslné literály).

dekadický	123 450932	
šestnáctkový (hexadecimální)	0x12 0xFAFF	(začíná 0x nebo 0X)
osmíčkový (oktalový)	0123 0567	(začíná 0)
unsigned	12345U	(přípona U nebo u)
long	12345L	(přípona L nebo l)
unsigned long	12345ul	(přípona UL nebo ul)
- Není-li přípona uvedena, jde o literál typu **int**.
Výchozí typ Ccka.
- Neceločíselné datové typy **float** a **double** jsou dané implementací, většinou se řídí standardem IEEE-754-1985.

	float, double
1.0 nebo 1.	vychází typ necelého čísla je double .
1.0f nebo 1.f	literál typu float .

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 29 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Správnost programu

- Syntakticky i staticky sémanticky správný program neznamená, že dělá to co od něj požadujeme.
- Správnost a smysluplnost programu je dána očekávaným chováním při řešení daného problému.
- V zásadě při spuštění programu mohou nastat následující události.
 - Program havaruje a dojde k chybovému výpisu.
Mrzuté, ale výpis (report) je dobrý start řešení chyby (bug).
 - Program běží, ale nezastaví se, počítá v nekonečné smyčce.
Zpravidla velmi obtížné detekovat a program ukončíme po nějaké době, proto je vhodné mít představu o výpočetní náročnosti řešené úlohy a použitým přístup řešení (algoritmu).
 - Program včas dává odpověď.
Je dobré vědět, že odpověď je korektní.

Správnost programu je plně v režii programátorky nebo programátora, proto je důležité pro snadnější ověření správnosti, ladění a hledání chyby používat **dobry programovací styl**.

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 24 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Klíčová slova

- Klíčová (rezervovaná) slova (**keywords**)₃₂:
auto break case char const continue default do double else enum extern float for goto if int long register return short signed sizeof static struct switch typedef union unsigned void volatile while.
C98
- Mezi klíčová slova patří označení typu hodnoty, které definuje potřebné paměťové místo reprezentace čísla: **int**, **double**, **float**, **char**, **short**, **long**.
 - Hodnoty jsou literály, výsledek výrazů, proměnné, návratová hodnota funkce, operandy.
Každá hodnota (číslo) má svou reprezentaci (typ) a potřebnou velikost paměti.

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 27 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Identifikátory

- Identifikátory** jsou jména proměnných, funkcí, a vlastních typů.
- Pravidla pro volbu identifikátorů.
Názvy proměnných, typů a funkcí.
 - Znaky a–z, A–Z, 0–9 a _.
 - První znak není číslice.
 - Rozlišují se velká a malá písmena (case sensitive).
 - Délka identifikátoru není omezena.
Prvních 31 znaků je významných – může se lišit podle implementace.
- Proměnné** jsou data, typicky volíme **podstatná jména**.
- Funkce** něco provádí, typicky volíme **slovesa**.
Čvičte se v používání angličtiny!

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 30 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Přiřazení, proměnné a paměť – Vizualizace unsigned char

```

1 unsigned char var1;
2 unsigned char var2;
3 unsigned char sum;
4
5 var1 = 13;
6 var2 = 10;
7
8 sum = var1 + var2;

```

- Každá z proměnných alokuje právě 1 byte.
- Obsah paměti není po alokaci definován. *Undefined behavior*
- Jméno proměnné „odkazuje“ na paměťové místo.
- Hodnota proměnné je obsah paměťového místa. *Paměť není inicializována.*

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 31 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Textově orientovaná interakce s uživatelem

- Základním způsobem interakce s uživatelem je textový výstup a vstup.
- V případě programu běžícího v rámci operačního systému (OS) využíváme služby OS, který realizuje interakci s uživatelem s využitím hardwarových prostředků. *OS realizuje hardwarovou abstrakci.*
- V Cčkovém programu proto přidáme podporu pro vstup a výstup, knihovnu `stdio.h`.

```

1 #include <stdio.h> // Vložení deklarací funkcí pro vstup/výstup
2 // Deklarace je hlavička funkce.
3
4 int main(void)
5 {
6     puts("I like BAB36PRGA!"); // Volání funkce puts(), viz man puts.
7     return 0; // 0 indikuje úspěšné provedení programu - EXIT_SUCCESS
8 }

