

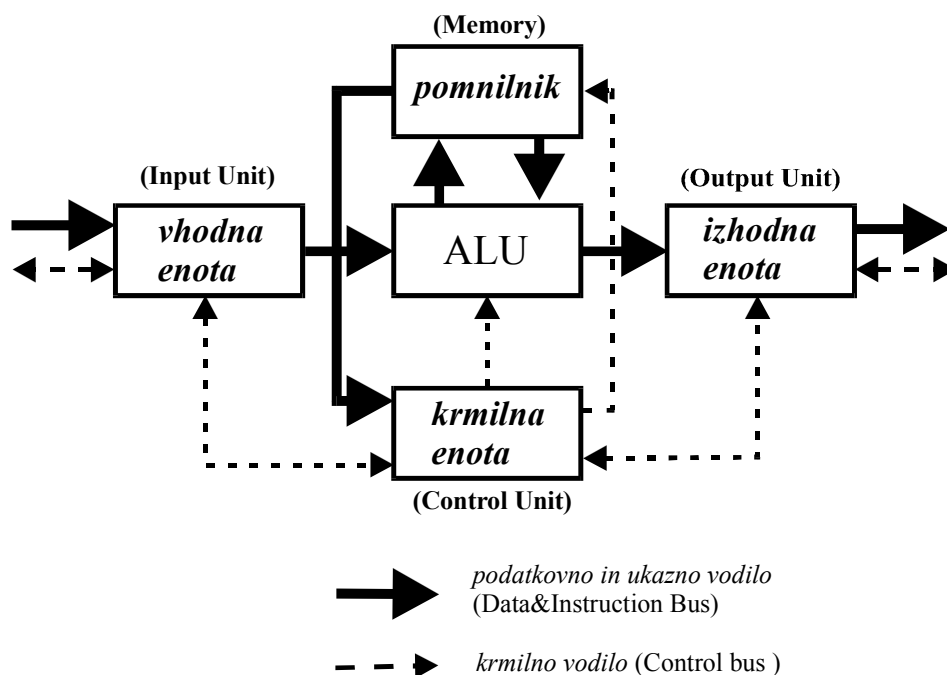
2. ZGRADBA MIKROPROCESORJA

2.1 Mikroprocesor

Računalnik si pogosto predstavljamo, kot “inteligentni” vmesnik med neobdelanimi vhodnimi podatki in krmilnimi ali informacijskimi izhodi [16]. Tej definiciji bi lahko ustrezali tudi mehanski sistemi, analogna in digitalna vezja ipd., zato mora računalnik vsebovati še:

- del, ki je sposoben izvajanja določenih aritmetičnih in logičnih operacij (ti. *aritmetično-logična enota - ALU*),
- *krmilni del*, ki je sposoben sprejemati odločitve,
- *pomnilnik*, v katerega lahko shranjujemo podatke, vmesne in končne rezultate ter skupine ukazov (inštrukcij) za izvajanje želenih operacij,
- *vhodne enote* (npr. tipkovnico, A/D pretvornik itd.) za zajemanje, problkovanje in vnos podatkov iz okolice ter
- *izhodne enote* (npr. D/A pretvornik, prikazovalnik s tekočimi kristali - LCD, tiskalnik itd.) za komunikacijo s človekom, drugim računalnikom ali krmiljenje okoliških naprav.

Na ta način je zgrajen osnovni model t.i. von Neumannovega računalnika (slika 2. 1).

