

# Dodatak A. Programski jezik MikroJava

Ovaj dodatak opisuje programski jezik MikroJava koji se koristi u praktičnom delu kursa programskih prevodilaca (IR4PP1, SI4PP1) na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Mikrojava je slična Javi, ali je mnogo jednostavnija.

## A.1 Opšte osobine jezika

- MikroJava program počinje ključnom rečju *program* i ima statička polja, statičke metode i unutrašnje klase koje se mogu koristiti kao (korisnički) tipovi podataka.
- Glavna metoda MikroJava programa se uvek zove *main()*. Kada se poziva MikroJava program izvršava se ta metoda.
- Postoje
  - Celobrojne, znakovne i logičke konstante (*int, char, bool*).
  - Osnovni tipovi: *int, bool, char* (Ascii).
  - Promenljive: globalne (statičke), lokalne, klasne (polja);
  - Promenljive osnovnih tipova sadrže vrednosti.
  - Strukturirani/referencijalni tipovi: jednodimenzionalni nizovi kao u Javi i unutrašnje klase sa poljima i metodama.
  - Promenljive referencijalnih tipova predstavljaju reference (sadrže adrese koje se ne mogu menjati eksplicitno);
  - Statičke metode u programu i unutrašnjim klasama.
- Ne postoji garbage kolektor (alocirani objekti se samo dealociraju nakon kraja programa).
- Postoji nasleđivanje klasa i polimorfizam.
- Postoji redefinisane metoda.
- Metode unutrašnjih klasa su vezane za instancu i imaju implicitni parametar *this* (referenca na instancu klase za koju je pozvana metoda).
- Referenca "this" se implicitno deklarise u metodama unutrašnjih klasa kao prvi formalni argument tipa reference na klasu kojoj metoda pripada.
- Predeklarisane procedure su *ord, chr, len*.
- Metoda *print* ispisuje vrednosti svih osnovnih tipova.
- Od kontrolnih struktura postoji uslovno grananje (if-else), kao i ciklus (for).

## Primer programa

program P

```
const int size = 10;
class Table {
    int pos[], neg[];
    {
        void putp (int a, int idx) { this.pos[idx]=a; }
        void putn (int a, int idx) { this.neg[idx]=a; }
        int getp (int idx) { return pos[idx]; }
        int getn (int idx) { return neg[idx]; }
    }
}
Table val;
{
void f(char ch, int a, int ... vargs)
int x;
{
    x = vargs[1];
}
void
main()
int x, i;
char c;
{ //----- Initialize val
val = new Table;
val.pos = new int [size];
val.neg = new int [size];
for (i = 0; i<size; i++)
{
    val.putp(0,i);
    val.putn(0,i);
}
f(c, x,i,size);

//----- Read values
read(x);
for (;x > 0;)
{
    if (0 <= x && x < size)
    {
        val.putp(val.getp(x)+1);
    } else
    if (-size < x && x < 0)
    {
        val.putn(val.getn(-x)+1);
    }
}
read(x);

}}
}
```

