

# OPEN infoTrend

Informatika za otvoreno društvo

## Otvorenost i standardi

Regionalni razvoj ICT industrije

### Daleko od loka...

Triple Helix koncept povezivanja

Spavajući div

Bitan preduvjet e-poslovanja

Digitalno arhiviranje

## Quo vadis computator?

Društveno održiv ICT

ISSN 1330-0393



00814

Programiraj bilo gdje

Startup iskustva

Big Data problemi

Razmišljajte široko

Sumrak herojskog menadžmenta

Blue Ocean Leadership

Internet i privatnost:

Pravo na zaborav



PRILOG



Konačno e-Građanin

HOLISTIČKI PRISTUP EKSPLOZIVNOM RAZVOJU ICT-a

# Zeleni ICT za održivost



dr. sc. **Slaviša Aleksić**, dipl. ing. studij je započeo na Sarajevskom sveučilištu, a dovršio na bečkom tehničkom sveučilištu TUWIEN u Austriji. Magisterij i doktorat je obranio na istom sveučilištu gdje predaje na različitim odjelima do 2010. Tijekom 2011. bio je zaposlen kao vanjski istraživač u INTEC-IBCN grupi sveučilišta Ghent. Trenutno je stariji istraživač i predavač na Institutu za telekomunikacije. Slaviša Aleksić bio je voditelj na većem broju različitih projekata. Autor je i koautor više od sto znanstvenih radova.. Održao je trideset govora i predavanja kao gostujući predavač, a tri je puta nagrađivan za najbolji pisani rad te jednom za najbolji austrijski poslovni plan. Stariji je član IEEE instituta i udruge OVE, MRS i IEICE.

Budući mrežni elementi moraju omogućiti visoke performanse uz istodobno smanjenje potrošnje električne energije što je moguće isključivo zajedničkim naporom istraživačke zajednice, proizvođača mrežne opreme, mrežnih dizajnera i mrežnih administratora.

## AUTOR SLAVIŠA ALEKSIĆ

Kroz posljednja tri desetljeća sektor informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT) razvijao se izuzetno brzo. Tijekom ljudske povijesti ne postoji primjer kad je razvoj tehnologije toliko brzo i temeljito mijenjao način života. ICT je postao sastavni dio našeg svakodnevnog života kroz socijalne interakcije, poslovne procese, tehnologiju i ekologiju. S obzirom na to da ICT uz golemi potencijal donosi i određene rizike, iznimno je važno evaluirati i procijeniti ICT sustave i aplikacije te uzeti u obzir njihove mogućnosti poboljšanja održive globalne energetske proizvodnje. Ovaj se članak fokusira na različite tehnologije i metode uz pomoć kojih možemo izgraditi energetski učinkovite komunikacijske mreže visokih performansi. Ukratko navodimo glavna postignuća i trendove na području energetski visokoeffikasne mrežne infrastrukture. Prezentiran je i suvremeni holistički pristup koji na učinkovit način tretira energiju, entropiju i tok eksergije u heterogenim sustavima kombinirajući termodinamičke i komunikacijske principe.

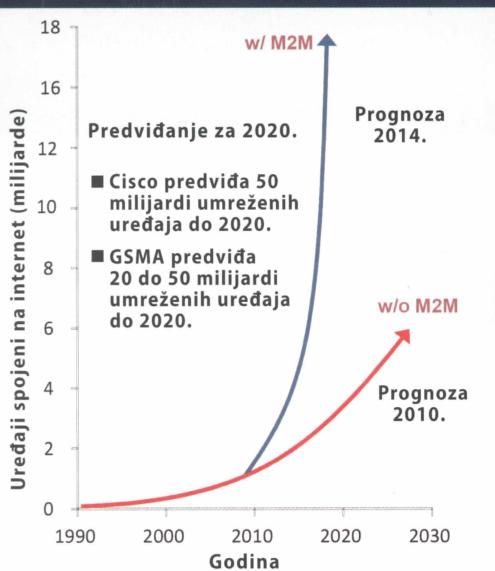
**I**ako su informacijske i komunikacijske tehnologije posljednjih trideset godina doživjele golem razvoj i uvelike su utjecale na mnoga životna područja, njihov je potencijalno pozitivan odnosno negativan utjecaj na okoliš znanstvena i šira zajednica počela razmatrati tek odnedavno.

