

MODEL REZIDENCIJALNOG POTROŠAČA ZA MULTI-AGENT SIMULATOR POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

HOUSEHOLD MODEL FOR MULTI-AGENT ELECTRICITY CONSUMPTION SIMULATOR

Oliver Vojinović¹, Ivan Z. Milentijević¹, Vladimir Ćirić¹, Andrija Vukašinović²

¹*Elektronski fakultet u Nišu*

²*P.D. ED Jugoistok d.o.o Niš*

Sadržaj – Prognoze u oblasti potrošnje električne energije imaju veliki značaj za elektrodistributivne kompanije ali i za institucije državnog i globalnog nivoa. Rezidencijalni potrošači, kao kombinovani socio-tehnički sistemi teško se modeluju klasičnim pristupima modelovanju i simulaciji. U radu je diskutovana mogućost modelovanja rezidencijalnog potrošača električne energije kao makroagenta sastavljenog od više agenata. Model sadrži ugrađena znanja iz ekonometrijskog istraživanja i elemente inženjerskog pristupa modelovanju potrošača. Predloženi model potrošača je pogodan za inkrementalni razvoj i uspešno se može upotrebiti u simulaciji elektrodistributivnog sistema električne energije sa rezidencijalnim potrošačima kao krajnjim korisnicima u cilju predviđanja krive opterećenja.

Abstract – *Forecasting in electricity consumption area is of great importance for power companies, as well as for national and global institutions. Households, as combined socio-technical systems are difficult for modeling using classical approaches to modeling and simulation. This paper analyzes possibilities of household modeling as a macro agent which is composed of multiple agents. Household model is based on knowledge from econometric research and elements of engineering approach to household modeling. Proposed approach can be used for incremental development of a household model and it can be used for electricity consumption simulation with aim to forecast load curve.*

1. UVOD

Obim i složenost sistema distribucije električne energije čine sposobnost predviđanja potrošnje vrlo značajnom, ako ne i kritičnom mogućnošću kojom treba da vladaju kompanije koje se bave proizvodnjom ili distribucijom električne energije, ali i institucije nacionalnog i globalnog nivoa. Zadatak precizne prognoze potrošnje nije nimalo lak uzimajući u obzir uticaje svih značajnih ekonomskih, socijalnih i tehnoloških faktora [1]. Pri tome, cena grešaka u prognozi je vrlo visoka. Na primer, postoji istraživanje u Velikoj Britaniji u kome je procenjeno da bi povećanje greške u godišnjoj prognozi potrošnje za 1% dovelo do povećanja operativnih troškova elektroenergetskog sistema za oko 10 miliona funti [2]. Zato su tokom vremena razvijena brojna egzaktna sredstva [1, 2] za predviđanje potrošnje električne energije.

Pred metode za predviđanje potrošnje se postavljaju različiti zahtevi u pogledu vremenskog perioda u kome se zahteva prognoza, rezolucije prognoze, ali i u pogledu vrsta informacija koje se traže. Tako se predviđanja sprovode za prognozu kretanja opterećenja do jedan čas unapred sa rezolucijom od jednog minuta (vrlo kratkoročna prognoza), ali i za predviđanje potrošnje u toku narednog dana ili nedelje (kratkoročna prognoza), za narednu godinu (srednjeročna) ili naredni period od deset ili više godina (dugoročna prognoza). Pri tome kratkoročna prognoza treba da pruži krivu opterećenja sa jako dobrom rezolucijom, a od dugoročne prognoze se zahteva procena trendova ukupne potrošnje.

U literaturi se mogu naći brojni modeli i pristupi za rešavanje problema predviđanja potrošnje električne energije od strane krajnjih korisnika i uglavnom se mogu svrstati u jednu od dve glavne grupe: inženjerski i ekonometrijski pristup [3]. Inženjerski modeli se zasnivaju na poznavanju tehničkih i građevinskih osobina objekata na osnovu čega se predviđaju zahtevi u pogledu potrošnje, i na dekompoziciji potrošnje električne energije na različite prijemnike u domaćinstvu i udelu koji ti prijemnici i imaju u ukupnoj potrošnji domaćinstva. Jedan od najpoznatijih inženjerskih modela je norveški *bottom-up* model ERÅD [3] i on uključuje veliki broj obrazaca, parametara i ulaznih veličina, prikupljenih ispitivanjima na terenu, eksperimentima, merenjima i teoretskim razmatranjima. Korišćenjem ulaznih parametara, model izračunava električnu energiju potrebnu za grejanje, zagrevanje vode, osvetljenje i ostale električne uređaje u domaćinstvu. Ekonometrijski metodi [3-5] koriste različita ispitivanja na terenu da bi procenjivali potrošnju za različite korisnike. Ovi modeli se oslanjaju na ankete i istraživanja koja daju podatke o ukupnoj potrošnji, karakteristikama domaćinstava, prisustvu prijemnika i ekonomskim parametrima. Nad prikupljenim podacima se zatim primenjuju jako razvijene ekonometrijske tehnike i dobijaju se vrlo dobri rezultati, pod uslovom da su prikupljeni podaci dovoljno reprezentativni. Dobijanje reprezentativnih podataka međutim zahteva opsežna istraživanja, u pogledu vremena i veličine grupe potrošača koja se istražuje. Jedan od uspešnijih je tzv. Finski eksperiment, opisan u [4], koji je obavljen u saradnji sa najvećim finskim proizvođačem električne energije i dve distributivne kompanije. Eksperimentom je praćeno 80 potrošača u periodu od pet godina.