## A.2 Sintaksa

Program	= "program" ident {ConstDecl   VarDecl   ClassDecl} "{" {MethodDecl} "}".
ConstDecl	= "const" Type ident "=" (numConst   charConst   boolConst) {, ident "=" (numConst   charConst   boolConst)} ";".
VarDecl	= Type ident "[" "]" {, ident "[" "]" } ";".
<u>ClassVarDecl</u>	= <u>[static] Type ident "[" "]" {, ident "[" "]" } ";".</u>
ClassDecl	= "class" ident ["extends" Type] "{" <u>ClassVarDecl</u> [{"MethodDecl} "]" }". = ["static"] (Type   "void") ident "(" [FormPars] <u>VarArgs</u> ")" {VarDecl} {"Statement} "}".
MethodDecl	
<u>VarArgs</u>	= <u>Type "." "." "." ident.</u>
FormPars	= Type ident "[" "]" {, Type ident "[" "]" }.
Type	= ident.
Statement	= DesignatorStatement ";"   "if" "(" Condition ")" Statement ["else" Statement]   "for" "(" [DesignatorStatement] ";" [Condition] ";" [DesignatorStatement] ")" Statement   "break" ";"   "continue" ";"   "return" [Expr] ";"   "read" "(" Designator ")" ";"   "print" "(" Expr [, numConst] ")" ";"   "{" {Statement} "}".
DesignatorStatement	= Designator (Assignop Expr   "(" [ActPars] ")"   "++"   "--")
ActPars	= Expr {, Expr}.
Condition	= CondTerm {" " } CondTerm}.
CondTerm	= CondFact {"&&" CondFact}.
CondFact	= Expr [Relop Expr].
Expr	= ["-"] Term {Addop Term}.
Term	= Factor {Mulop Factor}.
Factor	= Designator ["(" [ActPars] ")"]   numConst   charConst   boolConst   "new" Type ["[" Expr "]" ]   "(" Expr ")".
Designator	= ident { "." ident   "[" Expr "]" }.
Assignop	= "="   AddopRight   MulopRight.
Relop	= "=="   "!="   ">"   ">="   "<"   "<=".
Addop	= AddopLeft   AddopRight.
AddopLeft	= "+"   "-".
AddopRight	= "+="   "-=".
Mulop	= MulopLeft   MulopRight .
MulopLeft	= "*"   "/"   "%".
MulopRight	= "*="   "/="   "%=".

### Leksičke Strukture

Ključne reči:

Vrste tokena :

program, break, class, else, const, if, new, print, read, return, void, for,  
extends, continue, static  
ident = letter {letter | digit | "\_"}.  
numConst = digit {digit}.  
charConst = "" printableChar "".

Operatori:  
Komentari:

```
boolConst = ("true" | "false").  
+, -, *, /, %, ==, !=, >, >=, <, <=, &&, ||, =, +=, -=, *=, /=, %=, ++, --, ;; zarez, ,,  
( ), [ ], {, }  
// do kraja linije
```

## A.3 Semantika

Svi pojmovi u ovom dokumentu, koji imaju definiciju, su podvučeni da bi se naglasilo njihovo posebno značenje. Definicije tih pojmova su date u nastavku.

### Tip reference

Nizovi i klase su tipa reference.

### Tip konstante

- Tip celobrojne konstante (npr. 17) je int.
- Tip znakovne konstante (npr. 'x') je char.
- Tip logičke konstante (npr. true) je bool.

### Ekvivalentni tipovi podataka

Dva tipa podataka su ekvivalentna

- ako imaju isto ime, ili
- ako su oba nizovi, a tipovi njihovih elemenata su ekvivalentni.

### Kompatibilni tipova podataka

Dva tipa podataka su kompatibilna

- ako su ekvivalentni, ili
- ako je jedan od njih tip reference, a drugi je tipa *null*.

### Kompatibilnost tipova podataka pri dodeli

Tip *src* je kompatibilan pri dodeli sa tipom *dst*

- ako su *src* i *dst* ekvivalentni,
- ako je *dst* tip reference, a *src* je tipa *null*.
- Ako je *dst* referenca na osnovnu klasu, a *src* referenca na izvedenu klasu

### Ili Predeklarisana imena

int tip svih celobrojnih vrednosti

char tip svih znakovnih vrednosti

bool logički tip

null null vrednost promenljive tipa klase ili (znakovnog) niza simbolički označava referencu koja ne pokazuje ni na jedan podatak

**eol** - kraj reda karaktera (odgovara znaku '\n'); print(eol) vrši prelazak u novi red

**chr** - standardna metoda; chr(i) vrši konverziju celobrojnog izraza *i* u karakter (char)

**ord** - standardna metoda; ord(ch) vrši konverziju karaktera *ch* u celobrojnu vrednost (int)

### Opseg važenja

Opseg važenja (*scope*) predstavlja tekstualni doseg metode ili klase. Prostire se od početka definicije metode ili klase do zatvorene velike zagrade na kraju te definicije. Opseg važenja ne uključuje imena koja su deklarirana u opsezima koji su leksički ugnježdjeni unutar njega. U opsegu se "vide" imena deklarirana unutar njega i svih njemu spoljašnjih opsega. Pretpostavka je da postoji veštački globalni opseg (universe), za koji je glavni program lokalna i koji sadrži sva predeklarirana imena.