```

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 34 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Zápis a kompilace programu

- Zdrojový kód programu v jazyce C se zapisuje do textových souborů (.c a také .h). *Jméno nebo koncovka není pro typ souboru úplně zásadní!*
- Kompilací zdrojových souborů překladačem do binární podoby vznikají objektové soubory (s koncovkou .o) nebo spustitelný program.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3
4 int main(void)
5 {
6     int ret = EXIT_SUCCESS;
7     int r = puts("I like BAB36PRGA!");
8     if (r == EOF) {
9         ret = EXIT_FAILURE;
10    }
11    return ret;
12 }

```

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 37 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Program v C

- Program v C je organizován do funkcí.
- Spustitelný program vyžaduje funkci, která se spustí jako první – `main()`.

```

1 void main(void)
2 {
3     int a;
4     int b;
5     int c;
6
7     a = 10;
8     b = 4;
9     c = a + b;
10 }

```

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 32 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Ošetření návratových hodnot volání funkcí

- Funkce `puts()` vrací `EOF` při chybě, jinak nezáporné celé číslo.
- K zpřehlednění využijeme symbolické konstanty `EXIT_SUCCESS` a `EXIT_FAILURE` z knihovny `stdlib.h`.

```

1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3
4 int main(void)
5 {
6     if (puts("I like BAB36PRGA!") != EOF) {
7         return EXIT_SUCCESS;
8     } else {
9         return EXIT_FAILURE;
10    }
11 }

```

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 35 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Příklad součtu dvou hodnot

```

1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     int sum; /* definice lokální proměnné typu int */
6
7     sum = 100 + 43; /* hodnota výrazu se uloží do sum */
8     printf("The sum of 100 and 43 is %i\n", sum);
9     /* %i formátovací příkaz pro tisk celého čísla */
10    return 0;
11 }

```

- Proměnná `sum` typu `int` reprezentuje celé číslo, jehož hodnota je uložena v paměti.
- `sum` je námi zvolené symbolické jméno (identifikátor) místa v paměti, kde je uložena celočíselná hodnota (typu `int`).

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 38 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Interaktivní program

- Proměnné (paměťová místa) mohou přímo reprezentovat periferie - např. tlačítko (0 - stisknuto) a LED (1 - svítí).
- Ovládání LED tlačítkem tak můžeme realizovat jako nekonečnou smyčku, ve které nastavujeme hodnotu LED podle stisknutého nebo nestisknutého tlačítka