Tijekom posljednjih godina provedene su mnoge opsežne studije vezane za energetsku učinkovitost ICT sustava, no njihov utjecaj na okoliš još nije temeljito ispitani ni razumljiv. S jedne strane, široka i intenzivna upotreba naprednih ICT aplikacija i servisa jamči značajan razvoj na mnogim područjima poput industrije, logistike, trgovine, zdravstva, školstva te društva općenito. Osim toga ICT aplikacije mogu optimizirati različite procese te poslijedično podržati nove strategije i mehanizme vezane za održivo iskoriščavanje prirodnih resursa. S druge strane, trajan količinski porast ICT opreme te intenzivno korištenje ICT servisa uzrokuje trošenje sve više električne energije. Dodatno, kratak životni vijek uređaja i servisa uzrokuje pojačanu eksploataciju prirodnih resursa i ubrzavanje proizvodnih procesa, posljedica čega je generiranje sve veće količine štetnog elektroničkog otpada koji može našteti okolišu.

Rezimirat ćemo posljednja saznanja vezana za energetsku učinkovitost komunikacijskih mreža te raspraviti mogućnost razvoja i primjene holističkog pristupa u procjeni i proučavanju utjecaja različitih mrežnih koncepta i ICT aplikacija na njihovu energetsku učinkovitost

## Posljednji trendovi u komunikacijskim mrežama

Važnost razmatranja potrošnje električne energije pri razvoju novih tehnologija i koncepta za buduće mreže postaje očigledna kad uzmemo



Slika 1. Posljednji trendovi u broju uređaja spojenih na internet ; M2M machine-to-machine komunikacija.

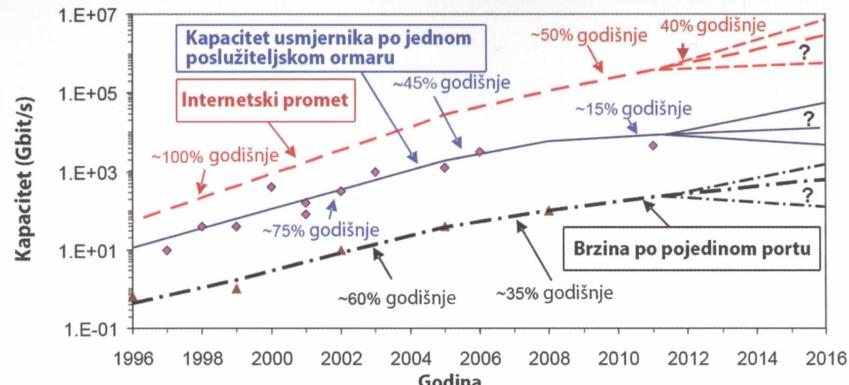
► u obzir trenutno stanje i predviđanje za sljedećih pet do deset godina. Već je 2007. godine uglijčni otisak ICT sektora iznosio je 2 % ukupne globalne emisije što je uspoređivo s uglijčnom emisijom zračnog prometa. U to je vrijeme procijenjena potrošnja električne energije bila iznad 17 TWh što odgovara proizvodnjom volumenu 15 srednje velikih nuklearnih elektrana. Predviđa se da će u 2020. godini ICT sektor sudjelovati u globalnoj emisiji CO<sub>2</sub> s više od 4 %.

Valja napomenuti da oko 51 % potrošnje električne energije iz ICT sektora otpada na telekomunikacijsku infrastrukturu i podatkovne centre. Usprkos svemu, procjenjuje se da bi ICT rješenja mogla reducirati sveukupnu predviđenu globalnu emisiju CO<sub>2</sub> za 14,2 % tijekom 2020. godine. Zadnje procjene taj postotak podiže na 16,5 %. S obzirom na to da ICT sektor troši sve više energije, ali s druge strane pokazuje velik potencijal za uštedu, nije dokraj jasno hoće li u budućnosti ICT biti goleći izvor zagađenja ili će omogućiti mnogo efikasnije i ekološki prihvatljivije upravljanje resursima.

### Povećana potražnja za širokopojasnim internetom

Stalni porast internetskog prometa doveo je do naglog rasta kapaciteta koji mora osigurati mrežna infrastruktura. Istraživanja su pokazala da su privatni korisnici najveći generator povećanog internetskog prometa. To prvenstveno možemo pripisati uvođenju novih aplikacija za privatne korisnike koje zahtijevaju širokopojasni pristup internetu, ali i velikom porastu novih pretplatnika što je vidljivo na slici 1. Zbog istodobnog rasta internetskog prometa te povećanog broja pretplatnika, očekuje se i rast prodaje mrežne opreme te povećanje njenog kapaciteta. Taj trend potvrđuje stalni porast prodanih pametnih telefona i tablet računala. K tomu, u skladu s vizijom trenda *Internet of Things* u doglednoj se budućnosti očekuje povećana komunikacija pametnih, autonomnih uređaja putem interneta. To se naziva **machine-to-machine** (M2M) komunikacija.