Deklaracija imena u unutrašnjem opsegu *S* sakriva deklaraciju istog imena u spoljašnjem opsegu.

### **Napomena**

- Indirektna rekurzija nije dozvoljena i svako ime mora biti deklarirano pre prvog korišćenja.
- Predeklarirana imena (npr. int ili char) mogu biti redeklarirani u unutrašnjem opsegu (ali to nije preporučljivo).

## A.4 Kontekstni uslovi

### Opšti kontekstni uslovi

- Svako ime u programu mora biti deklarirano pre prvog korišćenja.
- Ime ne sme biti deklarirano više puta unutar istog opsega.
- U programu mora postojati metoda sa imenom *main*. Ona mora biti deklarirana kao void metoda bez argumenata.

### Kontekstni uslovi za standardne metode

*chr(e)* *e* mora biti izraz tipa *int*.

*ord(c)* *c* mora biti tipa *char*.

*len(a)* *a* mora biti niz ili znakovni niz.

### Kontekstni uslovi za MikroJava smene

---

**Program** = "program" ident {ConstDecl | VarDecl | ClassDecl} "{" {MethodDecl} "}".

---

**ConstDecl** = "const" Type ident "=" (numConst | charConst | boolConst) ";".

- Tip terminala *numConst*, *charConst* ili *boolConst* mora biti ekvivalentan tipu *Type*.
- 

**VarDecl** = Type ident "[" "]" {"," ident "[" "]" } ";".

---

**ClassVarDecl** = [static] Type ident "[" "]" {"," ident "[" "]" } ";".

- Statičkim poljima se može pristupiti iz statičkih i nestatičkih metoda. Ukoliko im se pristupa unutar metoda klase u okviru kojih su definisani može im se pristupiti ili navođenjem imena ili u obliku *Klasa.polje*. Ukoliko se statičkom polju pristupa van klase u kojoj je definisano pristupa se isključivo u obliku *Klasa.polje*.
- 

**ClassDecl** = "class" ident ["extends" Type] "{" {ClassVarDecl} [{" {MethodDecl} "}]" "}".

- Tip *Type* mora biti unutrašnja klasa glavnog programa.
- 

**MethodDecl** = [static](Type | "void") ident "(" [FormPars] ["," VarArgs] ")" {VarDecl} "{" {Statement} "}".

- Ako metoda nije tipa *void*, mora imati iskaz *return* unutar svog tela (uslov treba da se proverava u vreme izvršavanja programa).
  - Ključna reč *static* se koristi samo za statičke metode unutrašnjih klasa (ne i za globalne).
  - U statičkim metodama mogu se koristiti globalne i statičke promenljive i pozivati globalne funkcije, kao i druge statičke metode vidjive u tekucem opsegu.
  - Staticke metode ne mogu se redefinisati u izvedenim klasama
  - Statičke metode/globalne funkcije nemaju implicitan parametar *this*.
  - VarArgs predstavlja promenljiv broj argumenata ( <http://javapapers.com/core-java/java-variable-arguments/> ). Ukoliko postoji kao argument funkcije, uvek se nalazi na kraju.
  - Na osnovu poziva funkcije i prosleđenih realnih argumenata može se dobiti broj argumenata kojima se pristupa preko identifikatora kojim je označen promenljiv broj argumenata. Svakom argumentu se pristupa indeksiranjem, a indeks mora biti u dozvoljenom opsegu kao što je prikazano u priloženom primeru programa.
- 

**FormPars** = Type ident "[" "]" {"," Type ident "[" "]" }.

---

**VarArgs** = Type "." "." "." ident.

---

**Type = ident.**

- *ident* mora označavati tip podataka.
- 

**Statement = DesignatorStatement ";"**.

---

**DesignatorStatement = Designator Assignop Expr ";"**.

- *Designator* mora označavati promenljivu, element niza ili polje unutar objekta.
- Tip neterminala *Expr* mora biti kompatibilan pri dodeli sa tipom neterminala *Designator*.