Iako su se brojni istraživači bavili proučavanjem uticaja različitih faktora na potrošnju električne energije, iznenađujuće je malo izvora koji predviđaju uticaj politika tarifiranja [5]. Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine finansira projekat „Simulator potrošnje električne energije u elektroenergetskom sistemu sa dinamičkom dodelom tarifa - SIMEPS“ čiji je glavni cilj da predvidi uticaj različitih politika dinamičkog tarifiranja električne energije na krivu opterećenja rezidencijalnih potrošača u Srbiji i korišćenjem računarske simulacije utvrdi promenu krive opterećenja u zavisnosti od primenjene politike dinamičkog tarifiranja. Simulator u osnovi treba da predvidi dnevni oblik krive opterećenja koju daje domaćinstvo i elektrodistributivni podsistem koji snabdeva poznatu grupu domaćinstava po socio-demografskoj strukturi.

Po karakteristikama simulacije i zahtevanim informacijama simulator koji se razvija u okviru projekta SIMEPS treba da ima daljinu predviđanja srednjeročnog, a rezoluciju kratkoročnog simulatora, što otežava primenu strategija primenjivih na srednjeročne ili kratkoročne simulacije. Sa druge strane, od presudnog uticaja na promene krive opterećenja kao odgovor na različite politike tarifiranja su reakcije ljudi rezidenata u domaćinstvu.

Više autora je pokazalo da je sisteme koji zavise od ponašanja ljudi često teško ili čak nemoguće modelovati analitičkim metodama, tj. jednačinama [6, 7], već treba razviti nove metode gde se mogu ugrađivati heuristike i gde se mogu tražiti rešenja bez neophodnosti poznavanja analitičkih zavisnosti koje vladaju. U ovakvim slučajevima rešenja se sve češće baziraju na multi-agent simulaciji i naprednim algoritmima koji se koriste za imitiranje ponašanja ljudi u pogledu dela ponašanja koje je relevantno za ciljeve simulacije. Multi-agent simulacija se bazira na realizaciji multi-agent sistema u simuliranom ambijentu i virtualnom vremenu. Aktivni entiteti u sistemu su agenti koji autonomno odlučuju o svom ponašanju i interaguju sa svojim okruženjem. Okruženje jednog agenta čine drugi agenti i entiteti ambijenta (npr. resursi, okolnosti). Interakcija agenta sa okruženjem je glavni pokretač ponašanja simuliranog sistema i kritična tačka njegovog ispravnog modelovanja. Multi-agent simulacija se smatra pogodnijom od tradicionalnih metoda simulacije za modelovanje u raznim oblastima, među kojima su i socio-tehnički sistemi [8], kakav je rezidencijalni potrošač električne energije koji je predmet našeg istraživanja.

Cilj ovog rada je formiranje modela rezidencijalnog potrošača koji je upotrebljiv za korišćenje u multi-agent simulatoru. U radu će biti razmotrena mogućnost modelovanja rezidencijalnih potrošača u pogledu trošenja električne energije. Biće predložena mogućnost alokacije agenata na činioce jednog domaćinstva i metod modelovanja interakcija koji omogućavaju inkrementalno razvijanje modela do postizanja replikativne valjanosti. Predloženi model je realizovan na konceptualnom nivou i nivou specifikacije. Objektna reprezentacija modela će biti prikazana.

