

# Povezovanje elementov

Andrej Bagon  
RSM  
2005/06

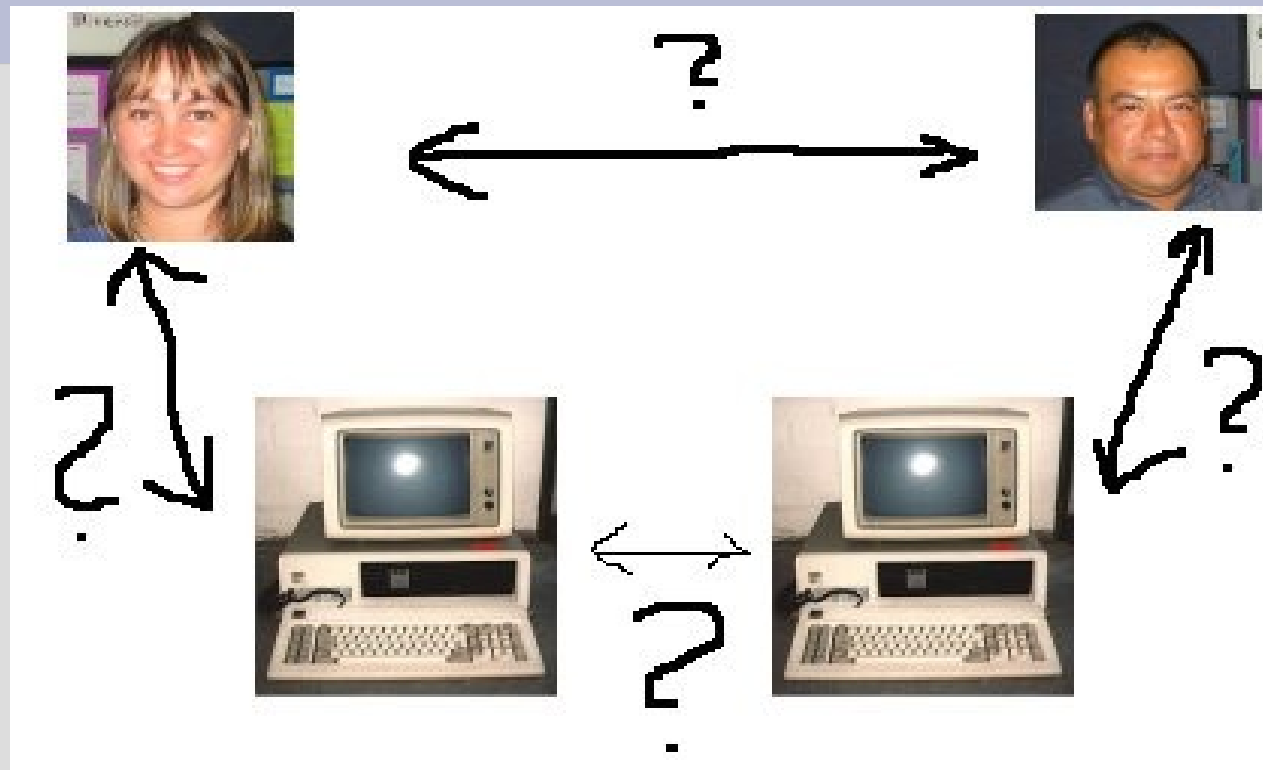
# Povezovanje elementov

- Poglavlje opisuje razmerje med arhitekturo in strukturo IKS-a in načine povezovanja njegovih elementov: uporabnikov in modulov znotraj računalnika ter med računalniki. Poudarjena je tudi plastovitost arhitekture.
- Poudarili smo že, da je osnovni cilj IKS-a zadostiti uporabnikovim zahtevam. Ta cilj je zelo težko dosegljiv, če ne sprejmemo dejstva, da je uporabnik sestavni del IKS-a. Brez posebne razprave lahko ugotovimo, da vse ostale komponente predstavljajo le njegovo tehnologijo (strojno in programsko opremo). Osnovno, kar pričakujemo od IKS-a je torej povezovanje uporabnikov in tehnologije v produktivno celoto.

# Povezovanje elementov

- Za povezovanje ljudi in tehnologije poskrbi s svojimi specializiranimi moduli informacijski del IKS-a, komunikacijski del pa ima za nalogo povezati med seboj tehnologijo. Rezultati takega povezovanja so lahko zelo različni, različni so lahko tudi nameni in cilji, ki jih s povezovanjem dosežemo. Ne glede na podrobnosti pa je potrebno vsebinsko razumeti vse te zelo različne tipe povezav. Samo v zelo ozkem smislu lahko rečemo, da je namen računalniškega omrežja medsebojno povezovanje računalnikov. Zato moramo najprej razjasniti, kaj nam pomeni pojem povezati dva računalnika.

# Povezovanje elementov



Slika strukturira vprašanja o povezovanju in nakazuje kompleksnost odgovorov, ki jih moramo poiskati, če želimo spoznati IKS v vseh njegovih dimenzijah. Na kratko lahko povzamemo glavna področja, kjer bomo iskali odgovore.

# Povezovanje elementov

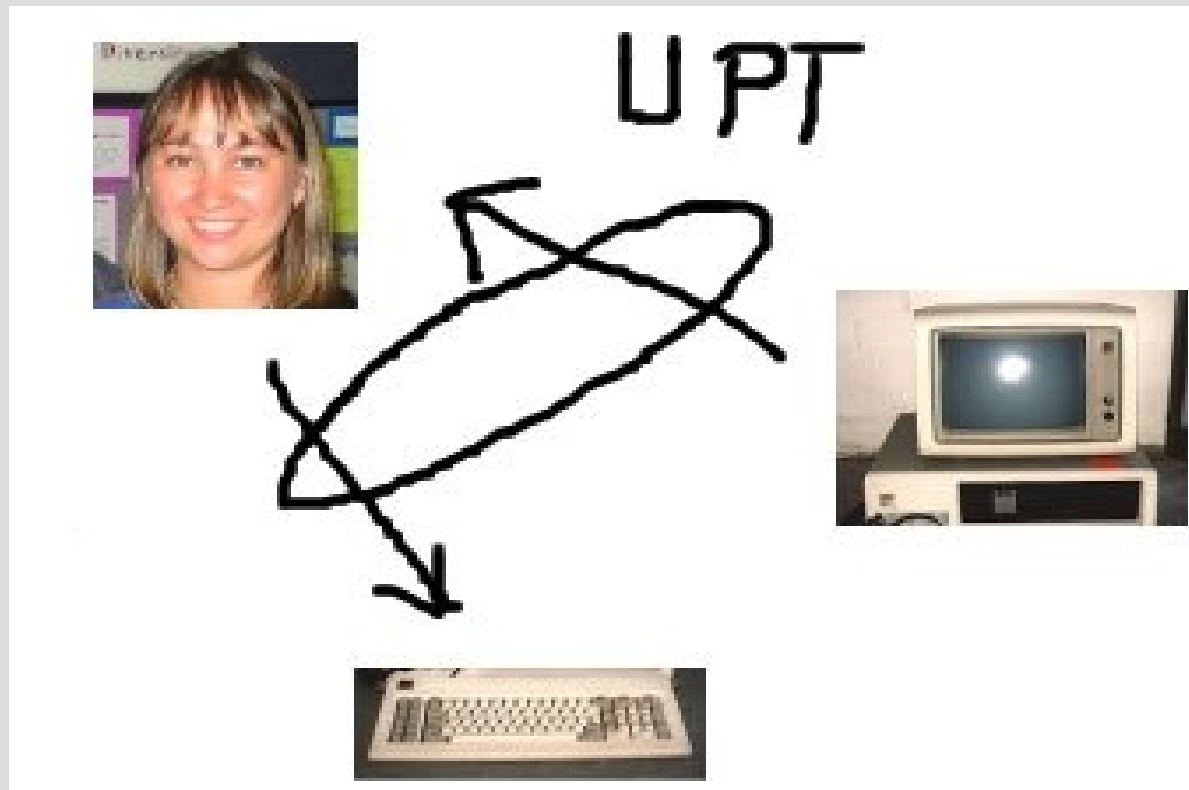
- Povezovanje **uporabnikov**: Predvsem moramo razumeti, da računalnika brez uporabnika ne poznamo, lahko pa bi se vprašali tudi o njegovi smiselnosti. Torej gre pri povezovanju računalnikov v bistvu za povezovanje uporabnikov. Kaj to pomeni?

# Povezovanje elementov

- Povezovanje **uporabnika z računalnikom**: uporabnik mora na nek način komunicirati z računalnikom. Če to ne bi bilo možno, ne bi mogli govoriti niti o uporabniku, niti o računalniku. Kaj torej pomeni, da uporabnik komunicira z računalnikom?
- Povezovanje **računalnikov**: sama povezava računalnika z računalnikom je le drobna tehnična podrobnost, ki predstavlja orodje za izpolnitev osnovnega cilja, to je povezovanja ljudi z računalniki in med seboj. Kaj je ta tehnična podrobnost in kaj pomeni, da računalnik komunicira z računalnikom? Na to vprašanje bomo odgovarjali večji del te snovi.

# Povezovanje uporabnikov in računalnikov

- Kaj pomeni pojem računalniškega uporabnika? Definicija je namreč lahko zelo dolga in zamotana, vse preradi pa pozabljamo, da je uporabnik samo človek.
- **UPT**– Uporabniška pristopna točka



# Povezovanje uporabnikov in računalnikov

- Tema kaj je računalniški uporabnik je sicer zanimiva, ampak v okviru naših ciljev ne moremo razpravljati o raznih definicijah uporabnika. O njem (uporabniku) bomo zato predpostavili naslednje:
  - **Uporabnik je človek, ki komunicira oziroma je povezan z računalniškim in informacijskim sistemom preko različnih vhodno izhodnih enot.**
- Najobičajnejše vhodno izhodne enote so tipkovnica, miška, monitor, digitalna miza, v zadnjem času pa tudi optični čitalci in naprave za govorno komuniciranje s sistemom.



# Povezovanje uporabnikov in računalnikov

- Te naprave omogočajo uporabniku, da izkorišča posamezne vire (resurse) komunikacijsko informacijske tehnologije. Stično točko oziroma vmesnik med uporabnikom in informacijsko komunikacijsko tehnologijo imenujemo **uporabniški vmesnik** oziroma **uporabniška pristopna točka (UPT)**.
- UPT predstavlja:
  - **informacije na zaslonu**, ki jih uporabnik poskuša razumeti
  - njegovo **interaktivno poseganje** v delovanje tehnološkega sistema v skladu s tem razumevanjem (torej posredovanje krmilne informacije na kakršenkoli način).

# Povezovanje uporabnikov in računalnikov

- UPT omogoča uporabniku pogledati v IKS ali skozi njega in s tem predstavlja temelj njegove uporabnosti. Uporabnik lahko komunicira s tehnološkimi elementi IKS-a na različne načine, najpogostejše pa je taka interakcija izvedena v okviru različnih informacijskih aplikacij.
- Uporabnik vedno komunicira neposredno s tehnologijo, vsebinsko pa lahko UPT (kot posrednik) predstavlja tudi povezovanje med uporabniki. Tipičen primer take komunikacije je elektronska pošta.