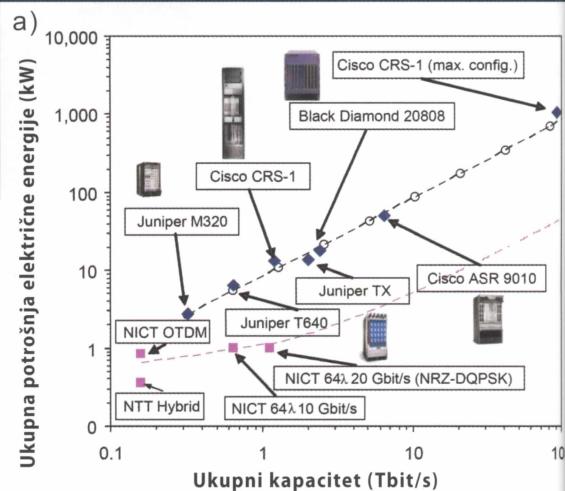
Procjenjuje se da će do 2020. godine na internet biti spojeno 50 milijardi pametnih, autonomnih uređaja. Zbog toga je energetska učinkovitost mrežne opreme i uređaja krajnjih korisnika postala iznimno važna stavka. Povijesni razvoj i projekcije budućih trendova rasta internetskog prometa, kapaciteta *routera* i brzine podatkovnog prometa prikazane su na slici 2. U prošlosti je promet krajnjih korisnika rastao za otprilike sto posto godišnje. Tijekom posljednjih godina taj je rast usporen tako da ukupni volumen prometa globalnih komu-



Slika 2. Posljednji trendovi u Internetskom prometu i kapacitetu usmjernika.

● ● ●

**51 % potrošnje električne energije iz ICT sektora otpada na telekomunikacijsku infrastrukturu i podatkovne centre**



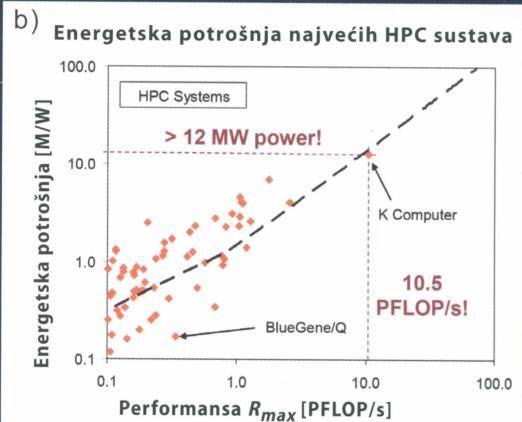
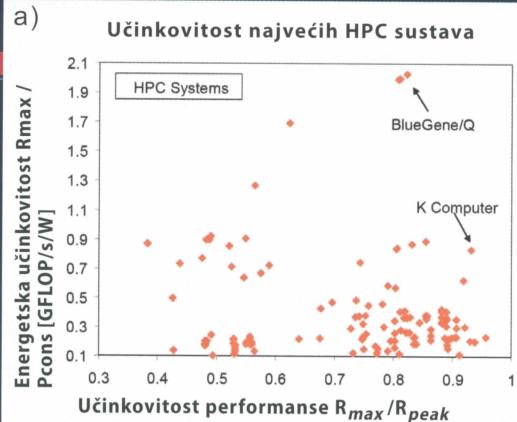
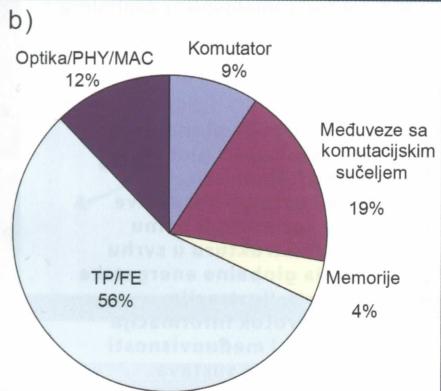
Potrošnja električne energije usmjernika i preklopnika. MAC: Medium Access Control, PHY: Čip na fizičkom sloju, TP: Obrada prometa (Traffic Processing), FE: Forwarding Engine.

nikacijskih mreža raste otprilike 50 % godišnje. Kako bi se održao korak s takvom kontinuiranom potražnjom za propusnim opsegom, kapacitet mrežne opreme mora stalno rasti. Ako uzmemu u obzir IP usmjernike (*routere*), njihov kapacitet po jednom poslužiteljskom ormaru raste manjim stopom od one koju bilježi internetski promet.

Kao što se vidi na slici 2, kapacitet po poslužiteljskom ormaru rastao je oko 75 % godišnje u razdoblju duljem od deset godina. Porast u kapacitetu je posljednjih nekoliko godina smanjen što prvenstveno možemo pripisati sve većoj gustoći energije koncentriranoj na malom prostoru, a to znatno otežava mogućnosti hlađenja. Porast brzine podatkovnog prometa po pojedinom portu također je usporen tijekom posljednjih godina. Dok je u prošlosti brzina po portu rasla s faktorom četiri na sva tri godine ili faktorom deset za otprilike svakih šest, rast sa 40 na 100 Gbit/s - što odgovara faktoru rasta od 2,5 - trajao je duže od tri godine.