Multi-agent simulacija predstavlja populaciju rezidencijalnih potrošača predstavljenih svojim modelima. Populacija se kreira na osnovu statističkih raspodela pojedinih prijemnika u domaćinstvima i drugih osobina domaćinstava. Pri kreiranju populacije i formiranju multi-agent simulacije pogodno je koristiti metod selekcije agenata različitih sorti opisan u [7]. Osobine domaćinstava se dobijaju logičkim razmatranjem i anketiranjem na terenu, zatim od Zavoda za statistiku, EPS-a. Početni skup čine podaci dobijeni analizom ankete nad ciljnim grupama potrošača [9]. Za podešavanje raspodela karakteristika pogodno je iskoristiti genetički algoritam, gde se simulirana populacija poredi sa poznatom fizičkom populacijom potrošača kojoj se meri potrošnja a poznaju karakteristike. Neophodno je takođe da postoji mogućnost podešavanja veličine populacije, grupisanja potrošača i topologije elektrodistributivne mreže.

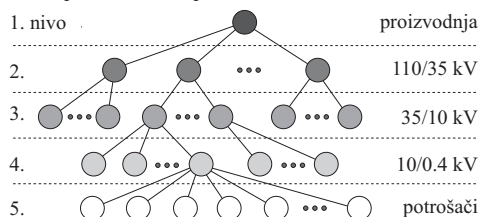
2. REZIDENCIJALNI POTROŠAČ ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kao rezidencijalni potrošač električne energije u elektrodistributivnom sistemu posmatra se jedno porodično domaćinstvo u kome stalno ili privremeno borave ljudi, gde potrošnju struje ostvaruju prijemnici električne energije (uređaji u domaćinstvu) i gde se ukupni utrošak električne energije u određenom periodu evidentira preko brojila (strujomera). Potrošnja električne energije je određena uslovima ambijenta (klimatski faktori, priroda stambenog prostora), prisutnim prijemnicima, kao i potrebama i navikama rezidenata koji čine jednog potrošača.

U cilju identifikovanja zavisnosti različitih faktora i raznovrsnosti potrošača u prethodnom istraživanju u okviru projekta SIMEPS identifikovani su tipične grupe potrošača na teritoriji ED Niš nad kojima je sprovedena anketa i uočena statistička raspodela značajnih osobina kao što su: struktura porodice, klase ljudi (zaposleni, učenici, deca...), osobine stambenog prostora u pogledu površine, načina i režima grejanja, zatim prisustvo, brojnost i navike korišćenja prijemnika koji su značajni potrošači električne energije [9].

Potrošači u elektrodistributivnom sistemu su organizovani u grupe koje su određene topologijom povezivanja na mrežu trafo stanica. Postoje tri nivoa hijerarhije povezivanja i u prvoj aproksimaciji elektrodistributivni sistem se može posmatrati kao stablo sa pet nivoa (slika 1). U korenu stabla je proizvodnja električne energije, tri naredna nivoa čine trafo stanice u kojima se vrši transformacija (smanjivanje) napona do naponskog nivoa koji se isporučuje potrošačima, dok su listovi stabla sami potrošači. U realnom slučaju elektrodistributivni sistem je mnogo složeniji od naše prve aproksimacije, i to iz više razloga: veze između trafostanica su često višestruke i promenljive (tzv. udvojeno napajanje), postoje delovi mreže gde ne postoji nivo 3 (slika 1) već se transformacija obavlja sa 110kV na 10kV i konačno, proizvodnja električne energije se ne može posmatrati kao jedinstven čvor. Ako se uzmu u obzir ovi činiooci, stablo iz prve aproksimacije u prva četiri

nivoa se mora predstaviti kao graf, ali će za naše razmatranje, obzirom da se u istraživanju pre svega bavimo pojedinačnim potrošačima, i opisana prva aproksimacija biti dovoljna.



Slika 1 Elektrodistributivni sistem u prvoj aproksimaciji

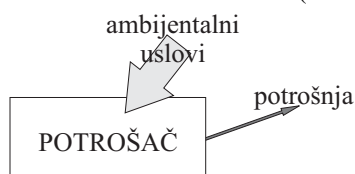
3. POTROŠAČ ELEKTRIČNE ENERGIJE KAO MAKROAGENT

Ekonometrijski pristup se pokazao kao vrlo precizan u predikciji potrošnje električne energije ali zahteva opsežno istraživanje na terenu. Sa druge strane, inženjerski pristup je prihvatljiviji po opsegu (i ceni) istraživanja, ali je teško primenljiv za predviđanje preciznog ponašanja potrošača u toku vremena, što je glavni cilj našeg istraživanja. Iz ovih razloga rešenje treba tražiti u kombinovanju znanja stečenog ekonometrijskim istraživanjem manjeg obima i inženjerskog modela domaćinstva sa ugrađenom dnevnom dinamikom uključivanja prijemnika električne energije. Jedan od pristupa kojim se mogu kombinovati ovi metodi jeste multi-agent simulacija.