# Računalniški sistem in povezovanje

- Preden lahko govorimo o povezovanju računalniških sistemov, moramo pojasniti, kaj za nas pomeni računalniški sistem in kaj od njega pričakujejo uporabniki.
- Vsak računalnik je sistem, sestavljen iz velikega števila različnih komponent aparaturnega (strojnega) ali programskega značaja. Na najosnovnejšem nivoju je struktura računalniškega sistema sestavljena iz tako imenovanih sistemskih elementov in uporabniških elementov.

# Računalniški sistem in povezovanje

- **sistemski elementi** računalniškega sistema so tisti, do katerih uporabnik nima neposrednega dostopa. Sistemski elementi so v računalniku prisotni ne glede na to, kdo je uporabnik in zakaj se računalnik uporablja. V splošnem jih lahko razdelimo na tri kategorije:
  - **aparatura oprema** oziroma strojna oprema: to so elementi, ki so osnova vsakega računalnika - procesor, interni pomnilnik, vodila, vhodno – izhodni kanali, periferne enote in podobno.
  - **programska oprema** v sistemskem smislu je nadzorni sistem računalnika in ji običajno rečemo operacijski sistem (OS). O arhitekturi tega tipa programske opreme bomo več govorili kasneje. Omenimo naj le, da so tudi komunikacijske funkcije praviloma del sistemske programske opreme.
  - **sistemski podatki** oziroma sistemska struktura podatkov opredeljuje konfiguracijo in instalacijo posameznega računalniškega sistema.

# Računalniški sistem in povezovanje

- **uporabniški elementi** računalniškega sistema so tisti, ki so v sistemu prisotni zato, ker so mu uporabniki določili poseben namen oziroma nalogo. Preprosto jih imenujemo kar aplikacije računalniškega sistema. Vsaka aplikacija ima dva tipična sestavna dela:
  - **uporabniška programska oprema** so programi, ki so jih uporabniki razvili, kupili ali pa do njih prišli na kakršen koli drugi način. Na računalniški sistem so jih namestili, ker želijo, da jim računalnik opravi določeno nalogo, izvede postopek ali pa nudi informacijsko podporo določenemu tipu poslovanja. V to kategorijo sodijo tudi priljubljene računalniške igrice.
  - **uporabniške podatkovne strukture** so tisti podatki, ki jih ima pod nadzorom uporabnik računalniškega sistema. Najbolj razširjen primer so baze podatkov, ki jih uporabniki kreirajo in uporabljajo v najrazličnejše namene.

# Računalniški sistem in povezovanje

- Ko želimo odgovoriti na vprašanje, kaj pomeni povezati dva računalnika in kakšen je smisel povezovanja računalniških sistemov, je načeloma odgovor preprost: gre za povezovanje nekaterih ali pa kar vseh elementov računalniškega sistema. S stališča uporabnika sta dva računalnika, ki sta povezana zgolj na nivoju aparaturnih elementov, med seboj povezana zelo šibko.
- *Ponovimo: Osnovni cilj povezovanja računalniških sistemov je povezovanje uporabnikov z elementi računalniških sistemov!*

# Povezovanje elementov v računalniku

- Pojasnimo nekatere tipe povezav, ki jih srečujemo v računalniških sistemih in med njimi.
- Slika prikazuje tipične povezave, ki se vzpostavijo v računalniškem sistemu ob lokalni uporabi. Uporabnik z uporabo aplikacije in pripadajoče baze podatkov izkorišča vire lokalnega računalnika. V primeru na sliki so viri naslednji:
  - aplikacija, do katere uporabnik dostopa preko UPT,
  - baza podatkov, ki jo nadzira aplikacija s pomočjo sistema za upravljanje baze podaktov,
  - nadzorni sistem, ki podpira delovanje aplikacije v okviru računalniškega sistema,
  - aparatura oprema računalnika (procesorske zmogljivosti, interni in zunaji pomnilniški medij,...)



# Povezovanje elementov v računalniku

- Vse povezave so izvedene v okviru istega računalnika, s katerim uporabnik komunicira s pomočjo računalniških perifernih enot (monitor, tipkovnica, miška). Povezave nadzorujeta lokalni operacijski sistem in lokalna aplikacija.
- Opazimo lahko hierarhično naravo povezav med viri:
  - uporabnik  $\leftrightarrow$  aplikacija
  - aplikacija  $\leftrightarrow$  operacijski sistem
  - operacijski sistem  $\leftrightarrow$  strojni elementi računalnika.
- Povezave ustrezajo delajnski medsebojni odvisnosti virov in nakazujejo način izvajanja uporabnikovih zahtev. To so vertikalne povezave, ki jih imenujemo tudi **fizične povezave**. Uporabnika zanima samo aplikacija, ostalih povezav mu ni potrebno poznati.

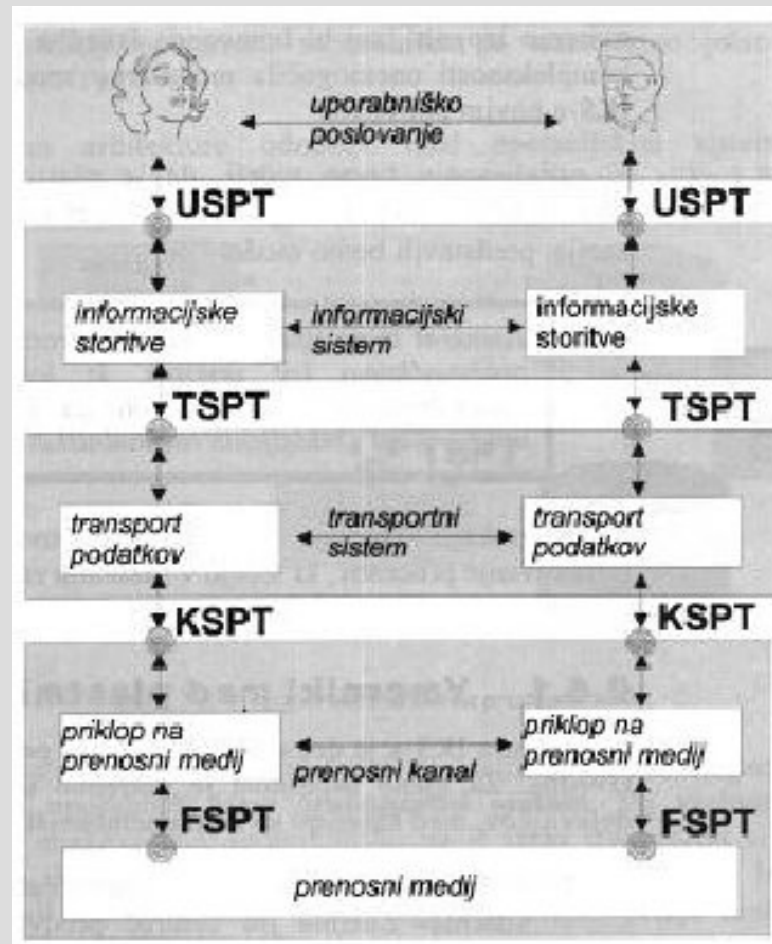


# Povezovanje elementov v računalniku

- Komunikacijskega sistema v smislu IKS-a za tk način interakcije med uporabnikom in tehnologijo ne potrebujemo. Potrebno je le zagotoviti združljivost operacijskega sistema s strojno opremo, aplikacija pa mora upoštevati omejitve in možnosti sistemskih funkcij lokalnega operacijskega sistema.

# Povezovanje elementov med računalniki

- V primerih, ki ju prikazuje slika je povezovanje bistveno bolj kompleksno.



# Povezovanje elementov med računalniki

- Uporabnika zanimata dve komponenti: lastni računalnik na njegovi mizi in oddaljeni računalnik kjer koli na svetu. Ta dva računalniška sistema se morata povezati med seboj.
- Uporabniku morajo viri njegovega računalnika omogočiti dostop do oddaljenega računalnika, kjer so dodatni viri (procesorski, podatkovni,...), ki jih uporabnik trenutno potrebuje. Drugače povedano, uporabnik potrebuje na svojem lokalnem računalniku aplikacijo, ki mu bo s pomočjo virov obeh računalnikov in komunikacijskega sistema omogočila dostop do virov oddaljenega računalnika.

# Povezovanje elementov med računalniki

- S slike je razvidno, da je poleg vertikalnih povezav potrebna še dodatna fizična povezava med strojno opremo in prenosnim medijem, karkoli že to je.
- Poleg vertikalnih povezav opazimo na sliki tudi horizontalne povezave med aplikacijama, operacijskima sistemoma in strojno opremo lokalnega in oddaljenega računalnika. Te povezave nakazujejo nujnost združljivosti pri povezovanju med lokalnimi in oddaljenimi viri istega tipa:
  - uporabnik  $\Leftrightarrow$  uporabnik
  - aplikacija  $\Leftrightarrow$  aplikacija
  - operacijski sistem  $\Leftrightarrow$  operacijski sistem
  - strojna oprema  $\Leftrightarrow$  strojna oprema

# Povezovanje elementov med računalniki

- Najvažnejša med horizontalnimi povezavami je seveda tista med uporabniki.
- Fizična razdalja med sistemi tu nima pomena, saj predstavljajo horizontalne povezave **logično** povezovanje sorodnih virov med računalniki. Pogosto uporabnik komunicira z aplikacijo ali operacijskim sistemom na računalniku, ki je oddaljen tisoče kilometrov. Premagovanje te razdalje zagotavlja komunikacijski sistem.
- Če združimo ugotovitve o hierarhičnem povezovanju znotraj računalnika in vsebinskem, torej horizontalnem povezovanju med različnimi računalniškimi sistemi, pridemo do osnovne arhitekture IKS-a.

# Povezovanje elementov med računalniki

- Hierarhične (vertikalne) povezave se vzpostavljajo neposredno, so torej dejanske, fizične povezave. Horizontalne povezave pa so posredne in omogočajo dialog med viri računalniških sistemov. So torej vsebinske, logične povezave. Oba tipa povezav sta prikazana na zgornji sliki.
- Za izvedbo neke logične povezave mora sistem vzpostaviti celo vrsto fizičnih povezav med posameznimi elementi računalniškega sistema oddajnika in sprejemnika.

# Povezovanje elementov med računalniki

- Leva stran zgornje slike predstavlja povezovanje uporabnika z oddaljenim računalnikom, desna pa povezovanje z uporabnikom na oddaljenem računalniku (na primer s storitvijo elektronske pošte). Ko želi uporabnik – oddajnik komunicirati s z uporabnikom – sprejemnikom, mora vsak vzpostaviti povezavo s svojo lokalno aplikacijo. Lokalni aplikaciji poskrbita, da se aktivirajo (povežejo) ustrezne systemske funkcije, ki s pomočjo strojne opreme prek prenosnega sistema omogočijo ustrezne tipe horizontalnih povezav.
- Te ugotovitve nam bodo služile kot osnova pri opredeljevanju IKS-a.

# Tehnološka vsebina IKS

- Po uvodnem sestajanju z arhitekturo IKS-a je potrebno opredeliti še njegove tehnološke in tehnične elemente in problematiko. V tem okviru moramo rešiti tri osnovne probleme:
  - Prvi problem na osnovnem tehnološkem nivoju je, kako zagotoviti prenos binarnih podatkov po različnih prenosnih medijih. Šele ko je ta prenos zagotovljen, lahko začnemo razmišljati o računalniških omrežjih. Poleg prenosa podatkov je potrebno realizirati tudi vmesnike med računalniškimi sistemi in prenosnim medijem.