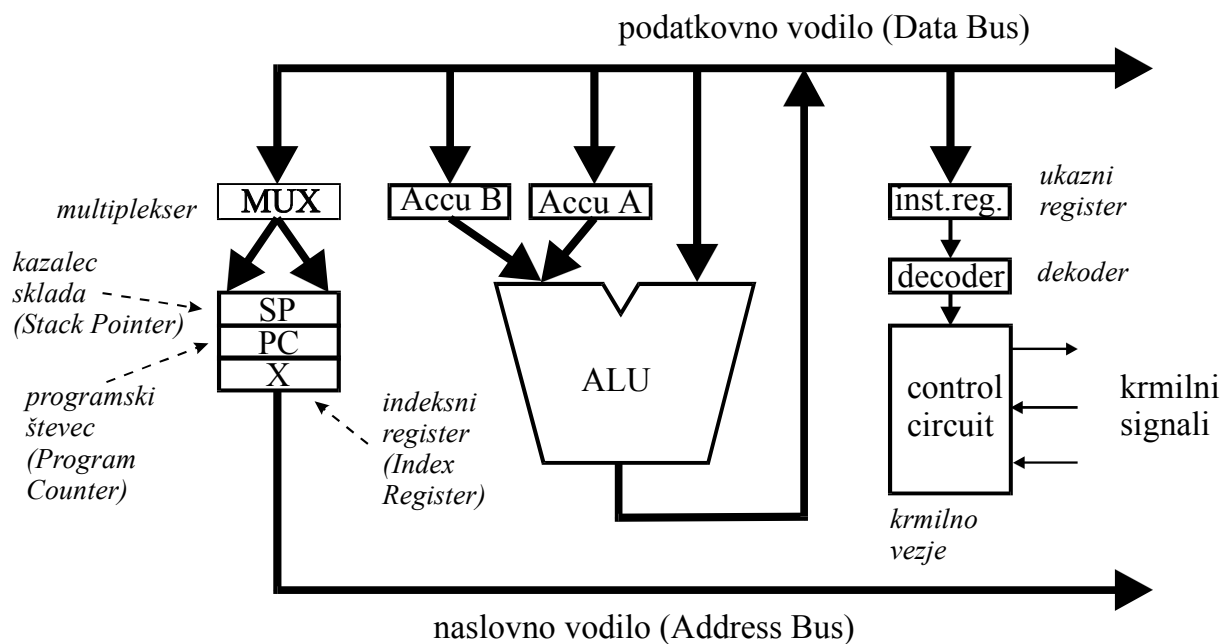


Slika 2. 2: Von Neumanov model računalnika (ALU = aritmetično-logična enota)

Z razvojem tehnologije in večanjem števila tranzistorskih elementov na enoto površine (npr. VLSI - angl. Very Large Scale Integration: več kot 100 000 tranzistorjev na čipu) se je odprla

možnost združevanja opisanih elementov na enem samem integriranem vezju - čipu (angl. chip).

Mikroprocesor (angl. microprocessor, μP) je v osnovi integrirano vezje, ki vsebuje ALU, osnovno krmilno enoto ter elementarni pomnilnik (*registre*, glej pogl. 4)¹, torej sestavne dele tistega, kar pri večjih digitalnih računalnikih ali mikrokrmilnikih imenujemo *centralna procesna enota* (CPU, angl. *Central Processor Unit*). Slika 2. 3 kaže osnovne elemente enostavnega CPU ali mikroprocesorja. Ti osnovni gradniki so v taki ali drugačni obliki prisotni tudi pri večini novejših in bolj zapletenih procesorskih enotah (konkretni zgled je opisan v poglavju 4).