Sa aspekta multi-agent simulacije domen problema se opisuje agentima, ambijentom i interakcijama između agenata. Pri projektovanju mikro-agent simulatora, pored identifikovanja agenata i modelovanja njihovog ponašanja, potrebno je rešiti i sledeće ključne probleme:

- generisanje (proizvodnja) agenata, njihovih parametara i njihova klasterizacija (grupisanje u vrste ili *sorte* agenata),
- komunikaciju agenata,
- komunikaciju sa ambijentom.

Posmatrajući domen problema, najprirodniji izbor agenata jesu potrošači. Potrošač je elementarni entitet u elektrodistributivnom sistemu, ispoljava autonomno ponašanje i odlučivanje nezavisno od drugih potrošača. Komunikacija potrošača kao kandidata za agente u mikro-agent simulaciji je dvojaka (slika 2): ulazna (senzorna) komunikacija je prihvatanje ambijentalnih informacija (npr. promene u klimatskim uslovima, smena dana i noći, smena tarifa električne energije itd.), a izlazna (aktuatorska) komunikacija se svodi na saopštavanje trenutne potrošnje prethodnjem nivou stabla elektrodistributivne mreže (slika 1).



Slika 2 Rezydencijalni potrošač električne energije

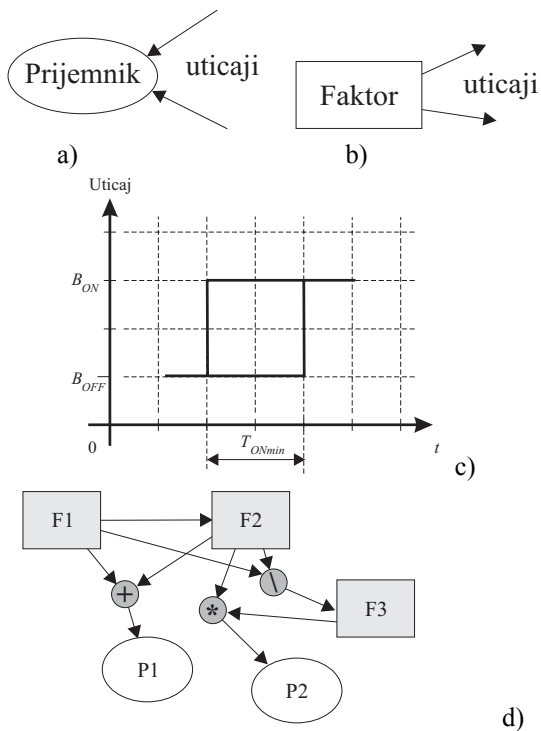
Problem u izboru potrošača za agenta multi-agent simulacije je u njegovoj složenosti koja vodi teškoj identifikaciji sorti agenata. Iako je jednostavno grupisati domaćinstva po nekom od, za potrošnju električne energije, značajnih kriterijuma, kao što je struktura porodice, način grejanja ili struktura stambenog prostora [9], broj značajnih parametara (praktično broj stepena slobode) i broj grupa po svakom parametru dovodi do velikog prostora sorti potrošača pa će za praktičan broj agenata sa kojim će operisati multi-agent simulacija postojati uglavnom po jedan primerak svake sorte, što ne predstavlja klasterizaciju agenata. Drugi problem, do koga dovodi složenost domaćinstva kao elementarnog agenta, je kreiranje agenta. Zavisnosti između činilaca jednog domaćinstva su jako složene i njihova raznovrsnost je velika pa je jako teško isprojektovati automatsku proizvodnju agenata, već bi bilo potrebno zasebno programirati svaku od mnogobrojnih sorti agenata. Ovakav model bi bilo jako teško proširivati i modifikovati pa bi napredak tokom istraživanja bio znatno otežan, ili potpuno onemogućen. Iz ovih razloga se nameće potreba za sitnijom granularnošću agenata. Domaćinstvo (potrošač) se na nivou simulacije i dalje posmatra kao elementarni entitet sa slabim interakcijama, ali je njegova struktura u stvari složena, ono predstavlja makroagent sastavljen od više agenata. U ovom slučaju je intenzivna interakcija agenata lokalizovana i enkapsulirana na nivou jednog makroagenta.

4. KONCEPTUALNI MODEL POTROŠAČA

Da bismo prevazišli napred opisane probleme, za konceptualni model potrošača predložimo model makroagenta koji je sastavljen iz više agenata, u koji su ugrađena znanja iz ekonometrijskog istraživanja i elementi inženjerskog pristupa modelovanja potrošača električne energije.