# Tehnološka vsebina IKS

- *Vmesniki in prenosni mediji skupaj tvorijo **komunikacijski kanal**, katerega tehnološka izvedba sodi v področje digitalnih in podatkovnih komunikacij.*
- V bistvu gre za vprašanje, kako se z računalnikom priklopiti na prenosni medij; natančneje, kako podatke iz podatkovnega vodila oddajnika/računalnika spraviti do prenosnega medija in kako na strani sprejemnika/računalnika iz prenosnega medija zopet spraviti podatke do njegovega podatkovnega vodila. To je vsebina hierarhično najnižjih funkcij IKS-a.

# Tehnološka vsebina IKS

- Drugi tehnološki problem je prenos podatkov iz okvira oddajnega operacijskega sistema/računalnika v okvir operacijskega sistema drugega računalnika. Izvedba opisanega gledanja na prenos je osnovna naloga **računalniških komunikacij** oziroma **računalniških omrežij**. Za izvedbo te naloge so potrebni vmesniki med operacijskimi sistemi računalnikov in komunikacijskim sistemom – računalniškim omrežjem.
- *Znotraj komunikacijskega sistema (omrežja) je potrebno zagotoviti pravilno usmerjanje podatkov od izvora do ponora. Tu gre za problem **transporta podatkov** od izvirnega do ponornega računalnika.*

# Tehnološka vsebina IKS

- Transport podatkov se lahko odvija po različnih fizičnih poteh (prenosnih kanalih), glede na to, kakšno **topologijo** (razpored vozlišč in prenosnih kanalov) ima transportni sistem. Topologija je najpomembnejši element strukture IKS-a, o kateri bomo več povedali v naslednjem poglavju.
- Na najvišjem nivoju tehnoloških problemov je doseganje osnovnih ciljev IKS-a, torej povezava uporabnikov s tehnološkimi viri množice računalnikov in posredno povezava uporabnikov med seboj prek IKS-a.

# Tehnološka vsebina IKS

- *Storitve IKS-a so računalniške aplikacije, ki delujejo v okviru različnih operacijskih sistemov in na različnih računalnikih, česar pa uporabniku ni potrebno vedeti.*
- Na kratko tehnološka vsebina IKS-a:
  - prenos binarnih podatkov po različnih prenosnih medijih
  - prenos podatkov iz operacijskega sistema oddaljenega v operacijski sistem sprejemnega računalnika
  - povezava uporabnikov s tehnološkimi viri

# Struktura in arhitektura

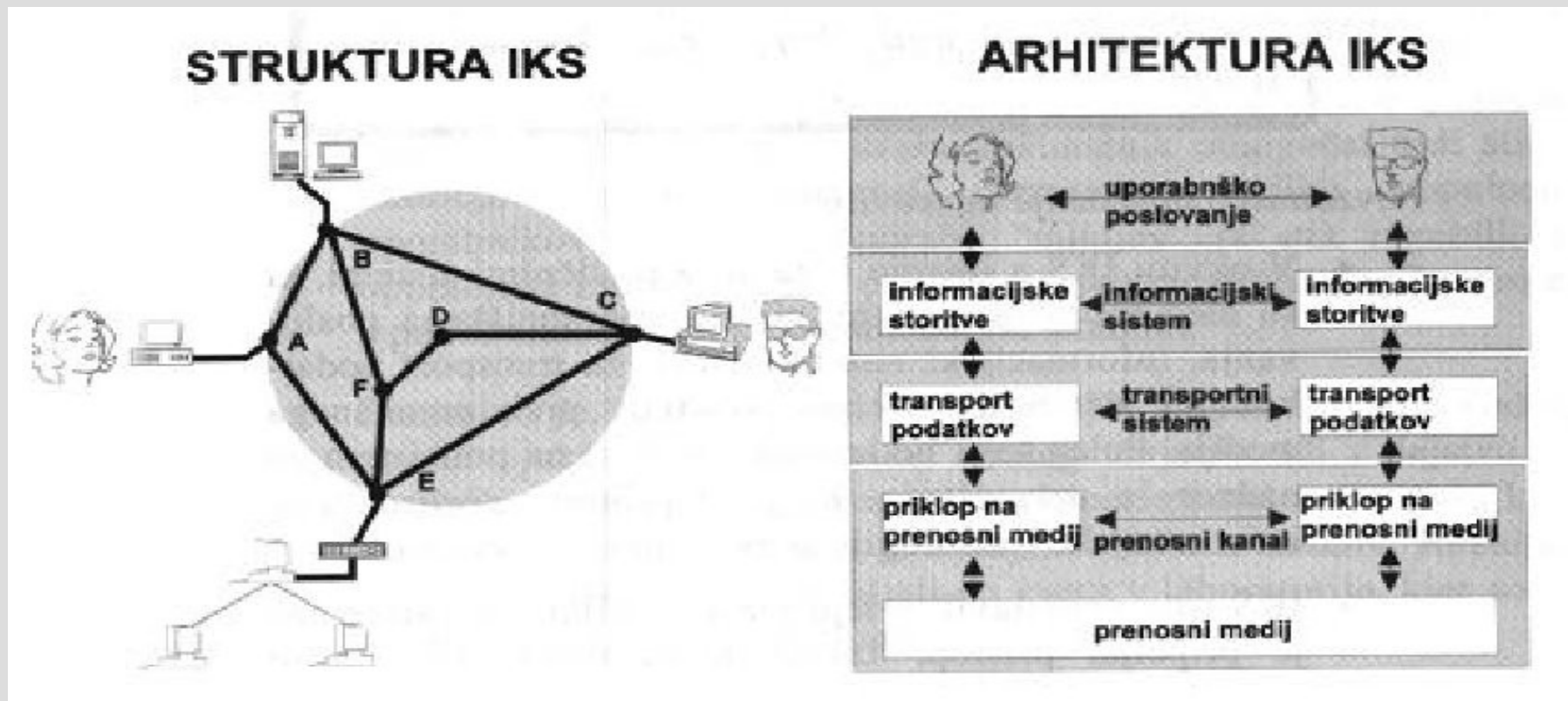
- Ob obravnavanju tehnoloških vidikov smo ugotovili, da v IKS-u obstaja več zaključenih funkcionalnih celot: prenosni kanali, transportni sistem, informacijski sistem.
- *Funkcionalne celote, ki so med seboj hierarhično odvisne, imenujemo plasti. Med seboj so vertikalno povezane.*
- Horizontalne povezave, ki smo jih spoznaliv prejšnjem podpoglavju, so možne in smiselne le znotraj iste plasti.

# Struktura in arhitektura

- Zdaj lahko natančneje opredelimo arhitekturo IKS-a:
- *Arhitektura sistema opredeljuje plasti, njihova mesta v hierarhiji, logične povezave in funkcionalno vsebino.*
- Arhitektura se ukvarja z logičnimi odnosi med elementi sistema. Za izvedbo transporta pa poleg logičnih potrebujemo tudi fizične povezave.
- *Struktura sistema opredeljuje njegovo topologijo in izvedbo vertikalnih povezav. V njenem okviru izvajamo analizo zmogljivosti in prometa.*

# Struktura in arhitektura

- Razliko med arhitekturo in strukturo prikazuje naslednja slika.



# Struktura in arhitektura

- Vsak element IKS-a ima svoje mesto v arhitekturi kot v strukturi in ga bomo v gradivu obravnavali z obeh vidikov.
- Strateška vsebina, ki jo pokriva struktura in arhitektura IKS-a, je obvladovanje porazdeljenosti virov sistema in čim večja prijaznost do uporabnika. Pojma decentraliziranosti in porazdeljenosti (porazdeljenost imenujemo tudi distribuiranost) sistema se pogosto uporabljata nedosledno in nekritično, zato ju moramo natančno opredeliti:
  - *Decentraliziranost opisuje “krajevno” (fizično) ali logično lokacijo strojne opreme, podatkov ali kontrolnih funkcij, torej določenega tipa sistemskih virov.*
  - *Porazdeljenost predstavlja kompleksnejšo sistemsko karakteristiko, ki si jo lahko predstavljamo kot “rezultanto” (vsoto) razpršenosti podatkovnih, procesnih in nadzornih virov sistema.*



# Struktura in arhitektura

- Uporabnika bi preveč obremenilo, če bi moral poznati vse podrobnosti tako kompleksnega okolja. Zato naj bi bila izvedba IKS-a zanj čimbolj nevidna ali kot pravimo, transparentna.
- *Transparentnost uporabniku zagotavlja, da storitve uporablja na enak način, če se izvajajo na samostojnem računalniku, kot če gre za množico računalnikov, ki jih med seboj povezuje komunikacijski sistem.*

# Struktura in arhitektura

- Povezimo dosedanje ugotovitve:
  - v okviru IKS-a imamo opraviti z različnimi sistemi, ki so med seboj integrirani: sistem uporabniškega poslovanja, informacijski sistem, sistem za transport podatkov, ter sistem za prenos podatkov prek prenosnega medija. Poleg tega ne smemo pozabiti na podsistem za nadzor in upravljanje, ki je v primeru porazdeljene informacijske tehnologije še pomembnejši kot sicer.
  - IKS smo predstavili v lepi plastni obliki, do katere nas je pripeljal pristop, zasnovan na ugotovitvi, da je uporabnik osnovni element IKS-a.
  - Vsak element IKS-a ima svoje mesto tako v arhitekturi, kot v strukturi. Arhitektura se posveča hierarhičnim in logičnim odnosom med elementi, struktura pa decentraliziranosti virov, topološkim lastnostim sistema in njegovim zmogljivostim.

# Struktura in arhitektura

- Včasih se poleg izraza IKS uporablja tudi izraz komunikacijsko informacijska tehnologija. V najširšem smislu ta zajema kompleksne strojne instalacije (delovna mesta, terminali, osebni računalniki, delovne postaje, centralni računalniki, informacijski strežniki, komunikacijska strojna oprema,...), različno sistemsko in uporabniško programsko opremo, strukturo decentraliziranih sistemskih in uporabniških podatkov.

# Pregled razvoja

- Preden natančneje opišemo strukturo in arhitekturo IKS-a, preglejmo zgodovinske faze nastajanja plastovitih informacijsko komunikacijskih sistemov.
- Uporabniški pristop
- Pristop proizvajalcev

# Uporabniški pristop

- V poznih sedemdesetih letih so se začeli pojavljati v različnih okoljih vse številčnejši in vse cenejši mini računalniki. Uporabniki so lahko oblikovali in organizirali svoje “privatne” sisteme in podatke tako, kot jim je najbolj ustrezalo. Pred pojavom “minijev” jim je velik centralni računalnik omogočal tudi stik z okolico, saj je združeval razmeroma veliko populacijo uporabnikov. Ker so z uporabo “minijev” tak stik izgubili, so uporabniki zgodaj začutili potrebo po povezovanju svojih strojev s podobnimi in tudi s centralnimi računalniki.