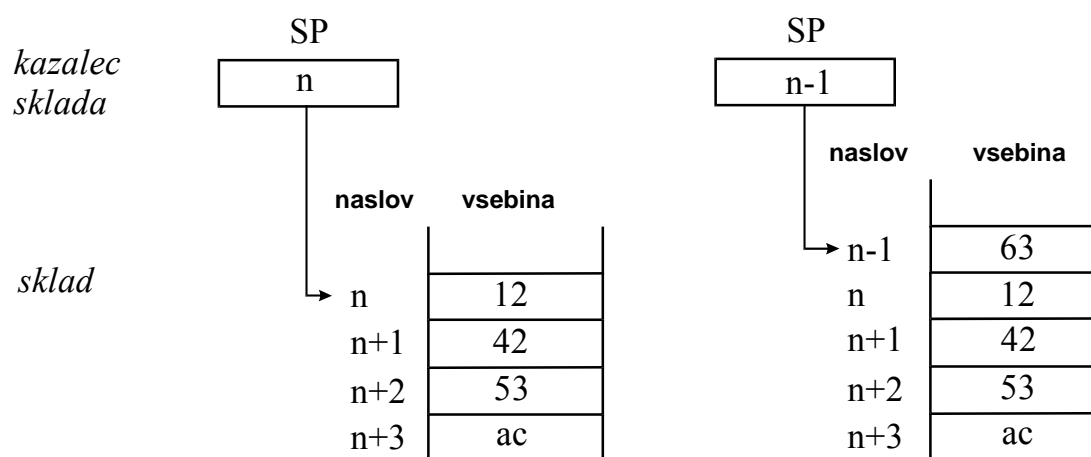


Slika 2. 4: Blokovna shema enostavnega CPU

- *ALU* je zadolžen za izvajanje aritmetičnih (npr. seštevanje) in logičnih operacij (npr. logična funkcija IN) nad binarnimi podatki. *ALU* je običajno pridružen tudi *statusni register* (angl. Status Register - SR). Njegova vsebina so biti, t.i. *zastavice* (angl. flag), ki kažejo na status rezultata aritmetične ali logične operacije (npr. rezultat manjši od ničle, bit prenosa itd.).
- Ukazi, ki se bodo izvajali v CPU, so shranjeni v nekem zunanjem pomnilniku v obliki binarnega zapisa. Binarni zapis posameznega ukaza je določen z ukazno kodo. Ukaze je pred izvajanjem najprej treba prenesti iz pomnilnika v *ukazni register*. Dekodiranje njene kode, to je ugotavljanje funkcije ukaza, opravlja *ukazni dekode*r. Posledica ukaza je generiranje ustreznih krmilnih signalov in/ali ustreznega naslova na naslovnem vodilu.
- Prenos ukazov med zunanjimi enotami (npr. pomnilnikom) in CPU ter znotraj CPU poteka po *podatkovnem vodilu* (angl. data bus). Po njem se pranašajo tudi podatki, ki jih ti ukazi uporabljajo.

¹ Registri so v bistvu pomnilniške lokacije znotraj CPU s točno določenim namenom.

- Ukazi in podatki se nahajajo v pomnilniku na enoumno določenih naslovih. Vsaki kombinaciji bitov na *naslovnem vodilu* (angl. address bus) ustreza ena lokacija v pomnilniku, na kateri se nahaja ukaz ali podatek².
- Podatke (eden ali dva podatka, npr. sumanda pri seštevanju, operand pri negiranju), ki jih uporabljajo določeni ukazi, pred izvajanjem operacije prenesemo iz pomnilnika ali drugih registrov v delovne registre ali *akumulatorje*. Procesor na sliki 2. 5 ima le dva akumulatorja, CPU32, ki bo opisan v pogl. 4, pa ima osem podobnih registrov. Ti se imenujejo *podatkovni registri* (pogl. 4).
- *Programski števec* - PC (angl. Program Counter) je register, v katerem sa nahaja naslov inštrukcije, ki se bo izvršila. Pri linearnem poteku programa se PC inkrementira v odvisnosti od dolžine ukazov. Pri pogojnih in brezpogojnih skokih se vsebina PC napolni z destinacijo skoka.
- *Indeksni register* (angl. Index Register - X) se uporablja pri posebnem načinu naslavljanja, t.i. indeksnem naslavljanju, kjer naslov izračunamo kot seštevek vsebine indeksnega registra in nekega drugega registra ali kar naslova v inštrukciji.
- Vsebina *kazalca sklada* (angl. Stack Pointer - SP) je kazalec (angl. pointer) na zadnjo veljavno lokacijo v *skladu* (angl. stack)³. Sklad je pomnilniško področje za začasno shranjevanje določenih podatkov. Za sklad je značilno, da deluje po LIFO (angl. Last-In-First-Out) principu (slika 2. 6). Najnovejši podatek, ki ga shranimo v sklad, zasede nižji naslov od prejšnjega, torej je smiselno sklad postaviti na konec RAM pomnilnika, ker na ta način ne bo posegal v področje, ki je že zasedeno z ukazi ali s podatki. V sklad se podatki vpisujejo samodejno (npr. status CPU in vsebina PC pri skoku na prekinitveni podprogram) ali s posebnimi ukazi (npr. ukaza PUSH - prenos stanja iz akumulatorja v sklad in PULL - prenos iz sklada nazaj v akumulator). Po vnosu podatka se vsebina kazalca sklada zmanjša, po branju zadnjega podatka pa se poveča⁴. Zaradi takšne organizacije, kjer potekata vpisovanje in branje po točno določenem vrstnem redu, moramo biti pri manipuliranju s skladom zelo previdni. Na sliki je prikazan sklad, ki je organiziran na bytni osnovi.



Slika 2. 7: Sklad in kazalec sklada: stanje pred (levo) in po vnosu novega podatka (desno)

² Pri nekaterih procesorjih so podatki in ukazi shranjeni na ločenih pomnilniških področjih.