Rezydencijalni potrošač u predloženom modelu čini skup prijemnika, skup faktora i skup njihovih međusobnih interakcija. **Prijemnici** (slika 3.a) su agenti koji ispoljavaju potrošnju električne energije i u toku vremena bivaju uključeni ili isključeni. U prvoj aproksimaciji usvojili smo da prijemnici mogu da budu samo uključeni ili isključeni, mada realni prijemnici u domaćinstvu često imaju više režima potrošnje, ali se može pokazati da se jedan takav prijemnik može predstaviti grupom prijemnika sa jednostavnom potrošnjom (sa dva stanja potrošnje). Suma potrošnje svih uključenih prijemnika daće ukupnu potrošnju potrošača u jednom trenutku. Na promenu stanja potrošača utiču **faktori** (slika 3.b) koji mogu da predstavljaju rezidente u jednom domaćinstvu, ali i ambijentalne uslove unutar potrošača ili izvan njega. Faktori emituju **uticaje** kojima deluju na uključivanje i isključivanje prijemnika ili na druge faktore zbog čega se modifikuju uticaji koje drugi faktori emituju. Pojedine sorte prijemnika mogu imati sopstveni radni ritam (npr. frižider ili grejna tela sa termostatom), pa njihovo uključivanje ili isključivanje određuje i ovaj ritam, pored uticaja.

Svaki faktor i prijemnik poseduje svoj skup osobina (*properties*) koje ga karakterišu. Osobine faktora određuju na koje će faktore i prijemnike on emitovati uticaje i oblike samih uticaja. Osobine prijemnika određuju karakteristike potrošnje i režim uključivanja i isključivanja. Prijemnik ima i dve specijalne osobine: snagu i **histerezis** (slika 3.c). Prijemnik će se uključiti samo ukoliko uticaj na njega pređe njemu svojstven prag uključivanja B_{ON} i ostaće uključen najmanje T_{ONmin} vremena, a posle toga će se isključiti kada uticaj na njega spadne ispod praga isključivanja B_{OFF} . Važno je naglasiti da ovaj histerezis ne predstavlja realni histerezis koji poseduju pojedini prijemnici (npr. grejna tela sa termostatom), već se na ovaj način obezbeđuje stabilnost modela. Dimenzije histerezisa (B_{ON} , B_{OFF} , T_{ONmin}) mogu biti konstantne za određeni prijemnik ili sortu prijemnika, ali se mogu i dinamički utvrđivati. Tako T_{ONmin} može direktno da zavisi od vrednosti uticaja koja je dovela do uključivanja. Npr. što je manja verovatnoća koja je dovela do uključivanja sijalice, minimalno vreme koje će provesti upaljena je kraće.



Slika 3 Konceptualni model rezidencijalnog potrošača (a) prijemnik (b) faktor (c) histerezis prijemnika (d) primer uticaja i zavisnosti između uticaja

Faktori emituju zasebne uticaje za svaki faktor ili prijemnik na koji utiču. Ukoliko je jedan faktor ili prijemnik podvrgnut većem broju uticaja, uticaji se međusobno kombinuju binarnim operacijama koje smo nazvali zavisnostima (slika 3.d). Proučavajući domen problema i u skladu sa napred navedenim, predlažemo četiri pogodne prirode zavisnosti:

- aditivna zavisnost (+), kada je rezultujući uticaj jednak zbiru dva uticaja,
- multiplikativna zavisnost (*), kada je rezultujući uticaj jednak proizvodu dva uticaja,

- max-preklapajuća zavisnost (Ω), kada rezultujući uticaj dobija vrednost većeg od dva uticaja,
- isključujuća zavisnost (\wedge), kada prisustvo jednog uticaja, ma kolika njegova vrednost bila mala (ali različita od nule), isključuje drugi uticaj

Zadatak potrošača kao makroagenta je sada mnogo jednostavniji i svodi se na:

- obezbeđenje komunikacije između faktora i prijemnika. Tačnije, održavanje struktura podataka koje obezbeđuju potrebnu navigabilnost između elemenata modela potrošača;
- prikupljanje i sabiranje informacija o trenutnoj potrošnji svih prijemnika za potrebe formiranja svoje krive potrošnje;
- obezbeđivanje ispravne distribucije uticaja spoljnjih faktora ka ispravno određenim unutrašnjim faktorima i prijemnicima. Za ovu potrebu potrošač poseduje senzorni interfejs koji realizuje potrebna povezivanja. Uticaji na potrošač, ukoliko ih je više, se ne podvrgavaju međusobnim zavisnostima već se prosleđuju adekvatnim unutrašnjim faktorima i/ili prijemnicima i tamo učestvuju u dobijanju rezultujućih uticaja.