Da bi se održao isti rast kao i tijekom posljednjih deset godina već bi trebali biti raspoloživi optički primopredajnici sljedeće generacije koji podržavaju brzine od 1Tbit/s. Slika 3a prikazuje sveukupnu potrošnju električne energije usmjernika kapaciteta do 100 Tbit/s s primjerima usmjernika visokih performansi koji su predstavljeni plavim točkicama. Ova slika pokazuje da potrošnja električne energije usmjernika raste linearno s njihovim propusnim opsegom te da svaka nova generacija usmjernika visokog kapaciteta troši više energije od prethodne. Oko 60 % sveukupno potrošene električne energije usmjernika otpada na obradu IP prometa. Zbog toga najveći potencijal za smanjenje potrošnje električne energije leži u pojednostavljenju mrežne infrastrukture i smanjenju potrebi za usmjeravanje i obradu mrežnih paketa. Na slici 3a prikazano je nekoliko primjera optičkih usmjernika koji su pred-

Trajan količinski porast ICT opreme te intenzivno korištenje ICT servisa zahtijeva sve više električne energije, a kratak životni vijek uređaja i servisa uzrokuje pojačanu eksploraciju prirodnih resursa i ubrzavanje proizvodnih procesa, posljedica čega su sve veće količine štetnog električnog otpada.



Posljednji trendovi u računalstvu visokih performansi.

### Podjela potrošnje električne energije usmjernika po funkcijama jedinicama.

stavljeni purpurnim točkicama i odgovarajućom isprekidanim linijom. Treba naglasiti da oprema za obradu podataka i njihovu pohranu bazirana na optičkoj tehnologiji ima ograničenu kompleksnost. Posljeđično, performanse optičkih usmjernika nisu toliko visoke kao one njihovih elektroničkih pandana. U skladu s tim potrošnja električne energije optičkih usmjernika je značajno niža od potrošnje elektroničkih usmjernika istog kapaciteta.

### Podatkovni centri i računalstvo u oblaku

Promet unutar podatkovnih centara bilježi eksponencijalni rast uslijed uvođenja *cloud-computing* aplikacija. Procjena je da se za svaki bajt korisnikovih podataka koji se prenese internetom, unutar podatkovnog centra ili između njih prenese čak 1 GB podataka. Predviđa se da će količina internetskog prometa koji potječe od podatkovnih centara u 2016. godini dostići vrijednost od 1,3 zetabajta. Istdobro, promet unutar podatkovnih centara već je dostigao 1,8 zetabajta na godišnjoj razini te će do 2016. rasti s faktorom od 3,6 do otprilike 6,6 zetabajta godišnje. To odgovara složenoj godišnjoj stopi rasta od 31 % od 2011. do 2016. Osnovni pokretač takvog rasta je promet računalstva u oblaku za koji se predviđa da će porasti šesterostruko do 2016. godine tako da će zauzimati gotovo dvije trećine sveukupnog prometa podatkovnih centara. Izravna potrošnja električne energije podatkovnih centara pokazuje rapani rast tijekom posljednjih nekoliko godina. Od 2000. do 2005. globalna potrošnja električne energije se udvostručila, a od 2005. do 2010. je rasla oko 56 %.

Procjenjuje se da su podatkovni centri zaslužni za 1,3% od ukupno potrošene električne energije tijekom 2010. godine pa su prepoznani kao značajni potrošači.

### Računala visokih performansi (supercomputers)

Trendovi uočeni kod velikih podatkovnih centara zapaženi su i kod računala visokih performansi (*High-Performance Computers - HPC*). Primjeri nedavno izgrađenih sustava te projekcije potrošnje električne energije računala visokih performansi prikazani su na slici 4. Crvene točkice predstavljaju izbor aktualnih HPC sustava s dva primjera navedena imenom. Jedan je tzv. K Computer koji ima više od 80.000 8-jezgrenih procesnih jedinica (CPU) smještenih u 800 poslužiteljskih ormara i međusobno povezanih s više od milijun linkova. Na slici 4b vidi se da veliki HPC sustavi već danas troše nekoliko MW električne ener-