# Uporabniški pristop

- Zanimivo je, da so bili pri prizadevanjih za povezovanje vodilni strokovnjaki s področja fizike. Razlog verjetno tiči v dejstvu, da so fiziki vezani na drago in redko eksperimentalno opremo, ki je ni prav veliko, oziroma jo je manj kot dobrih fizikov. Rezultate eksperimentov so zato pošiljali po svetu v laboratorije, kjer so jih obdelovali in si jih nato ponovno izmenjevali.

# Uporabniški pristop

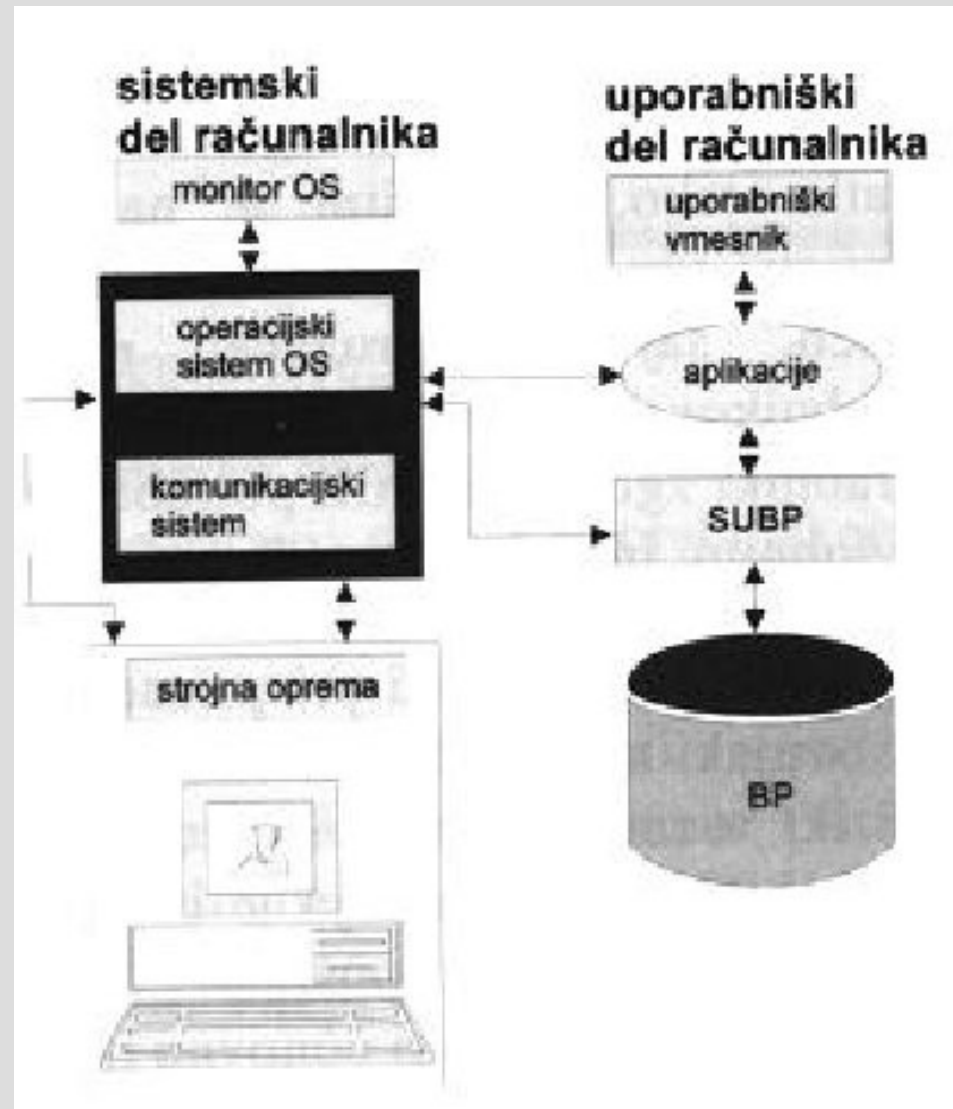
- Prva možnost, ki so jo izkoriščali uporabniki za povezovanje računalnikov, je bilo dodajanje komunikacijskih funkcij svojim aplikacijam, saj večina operacijskih sistemov odprtosti (v smislu povezovanja) takrat ni podpirala (DOS in internet?!). Tak pristop je aplikacije obremenjeval z dodatnimi funkcijami, najbolj žalostno pa je bilo, da so bile take komunikacije največkrat združljive le same s sabo (pa še to ne preveč dobro). Pristop ni zagotavljal dolgoročnejšega uspeha.

# Pristop proizvajalcev

- Drugi korak pri vzpostavljanju komunikacijskih funkcij je bilo dodajanje teh v operacijske sisteme. To je pomenilo naraščanje njihovega obsega, vzdrževanje pa je postalo drago, težavno in vedno bolj neobvladljivo.
- Korak naprej je bilo ločevanje komunikacijskih funkcij od operacijskega sistema. Zgodil se je prvi korak “plastenja” IKS-a, kot to nazorno prikazuje slika. Tak pristop pa je imel tudi svoje komercialno ozadje: povezovanje je bilo možno le znotraj ene družine ali enega proizvajalca računalnikov.



# Pristop proizvajalcev



# Pristop proizvajalcev

- Znana primera za to sta Digitalov DECNET in naprednejša IBM SNA arhitektura. Oba sta v uporabi še danes. Slabost opisanega pristopa so plačali predvsem uporabniki, saj so bili vezani na proizvajalca, od katerega so kupili prvi računalnik. (V tistem času Digitalov in IBM-ov računalnik med seboj še nista znala komunicirati).
- Xerox Corporation (XNS)
- Novell IPX/SPX

# Odprti sistemi

- Problem nezdržljivosti (nekompatibilnosti), ki so ga namerno povzročili proizvajalci informacijsko komunikacijske tehnologije, je že kmalu sprožil strmenje po komunikacijskem sistemu, ki bi bil neodvisen od proizvajalca računalnikov. Tak sistem se imenuje odprti sistem (open system).
- V takem primeru arhitekture je komunikacijski sistem neodvisen od operacijskega sistema in aplikacij, vendar mora imeti opredeljen **standardni vmesnik** (te vmesnike imenujemo tudi pristopne točke) do systemske in aplikacijske opreme računalnika. Prek vmesnika lahko systemski in aplikacijski moduli izkoriščajo komunikacijske storitve. V nadaljevanju ga bomo imenovali **transportna pristopna točka**.

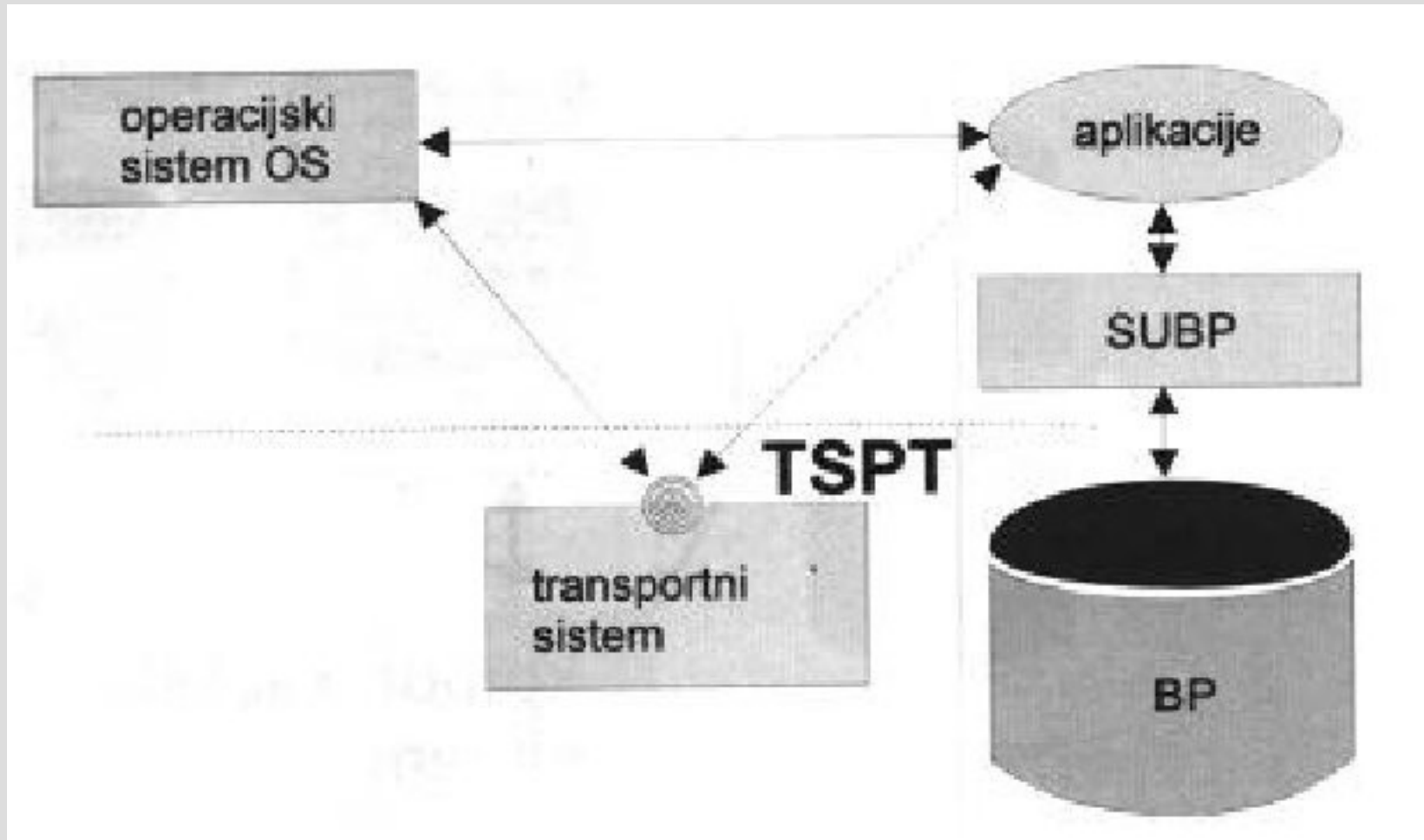
# Odprti sistemi

- Danes se nam zdi večina povedanega skoraj sama po sebi umevna, v praksi pa je proces potekal počasi in včasih mučno, saj so proizvajalci računalniške opreme izkoriščali (ne)združljivost kot orodje za monopolizacijo tržišča.

# Storitvene pristopne točke

- Kot vmesnik med računalnikom in uporabnikom smo opredelili uporabniško pristopno točko, kot vmesnik med programsko in komunikacijsko opremo računalnika pa transportno pristopno točko (TPT).
- Logično arhitekturo odnosov med operacijskim sistemom, aplikacijami in komunikacijskim sistemom prikazuje slika.
- Ne sme nas motiti, da smo začeli namesto izraza komunikacijski sistem uporabljati izraz transportni sistem. Po vsebini sta izraza enakovredna, terminološko pa je izraz transportni sistem bolj v skladu z mednarodno standardizacijo, s katero se bomo spoznali v nadaljevanju. Poleg tega tudi bolje opisuje funkcijo sistema.