```

1 #include "mbed.h"
2
3 DigitalOut myled(LED1);
4 DigitalIn mybutton(USER_BUTTON);
5
6 int main()
7 {
8     while (1) {
9         if (mybutton == 0) {
10            myled = 1;
11        } else {
12            myled = 0;
13        }
14    }
15 }

```

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 33 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Hodnocení programů a programátorské styly

- Hodnocení programů je neosobní, program je správně nebo není. *Není to hodnocení Vás, ale programu.*
- Pokud program není správně, je to z hlediska učení se v pořádku, protože se učíte. *Pokud je správně, už to umíte, už se neučíte. Tedy když se učíte, děláte chyby.*
- Programování není o memorování fakt. Nezaměňujte memorování s programováním správně.
 - Naučit se fakta aplikovat v různých situacích, dokud nebudete vědět, jak je použít.
- Naučit se, znamená zkoušet, uvědomit si, vědět. *Zpřipravením nebo vygenerováním funkčního programu se to zpravidla nenaučíte—programování vs. prompt engineering.*
- Všechny programy v PRGA už někdo někdy implementoval. *Naučit se programovat znamená umět řešit problémy, které ještě nikdo neřešil.*
- Kreativní programování je rychlé prototypování. *Nedělám chyby, program je funkční a dokonale, jako jeho autor.*
- Defenzivní programování předpokládá, že programy mají chyby, které nemůžeme plně odstranit, ale pouze redukovat jejich četnost. *Nejste váš program, ale jste zodpovědní za chyby.*
- **Draftujte program kreativně. Pak se přepněte do defenzivního stylu a řešte možné chyby.**
 - Najděte odvahu program kompletně přepsat. *Nestýďte se programovat na načisto (klidně i na papír).*
- Programování není o bušení do klávesnice, ale o návrhu, přemýšlení a strategii implementace.

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 36 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Standardní vstup a výstup

- Spuštěný program v prostředí operačního systému má přiřazený znakově orientovaný standardní vstup (`stdin`) a výstup (`stdout`), případně standardní chybový výstup (`stderr`). *Výjimkou jsou programy pro MCU bez OS.*
- Program může prostřednictvím `stdout` a `stdin` komunikovat s uživatelem. *Grafické programy mají grafický výstup a vstup z dalších periférií. Princip je obdobný jen komplexnější.*
- Základní funkce pro znakový výstup je `putchar()` a vstup `getchar()`, definované ve standardní knihovně `<stdio.h>`.
- Formátovaný výstup je možné tisknout funkcí `printf()`, např. číselné hodnoty.
- Formátované načítání číselných hodnot lze realizovat funkcí `scanf()`, uživatel ale nemusí na vstup zadat číslo. Proto **kontrolujeme úspěšné načtení čísla!** *Jedná se o knihovni funkce, ze standardní knihovny. Jména funkcí nejsou klíčová slova jazyka C.*

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 39 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Formátovaný výstup – printf()

- Číselné hodnoty lze tisknout (vypsat) na standardní výstup prostřednictvím funkce `printf()`.
man printf, resp. man 3 printf.
- Argumentem funkce je textový řídící řetězec formátování výstupu.
- Řídící řetězec formátu je uvozen znakem `'%'`.
- Znakové posloupnosti (nezačínající `%`) se vypíší tak jak jsou uvedeny.
- Základní řídící řetězce pro výpis hodnot jednotlivých typů.

<code>char</code>	<code>%c</code>
<code>_Bool</code>	<code>%i, %u</code>
<code>int</code>	<code>%i, %x, %o</code>
<code>float</code>	<code>%f, %e, %g, %a</code>
<code>double</code>	<code>%f, %e, %g, %a</code>
- Dále je možné specifikovat počet vypsaných míst, zarovnání vlevo (vpravo), atd.
Více na cvičení a v domácích úkolech.

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 40 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Formátovaný vstup – scanf()

- Číselné hodnoty ze standardního vstupu lze načíst funkcí `scanf()`.
man scanf, resp. man 3 scanf.
- Argumentem je textový řídící řetězec s podobným syntax jako `printf()`.
- Funkce uloží načtenou hodnotu na konkrétní paměťové místo.
Paměť musí být alokována a dostatečně velká, proto předáváme adresu proměnné konkrétního typu.
- Příklad načtení hodnoty celého čísla s kontrolou a výpisem na standardní chybový výstup.

```
1 int i;
2
3 printf("Enter int value: ");
4 int r = scanf("%i", &i); /* operator & vrací adresu promenne i */
5 if (r == 1) {
6     fprintf(stdout, "You entered %02i\n", i);
7 } else {
8     fprintf(stderr, "ERROR: Input does not contain valid integer value!\n");
9 }
```

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 41 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Příklad formátovaného vstupu

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h> // for EXIT_SUCCESS
3
4 int main(void)
5 {
6     int ret = EXIT_SUCCESS;
7     double d;
8
9     printf("Enter a double value: ");
10    int r = scanf("%lf", &d);
11    if (r == 1) {
12        printf("You entered %.0f\n", d);
13    } else if (r == 0) {
14        fprintf(stderr, "ERROR: Input does not match double value!\n");
15        ret = 101; // Indicate error on input, number has not been given.
16    } else {
17        fprintf(stderr, "WARN: No input provided!\n"); //press Ctrl+D to terminate the
18        // input EOT - End-of-Transmission character (or Ctrl+Z on Disk Operating System /
19        // Windows like systems)
20        ret = 102; // Indicate no input has been given.
21    }
22    return ret;
23 }
```

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 42 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Základní koncepty programování

V programování jsou využívány tři klíčové koncepty, kterou jsou vzájemně kombinovány a umožňují vytvářet komplexní programy.

