

# UNAPRJEĐENJE PROCESA POSLOVNOGA ODLUČIVANJA PRIMJENOM ANALITIČKOGA MODELA TRANSFORMATORA U SOFTVERU ZA PLANIRANJE RESURSA

## Sažetak doktorskog rada

Josip Nađ

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.

U radu je objašnjena postojeća potreba za dodatnom pomoći menadžerima u proizvodnim poduzećima pri procesu donošenja odluka. Prikazana je mogućnost korištenja poslovnog softvera za planiranje resursa u do sada nekorištene svrhe:

- izrada specifičnih tehničkih proračuna (vektorski dijagram transformatora, statičke karakteristike asinkronih strojeva, izračun osnovnih dimenzija transformatora)
- integracija rezultata tehničkih proračuna s tipičnim poslovnim analizama (analiza potreba za materijalima, planiranje proizvodnih kapaciteta, izračun proizvodne cijene).

Ključni motiv ovog istraživanja je davno poznati zaključak nobelovca Herberta Simona, da menadžeri moraju brzo odgovarati na izazove, odnosno da moraju moći brzo donijeti odluke. Ta se spoznaja kontinuirano potvrđuje svih ovih godina, pa je tako u novijem istraživanju objavljenom ove godine u HBR-u navedeno da nakon ostvarivanja 65 posto sigurnosti informacije vrhunski menadžeri donose odluke.

Kad je riječ o donošenju odluka, prethodna istraživanja ukazuju na dvije bitne stvari: prvo da je proces to brži što je manji broj uključenih ljudi, i drugo ako glavni akteri koriste odgovarajući, njima poznati alat.

U proizvodnim poduzećima imamo mnoštvo fantastičnih specijaliziranih inženjerskih softvera, međutim - menadžeri koriste poslovni softver, Enterprise Resource Planning, skraćeno ERP.

Zato je kao početna pretpostavka uzeto da se na proces donošenja odluka može pozitivno djelovati uključivanjem dodatnih tehničkih analiza i procedura grubog projektiranja u ERP sustav.

Prva hipoteza istraživanja je da se standardna forma poslovnog softvera može koristiti za grube analize kompleksnih tehničkih objekata. Dakle, govorimo o standardnoj formi, bez programiranja: imamo softver, podesimo parametre i gradimo model.

Druga hipoteza je da se modeliranje pomoću poslovnog softvera može provesti dovoljno kvalitetno da bi menadžer BRZO stekao korektan uvid u proces projektiranja i proizvodnje.

Tu se može koristiti analogija s krivuljom zaleta asinkronog motora. Matlab kao vrhunski matematički softver daje detaljnu dinamičku sliku zaleta, na osnovu poznatog sustava s nelinearnim diferencijalnim jednažbama. Međutim, znamo da je za veliki broj analiza i zaključaka dovoljna i pojednostavljena, statička karakteristika. Analogija s ovim istraživanjem je da se pomoću pojednostavljene metode dolazi do dovoljno dobrih rezultata potrebnih za menadžersko odlučivanje.

S tom idejom se krenulo u avanturu, a kao podloga se u cijelom istraživanju koristio trenutno najjači poslovni softver SAP ERP.

Ovim su istraživanjem postignuta 3 znanstvena doprinosa:

- načinjena je analiza sposobnosti poslovnog softvera SAP ERP za matematičko modeliranje.
- izrađen je i verificiran model energetskog transformatora u poslovnom softveru SAP ERP.
- kreiran je prijedlog za model procesa poslovnog odlučivanja tvornice transformatora primjenom analitičkog modela transformatora u SAP ERP sustavu, uzimajući u obzir raspoloživost proizvodnih kapaciteta.

U sklopu prvog znanstvenog doprinosa, izrađena su 4 pojedinačna modela:

- Prvi model nas svojim izračunima vodi od rezultata mjerenja do parametara svima poznate nadomjesne sheme asinkronog stroja i transformatora.
- Drugi model nas vodi od parametara nadomjesne sheme do statičke karakteristike asinkronog motora. Kod ovog modela je uz pomoć malog programiranja načinjena i krivulja u SAP-u. Simulacijom su se dobile pojedine točke, a onda su uz pomoć dodatnog koda u programskom jeziku koji je SAP nazvao ABAP, te točke povezane u krivulju i prikazane kao graf.
- Treći model nas svojim izračunima vodi od parametara nadomjesne sheme do svih elemenata vektorskog dijagrama transformatora.
- Četvrti model nas vodi od traženih specifikacija transformatora do njegovih osnovnih dimenzija, odnosno do onih brojki koje su potrebne za kasniji izračun količina tri najskuplja materijala (bakar, magnetski lim i ulje).