# Storitvene pristopne točke



# Storitvene pristopne točke

- Postopoma se je komunikacijski sistem bogatil s storitvami in se zato tudi interno začel strukturirati tako, kot smo že delno nakazali v prejšnjih poglavjih. Danes predstavljajo najpomembnejšo smer, v katero se razvijajo IKS-i, osnovne informacijske storitve, ki jih nudijo uporabniku. Drugače povedano, nad osnove storitve transporta se dodajajo plasti, ki poleg svojih storitev uporabniku skrivajo izvedbene podrobnosti transportnih plasti. Posledica tega je, da struktura transportnega sistema uporabnika ne obremenjuje, dosežena je že omenjena lastnost: transparentnost.

# Storitvene pristopne točke

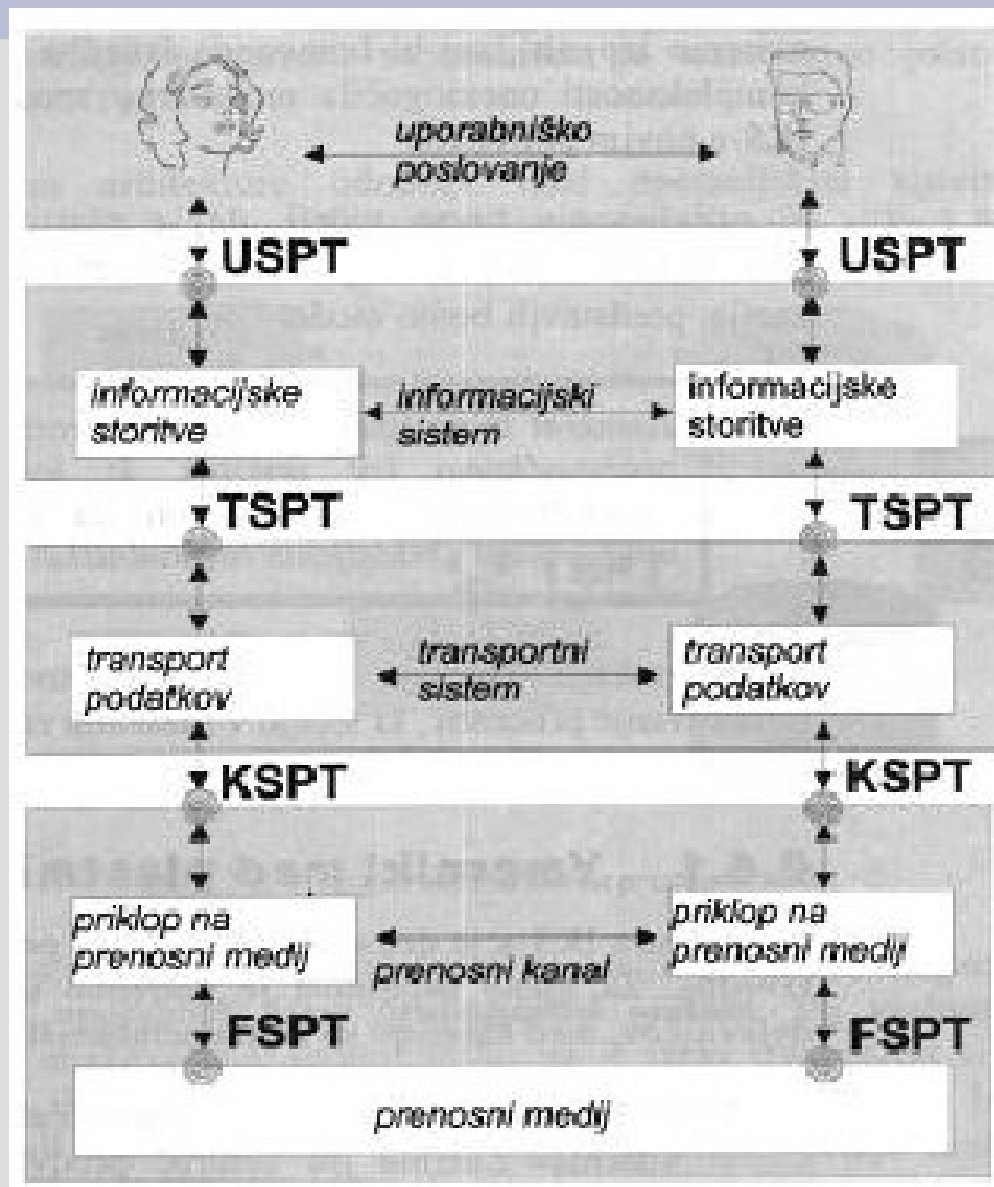
- IKS mora biti za uporabnika čimbolj homogen, kar je v nasprotju z njegovo tehnologijo in arhitekturo. Temu protislovju se ne moremo izogniti, saj bi homogena izvedba sistema zaradi svoje kompleksnosti onemogočila modularno snovanje in prilagajanje IKS-a novim potrebam.
- V nadaljevanju bomo videli, da je plastovita zasnova IKS-a postala tako bistvena, da je celo predmet mednarodne standardizacije: predstavili bomo model OSI (Open System Interconnection – povezovanje odprtih sistemov).



# Storitvene pristopne točke

- *Zaenkrat si na uporabniški ravni transportni sistem predstavljajmo kot vmesnik, ki lokalnim virom računalniškega sistema zagotavlja povezovanje z aplikacijami v oddaljenih računalniških sistemih.*
- S systemskega zornega kota pa gre seveda za medsebojno povezovanje procesov, ki tečejo v različnih računalnikih.

# Vmesniki med plastmi



# Vmesniki med plastmi

- Arhitektura IKS-a je dokaj kompleksna in posledično je taka tudi izvedba. Za njeno uspešnost je potrebno upoštevati celo vrsto dejavnikov, med katerimi so najpomembnejši:
  - Uporabnikov ne smemo obremenjevati s podrobnostmi sistema. Zanima jih namreč predvsem medsebojno komuniciranje in dostop do podatkov, ki jih potrebujejo za svoje poslovanje (v širšem smislu). Uporabniki želijo imeti dostop do storitev, ne zanima pa jih, kako se te storitve tehnično in tehnološko izvajajo. Način izvedbe za njih torej ni pomemben.
  - Logično gledano, uporabnik dostopa do storitev IKS-a preko UPT (uporabniške pristopne točke). S terminološkega stališča je zato smiselno, da izraz UPT dopolnimo v **uporabniška storitvena pristopna točka** ali krajše USPT. USPT zagotavlja uporabnikom transparentnost dostopa in izvedbe določene storitve.

# Vmesniki med plastmi

- Podobno razmerje, kot ga majo uporabniki z informacijskim sistemom, ima ta s transportnim sistemom. Na primer: ko informacijski sistem potrebuje dostop do podatkov, ki niso na lokaciji izvajanja posla, jih lahko zahteva od ustreznega informacijskega sistema, ki se izvaja na lokaciji željenih podatkov. Za izvedbo te zahteve mora informacijski sistem aktivirati ustrezne storitve transportnega sistema. To doseže prek transportnega vmesnika.
- **Transportna storitvena pristopna točka – TSPT** informacijskemu sistemu omogoča izkoriščanje storitev transporta, obenem pa tudi transparentnost izvedbe transportnega sistema. V skrajnem primeru je lahko transportni sistem tudi disketa v kuverti, ki jo pošljemo z običajno pošto.

# Vmesniki med plastmi

- Transportni sistem potrebuje za izvajanje lastnih storitev storitve prenosnega kanala. Ta zagotavlja prenos podatkov od vozlišča do vozlišča v omrežju. Vozlišče je tu vsaka omrežna točka, kjer se zaključujejo prenosni kanali. Podobno kot velja za uporabnike in informacijske sisteme, transportni sistem zahteva storitev prenosa prek **kanalske storitvene pristopne točke** – KSPT.
- KSPT transportnemu sistemu omogoča izkoriščanje storitve prenosa podatkov od vozlišča do vozlišča obenem pa zagotavlja transparentnost izvedbe prenosnega kanala.

# Vmesniki med plastmi

- Prenosni kanal za izvajanje lastnih storitev potrebuje dostop do prenosnega medija (medij je lahko različnih vrst). Dostop mu omogoča fizični vmesnik (tako imenovan konektor), ki omogoča priključitev strojne opreme računalnika na prenosni medij. **Fizična storitvena pristopna točka** – FSPT prenosnemu kanalu omogoča prenos bitov od vstopa do izstopa s prenosnega medija, obenem pa zagotavlja transparentnost prenosnega medija. Prenosni medij je lahko katerokoli od že naštetih, ali pa celo dobro izvežban golob, ki namesto pisma na nogi nosi usb ključ.

# Primeri tipičnih povezav

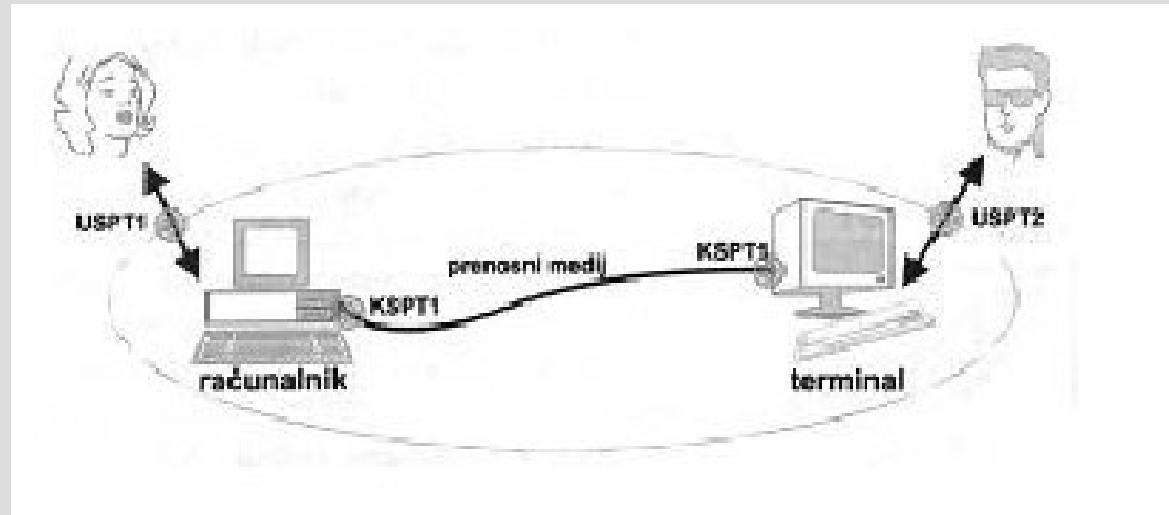
- Pred obravnavo splošnih lastnosti in mehanizmov delovanja posamezne plasti IKS-a si oglejmo še tehnološko vlogo posameznih pristopnih točk, ki smo jih pravkar predstavili v abstraktni obliki.
- Pojem "**lokalni računalnik**" predstavlja klasično centralno obliko, kjer so vsi informacijski viri uporabniku dosegljivi v okviru enega (centralnega) računalniškega sistema. Potreb po transportu podatkov ni, saj so terminali povezani lokalno na vhodno/izhodne kanale računalniškega sistema.

# Primeri tipičnih povezav

- Opozorimo še na dve KSPT, ki omogočata, da terminal in računalnik lahko povežemo med seboj. Za njuno izvedbo se običajno uporablja asinhroni vmesnik RS-232.
- Za oddaljene sisteme imamo vse tiste računalnike, do katerih uporabnik ne dostopa preko V/I kanalov, temveč se za to uporablja transportni sistem. Na sliki ima prvi uporabnik lokalni dostop, kot je opisano v prejšnjem odstavku, medtem ko ima drugi uporabnik oddaljen dostop do računalnika.