- Přirazení** - uložení hodnoty na definované místo v paměti
- Větvení** - volba posloupnosti instrukcí na základě hodnoty nějaké proměnné (místa v paměti)
- Cyklus** - Opakování nějaké posloupnosti instrukcí s novými daty

Abychom mohli lépe a snadněji organizovat posloupnosti instrukcí do složitější celků, je vhodné program strukturovat do znovupoužitelných částí: **procedur** a **funkcí**

- Procedura představuje předpis co se má s jednotlivými paměťovými místy provádět
- Výsledek procedury závisí na hodnotách uložených v paměti
- Procedura/funkce/algorithmus řeší obecnou úlohu nějakého výpočtu
Neméně důležitým konceptem je zobecňování výpočtu, které „zjednodušuje“ řešení problémů.

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 44 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Příklad opakovaného tisku na základě uživatelského vstupu

- Úkol: Uživatel zadá počet opakování tisku zprávy a pokud je počet větší než 0 a zároveň menší než 10 vypíše zprávu tolikrát kolik bylo zadáno. V opačném případě upozorní uživatele na omezený rozsah.
 - Přirazení** - uložení hodnoty počtu opakování od uživatele (proměnná `n`).
 - Větvení** - kontrola mezí vstupní hodnoty.
 - Cyklus** - opakování vypisu `n` krát.
 - Při opakovaném průchodu cyklem počítáme kolikrát byla zpráva vytištěna (řídící proměnná `i`).
Detailní popis a vysvětlení syntaxe v učebnici a další přednášce.

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     printf("I like BAB36PRGA!\n");
6     printf("I like BAB36PRGA!\n");
7     printf("I like BAB36PRGA!\n");
8     printf("I like BAB36PRGA!\n");
9     return 0;
10 }
```

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 45 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Opakovaný tisk textové zprávy uživateli

- Zprávu lze například vytisknout 4× opakováním příkazu tisku.

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     printf("I like BAB36PRGA!\n");
6     printf("I like BAB36PRGA!\n");
7     printf("I like BAB36PRGA!\n");
8     printf("I like BAB36PRGA!\n");
9     return 0;
10 }
```
- Použití cyklu a řídící proměnné je programátorský přístup.
- Příklad zobecníme o zadání počtu opakování uživatelem ze standardního vstupu.

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(void)
4 {
5     const int N = 4;
6     for (int i = 0; i < N; ++i) {
7         printf("I like BAB36PRGA!\n");
8     }
9     return 0;
10 }
```

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 46 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Příklad řešení 1/3

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3
4 int main(void)
5 {
6     int ret = EXIT_SUCCESS;
7     int n; // hodnota není inicializována
8     printf("Enter a positive integer number from 1 to 9: ");
9     int r = scanf("%d", &n); // kontrola úspěšnosti načtení celého čísla %d
10    if (r == 1 && n > 0 && n < 10) {
11        int i = 0;
12        while (i < n) {
13            puts("I like BAB36PRGA!");
14            i = i + 1;
15        }
16    } else {
17        printf("ERROR: Input value must be in the range (0,10)\n");
18        ret = EXIT_FAILURE;
19    }
20    return ret;
21 }
```

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 47 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Příklad řešení 2/3

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3
4 void print(int n);
5
6 int main(void)
7 {
8     int ret = EXIT_SUCCESS;
9     int n;
10    printf("Enter a positive integer number from 1 to 9: ");
11    int r = scanf("%d", &n); // předáváme adresu proměnné n, hodnotu vyplní funkce
12    if (r == 1 && n > 0 && n < 10) {
13        print(n);
14    } else {
15        fprintf("ERROR: Input value must be in the range (0,10)\n");
16        ret = EXIT_FAILURE;
17    }
18    return ret;
19 }
```

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 48 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Příklad řešení 3/3

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h> // Because of EXIT_SUCCESS
3
4 int read(int min, int max, int *n);
5 void print(int n);
6
7 #define MIN 1
8 #define MAX 9
9
10 int main(void)
11 {
12     int ret = EXIT_SUCCESS;
13     int n; // memory allocation for the read value
14     if (read(MIN, MAX, &n)) {
15         print(n);
16     } else {
17         printf("ERROR: Input value must be in the
18         // range (%d,%d)\n", MIN - 1, MAX + 1);
19         ret = EXIT_FAILURE;
20     }
21     return ret;
22 }
```