Posmatrajući izgradnju simulatora na bazi predloženog konceptualnog modela, postoje dve varijante interpretacije vrednosti uticaja, i od načina interpretacije vrednosti uticaja zavisi dizajn celog simulatora.

Varijanta 1 Uticaj se predstavlja krivom verovatnoće da uticaj postoji ili ne postoji u toku vremena (u toku jednog dana, nedelje ili drugog adekvatnog perioda). U ovom slučaju je vrednost uticaja u opsegu $[0,1]$, aditivna i max-preklapajuća zavisnost povećavaju, a multiplikativna i isključujuća zavisnost umanjuju rezultujuću verovatnoću. Potrošač će biti uključen u datom trenutku sa verovatnoćom jednakom rezultujućem uticaju na njega u tom trenutku. Horizontalni pragovi histerezisa u ovom slučaju nisu od značaja, ili se eventualno mogu koristiti kao filtri — da se ne dozvoli isključenje potrošača ako je verovatnoća veća od praga uključivanja, niti da se dozvoli uključivanje ako je verovatnoća manja od praga isključenja. Drugim rečima, verovatnoća da se isključen prijemnik uključi P_{ON} i verovatnoća da se uključen prijemnik isključi P_{OFF} u trenutku t se na osnovu rezultujuće verovatnoće uticaja u tom trenutku $P_{rez}(t)$ i pragova histerezisa dobija na sledeći način:

$$P_{ON}(t) = \begin{cases} 0, & P_{rez}(t) < B_{OFF} \\ P_{rez}(t), & \text{inače} \end{cases} \quad (1)$$

a

$$P_{OFF}(t) = \begin{cases} 0, & t - t_{on} < T_{ONmin} \\ 0, & P_{rez}(t) > B_{ON} \\ 1 - P_{rez}(t), & \text{inače} \end{cases} \quad (2)$$

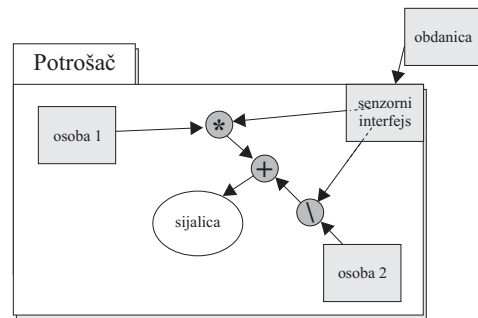
U ovoj varijanti interpretacije vrednosti uticaja oblike krivih verovatnoće uticaja nije neophodno menjati posle generisanja populacije simulacionog modela. Autonomija agenata je ovde svedena na plasiranje slučajno generisanih vrednosti prema zadatoj krivoj verovatnoće. Agenti su samim tim jednostavni za realizaciju, a izvor promenljivog ponašanja sistema je slučajnost. Ovde je od kritičnog značaja precizno poznavanje osobina različitih sorti faktora kako bi se generisale krive verovatnoća uticaja koje će dati replikativnu tačnost simulacionog modela.

Varijanta 2 Uticaj se predstavlja brojnomo vrednošću: pozitivnom ili, u opštem slučaju, označenom vrednošću. U slučaju da je uticaj pozitivna vrednost, samo isključujuća zavisnost umanjuje rezultujući uticaj a ostale ga uvećavaju. Stanje se usložnjava ako je uticaj označena vrednost. Potrošači se uključuju i isključuju poštujući rezultujući uticaj u datom trenutku i svoj histerezis. U ovom slučaju izvor promenljivog ponašanja simulacionog modela mora biti menjanje obrazaca uticaja u toku vremena i mehanizam za to sada mora da se ugradi u faktore, čime oni postaju agenti u pravmo smislu multi-agent simulacije. Za variranje obrazaca uticaja faktora (obdanice, klimatskih faktora, ali pre svega dnevnog plana ljudi) može se koristiti neki od evolutivnih pristupa, pri čemu algoritam treba snažno da inhibira malo verovatne dnevne planove identifikovane ekonometrijskim razmatranjem.