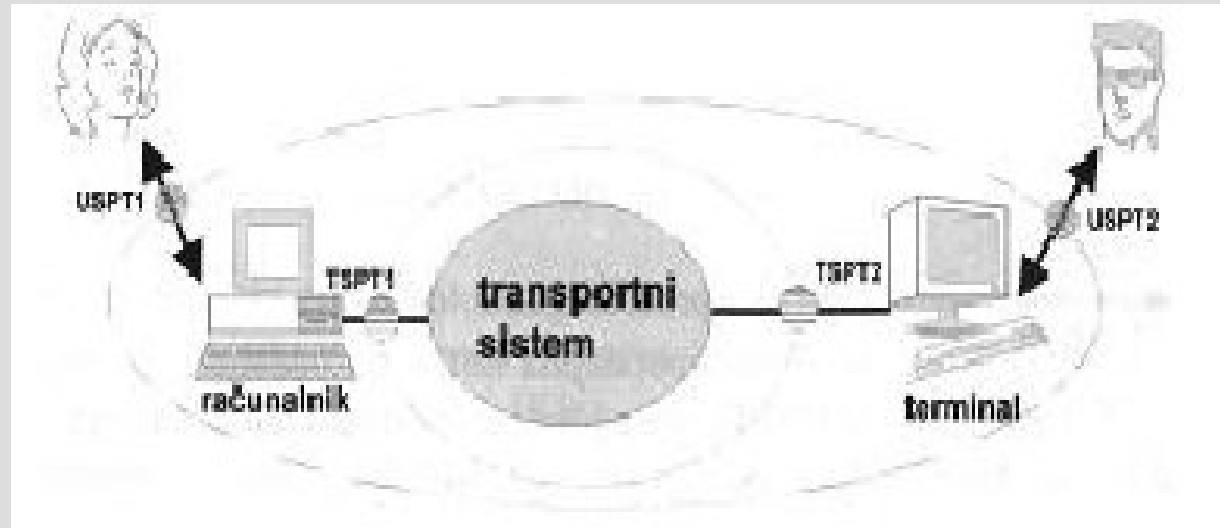


# Primeri tipičnih povezav



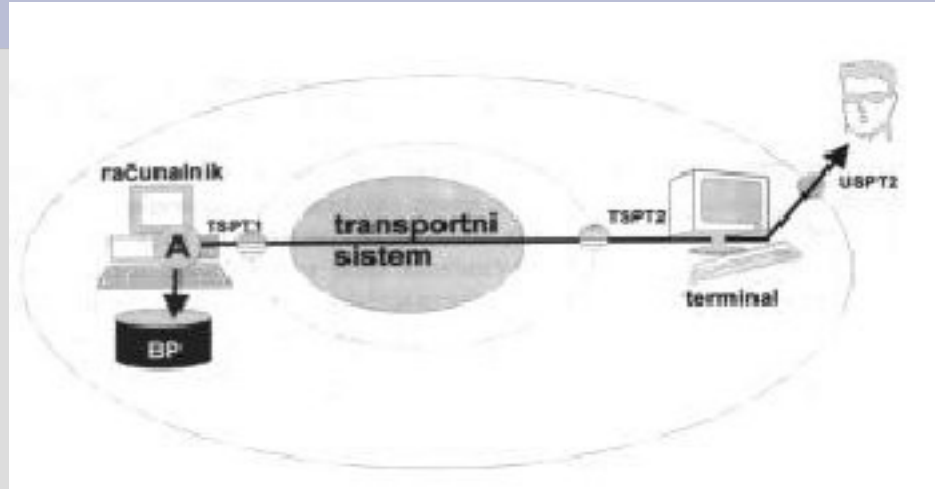
- Na sliki imamo dve USPT. Idenični sta za vse uporabnike sistema, če seveda ne upoštevamo omejitev in pravic posameznega uporabnika. Uporabniki tu dostopajo do istih aplikacij in storitev.

# Primeri tipičnih povezav



- Prvi uporabnik dostopa do informacijskih virov prek USPT1, medtem, ko drugi uporabnik dostopa prek USPT2 ter dveh transportnih storitvenih pristopnih točk TSPT1 in TSPT2. TSPT predstavlja vmesnik med računalniki, terminali in ostalo opremo za podporo informacijskim storitvam, ter transportnim sistemom, ki informacijsko opremo povezuje in ji omogoča medsebojno izmenjevanje podatkov.

# Primeri tipičnih povezav

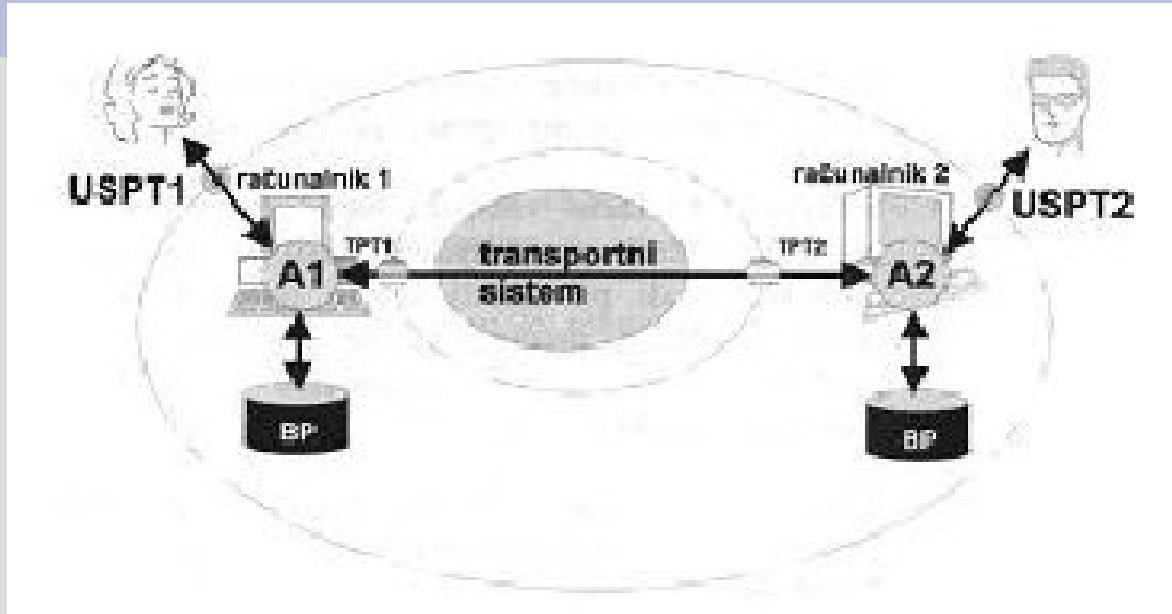


- V tem primeru, kakor tudi v primeru iz prejšnjega odstavka, funkcije terminala ne moreta odigrati le zaslon in tipkovnica, saj je potrebno prek transportnega sistema simulirati sekvenco za prijavljanje na oddaljeni sistem – po domače login.
- Primer storitve, ki omogoča tako prijavljanje, je telnet (omenjeni in tudi drugim storitvam se bomo še podrobno posvetili).

# Primeri tipičnih povezav

- Terminal mora biti sposoben lokalno zagnati ustrezno aplikacijo, na primer telnet ali ftp. Uporabnik ima občutek, da je lokalno povezan z aplikacijo, ki teče na oddaljenem računalniškem sistemu. Z drugimi besedami: uporabnik se transportnega sistema ne zaveda, zanj je ta del IKS-a transparenten.

# Primeri tipičnih povezav



- Lahko si predstavljamo, da si dva uporabnika izmenjujeta podatke. Tako uporabljata lastno in oddaljeno bazo podatkov. USPT1 in USPT2 sta podprti z lokalnima aplikacijama A1 in A2. Sistem dveh oddaljenih računalnikov omogoča uporabnikoma izvajati posle, za katere je potrebno **sodelovanje** obeh aplikacij in dostop do podatkov iz obeh podatkovnih baz.

# Primeri tipičnih povezav

- Ugotavljamo, da:
  - A1 in A2 lahko uporabljata tako BP1 kot BP2,
  - A1 in A2 lahko sodelujeta pri izvajanju posla (kooperativnost)
  - A1 in A2 znata reševati konkurentne situacije, kot na primer sočasen dostop procesov do istih podatkov,
  - uporabnika se zavedata lokalnih pristopnih točk in ju tehnološka izvedba in porazdeljenost virov ne obremenjuje.
- Zgornji primer ima celo vrsto različic, katerih razlaga pa presega namen tega poglavja, zato več o tem v nadaljevanju.

# Primeri tipičnih povezav

- Iz funkcij, ki naj bi jih imel IKS, smo intuitivno uganili nekaj plasti, ki jih mora imeti njegova arhitektura. Arhitektura je najpomembnejša lastnost IKS-a, zato je v več različicah tudi standardizirana. V naslednjem podpoglavju bomo povedali še več o standardizaciji na tem področju in okvirno predstavili dve najbolj razširjeni obliki arhitekture modernih informacijsko komunikacijskih sistemov.

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- V tem poglavju bomo opredelili različne oblike povezovanja računalniških virov oziroma množice računalnikov s stališča strojne opreme sistema. Pričakujemo, da poslušalec pozna osnovne lastnosti in zgradbo računalniškega sistema, ker je to osnova za razumevanje različnih povezav, ki jih bomo opredeljili.



# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- Brez posebnega utemeljevanja in širšega uvoda bomo privzeli štiri osnovne skupine virov, ki sestavljajo sistem:
  - **Aparaturna oprema** računalnika je njegov infrastrukturni del in zajema vse naslovljive elemente računalniškega sistema.
  - **Procesiranje računalnika** je njegova bistvena storitev in jo bomo proučevali predvsem s stališča števila, konfiguracije in strukture procesorjev, ki določen posel obdelujejo.
  - **Nadzorni sistem računalnika** je v bistvu njegov operacijski sistem, ki upravlja posamezne aparaturne, programske in sistemske podatkovne vire računalnika. Kasneje bomo videli, da je del kontrolnih funkcij tudi v okviru aplikacij.
  - **Podatki** oziroma **baza podatkov** sestavljajo struktura, kazala in kopije podatkov določene aplikacije.

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- V računalniškem sistemu so vsi ti viri lahko med seboj povezani fizično ali logično. Ko govorimo o strojni opremi, gre za **fizične povezave**. Na tem nivoju ima računalniški sistem svoje vire med seboj povezane prek tako imenovanega skupnega centralnega **vodila**. Centralno vodilo "bus" je sestavljeno iz: naslovnega (**A**), podatkovnega (**P**) in kontrolnega (**K**) dela (podvodila).