Jan Faigl, 2024 BOB36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 49 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Výpočetní problém, algoritmus a program jako jeho řešení

Příklad: Najít největšího společného dělitele čísel 6 a 15.

- Víme co musí platit pro číslo d , aby bylo největším společným dělitelem čísel x a y .
- Známo **deklarativní znalost** o problému můžeme využít pro návrh výpočetního postupu jak takové číslo najít, např.
 - Nechť máme nějaký odhad čísla d ;
 - Potom můžeme ověřit, zdali d splňuje požadované vlastnosti;
 - Pokud ano, jsme u cíle;
 - Pokud ne, musíme d vhodně modifikovat a znovu testovat.
- Výpočetní problém chceme vyřešit využitím konečné množiny primitivních operací počítače.
- Konkrétní úlohu pro čísla 6 a 15 zobecňujeme pro „libovolná“ čísla x a y , pro který **navrhne algoritmus**.
- Algoritmus následně přepíšeme do programu využitím konkrétního programovacího jazyka.

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 50 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Příklad největší společný dělitel

- Úloha**
Najděte největší společný dělitel čísel 6 a 15.
Co platí pro společného dělitele čísel?
- Řešení**
Návrh postupu řešení pro dvě libovolná přirozená čísla.
Definice vstupu a výstupu algoritmu.
 - Označme čísla x a y .
 - Vyberme menší z nich a označme jej d .
 - Je-li d společným dělitelem x a y končíme.
 - Není-li d společným dělitelem pak zmenšíme d o 1 a opakujeme test až d bude společným dělitelem x a y .
- Symboly x , y a d reprezentují **proměnné** (paměťové místo), ve kterých jsou uloženy hodnoty, které se v průběhu výpočtu mohou měnit.

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 51 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Slovní popis činnosti algoritmu

- Úloha:**
Najít největší společný dělitel přirozených čísel x a y .
- Popis řešení**
 - Vstup:** dvě přirozená čísla x a y .
 - Výstup:** přirozené číslo d – největší společný dělitel x a y .
 - Postup**
 - Je-li $x < y$, pak d má hodnotu x , jinak má d hodnotu y .
 - Pokud d není dělitelem x nebo d není dělitelem y opakuj krok 3, jinak proved' krok 4.
 - Zmenší d o 1.
 - Výsledkem je hodnota d .

Algoritmus = výpočetní postup jak zpracovat vstupní data a určit (vypočítat) požadované výstupní hodnoty (data) s využitím elementárních výpočetních instrukcí a pomocných dat.

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 52 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Postup výpočtu algoritmu vyjádřený formou vývojového diagramu

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 53 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Zápis algoritmu v pseudojazyku

- Zápis algoritmu využitím klíčových a dobře pochopitelných slov

Algoritmus 1: Nalezení největšího společného dělitele

Vstup: x, y – kladná přirozená čísla
Výstup: d – největší společný dělitel x a y

```

if x < y then
  d ← x;
else
  d ← y;
while d není dělitelem x nebo d není dělitelem y do
  d ← d - 1;
return d
  
```

Neodpovídá přesně zápisu programu v konkrétním programovacím jazyku, ale je čitelný a lze velmi snadno přepsat.

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 54 / 59

První program (v C) Základních koncepty programování

Zápis algoritmu v C – motivační ukáзка

```

1 int getGreatestCommonDivisor(int x, int y)
2 {
3     int d;
4     if (x < y) {
5         d = x;
6     } else {
7         d = y;
8     }
9     while ((x % d != 0) || (y % d != 0)) {
10        d = d - 1;
11    }
12    return d;
13 }
  
```

- Úlohu největšího společného dělitele čísel 6 a 15 jsme zobecnili.
- A dekomponovali na funkci `getGreatestCommonDivisor()`.
- Funkci můžeme opakovaně použít.
- Případně definovat v samostatném souboru.