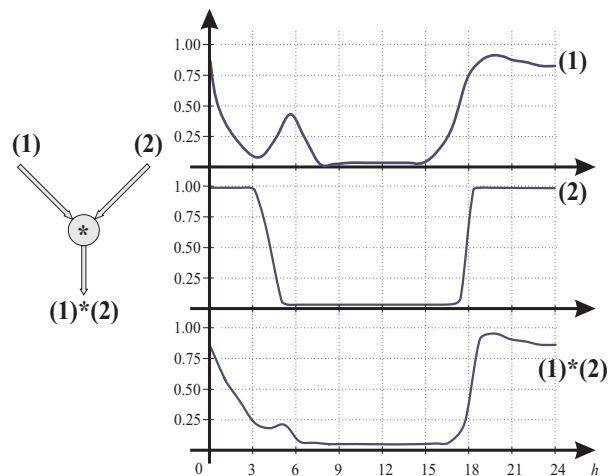
Model jednostavnog potrošača koji će poslužiti za ilustraciju predloženog modela prikazan je na slici 4. Dato domaćinstvo se sastoji od dve osobe, njihov stambeni prostor čini jedna prostorija sa jednim prijemnikom – sijalicom. Posmatramo period od jednog dana, pri čemu na ovo domaćinstvo utiče obdanica, tačnije period kada je mrak, kao spoljnji faktor. Uticaji su u ovom primeru predstavljeni krivama verovatnoće i uticaj osobe 1 na sijalicu dat je krivom 1 na slici 5. Ovu krivu treba tumačiti tako da će osoba 1 verovatnije uključivati sijalicu ako je budna i ako je u prostoriji (kod kuće). Kriva verovatnoće perioda mraka u toku dana je kriva 2, slika 5. Rezultujući uticaj osobe 1 i perioda mraka na uključivanje sijalice je po prirodi u multiplikativnoj zavisnosti od pojedinačnih uticaja, pa se rezultujuća kriva verovatnoće 3 na slici 5 dobija množenjem krivih 1 i 2. Sada se pomoću obrazaca (1) ili (2), zavisno od toga da li je sijalica trenutno uključena ili isključena, dobija verovatnoća u određenom trenutku da sijalica promeni stanje. Poštujući dobijenu verovatnoću, generator slučajnih brojeva daje, ili ne daje, signal da se u datom trenutku promeni stanje sijalice.

U konkretnim primenama u simulaciji trošenja električne energije potrošači bi se gradili od većeg skupa faktora i prijemnika. Neki od identifikovanih faktora, pored dnevnog plana aktivnosti rezidenata i obdanice, su spoljnja temperatura, smenjivanja dana u nedelji itd. Cilj je započeti eksperimente sa malim skupom faktora, prijemnika i uticaja, a da se model inkrementalno proširuje radi povećavanja preciznosti i tačnosti. Inkrementalnim proširivanjem modela omogućena je kontrola nad efektima pojedinih elemenata, što inače

može da predstavlja problem kod multi-agent simulacije. Konačno, ovakav model dozvoljava inkrementalni rast, što predstavlja još jedan kvalitet modela.



Slika 4 Jednostavan primer rezidencijalnog potrošača



Slika 5 Primer efekta zavisnosti na rezultujući uticaj na prijemnik

5. OBJEKTNI MODEL MAKROAGENTA REZIDENCIJALNOG POTROŠAČA

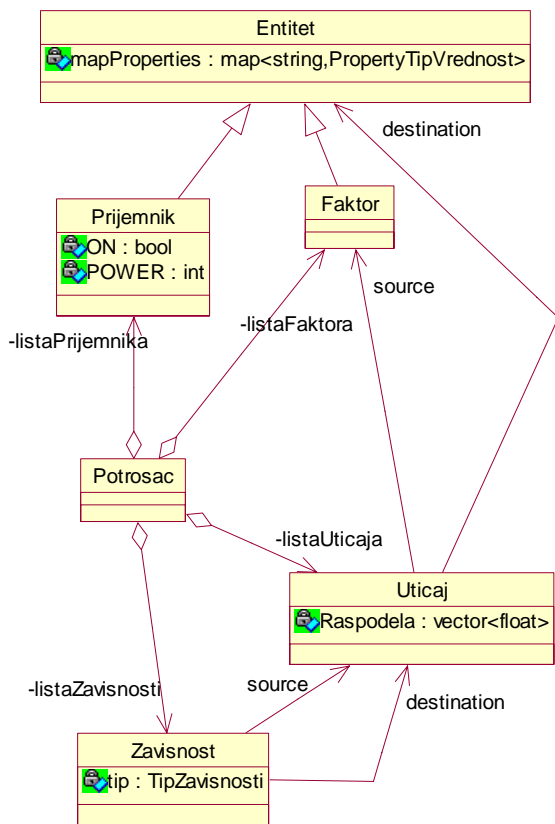
Slika 6 prikazuje klasni dijagram glavnih klasa modela rezidencijalnog potrošača. Radi jednostavnosti, sa dijagrama su izostavljeni metodi klasa, te sporedne klase i strukture podataka. Dati model je implementiran na jeziku C++ korišćenjem standardne biblioteke i STL biblioteke, tako da je nezavisan od platforme