Drugi znanstveni doprinos predstavlja integraciju prethodnih pojedinačnih modela, te njihovo uključivanje u dva potrebna SAP elementa: sastavnicu i plan operacija.

S jedne strane se izračunata količina materijala uključuje u sastavnicu materijala a paralelno se, na osnovu dodatnog modela za obradu stvarnih povijesnih vremenskih knjiženja, izračunata proizvodna vremena uključuju u plan operacija, SAP element za vremensko terminiranje proizvodnje.

Na taj su način sakupljeni SVI podaci potrebni za izračun proizvodne cijene, provjeru raspoloživosti materijala i provjeru raspoloživosti proizvodnih kapaciteta.

Treći doprinos predstavlja cijeli poslovni model koji menadžeru omogućava imati u jednom sustavu sva tri ključna elementa potrebna za donošenje odluke: kapacitete, materijal i proizvodnu cijenu, a sve to na osnovu pojedinačnih modela predstavljenih u prva dva doprinosa.

U radu su korištene tri velike poslovne cjeline SAP ERP-a: Planiranje proizvodnje, Varijantna konfiguracija i Interno računovodstvo.

Jedno od važnijih početnih pitanja je bilo kako sve mnogobrojne parametre, formule i tablice koje su sastavni dio svih tehničkih izračuna, postaviti u SAP-u, da bi se mogao definirati željeni model.

Za parametre i konstante su nađene tri moguće opcije: SAP korisnički parametri, Parametri proizvodnih radnih centara i tzv. SAP karakteristike. Za matematičke izraze su nađene dvije pogodne opcije: formule za troškove u proizvodnim radnim centrima i tzv. SAP objektne zavisnosti. Tablice se, bez programiranja, mogu unijeti u SAP na odgovarajući način jedino u formi tzv. Varijantnih tablica.

Kad je riječ o načinu prikaza transformatora u ovom SAP modelu, nije korišten uobičajeni višerazinski princip s mnoštvom pravih i lažnih sklopova, nego pojednostavljeni „jednorazinski“ princip s glavnim materijalima u sastavnici, te jednim planom operacija sa tzv. Sekvencama. Sekvence su bile potrebne za točnije povezivanje glavnih operacija.

Krivulja momenta je dobivena na način da su se parametri nadomjesne sheme u SAP-u definirali kao tzv. konstante formule proizvodnog radnog centra.

Proizvodni radni centar je u SAP-u vezan s Mjestom troška i internim računovodstvom, te su onda formule za izračun troškova korištene kao formule za izračun prekretnog klizanja, momenta i struje. Kao rezultat pojednostavljene Klossove jednadžbe dobiveno je simulacijom putem funkcije potvrđivanja proizvodnih naloga više točaka momenta u ovisnosti o klizanju. Sve točke su povezane putem spomenutog dodatnog ABAP programa i dobiven je grafički prikaz.

U slučaju vektorskog dijagrama, SAP kao rezultat daje ispis ulaznih parametara i svih izračunatih elemenata vektorskog dijagrama. U tekstu je tablično prikazana usporedba SAP izračuna s originalnim izračunom.

Izračun osnovnih dimenzija transformatora je rađen prema postupku definiranom u knjizi indijskog profesora Deshpandea. Postupak je definiran u 19 koraka. Nakon definiranja traženih specifikacija, putem izračunavanja svih elemenata jezgre i namota, kao završni rezultat se dobivaju tri podatka koji nas zanimaju u daljnjim koracima: masa bakra, masa magnetskog lima i masa ulja.

Za prethodni model je u SAP-u kreirano mnoštvo tzv. karakteristika i objektnih zavisnosti. Za svaki parametar koji se pojavljuje u postupku je kreirana po jedna SAP karakteristika, a ako se taj

parametar i izračunava, onda je kreirana i SAP objektna zavisnost, s definiranom formulom za izračun vrijednosti same karakteristike / parametra.

Navedeni model, kao dio prvog znanstvenog doprinosa, omogućava da se nakon jednostavnog upisa traženih specifikacija, odmah dobije ispis svih rezultata, uključivo naše tri ključne brojke za masu bakra, magnetskog lima i ulja.