**DesignatorStatement = Designator ("++" | "--") ";"**.

- *Designator* mora označavati promenljivu, element niza ili polje objekta unutrašnje klase.
- *Designator* mora biti tipa int.

**DesignatorStatement = Designator "(" [ActPars] ")" ";"**.

- *Designator* mora označavati statičku ili nestatičku metodu unutrašnje klase ili globalnu funkciju glavnog programa.
- Statička metoda se može pozivati za objekat neke klase ili za klasu kojoj pripada.

**Statement = "break"**.

- Iskaz break se može koristiti samo unutar *for* petlje. Prekida izvršavanje neposredno okružujuće petlje.

**Statement = "continue"**.

- Iskaz continue se može koristiti samo unutar *for* petlje. Prekida tekuću iteraciju neposredno okružujuće petlje.

**Statement = "read" "(" Designator ")" ";"**.

- *Designator* mora označavati promenljivu, element niza ili polje unutar objekta.
- *Designator* mora biti tipa int, char ili bool.

**Statement = "print" "(" Expr ["," number] ")" ";"**.

- *Expr* mora biti tipa int, char ili bool.

**Statement = "return" [Expr] .**

- Tip neterminala *Expr* mora biti ekvivalentan povratnom tipu tekuće metode/ globalne funkcije.
- Ako neterminal *Expr* nedostaje, tekuća metoda mora biti deklarirana kao void.
- Ne sme postojati izvan tela (statičkih) metoda, odnosno globalnih funkcija.

**Statement = "if" "(" Condition ")" Statement ["else" Statement]**

- Naredba if – Ukoliko je vrednost uslovnog izraza Condition true, izvršavaju se naredbe u if grani, u suprotnom izvršavaju se naredbe u else grani, ako je navedena.
- Tip uslovnog izraza Condition mora biti bool.

**Statement="for" "(" [DesignatorStatement]; [Condition] ";" [DesignatorStatement] ")" Statement**

- Uslovni izraz Condition mora biti tipa bool.
  - Ako je navedena, prvo se izvršava naredba opisana prvim neterminalom DesignatorStatement, i to samo jednom (nije deo cikličnog izvršavanja).
  - Na početku svake iteracije proverava vrednost uslovnog izraza. Ukoliko ne postoji, podrazumeva se true. Vrednost true omogućava izvršavanje tela petlje (Statement).
  - Po završetku tela petlje (osim ako nije break), uvek se izvršava naredba opisana drugim neterminalom DesignatorStatement, a zatim ponovo proverava vrednost uslovnog izraza.
- 

**ActPars = Expr {"," Expr}.**

- Broj formalnih i stvarnih argumenata metode mora biti isti.
  - Tip svakog stvarnog argumenta mora biti kompatibilan pri dodeli sa tipom svakog formalnog argumenta na odgovarajućoj poziciji.
- 

**Condition = CondTerm {"||" CondTerm}.**

---

**CondTerm = CondFact {"&&" CondFact}.**

---

**CondFact = Expr Relop Expr.**

- Tipovi oba izraza moraju biti kompatibilni.
  - Uz promenljive tipa klase ili niza, od relacionih operatora, mogu se koristiti samo != i ==.
- 

**Expr = Term.**

**Expr = "-"Term.**

- *Term* mora biti tipa int.