Definicija	Mjerna jedinica	Komentar
Potrošnja električne energije	[W]	Nevezano za način korištenja
Potrošnja električne energije po potrošaču	[W/subscriber]	Nevezano za način korištenja
Potrošnja električne energije po površini	[W/km <sup>2</sup> ]	Nevezano za način korištenja
Potrošnja električne energije po potrošaču i površini	[W/subscriber/km <sup>2</sup> ]	Nevezano za način korištenja
Potrošnja električne energije po bitu kapaciteta	[W/bit/sec = J/bit]	Nevezano za način korištenja
Potrošnja električne energije po bitu propusnog opsega	[W/bit/sec = J/bit]	Nevezano za mogući potencijal (teorijski limit)
EEF=10log <sub>10</sub> [Energy/bit/(k <sub>b</sub> Tln2)]	[dB <sub>E</sub> ]	Obrnuto proporcionalno učinkovitosti

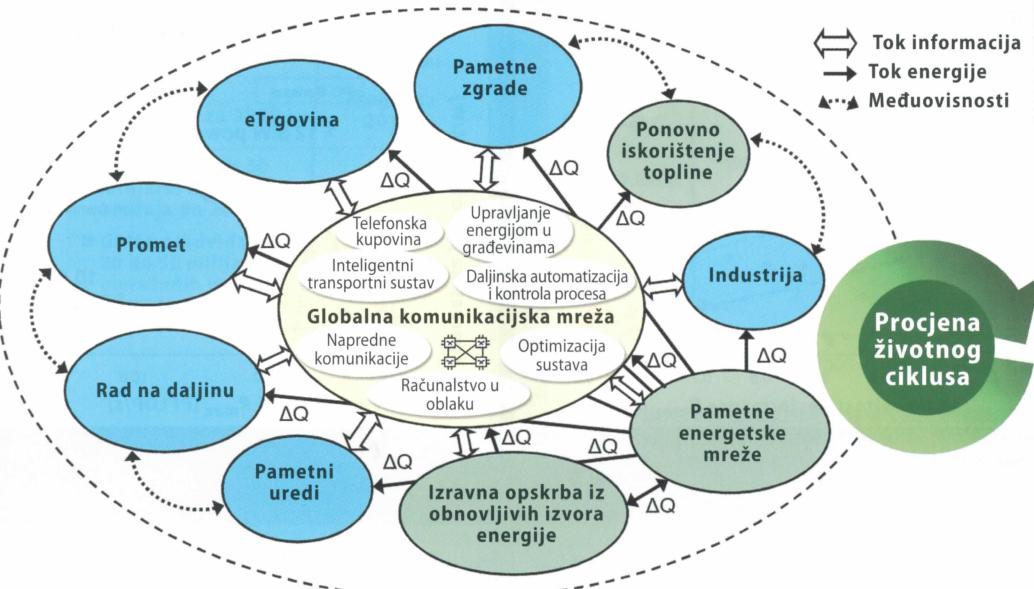
### Metrike energetske učinkovitosti (EEF: Energy Efficiency Figure).

gije. Buduća *exascale* računala vjerojatno će trošiti više od 20 MW te će iziskivati iznimno učinkovite sustave napajanja i hlađenja. Zbog toga treba usmjeriti velike napore u istraživanje i razvoj energetski efikasnijih struktura i tehnologija kako bi se omogućilo buduće skaliranje po kapacitetu i performansama.

### Metode za poboljšavanje energetske učinkovitosti komunikacijskih mreža

Široko je prihvaćena činjenica da budući mrežni elementi moraju omogućiti visoke performanse uz istodobno smanjenje potrošnje električne energije. Tako visoki zahtjevi mogu biti zadovoljeni isključivo zajedničkim naporom istraživačke zajednice, mrežnih dizajnera i mrežnih administratora. Taj ambiciozni cilj može se postići razvojem i primjenom energetski učinkovitih transmisijskih sustava i sustava obrade podataka, prilagodljivih transmisijskih linkova dinamičkim upravljanjem energijom te dinamičkim isključivanjem ili hiberniranjem transmisijskih linkova i mrežnih adaptera koji nisu u upotrebi. Dokazano je da se značajne uštide u potrošnji električne energije mogu postići optimizacijom mrežne infrastrukture i arhitekture mrežnih elemenata uzimajući u obzir potrošnju električne energije. Energetski učinkovita tehnologija mrežnih komutatora, energetski svjesni usmjernici, algoritmi za usmjeravanje i pridruživanje valnih duljina, višerazinsko inženjerstvo prometa te njegova međuslojna optimizacija predstavljaju primjere metoda koje mogu biti implementirane sustavno u svrhu uštude električne energije.

● ● ●  
**Promet podatkovnih centara eksponencijalno raste uslijed uvođenja *cloud-computing* aplikacija. Za svaki bajt korisnikovih podataka, prenese se čak 1 GB unutar podatkovnog centra.**



Već je 2007. godine ugljični otisak ICT sektora iznosio 2 % ukupne globalne emisije što je uspoređivo s ugljičnom emisijom zračnog prometa. U 2020. godini će ICT sektor sudjelovati u globalnoj emisiji CO<sub>2</sub> s više od 4 %.