U radu je prikazana usporedba rezultata originalnog proračuna iz knjige prof. Deshpandea i našeg modela. Dobivena razlika u količinama materijala je manja od 10 %. Proračuni su rađeni i za 5 realnih, referentnih transformatora. Kod njih je također primjetna prihvatljivost rezultata – brojke se ne razlikuju više od 10 %.

Za definiranje proizvodnih vremena glavnih operacija, korišteni su povijesni podaci raspoloživi u postojećem SAP ERP sustavu tvornice transformatora. U konkretnom slučaju su uzeti podaci za 12 transformatora istog tipa, a različitih snaga. Za dobivanje matematičkog izraza koji će se poslije uključiti u plan operacija je korišten princip linearizacije. Osim za operaciju rezanje lima, a u radu se ovaj postupak načinio još za montažu te izradu namota i izradu izolacijskih elemenata.

Za prikaz proizvodnog procesa je korišten 1 plan operacija sa 6 sekvenci: jednom centralnom i 5 paralelnih. Svaka sekvenca se sastoji od niza proizvodnih operacija, a za pojedine operacije je pomoću objektnih zavisnosti definirana povezanost s povijesnim podacima (te operacije imaju kvačicu u polju „Object deps“).

Način prikaza izračunatih rezultata za proizvodna vremena je isti kao i kod izračuna količina materijala. Na osnovu jednom unešenih specifikacija, odmah se dobivaju i količine materijala i proizvodna vremena.

Za potrebe modela je korištena i funkcionalnost Simulacijskih Proizvodnih naloga. Po takvim se naložima ništa ne može knjižiti, ali se oni jako dobro mogu koristiti za provjeru cijele konfiguracije i npr. za dobivanje Ganttovog dijagrama, gdje bismo provjerili izračunata operacijska vremena.

Nakon što smo dobili podatke o materijalima i proizvodnim vremenima, možemo se početi baviti s proizvodnom cijenom. Na slici je tzv. „očekivani“ udio pojedinih troškova u proizvodnoj cijeni. Slika je preuzeta iz recentne literature, a podaci se vrlo dobro slažu s KPT-ovim podacima.

Najvažniji detalj ove slike je da glavni materijali kod energetskih transformatora čine cca trećinu proizvodne cijene. Znači, ako dovoljno dobro izračunamo količinu bakra, magnetskog lima i ulja, možemo vrlo dobro procijeniti ukupni proizvodni trošak.

SAP procjena troška na vrlo jasan način je daje sve ključne komponente cijene: materijal i aktivnosti, a moguće je dobiti i prikaz s troškovima materijala integriranim u same aktivnosti.

Trošak materijala se dobije kao umnožak količine materijala i trenutne cijene. Trošak proizvodnih aktivnosti se dobije kao umnožak izračunatog vremena i cijene rada po satu. Trošak proizvodne režije se dobije prema unaprijed definiranom ključu. Uglavnom je to neki postotak na trošak materijala ili nekih aktivnosti.

Za provjeru raspoloživosti materijala se koristi standardni MRP postupak, koji uspoređuje izračunatu potrebnu količinu s trenutnim stanjem skladišta, te se uzimaju u obzir i aktivni nabavni dokumenti i postojeće rezervacije.

Kao rezultat se dobivaju predloženi / planski nabavni dokumenti.

Kapaciteti se provjeravaju putem proizvodnih naloga. Sustav uspoređuje izračunata proizvodna vremena i datume sa raspoloživim i trenutno slobodnim proizvodnim kapacitetima.

Za bolju preglednost procesa provjere kapaciteta, SAP predlaže grafičku plansku ploču.

Ekran ima dva dijela. Na donjem dijelu je prikazan novi proizvodni nalog sa svim operacijama, onako kako je definirano matičnim podacima i traženim datumom isporuke. Na gornjem dijelu ekrana su prikazani svi postojeći proizvodni radni centri s već dodijeljenim operacijama postojećih proizvodnih naloga.

CILJ je prebaciti (dispečirati) operacije iz donjeg u gornji ekran, odnosno fiksirati operacije na radnim centrima. To možemo samo u periodima koji su slobodni, te se na taj način jasno uočavaju operacije koje bismo morali „pomaknuti“ u slučaju pojave nekog hitnog naloga.