**Expr = Expr Addop Term.**

- *Expr* i *Term* moraju biti tipa int. U svakom slučaju, tipovi za *Expr* i *Term* moraju biti komatibilni.
  - Ako je *Addop* kombinovani aritmetički operator (+, -), *Expr* mora označavati promenljivu, element niza ili polje unutar objekta.
- 

**Term = Factor.**

**Term = Term Mulop Factor.**

- *Term* i *Factor* moraju biti tipa int.
  - Ako je *Mulop* kombinovani aritmetički operator (\*, /, %), *Term* mora označavati promenljivu, element niza ili polje unutar objekta.
- 

**Factor = Designator | numConst | charConst | boolConst | "(" Expr ")".**

**Factor = Designator "(" [ActPars] ")".**

- *Designator* mora označavati statičku ili nestatičku metodu unutrašnje klase ili globalnu funkciju glavnog programa.
- Statička metoda se može pozivati za objekat neke klase ili za klasu kojoj pripada.

**Factor = "new" Type "[" Expr "]".**

- Tip neterminala *Expr* mora biti int.

**Factor = "new" Type.**

- Neterminal *Type* mora da označava unutrašnju klasu (korisnički definisani tip).
- 

**Designator = Designator "." ident .**

- Tip neterminala *Designator* mora biti unutrašnja klasa.
- *ident* mora biti ili polje ili metoda objekta označenog neterminalom *Designator*.

**Designator = Designator "[" Expr "]".**

- Tip neterminala *Designator* mora biti niz.
  - Tip neterminala *Expr* mora biti int.
-



**Assignop** = "=" | **AddopRight** | **MulopRight**.  
Operator dodele vrednosti je desno asocijativan.

---

**Addop** = **AddopLeft** | **AddopRight**.

---

**Mulop** = **MulopLeft** | **MulopRight**.

---

**Relop** = "==" | "!=" | ">" | ">=" | "<" | "<=".

---

**AddopLeft** = "+" | "-".  
Operatori su levo asocijativni.

---

**AddopRight** = "+=" | "-=".  
Operatori su desno asocijativni.

---

**MulopLeft** = "\*" | "/" | "%".  
Operatori su levo asocijativni.

---

**MulopRight** = "\*=" | "/=" | "%=".  
Operatori su desno asocijativni.

## A.5 Implementaciona ograničenja

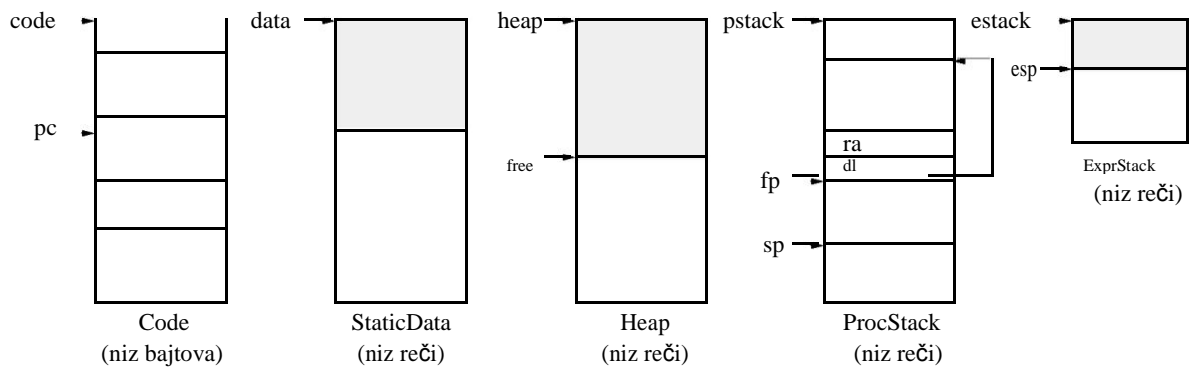
- Ne sme se koristiti više od 256 lokalnih promenljivih.
- Ne sme se koristiti više od 65536 globalnih promenljivih.
- Klasa ne sme imati više od 65536 polja.
- Izvorni kod programa ne sme biti veći od 8 KB.