**Okvirna ilustracija globalnog sustava, uključujući globalnu komunikacijsku mrežu, aplikacije i ostale podsustave koji mogu koristiti globalnu mrežnu infrastrukturu u svrhu poboljšanja globalne energetske učinkovitosti. Ilustracija prikazuje i protok informacija i energije kao i međuvisnosti unutar globalnog sustava.**

## ► Metrika energetske učinkovitosti

Mora se definirati adekvatna metrika za procjenjivanje i usporedbu energetske učinkovitosti različitih sustava. Metrike energetske učinkovitosti koje su danas u upotrebi uglavnom ne uzimaju u obzir intenzitet korištenja i mogući potencijal. Primjeri takve metrike su apsolutna potrošnja energije i potrošnja energije po korisniku, po površini i kapacitetu mreže. Nova metrika ukazuje na iskoristivost sustava i na potencijal povećanja učinkovitosti te je nužna za razumnu i nepristranu usporedbu heterogenih sustava.

## Holistički pristup održivim mrežama

Sveukupni utjecaj ICT-a na okoliš možemo klasificirati na direktnе, indirektnе i sustavne efekte. Izravni učinci utjecaja na okoliš povezani su sa životnim ciklusom ICT infrastrukture, uključujući proizvodnju, upotrebu, recikliranje i na koncu odlaganje. Pod neizravnim učincima podrazumijevamo pojave koje se manifestiraju kao ušteda energije na drugim područjima zbog korištenja softverskih aplikacija i ICT servisa. Konačno, sustavni se efekti odnose na srednjoročne i dugoročne promjene u navikama i ekonomskoj strukturi koje potječe od permanentne dostupnosti ICT aplikacija i servisa te uključuju i netehničke faktore poput promjene životnog stila. Studija vezana za direktnе utjecaje trebala bi obuhvatiti kompletni životni ciklus telekomunikacijske mrežne opreme i uredaje krajnjih korisnika. Međutim, kao što smo ukratko opisali većina dosadašnjih studija koncentrirana je na reduciranje potrošnje električne energije koja se troši tijekom razdoblja aktivnog korištenja

takve opreme. Izravni, neizravni i sustavni učinci mogu se razmatrati jedino uz pomoć holističkog pristupa poput onoga prikazanog na slici 5. Prikazani holistički pristup koristi često upotrebljavane termodinamičke alate u svrhu otkrivanja i modeliranja tokova energije i entropije unutar heterogenih sustava kao i na granicama tih sustava, uzimajući istodobno u obzir njihove posebnosti. Konkretno, potencijal ICT aplikacija i servisa može se procjenjivati i na temelju potencijalnih poboljšanja u energetskoj učinkovitosti koja postižemo njihovim korištenjem. Utjecaj globalne komunikacijske mreže -interneta - na globalnu energetsku učinkovitost, okoliš i održivi razvoj također se može procijeniti na temelju izravnih, neizravnih i sustavnih učinaka.

## Model komunikacijskih mreža

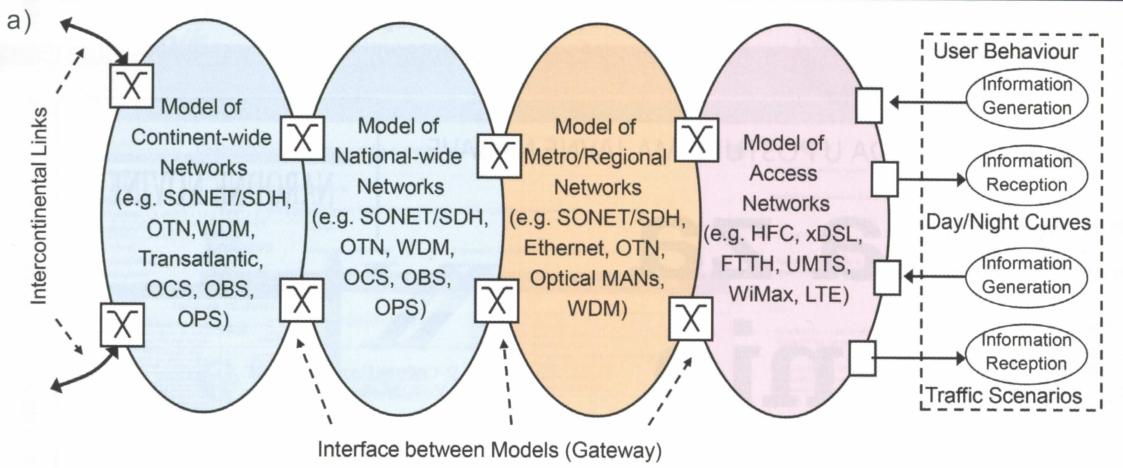
Model komunikacijskih mreža koji je središnji dio globalnog sustava - kao što je prikazano na slici 5 - trebao bi osim tehnoloških aspekata i različitih realizacijskih opcija uzeti u obzir i socijalne, ekonomske i demografske posebnosti kao i potencijalni budući razvoj. Takav bi model mogao sadržavati veći broj podmodela nužnih za detaljno proučavanje različitih mrežnih područja i tehnologija, dok se sveukupna slika može dobiti udruživanjem pojedinih podmodela u jedan globalni hijerarhijski model ograničene kompleksnosti. U tu svrhu, globalna komunikacijska mreža može biti podijeljena na različita područja temeljena na geografskim, tehnološkim i operacijskim aspektima. Za svako mrežno područje može biti razvijen posebni simulacijski model koji će uzeti u obzir sve posebnosti konkretnog mrežnog područja poput adekvatne mrežne tehnologije, topologije, konfiguracijske parametre te realne scenarije mrežnog prometa (vidi sliku 6).