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

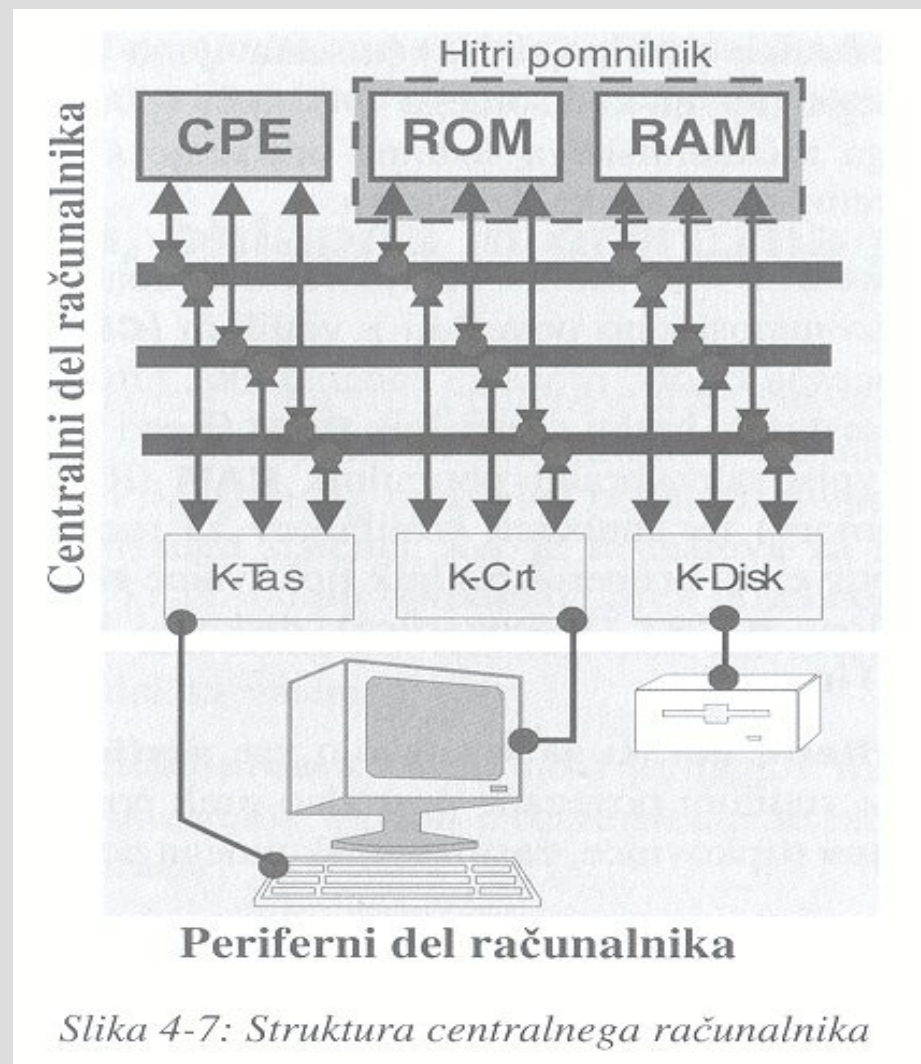
- Strukturo enostavnega računalniškega sistema delimo na:
  - **Centralni del**, kamor sodijo vsi tisti aparaturni moduli, ki so neposredno povezani z vodilom (**CPE** – Centralna Procesna Enota - procesor računalnika, hitri pomnilnik, ki ga sestavljata bralni pomnilnik **ROM** (Read Only Memory) in vpisovalno-bralni pomnilnik **RAM** (Random Access Memory), ter množica krmilnikov za različne periferne naprave, na primer: krmilnik tipkovnice **K-Tas**, krmilnik zaslona **K-CRT** (videokartica), diskovni krmilnik **K-DIS** itd.) in
  - **periferni del**, ki ga sestavljajo vse **periferne enote**, ki so z vodilom povezane posredno prek posebnih **kontrolerjev** (tipkovnice, zaslona, diskovnega pogona itd.).

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- Tipično za aparaturno opremo "centraliziranega" računalniškega sistema je, da so vsi aparaturni elementi računalnika na "mizi" ali recimo v "sobi" priključeni na **skupno centralno vodilo**. Tipična dolžina teh povezav večinoma ne presega enega do dveh metrov. Način povezovanja v okviru takega centralnega računalniškega sistema imenujemo kar **tesna povezanost** modulov.
- *Moduli računalniškega sistema so **tesno** povezani, če je povezava izvedena z naslovnim, podatkovnim in kontrolnim vodilom.*

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

Tudi periferne enote so s centralnim delom računalnika povezane zelo tesno, kar pomeni, da so konektorji "bogato" opremljeni s podatkovnim in kontrolnimi kanali (žicami) – npr. do diskovnega pogona.

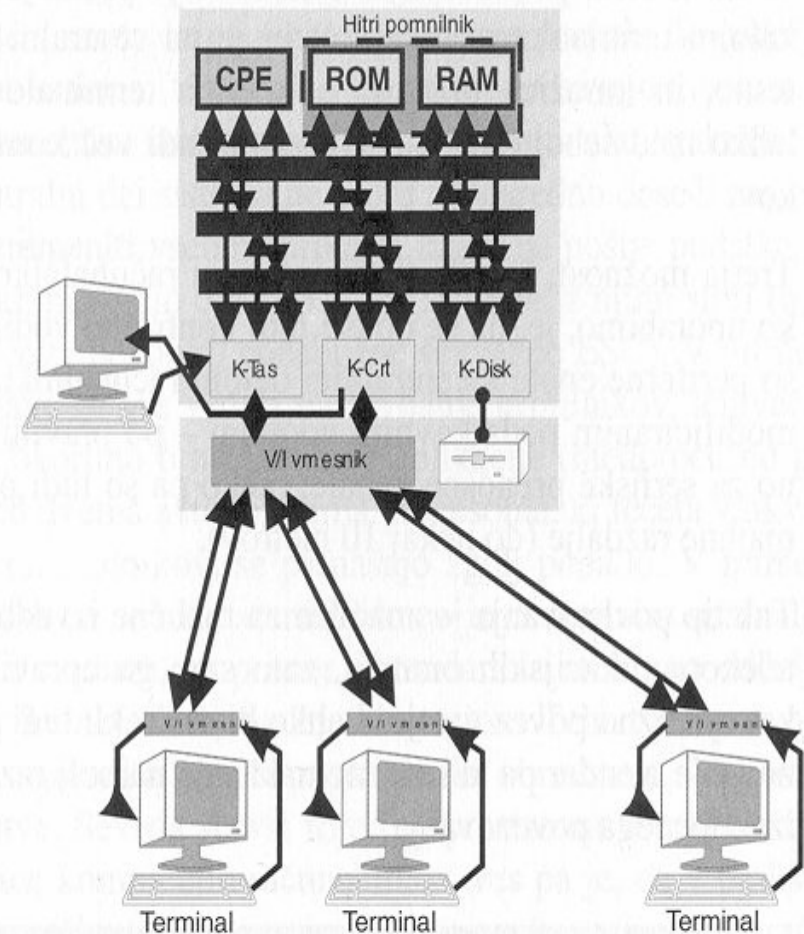


# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- Disalociranost, **razpršenost** določenih perifernih naprav dosežemo s povezovanjem **prek vhodno-izhodnega kanala (V/I)**, kar je drugi mogoč in pogosto uporabljen način povezovanja modulov na vodilo računalnika. Pri tem krajevna oddaljenost ni pomembna, važen je zgolj način povezovanja. Razpršena periferna oprema je v tem primeru z računalnikom povezana z dvosmernim ali enosmernim podatkovnim in kontrolnim vodilom. Seveda ta vodila niso identična centralnemu vodilu, bistveno pa je, da ga sestavljajo podatkovni in kontrolni kanali. V tem primeru centralni procesor perifernih krmilnikov seveda ne more več naslavlјati neposredno, saj nima na razpolago naslovnega vodila.

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- *Računalniški moduli, ki so med seboj povezani zgolj s podatkovnim in kontrolnim vodilom, so med seboj povezani ohlapno.*



Slika 4-8: Ohlapno povezani moduli prek V/I kanalov



# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- Na sliki je prikazana priključitev oddaljene tipkovnice in zaslona, kar je v bistvu “vsem” znan enostaven terminal. Očitno je, da je v primerjavi s predhodnim primerom tesnost povezave terminala bistveno manjša, saj do terminalnega krmilnika ne vodi naslovno vodilo, temveč zgolj modificirana podatkovno in kontrolno vodilo. Z uporabo modemov ali ustrezne podobne opreme lahko oddaljenost terminala od računalnika presega stotine kilometrov, kar pa ne vpliva na tesnost povezovanja. Zanimivo je primerjati razliko med lokalnim terminalom (konzolo), ki je na centralni sistem priključen tesno, in množico ohlapno povezanih tudi več kompletnih računalnikov.

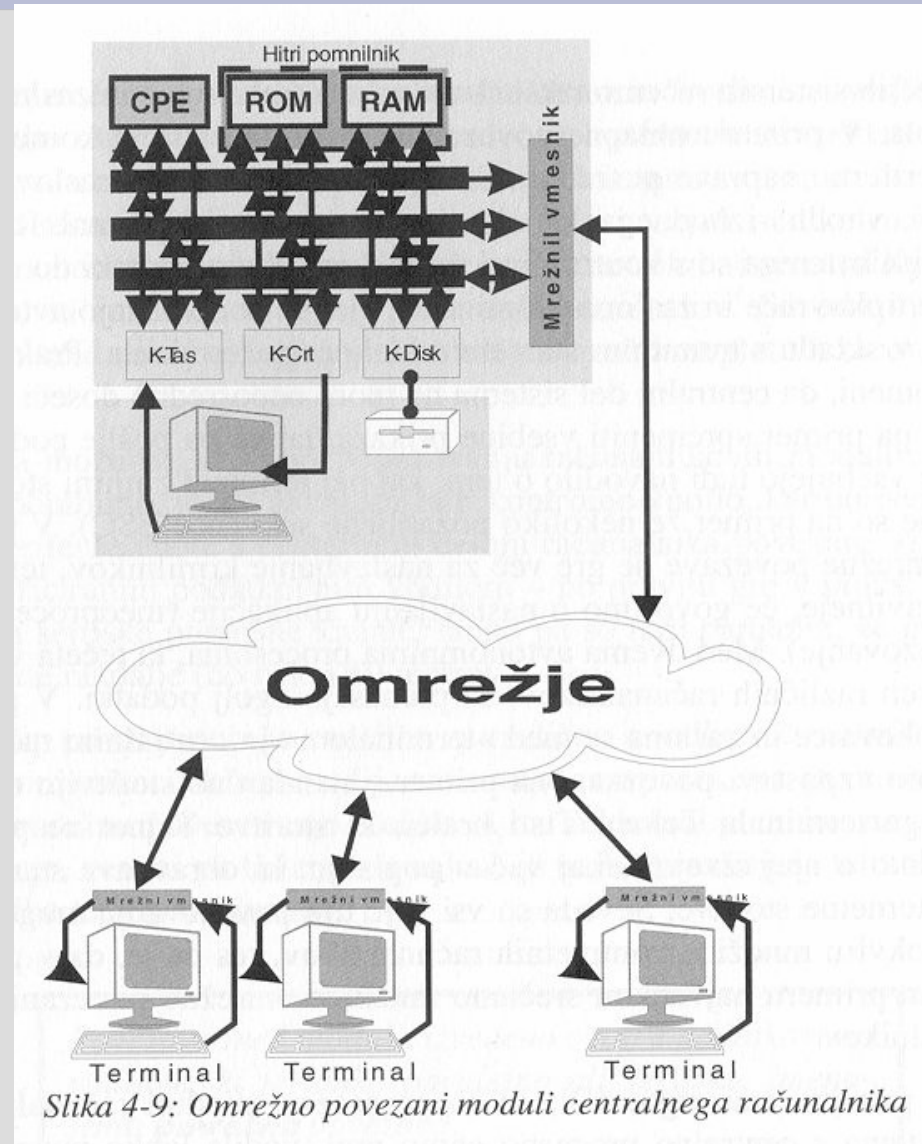


# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- Tretja možnost, ki jo pri povezovanju računalnikovih modulov lahko uporabimo, je, da se opusti tudi kontrolno vodilo, kar pomeni, da so periferne enote s centralnim delom računalnika povezane zgolj z modificiranim podatkovnim vodilom – po pravilu gre v praksi vedno za serijske prenosne kanale, lahko pa so tudi paralelni, če gre za majhne razdalje (do nekaj 10metrov).
- Tak tip povezovanja je značilen za različne izvedbe računalniških in telekomunikacijskih omrežij, zato smo ga upravičeno poimenovali kar omrežno povezovanje. Lahko bi mu rekli tudi podatkovno povezovanje, vendar ta izraz ne nakazuje najbolj razširjene tehnološke izvedbe tega povezovanja.