## Dodatak B. MikroJava VM

Ovaj dodatak opisuje arhitekturu MikroJava virtuelne mašine koja se koristi u praktičnom delu kursa programskih prevodilaca (IR4PP1) na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. MikroJava VM je slična Java VM, ali ima znatno manje instrukcija. Neke instrukcije su takođe pojednostavljene. Dok kod Java VM punilac razrešava imena operanada iz skladišta konstanti (constant pool), dotle MikroJava VM koristi fiksne adrese operanada. U instrukcijama Java bajt koda kodirani su i tipovi njihovih operanada, tako da se može proveriti konzistentnost predmetnog fajla (object file). Instrukcije MikroJava bajt koda ne kodiraju tipove operanada.

### B.1 Organizacija memorije

MikroJava VM koristi sledeće memorijske oblasti:



Code	Ova oblast sadrži kod metoda. U registru <i>pc</i> se nalazi indeks instrukcije koja se trenutno izvršava. Registar <i>mainpc</i> sadrži početnu adresu metode <i>main()</i> .
StaticData	U ovoj oblasti se nalaze (statički ili globalni) podaci glavnog programa (npr. klase koju kompajliramo). To je u stvari niz promenljivih. Svaka promenljiva zauzima jednu reč (32 bita). Adrese promenljivih su indeksi pomenutog niza.
Heap	Ova oblast sadrži dinamički alocirane objekte i nizove. Blokovi u heap-u se alociraju sekvencijalno. <i>free</i> pokazuje na početak slobodnog dela heap-a. Dinamički alocirana memorija se oslobađa samo na kraju izvršenja programa. Ne postoji sakupljanje đubreta. Svako polje unutar objekta zauzima jednu reč (32 bita). Nizovi čiji su elementi tipa <i>char</i> su nizovi bajtova. Njihova dužina je umnožak broja 4. Pokazivači su bajt ofseti u heap-u. Objekti tipa niza počinju "nevidljivom" rečju koja sadrži dužinu niza.
ProcStack	U ovoj oblasti VM pravi aktivacione zapise pozvanih metoda. Svaki zapis predstavlja niz lokalnih promenljivih, pri čemu svaka zauzima jednu reč (32 bita). Adrese promenljivih su indeksi niza. <i>ra</i> je povratna adresa metode, <i>dl</i> je dinamička veza (pokazivač na aktivacioni zapis pozivaoca metode). Novoalocirani zapis se inicijalizuje nulama.
ExprStack	Ova oblast se koristi za skladištenje operanada instrukcija. <i>ExprStack</i> je prazan posle svake MikroJava instrukcije. Argumenti metoda se prosleđuju na stek izraza i kasnije uklanjaju <i>Enter</i> instrukcijom pozvane metode. Ovaj stek izraza se takođe koristi za prosleđivanje povratne vrednosti metode pozivaocu metode.

Svi podaci (globalne promenljive, lokalne promenljive, promenljive na heap-u) se inicijalizuju null vrednošću (0 za *int*, chr(0) za *char*, null za reference).

## B.2 Skup instrukcija

U sledećim tabelama su navedene instrukcije MikroJava VM, zajedno sa njihovim kodovima i ponašanjem. Treća kolona tabela prikazuje sadržaj *ExprStack*-a pre i posle svake instrukcije, na primer

..., val, val  
..., val

znači da opisana instrukcija uklanja dve reči sa *ExprStack*-a i stavlja novu reč na njega. Operandi instrukcija imaju sledeće značenje:

b je bajt  
s je short int (16 bitova)  
w je reč (32 bita).

Promenljive tipa *char* zauzimaju najniži bajt reči, a za manipulaciju tim promenljivim se koriste instrukcije za rad sa rečima (npr. *load*, *store*). Niz čiji su elementi tipa *char* predstavlja niz bajtova i sa njima se manipuliše posebnim instrukcijama.