³ PC, X in SP imenujemo včasih tudi naslovni registri. Le-te moramo razlikovati od posebne skupine naslovnih registrov pri nekaterih procesorjih (npr. A0-A7 pri CPU32), ki lahko, med ostalim, nadomestijo indeksni register (PC in SP sta ločena registra).

⁴ Od tod tudi naziv LIFO: zadnji vhodni podatek v sklad mora biti hkrati tudi prvi, ki ga bo zapustil.

2.2 Mikroračunalnik

Mikroprocesor za svoje delovanje potrebuje nekatere dodatne sklope, ki skupaj z njim sestavljajo *mikroračunalnik* (angl. microcomputer, kratica - μC).

2.2.1 Ura

Operacije v mikroprocesorju se izvajajo sekvenčno (običajna koraka sta prevzem ukaza in njegovo izvajanje: angl. *fetch* in *execute* [8]). Zaradi tega jih moramo sinhronizirati na neko referenčno frekvenco dajalnika takta - *ure* (angl. clock) Zmožnost sledenja večji frekvenci pomeni hitrejšo izvajanje programa⁵, zato je pri izbiri mikroprocesorja osnovna frekvenca eden glavnih parametrov.

Nekateri procesorji zahtevajo za generiranje takta posebno vezje, pri drugih pa je treba le priključiti kvarčni oscilator s predpisano frekvenco.

2.2.2 Pomnilnik

Naloga *pomnilnikov* (angl. memory) je shranjevanje podatkov, ukazov ter vmesnih in končnih rezultatov. Pomnilnike delimo na:

- pomnilnike s sekvenčnim dostopom in
- pomnilnike z neposrednim dostopom (RAM in ROM).

V prvo skupino spadajo t.i. sekundarni pomnilniki in se zaradi počasnejšega dostopa uporabljajo v glavnem za trajnejše shranjevanje (npr. magnetni diski, diskete ali trakovi). Prednost nekaterih sekundarnih pomnilnikov je v tem, da niso fiksno vezani na določen računalnik, kar omogoča enostaven prenos.

Delo s pomnilniki z neposrednim dostopom je bistveno hitrejše. Vsebinsko bralno-pisalnega pomnilnika (*RAM* - angl. Random Access Memory) lahko neomejeno pogosto vpisujemo ali beremo. Osnovna pomanjkljivost RAM je posledica njegove izvedbe: za ohranjanje spomina je potrebno neprekinjeno napajanje, v nasprotnem primeru se njegova vsebina izbriše. Pri procesnih računalnikih, kjer obstaja možnost izpada napajanja, moramo poskrbeti za podporo (angl. backup). To naredimo bodisi s posebno baterijo ali s kondenzatorjem, ki zaradi relativno majhne porabe RAM za nekaj časa nadomesti napajanje.

Značilno za pomnilnike tipa *ROM* (angl. Read Only Memory - bralni pomnilnik) je, da njihovo vsebino lahko samo beremo, spreminjati pa je ne moremo (vsaj ne med izvajanjem programa v realnem času). Razlikujemo nekaj podvrst ROM pomnilnikov:

⁵ Pri sodobnih procesorjih, ki jih srečujemo v osebnih računalnikih (npr. Pentium), je frekvenca običajno nekaj sto MHz (npr. 450 MHz), pri procesnih mikroračunalnikih pa nekaj deset MHz (npr. 16,77, 20 ali 25 pri MC68332).