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- *Povezavo med moduli, izvedeno zgolj s podatkovnim vodilom, ki je lahko paralelno ali serijsko, imenujemo omrežna povezava.*



# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- Če povzamemo bistvene razlike med tesno, ohlapno in omrežno povezanostjo na primeru terminala, so bistvene ugotovitve sledeče:
  - pri tesni povezanosti so moduli računalniškega sistema (tipkovnica, zaslon,..) neposredno priključeni na periferni krmilnik, ki pa je seveda povezan s centralnim delom računalnika z vsemi tremi vodili: naslovnim, podatkovnim in kontrolnim. To omogoča, da centralni procesor naslavlja modul neposredno. Taka je na primer priključitev tipkovnice in zaslona na vsakem osebнем računalniku tipa PC. Pri večjih sistemih rečemo takšni priključitvi tipkovnice in zaslona konzola.

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- V primeru ohlapne povezanosti centralni sistem komunicira s periferno napravo posredno. Prek centralnega vodila naslovi krmilnik vhodno-izhodnega kanala (na primer serijski kanal RS-232), prek katerega se s kontrolnimi signali prenesejo podatki do oddaljene tipkovnice in zaslona (terminala), kjer se obravnavajo avtonomno in v skladu s trenutnim stanjem oddaljenega terminala. Praktično to pomeni, da centralni del sistema ne more neposredno doseči zaslona in na primer spremeniti vsebine prikaza, lahko pa pošlje podatke, ki pa vsebujejo tudi navodilo o tem, kaj naj terminal z njim stori (tipične so na primer že nekoliko pozabljene sekvence ESC).

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- V primeru omrežne povezave ne gre več za naslavljanje krmilnikov, temveč je pravilneje, če govorimo o naslavljanju aplikacije (medprocesno povezovanje). Med dvema avtonomnima procesoma, ki tečeta v okviru dveh različnih računalnikov, se prenašajo zgolj podatki. V primeru zaslona in tipkovnice se med "terminalom" in centralnim računalnikom vzpostavi povezava, na primer s standardno storitvijo oddaljenega terminala Telnet. Tisti poslušalci, ki storitve Telnet ne poznajo, lahko o njej izvejo nekaj več v nadaljevanju, kjer se bo obravnavalo standardne internetne storitve.

# Tesna, ohlapna in omrežna povezava

- Seveda so vsi trije tipi povezovanja mogoči tudi v okviru množice kompletnih računalnikov, res pa je, da v praksi v tem primeru največkrat srečamo množico omrežno povezanih računalnikov.
- Iz primera smo ugotovili, da so posamezni moduli računalniškega sistema s centralno procesno enoto prek vodila lahko povezani na vsaj tri bistveno različne načine.

# Ponavljanje

- Kako razumeš pojem tesna povezava?
  - Moduli računalniškega sistema so tesno povezani, če je povezava izvedena z naslovnim, podatkovnim in kontrolnim vodilom.
- Kako razumeš pojem ohlapna povezava?
  - Računalniški moduli, ki so med seboj povezani zgolj s podatkovnim in kontrolnim vodilom, so med seboj povezani ohlapno.
- Kako razumeš pojem omrežna povezava?
  - Povezavo med moduli, izvedeno zgolj s podatkovnim vodilom, ki je lahko paralelno ali serijsko imenujemo omrežna povezava.
- Primeri!

# Parametri zmogljivosti

- Poleg vsebinskih problemov povezovanja moramo upoštevati tudi večkrat zanemarjeno dejstvo, da ima povezovanje računalnikov smisel le, če je s stališča uporabnikov sistem povezanih računalnikov boljši ali uporabnejši kot množica med seboj nepovezanih računalniških sistemov. Nekatere kvantitativne parametre sistema, ki so neposredno odvisni od tipa povezav, bomo definirali s pojmom **transakcije** in **posla**, zato najprej pogledjmo, kaj nam ta pojma pomenita.



# Parametri zmogljivosti

- *Z uporabniškega stališča je transakcija neločljiv par **zahteve in odgovora** nanjo.*
- Zgornja definicija transakcije v bistvu pomeni to, da sistemu prek USPT uporabnik poda zahtevo, sistem pa mu vrne odgovor, ki predstavlja rezultat izvedbe te zahteve.
- *Posel je **zaporedje transakcij**, ki so med seboj vsebinsko povezane.*
- Seveda je zaporedje transakcij mogoče izvesti interaktivno, na primer s serijo poizvedb v bazo podatkov, ali pa je sekvenca "zapečena" v okviru določene aplikacije, ki jo zažene uporabnik sistema. Sledijo nekateri važnejši parametri in lastnosti, ki opisujejo kakovost sistema s stališča uporabnika.

# Parametri zmogljivosti

- **Odzivni čas** transakcije je čas od trenutka, ko uporabnik ali aplikacija generira zahtevo, do trenutka, ko uporabnik dobi odziv sistema oziroma odgovor na zahtevo. Odgovor je lahko tudi to, da sistem te zahteve ne bo izpolnil. Odzivni čas je v računalniških omrežjih kritičen predvsem pri interaktivnih transakcijah. Pri njih si želimo, da bi bil čim nižji. Ko pa primerjamo klasično pošto in storitev elektronske pošte, katere odzivni čas je v velikostnem razredu nekaj sekund ali minut, imajo računalniška omrežja nedvomno veliko prednost. Odzivni čas je odvisen od prenosnih zmogljivosti omrežja, nanj pa vpliva tudi obremenjenost računalnikov, ki so kakorkoli povezani z izvajanjem transakcij.

# Parametri zmogljivosti

- **Prepustnost** sistema pomeni število transakcij (poslov), ki jih je sistem v določenem času sposoben uspešno opraviti. Uporabnik, ki ima prek omrežne povezave dostop do več procesorjev, lahko pričakuje večjo prepustnost sistema kot tisti, ki ima dostop le do enega procesorja, saj se tako lahko hkrati izvaja več transakcij. Seveda pa se prepustnost sistema bistveno zmanjša, če dostopamo do nekega procesorja po preobremenjenem, počasnem računalniškem omrežju.

# Parametri zmogljivosti

- **Dostopnost** sistema opisuje sposobnost vhodno-izhodnih kanalov računalniškega sistema, ki uporabniku omogoča izkoriščati posamezne računalniške vire. Računalniško omrežje igra z vidika dostopnosti dve vlogi:
  - omogoča dostop do sistema večjemu številu krajevno porazdeljenih uporabnikov,
  - vsakemu uporabniku omogoča dostop do več računalniških sistemov, ki so povezani z računalniškim omrežjem.

# Parametri zmogljivosti

- **Obremenljivost** sistema opisuje, kako se sistem prilagaja hitrim spremembam števila zahtev (transakcij), ki vanj vstopajo. Množica med seboj povezanih računalnikov ima s stališča uporabnikov lahko bistveno boljšo obremenljivost kot en sam. Po drugi strani pa je računalniško omrežje v določenih okoliščinah izredno občutljivo že za najmanjše spremembe prometa in je zato lahko element, ki lahko bistveno zmanjšuje obremenljivost.

# Parametri zmogljivosti

- **Adptivnost** sistema je lastnost, ki opisuje, kako se računalniški viri prirejajo poslom (transakcijam) glede na njihovo naravo. Posli imajo lahko različne prioritete, poslu z višjo prioriteto pa se dodeli več virov. Posledica tega je, da bo posel opravljen hitreje. V računalniškem omrežju, ki povezuje veliko število računalnikov, je možno, da se adaptivnost celotnega sistema poveča, saj se posel lahko deli med več računalnikov. Vendar pa so za tak način procesiranja potrebni tudi zelo zahtevni algoritmi s področja paralelnega procesiranja.

# Parametri zmogljivosti

- **Zanesljivost** omrežja opisuje njegovo sposobnost, da v vsakem trenutku uporabniku omogoči dostop do vsakega omrežnega računalnika. Računalniško omrežje vnaša v celotni možnost zmanjšanja zanesljivosti. Zanesljivost omrežja izboljšujemo z različnimi prijemi, na primer z redundantno topologijo (to pomeni, da ima omrežje več povezav, kot bi bilo nujno potrebno).

# Parametri zmogljivosti

- **Razpoložljivost** sistema je razmerje med časom dejanskega delovanja in razpoložljivim časom, ko bi sistem moral delovati. Danes naj bi imel sistem povpračno letno razpoložljivost večjo kot 99.8%. Več o razpoložljivosti bomo povedali kasneje.



# Parametri zmogljivosti

- **Modularna zasnova** omrežja je lastnost, ki opisuje, kako je sistem razširljiv. Moderna računalniška omrežja so zasnovana modularno, saj omogočajo povezovanje poljubnega števila in različnih tipov računalnikov ter tudi pomožnih modulov (na primer tiskalniških strežnikov). Večja modularnost sistema torej pomeni večjo sposobnost fleksibilne rasti in konfiguriranje sistema.

# Parametri zmogljivosti

- **Cena** računalniškega omrežja je sestavljena iz cene strojne opreme (vozlišč, prenosnih poti), cene vzpostavitve sistema in obratovalnih stroškov. Zato imajo za računalniška omrežja velik pomen postopki načrtovanja optimalne topologije in kapacitet povezav. Investicije v računalniška omrežja so velik zalogaj, zato običajno sodijo v okvir infrastrukturnih investicij. Tudi delovanje omrežij je povezano z dokaj visokimi stroški: najemnina prenosnih poti, vzdrževanje, servisiranje, administracija,...Ti stroški so upravičeni le, če prenesejo tudi dovolj koristi, na primer če omogočajo dostop do informacijske tehnologije zadostnemu številu uporabnikov.

# Parametri zmogljivosti

- Pri obratovanju cene ne moremo opazovati samo vsote investicijskih, vzdrževalnih, servisnih in drugih stroškov, temveč je treba upoštevati tudi kakovost in hitrost izvajanja. Govorimo o tako imenovanem parametru **cena – zmogljivost** ("cost-performance"), ki nam pove, kakšno kakovost lahko dobimo za določeno ceno, oziroma koliko bomo morali plačati za določen nivo kakovosti različnih storitev.