### Instrukcije za load i store lokalnih promenljivih

<i>opcode</i>	<i>instr.</i>	<i>opds</i>	<i>ExprStack</i>	<i>značenje</i>
1	<b>load</b>	b	... ..., val	<u>Load</u> push(local[b]);
2..5	<b>load_n</b>		... ..., val	<u>Load</u> (n = 0..3) push(local[n]);
6	<b>store</b>	b	..., val ...	<u>Store</u> local[b] = pop();
7..10	<b>store_n</b>		..., val ...	<u>Store</u> (n = 0..3) local[n] = pop();

### Instrukcije za load i store globalnih promenljivih

11	<b>getstatic</b>	s	... ..., val	<u>Load statičke promenljive</u> push(data[s]);
12	<b>putstatic</b>	s	..., val ...	<u>Store statičke promenljive</u> data[s] = pop();

### Instrukcije za load i store polja objekata

13	<b>getfield</b>	s	..., adr ..., val	<u>Load polja objekta</u> adr = pop()/4; push(heap[adr+s]);
14	<b>putfield</b>	s	..., adr, val ...	<u>Store polja objekta</u> val = pop(); adr = pop()/4; heap[adr+s] = val;

## Instrukcije za load konstanti

15..20	<b>const_n</b>	...	...	<u>Load konstante (n = 0..5)</u> push(n)
21	<b>const_m1</b>	...	..., val	<u>Load konstante -1</u> push(-1)
22	<b>const</b>	w	...	<u>Load konstante</u> push(w)
			..., val	

## Aritmetičke operacije

23	<b>add</b>		..., val1, val2 ..., val1+val2	<u>Sabiranje</u> push(pop() + pop());
24	<b>sub</b>		..., val1, val2 ..., val1-val2	<u>Oduzimanje</u> push(-pop() + pop());
25	<b>mul</b>		..., val1, val2 ..., val1*val2	<u>Množenje</u> push(pop() * pop());
26	<b>div</b>		..., val1, val2 ..., val1/val2	<u>Deljenje</u> x = pop(); push(pop() / x);
27	<b>rem</b>		..., val1, val2 ..., val1%val2	<u>Ostatak pri celobrojnom deljenju</u> x = pop(); push(pop() % x);
28	<b>neg</b>		..., val ..., - val	<u>Promena predznaka</u> push(-pop());
29	<b>shl</b>		..., val ..., val1	<u>Aritmetičko pomeranje ulevo</u> x = pop(); push(pop() << x);
30	<b>shr</b>		..., val ..., val1	<u>Aritmetičko pomeranje udesno</u> x = pop(); push(pop() >> x);
31	<b>inc</b>	b1, b2	... ...	<u>Inkrementiranje</u> local[b1] = local[b1] + b2;

## Pravljenje objekata

32	<b>new</b>	s	... ..., adr	<u>Novi objekat</u> alocirati oblast od s bajtova; inicijalizovati oblast nulama; push(adr(oblast));
33	<b>newarray</b>	b	..., n ..., adr	<u>Novi niz</u> n = pop(); if (b==0) alocirati niz sa n elemenata veličine bajta; else if (b==1) alocirati niz sa n elemenata veličine reči; inicijalizovati niz nulama; push(adr(niz));

## Pristup nizu

34	<b>aload</b>	..., adr, index ..., val	<u>Load elementa niza</u> (+ provera indeksa) i = pop(); adr = pop()/4+1; push(heap[adr+i]);
35	<b>astore</b>	..., adr, index, val ...	<u>Store elementa niza</u> (+ provera indeksa) val = pop(); i = pop(); adr = pop()/4+1; heap[adr+i] = val;
36	<b>baload</b>	..., adr, index ..., val	<u>Load elementa niza bajtova</u> (+ provera indeksa) i = pop(); adr = pop()/4+1; x = heap[adr+i/4]; push(byte i%4 of x);
37	<b>bastore</b>	..., adr, index, val ...	<u>Store elementa niza bajtova</u> (+ provera indeksa) val = pop(); i = pop(); adr = pop()/4+1; x = heap[adr+i/4]; set byte i%4 in x; heap[adr+i/4] = x;
38	<b>arraylength</b>	..., adr ..., len	<u>Dohvatanje dužine niza</u> adr = pop(); push(heap[adr]);

## Operacije na steku

39	<b>pop</b>	..., val ...	<u>Skidanje elementa sa vrha steka</u> dummy = pop();
40	<b>dup</b>	..., val ..., val, val	<u>Udvajanje elementa na vrhu steka</u> x = pop(); push(x); push(x);
41	<b>dup2</b>	..., v1, v2 ..., v1, v2, v1, v2	<u>Udvajanje prva dva elementa na vrhu steka</u> y = pop(); x = pop(); push(x); push(y); push(x); push(y);

## Skokovi

Adresa skoka je relativna u odnosu na početak instrukcije skoka.