Podmodeli mogu biti međusobno povezani hijerarhijski. Najnižu razinu hijerarhije predstavlja bi mrežni segment najbliži generatorima prometa (uređajima krajnjih korisnika), a najvišu bi predstavljali visokokapacitetni linkovi daljinskih komunikacija (npr. međukontinentalni linkovi). Za podjelu globalne komunikacijske mreže u podmodele vjerojatno je najlogičniji način po geografskom ključu gdje imamo posebne modele za lokalne, gradske, regionalne i kontinentalne mreže. Za svaki od navedenih podmodela možemo uzeti u obzir različite mrežne koncepte i transmisijske tehnologije kao što je prikazano na slici 6a. Statički podaci o populaciji, ICT aplikacijama i servisima kao i model koji prikazuje korisničke navike mogu biti iskorišteni za postavljanje parametara vezanih za generatore prometa. Slikoviti primjer načina na koji možemo definirati uzorke prometa je prikazan na slikama 6b, 6c i 6d. Tu možemo promatrati glavne karakteristike različitih aplikacija poput prosječne i maksimalne brzine prijenosa podataka, odgovarajuće distribucijske funkcije te njihovo prosječno korištenje tijekom jednog dana. Tako možemo uočiti utjecaj novih aplikacija, uključujući i navike njihovih korisnika, u svrhu definiranja



● ● ●  
Značajne uštede u  
potrošnji električne  
energije mogu se  
postići optimizacijom  
mrežne infrastrukture  
i arhitekture mrežnih  
elemenata

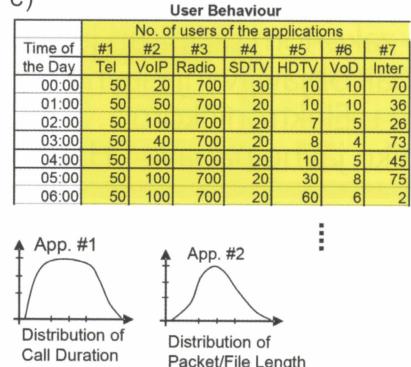
Hijerarhijski pristup za ocjenjivanje performanse i energetske učinkovitosti globalnih komunikacijskih mreža; b), c) i d) hipotetski primjeri aplikacijskih karakteristika i korisničkih navika; b) aplikacijske karakteristike, c) korisničke navike u odnosu s konkretnim aplikacijama i d) primjer koji ilustrira promet pojedinih aplikacija tijekom jednog dana.



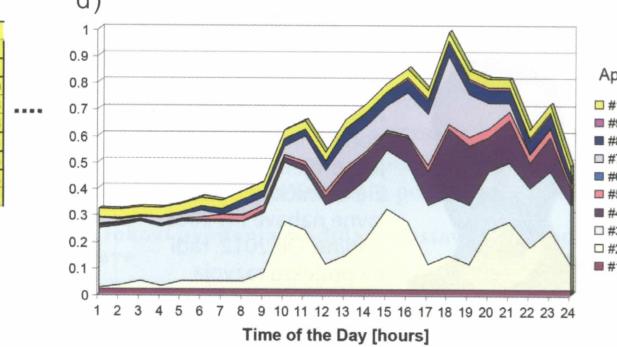
b)