Nebo také s využitím ternárního operátoru.

```

1 int getGreatestCommonDivisor(int x, int y)
2 {
3     int d = x < y ? x : y;
4     while ((x % d != 0) || (y % d != 0)) {
5         d = d - 1;
6     }
7     return d;
8 }
  
```

Více učebnice, cvičení nebo příští přednáška. lec01/demo-gcd.c

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 55 / 59

Část IV

Část 4 – Zadání 1. domácího úkolu (HW1)

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 56 / 59

Zadání 1. domácího úkolu HW1

Téma: Načítání vstupu

Povinné zadání: 3b; Volitelné zadání: není; Bonusové zadání: není

- Motivace:** „Automatizovat“ a zobecnit výpočet pro „libovolně“ dlouhý vstup.
- Cíl:** Osvojit si využití cyklů jako základní programové konstrukce pro hromadné zpracování dat.
- Zadání:** <https://cw.fel.cvut.cz/wiki/courses/bab36prga/hw/hw1>
 - Zpracování **libovolně dlouhé** posloupnosti celých čísel.
 - Výpis načtených čísel.
 - Výpis statistiky vstupních čísel.
 - Počet načtených čísel; Počet kladných a záporných čísel a jejich procentuální zastoupení na vstupu.
 - Četnosti výskytu sudých a lichých čísel a jejich procentuální zastoupení na vstupu.
 - Průměrná, maximální a minimální hodnota načtených čísel.
- Termín odevzdání:** 16.03.2024, 23:59:59 PDT.

PDT – Pacific Daylight Time

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 57 / 59

Diskutovaná témata

Shrnutí přednášky

Jan Faigl, 2024 B0B36PRP – Přednáška 01: Úvod do programování v C 58 / 59

Diskutovaná témata

- Informace o předmětu
- Procedurální programování (v C)
- Standardní vstup a výstup programu
- Formátovaný vstup a výstup

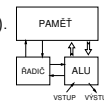
- **Příště: Základy programování v C**

Část VI

Appendix

Počítač „počítá“, pracuje s daty (číslly)

- Výpočet realizuje *aritmeticko-logická jednotka* (ALU).
- Číselné hodnoty jsou uloženy v paměti počítače – registry (ALU), paměť (RAM).
- Předpis jak a co počítat je zapsán programem – posloupností instrukcí.
- Instrukce jsou také číselné hodnoty (opcode), uložené v paměti (programu).



- Základní jednotkou uložení informace v paměti počítače je bit (binární 0 nebo 1).
- ALU pracuje s vyhrazenou pamětí, např. součet dvou hodnot $10 + 4$ může být realizován registry nebo akumulátorem.

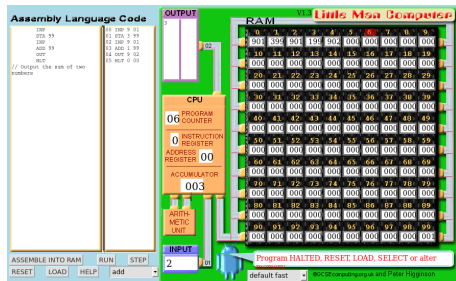
registry	akumulátorem
mov \$10, %r1	lda \$10
mov \$04, %r2	add \$04
add r1, r2, r3	sto r3

Každá instrukce má svůj příslušný zápis jako číselná hodnota (opcode), program je tak posloupnost číselných hodnot.

Princip výpočtu

- Pochopení principu výpočtu na simulátoru procesoru, např. Little Man Computer.

<https://peterhigginson.co.uk/LMC/>, <http://www.vivaxsolutions.com/web/lmc.aspx>



Základní instrukce:
LDA – Load to the acc.;
STA – Store the acc. to address;
ADD – Add to the acc.;
INP – Input to the acc.;
OUT – Output of the acc.;
BRP – Set PC on zero or positive acc.;
HLT – Stop executing program.