42	<b>jmp</b>	s	<u>Bezuslovni skok</u> pc = pc + s;
43..48	<b>j&lt;cond&gt;</b>	s ..., val1, val2 ...	<u>Uslovni skok</u> (eq, ne, lt, le, gt, ge) y = pop(); x = pop(); if (x cond y) pc = pc + s;

11

## Pozivi metoda (PUSH i POP se odnose na stek procedura)

49	<b>call</b>	s	<u>Poziv metode</u> PUSH(pc+3); pc := pc + s;
50	<b>return</b>		<u>Povratak iz metode</u> pc = POP();

51     **enter** b1, b2     Početak obrade metode  
                               psize = b1; lsize = b2; // u rečima  
                               PUSH(fp); fp = sp; sp = sp + lsize;  
                               inicijalizovati akt. zapis svim  
                               nulama;  
                               for (i=psize-1; i>=0; i--) local[i] = pop();

52     **exit**     Kraj obrade metode  
                               sp = fp; fp = POP();

#### Ulaz/Izlaz

53     **read**     ...     Operacija čitanja  
                               ..., val     readInt(x); push(x);  
                                               // cita sa standardnog ulaza

54     **print**     ..., val, width     Operacija ispisa  
                               ...     width = pop(); writeInt(pop(), width);  
                                               // vrsi ispis na standardni izlaz

55     **bread**     ...     Operacija čitanja bajta  
                               ..., val     readChar(ch); push(ch);

56     **bprint**     ..., val, width     Operacija ispisa bajta  
                               ...     width = pop(); writeChar(pop(), width);

#### Ostalo

57     **trap**     b     Generiše run time grešku  
                                               zavisno od vrednosti b se ispisuje odgovarajuća  
                                               poruka o grešci;  
                                               prekid izvršavanja;

58     **invokevirtual** w<sub>1</sub>,w<sub>2</sub>,...,w<sub>n</sub>,w<sub>n+1</sub> ... , adr     Poziv virtuelne metode  
                                               ...     ime metode ima n znakova;  
                                               ovi znakovi su deo same instrukcije, i nalaze  
                                               se u rečima w<sub>1</sub>,w<sub>2</sub>,...,w<sub>n</sub>;  
                                               reč w<sub>n+1</sub> je jednaka -1 i označava kraj  
                                               instrukcije;  
                                               instrukcija prvo ukloni adr sa steka izraza;  
                                               adr je adresa u statičkoj zoni memorije gde  
                                               počinje tabela virtuelnih funkcija za klasu  
                                               objekta čija metoda je pozvana;  
                                               ako se ime metode u instrukciji pronade u  
                                               tabeli virtuelnih funkcija, instrukcija vrši  
                                               skok na početak tela date metode.

#### Kombinovani operatori

59     **dup\_x1**     ...,val2, val1     Umetanje kopije vršne vrednosti ispod druge  
                                               ...,val1, val2, val1     vrednosti sa vrha steka izraza.  
                                               vrednost sa vrha steka se kopira i ubacuje  
                                               ispod druge vrednosti sa vrha steka izraza.



### **B.3 Format predmetnog fajla**

2 bajta: "MJ"

4 bajta: veličina koda u bajtovima

4 bajta: broj reči rezervisan za globalne podatke

4 bajta: mainPC: adresa metode *main()* relativna u odnosu na početak code oblasti memorije n bajtova: code oblast (n = veličina koda specificirana u header-u)

### **B.4 Runtime greške**

1 Nedostaje return iskaz u telu funkcije.