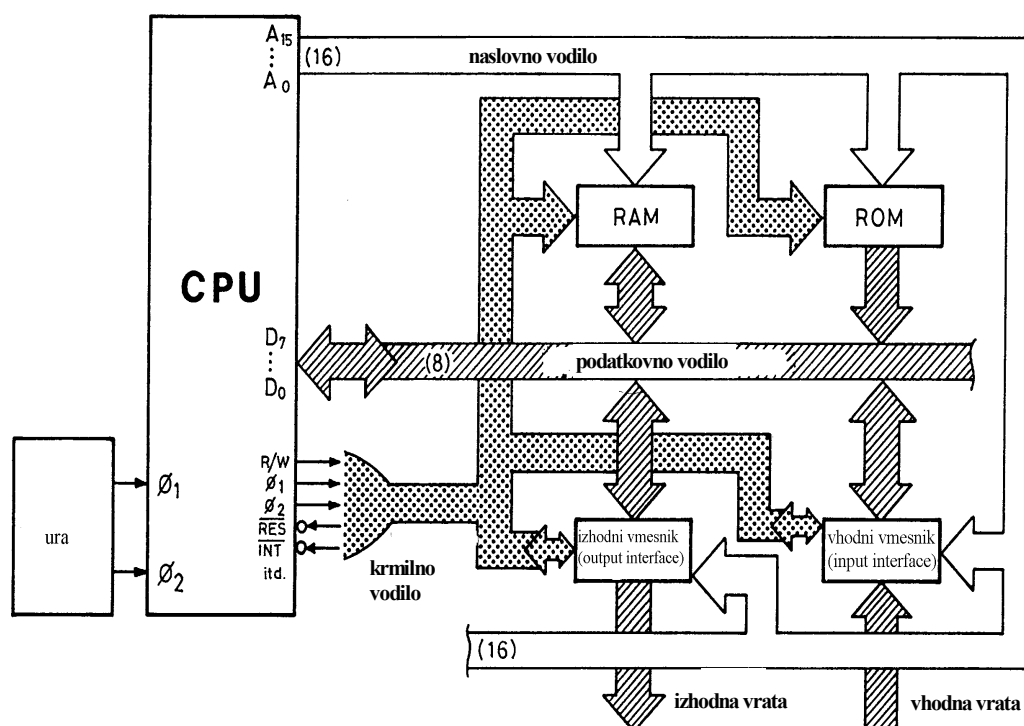
- Navadni ROM je običajno vpisan (“zapečen”) že v fazi izdelave in njegove vsebine ne moremo spremeniti.
- V PROM (angl. Programmable ROM) lahko uporabnik vpisuje samo enkrat, za kar rabi posebno programirno napravo. Vsebine pozneje ni več možno spreminjati.
- EPROM (angl. Erasable PROM) je PROM, ki ga programiramo s programirno napravo, lahko ga pa tudi izbrišemo tako, da ga v posebni napravi osvetlimo z ultravijoličnimi žarki. Zato imajo EPROM čipi posebno stekleno okence, ki omogoča dostop UV žarkov do vezja. Postopek je možno ponoviti nekaj stokrat.
- EEPROM, E²ROM ali EAROM (angl. Electrically EPROM) je podoben EPROM-u. Razlika je v tem, da njegovo vsebino brišemo in vpisujemo s posebnim električnim vezjem. Zaradi relativne dolgotrajnosti postopka in potrebe po dodatnem vezju se te metode ne moremo poslužiti med izvajanjem uporabniškega programa v mikroračunalniku (on-line). Posebni t.i. Flash inačici EEPROM vezij je posvečeno posebno poglavje.

Programiranje vseh programirljivih ROM pomnilnikov je možno le v posebnih programirnih napravah. Zato te pomnilnike pri izdelavi mikroračunalniškega vezja običajno postavimo na posebna podnožja, ki omogočajo prenosljivost čipa.

2.2.3 Vhodno-izhodni vmesniki

Vmesnik (angl. interface) je posrednik med mikroračunalnikom in okolico. Največkrat gre za časovno uskladitev in prilagoditev signalnih nivojev. Signali iz procesa so lahko v binarni (npr. končno stikalo) ali analogni obliki (npr. merilni člen za ugotavljanje nivoja tekočine). Enako velja tudi za izhodna povelja (npr. digitalni - vklopjanje ventila; analogni - želeni statostorski tok motorja).

Slika 2. 8 kaže primer mikroračunalnika z do sedaj opisanimi sestavnimi deli.