Centralna klasa je klasa Potrosac koja ima ulogu makroagenta, održava strukture objekata sastavnih delova makroagenta, i odgovorna je za formiranje trenutne potrošnje na osnovu potrošnji prijemnika

Agenti klase Prijemnik i Faktor su izvedeni od zajedničkog roditelja, klase Entitet. Entitet održava rasutu tablicu osobina (mapProperties) u kojoj je ključ tekstualno ime osobine. Osobina može da bude bilo kog tipa, u slogu rasute tablice se čuvaju tip vrednosti osobine (postoji struktura sa preciziranim mogućim tipovima vrednosti osobina) i sama vrednost osobine. Oznaka tipa vrednosti osobine je neophodna da bi mogla da se obavi eksplicitna konverzija tipa pri pristupu vrednosti. Razlog za nekorišćenje objektnog pristupa pri rešavanju mogućnosti čuvanja vrednosti različitih tipova (razlozi za nekorišćenje klasa za osobine i polimorfizma za njihovu

upotrebu) leži u nefunkcionalnom zahtevu koji je postavljen na početku projektovanja u pogledu performansi upotrebe potrošača koji se ogleda u ograničenju da stek poziva pri pristupu svim servisima potrošača ili njegovih delova ne sme prelaziti dubinu dva, ne računajući funkcije za pristup STL strukturama.

Uticiji se čuvaju u objektima klase Uticaj. Vrednost uticaja se pamti kao vektor relnih brojeva, što odgovara čuvanju bilo koje od varijanti vrednosti uticaja. Zavisnosti su predstavljene objektima klase Zavisnost koji su agregacijom smešteni u objekat Potrosac, ali postoji navigabilnost iz klase Entitet preko uticaja do zavisnosti, tako da entitet na koji deluju uticaji može da izračunava rezultujući uticaj koji na njega deluje.



Slika 6 Relacije između klasa u okviru modela potrošača

Prikazani objektni model zadržava sve osobine konceptualnog modela potrošača prikazanog u odeljku 4 u pogledu proširljivosti. Novi agenti (prijemnici i faktori) se uključuju prostim dodavanjem u odgovarajuću listu u objektu klase Potrosac. Uticaji i zavisnosti se takođe uključuju na jednom mestu, u klasi Potrosac. Pri utvrđivanju rezultujućeg uticaja, entitet koji izračunava

svoj uticaj ima mogućnost navigabilnosti ka svim uticajima koji na njega deluju.

6. ZAKLJUČAK

U radu su razmotrene mogućnosti identifikovanja agenata za simuliranje i predviđanje krive opterećenja rezidencijalnih potrošača električne energije. Multi-agent pristup simulaciji omogućio je jednostavnije modelovanje rezidencijalnog potrošača kao socio-tehničkog sistema u odnosu na klasične pristupe simulaciji. Predloženi model rezidencijalnog potrošača istovremeno omogućava inkrementalno uslozljavanje modela u toku istraživanja postupnim uvođenjem relacija između činilaca domaćinstva i uzimanjem u obzir faktora koji utiču na potrošnju po njihovoj značajnosti, sve do postizanja zadate valjanosti modela.

7. LITERATURA

- [1] Weber C., Uncertainty in the electric power industry : methods and models for decision support. Springer, New York, 2005.
- [2] Bunn D. W. and Farmer E. D., Comparative models for electrical load forecasting. Wiley, Chichester [West Sussex] ; New York, 1985.
- [3] Larsen B. M. and Nesbakken R., "How to quantify household electricity end-use consumption," Statistics Norway, Research Department, Discussion Papers No. 346, March 2002.
- [4] Rasanen M., Ruusunen J., and Hamalainen R. P., "Customer level analysis of dynamic pricing experiments using consumption-pattern models," Energy, Vol. 20, pp. 897-906, 1995.
- [5] Reiss P. C. and White M. W., Household electricity demand, revisited. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA., 2001.
- [6] Parunak H. V. D., Savit R., and Riolo R. L., "Agent-based modeling vs. equation-based modeling: A case study and users' guide," Zbornik radova, Multi-agent Systems and Agent-based Simulation (MABS '98), LNAI 1534, str., 1998.
- [7] O'Reilly U.-M., Genetic programming theory and practice II. Springer, New York, 2005.
- [8] Klügl F., "Multi-Agent Simulation," in The Sixth European Agent Systems Summer School (EASSS 2004). Liverpool (UK), 2004.
- [9] Vučetić A. and Marković M., "Analiza navika potrošača električne energije u cilju predviđanja potrošnje, izveštaj," Elektronski fakultet u Nišu, 2005, pp. 52.