App. No.	Description	Data rate [Mbit/s]		
		DS	US	Total
#1	Telephone (local provider)	0.064	0.064	0.128
#2	VoIP (over Internet)	0.064	0.064	0.128
#3	Digital Radio	0.128	0	0.128
#4	SDTV (Broadcast)	2	0	2
#5	HDTV (Broadcast)	20	0	20
#6	VoD (Video on demand)	2	0	2
#7	Classic Internet Services	0.04	0.04	0.08
#8	Filesharing	20	10	30
#9	Videostreaming	2	0	2
#10	Online Gaming	1	1	2
#11	Videoconference	2	2	4
#12	Home Office via VPN	1	1	2
#13	Cloud Storage & Processing	1	1	2
#14	Remote Home Monitoring	0.005	0.8	0.805

c)



d)



različitih scenarija njihovog budućeg razvoja. Sučelje između dva podmodela (tj. između dvije hijerarhijske razine) je definirano količinom i karakteristikom sveukupnog poslanog i primljenog prometa od poveznice koja povezuje ta dva mrežna područja. Pri razvoju podmodela mogu se poduzeti sljedeći koraci:

- Prvo, mrežni se čvorovi modeliraju uzimajući u obzir tehnološke i arhitekturne aspekte.
- Nakon toga mrežni se podmodeli razvijaju uzimajući u obzir različite koncepte, topologiju, komunikacijske protokole i različite prometne scenarije.
- Ukupna potrošnja električne energije podmodela računa se koristeći realne vrijednosti za svaki funkcionalni sastavni blok i u skladu s realnim iskorištenjem mrežnih elemenata.

• Na koncu, protok informacija i energije kroz cijelokupnu globalnu komunikacijsku mrežu možemo promatrati i evaluirati definirajući i implementirajući sučelja između konkretnih podmodela.

### Procjena životnog ciklusa na temelju eksurgije

Kako bismo izgradili holistički okvir, ukratko opisan model komunikacijskih mreža može biti proširen tako da u njega integriramo neke široko primjenjive zakone termodinamike. Vrlo koristan koncept koji potječe od drugog zakona termodinamike naziva se eksergija. Ona se može upotrijebiti za jasno otkrivanje manjkavosti procesa detektiranjem gubitska energije. U biti eksergija je energija na raspolaganju za korištenje tj. dio energije koji može biti pretvoreno u koristan rad. Analiza eksergije se često primjenjuje u industrijskoj ekologiji kako bi se pronašli potencijali za poboljšanje iskoristivosti resursa i smanjenje utjecaja na okoliš. Efikasnija eksergija tj. manji gubici energije, osigura bolju održivost promatranog sustava ili pristupa. Procjena životnog ciklusa (*Life cycle assessment – LCA*) je tehniku uz pomoć koje evaluiramo utjecaje na okoliš pojedinog proizvoda ili procesa tijekom cijelog

● ● ●  
**Veliki HPC sustavi već danas troše nekoliko MW električne energije. Buduća exascale računala vjerojatno će trošiti više od 20 MW te će iziskivati iznimno učinkovite sustave napajanja i hlađenja.**

njegovog životnog ciklusa (npr. rudarenje sirovina, proizvodnja, transport, aktivno korištenje, održavanje te na koncu recikliranje). LCA analiza osigurava uvid u sustav tijekom cijelog njegovog životnog ciklusa i omogućuje definiranje njegovih ograničenja, istodobno nam olakšavajući donošenje odluka vezanih za optimizaciju sustava. Pristup koji kombinira koncept eksergije s LCA analizom naziva se *exergy-based LCA (E-LCA)*. S obzirom na to da je E-LCA univerzalno primjenljiva metoda procjene efikasnosti pojedinog procesa, vrlo je pogodna za proučavanje održivosti heterogenih sustava. Odnedavno se E-LCA primjenjuje za procjenu održivosti ICT infrastrukture i aplikacija. Preliminarni rezultati takvih istraživanja su ukazali na važnost održivog tehnološkog razvoja koji

će uz visoku razinu inovacija osigurati i duži životni vijek ICT uređaja. Iako snažan tehnološki razvoj može dovesti do visokih performansi i visoke energetske učinkovitosti ICT opreme, na održivost cijelokupnog sustava snažno utječe kratki životni vijek uređaja krajnjih korisnika, što dovodi do značajnog porasta u količini zadržane eksergije i ima snažan utjecaj na okoliš.

### Što nam je činiti?

Nedavni i budući trendovi u sektoru informacijskih i komunikacijskih tehnologija, a posebice one vezane za tehnologiju i aplikacije komunikacijskih mreža, upozoravaju na hitnu potrebu za optimizacijom i efikasnijim korištenjem energije. S obzirom na to da je ICT postao sastavni dio našeg poslovnog i svakodnevnog života, kompleksne međuovisnosti između ICT-a i različitih poslovnih i društvenih područja gdje se ICT primjenjuje mogu se ispravno tretirati isključivo uz holistički pristup. Takav holistički pristup analizi heterogenih sustava u okvir životnog ciklusa ICT opreme uvrštava termodinamičke i komunikacijske pristupe i tako vrednuje njenu ekološku održivost kao dio globalnog sustava.