Slika 2. 9: Osnovna zgradba mikroračunalnika

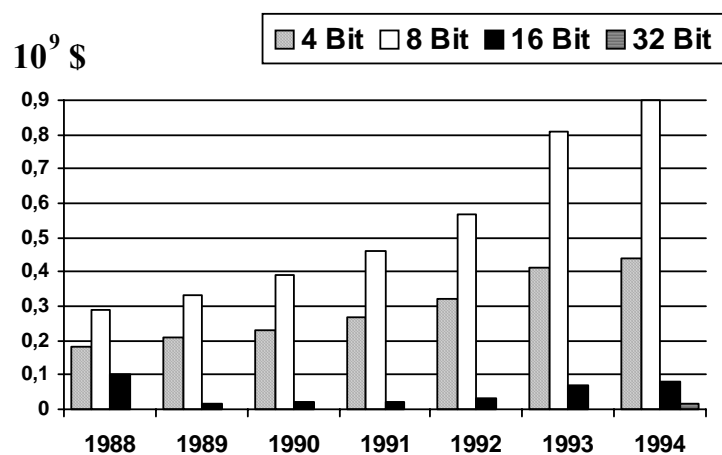
Pri aplikacijah v realnem času pogostokrat rabimo posebno izvedbe mikroračunalnikov. Njihova izdelava je zelo zamudno delo, ki zahteva veliko specialističnega znanja. Tudi cena takega, po “meri” narejenega mikroračunalnika, ni zanemarljiva. Poleg tega je zelo težko doseči majhne gabarite naprave, kar posledično vpliva tudi na hitrost in zanesljivost delovanja. Daljše povezave med integriranimi vezji so namreč bistveno bolj dovzetne za motnje⁶.

Napredki na področju minimizacije mikroelektronskih komponent so sčasoma pripeljali do integracije nekaterih opisanih sestavnih delov na enem čipu. Tako smo dobili t.i. “računalnik na čipu” ali *mikrokrmilnik* (angl. microcontroller), med katere sodi tudi Motorolin MC68332, ki ga bomo podrobno opisali v nadaljevanju tega učbenika. Večina mikrokrmilnikov vsebuje poleg CPU še pomnilnika RAM in ROM (običajno PROM ali EPROM), digitalne vhode in izhode, enoto za serijsko komunikacijo, programirljive števec in časovnike itd. Očitna prednost mikrokrmilnikov se kaže zlasti v zmanjšanju števila zunanjih elementov, običajno je pa le potrebna nadgradnja v skladu z zahtevami procesa. Dodatne komponente na mikrokrmilniku vplivajo na njegovo ceno. Zato ponujajo proizvajalci mikrokrmilnike, ki so namenjeni za posebne naloge. Tako je npr. mikrokrmilnik TMS320F240 predviden za regulacijo električnih motorjev. Zaradi specifične namembnosti ga lahko uvrstimo med vezja za specifične aplikacije (angl. ASIC - Application Specific Integrated Circuit).

2.3 Tržni delež posameznih tipov mikroprocesorjev

V tem učbeniku bomo govorili o 8-, 16- in 32-bitnih mikroprocesorjih, z osnovno frekvenco ure okrog nekaj deset MHz, torej o procesorjih, ki se v primerjavi z najbolj znanimi iz osebnih računalnikov zdijo zastareli. Dejstvo je, da so takšni procesorji najbolj zastopani na trgu (slika 2. 10). Razlogov za to je veliko. Med najpomembnejše sodi zahtevnost krmilne ali regulacijske naloge. Povečinsoma so takšni procesi relativno nezahtevni z ozirom na hitrost in obseg funkcij in jih omenjeni procesorji uspešno rešujejo (npr. krmiljenje elektronike v avtomobilih: vžig, krmiljenje motorjev za brisalnice, dvig stekel itd., krmiljenje in regulacija elektromotorskih pogonov, aplikacije v telekomunikacijah, alarmne naprave, inteligentni polnilniki akumulatorskih baterij itd.). Tovrstni procesorji so se izkazali kot zanesljivi in jih spremlja celotna aparatura in programska oprema ter veliko pomožnih gradiv (literatura, vključno s brezplačnimi in enostavno dosegljivimi primeri uporabe, ki jih ponujajo sami proizvajalci). Neposredna posledica tega je tudi masovna proizvodnja in s tem nižja cena komponent (npr. maloprodajna cena že precej starega, še vedno pa zelo zmogljivega 16-bitnega procesorja MC68000, je manj kot 5\$). Izkušnje projektanta se kažejo tudi pri izboru ustreznega procesorja: “predober” procesor je običajno precej dražji. Temu moramo dodati še določeno konzervativnost uporabnikov, ki se nerada odločajo za modne novitete; delujoče procesorje zamenjamo z zmogljivejšimi le takrat, ko se povečajo zahteve procesa.

⁶ Zelo značilen primer za to so podatki proizvajalcev o številu taktov potrebnih za komunikacijo s pomnilnikom, ki se nahaja na samem čipu, in z zunanjim pomnilnikom. Na splošno velja, da zahteva komunikacija z zunanjim pomnilnikom več časa.



Slika 2. 11: Tržni delež mikroprocesorjev z ozirom na dolžino osnovne besede