Sve prethodno navedene akcije se u SAP-u brzo obave uz ključni uvjet vještine rada u SAP-u, s korištenjem nekoliko različitih funkcionalnosti. U konkretnom slučaju se radi o kombinaciji rada s proizvodnim, računovodstvenim i prodajnim funkcionalnostima.

S obzirom na to da menadžeri ne trebaju imati vještine SAP konzultanta, predlaže se kreiranje menadžerskog portala, gdje bi se u sklopu ERP-a, na jednom ekranu dobile sve funkcije koje menadžer treba pozvati u ovom procesu.

Na kraju je dan i prikaz potrebnih akcija da bi se predloženi model implementirao u tvornicu s već uvedenim SAP ERP softverom. Imamo 4 grupe akcija u SAP-u:

- nove kategorije matičnih podataka (generički materijali, sekvence u planu operacija)
- uključivanje SAP funkcionalnosti (Varijantna konfiguracija, Planiranje kapaciteta)
- izrada cijelog modela (SAP karakteristike, objektne zavisnosti, integracija)
- izrada portala

U zaključku je naglašeno da je prikazano jedno pragmatičko rješenje za olakšanje procesa donošenja odluka. Istražena je i analizirana mogućnost jednog konkretnog poslovnog softvera za potrebe grubih analiza električkih strojeva, od izračuna elemenata nadomjesne sheme pa do osnovnih dimenzija stroja.

Također, istražene su mogućnosti objedinjavanja načinjenih tehničkih izračuna i poslovnih funkcija u jedan jedinstveni model koji se bazira na donošenju odluka pomoću provjere raspoloživosti materijala, kapaciteta i proizvodne cijene.

Daljnji radovi na ovom području mogu ići u dvije strane, u pravcu daljnjih znanstvenih istraživanja i u pravcu projektne implementacije do sada postignutih otkrića.

Kad je riječ o eventualnom nastavku istraživanja, moguće su bar dvije stvari: rad na poboljšanju modela za izračun osnovnih dimenzija transformatora, te rad na proširenju modela za izračun dimenzija na rotacijske električke strojeve.

U slučaju implementacije rješenja koje je ovdje predstavljeno, moguće su tri veće akcije:

- Prvo, optimiranje modela za izračun proizvodne cijene, na način da se poveća točnost izračuna jediničnih cijena proizvodnih aktivnosti i da se poboljša izbor proizvodnih operacija ključnih za izračun cijene.
- Drugo, optimiranje modela za planiranje proizvodnih kapaciteta, gdje se treba poraditi na izboru proizvodnih operacija ključnih za terminiranje i na definiranju proizvodnog kalendara ključnih proizvodnih linija.
- Treće, trebalo bi pristupiti izradi menadžerskog portala.

Thesis has been divided into seven chapters.

U uvodnom poglavlju je prikazana osnovna ideja istraživanja, te su prikazani postignuti znanstveni doprinosi.

U drugom poglavlju je analiziran poslovni softver koji se koristi u poslovanju tvornice transformatora. Navedeni su osnovni ERP postulati i funkcionalnosti, te je prikazana višerazinska struktura energetskih transformatora.

U trećem poglavlju je prikazan postupak izrade analitičkog modela dvije vrste električkih storjeva (asinkronog stroja i transformatora) u SAP ERP sustavu. U slučaju asinkronog stroja prikazan je postupak izračunavanja statičkih karakteristika s primjerom krivulje ovisnosti momenta o klizanju. U slučaju transformatora prikazan je postupak izračunavanja elemenata nadomjesne sheme na osnovu rezultata mjerenja te postupak izračunavanja svih elemenata vektorskog dijagrama, te postupak. Za slučaj transformatora je prikazan i postupak izračuna osnovnih dimenzija.

U četvrtom poglavlju je predložen novi model za menadžersko odlučivanje, počevši od prikaza jednorazinske sastavnice, preko objašnjenja simulacije, sve do dobivanja tri ključna rezultata: proizvodne cijene, analize materijalnih potreba i analize potreba za kapacitetima.

U petom poglavlju je prikazan prijedlog provedbe unapređenja procesa poslovnog odlučivanja, uključivo s izradom portala, uspostavom procesa i prikazom načina implementacije.

U šestom poglavlju je dan pregled cijelog doktorskog rada i prijedlog za buduća istraživanja. U sedmom i osmom poglavlju je dana literatura, te popisi formula, slika i tablica.

**Ključne riječi:** transformatori, električki strojevi, ERP, analitički model, izračun dimenzija, planiranje kapaciteta, izračun cijene.