

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Pavao Barišić

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Izv.prof. dr. sc. Nenad Bojčetić

Student:

Pavao Barišić

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru, izv.prof. Nenadu Bojčetiću na ukazanoj pomoći i danim savjetima tokom izrade ovog diplomskog rada. Zahvaljujem se i kolegama na poslu koji su mi nesebično stavili svoje vrijeme i znanje na raspolaganje.

Na kraju bi se želio zahvaliti svoim roditeljima koji su me bezuvjetno podržavali tokom cijelog studija.

Pavao Barišić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

Naslov rada na
engleskom jeziku:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY	VI
1. UVOD.....	1
1.1. Kratka povijest	1
2. <i>Design Structure Matrix – DSM</i>	2
2.1. Što je DSM?	2
2.2. Vrste DSM-a te pristup izradi i analizi	7
3. Izrada DSM modela.....	9
3.1. Sekvenciranje (engl. - <i>Sequencing</i>).....	12
3.2. Klasteriranje (engl. - <i>Clustering</i>)	16
4. DSM arhitekture proizvoda	18
4.1. Proizvod ili Sustav	18
4.2. Izrada DSM modela arhitekture proizvoda	19
4.3. Analiza DSM modela arhitekture proizvoda	21
4.4. Rezultati analize	25
5. Izrada arhitekture sustava energetskog transformatora	26
5.1. Transformatori	26
5.2. Aktualni sustav.....	30
5.3. Izrada DSM-a.....	32
5.4. Komponentni DSM model	33
5.5. Parametarski DSM model	36
5.6. Analiza napravljenih DSM modela.....	39
5.7. Prijedlozi poboljšanja.....	42
6. ZAKLJUČAK.....	46
LITERATURA.....	47
PRILOZI.....	48

POPIS SLIKA

Slika 1.	Četiri osnovna tipa DSM modela [1]	3
Slika 2.	Binarni oblik DSM s ulazima u redcima (lijevo); ekvivalentni digraf (desno).....	4
Slika 3.	Primjer veza kod brojčanog DSM-a koristeći brojeve(lijevo) i boje(desno) za prikaz jačine veze [1]	5
Slika 4.	Analiza DSM-a preraspodjelom obično podrazumijeva klasteriranje(lijevo) ili sekvenciranje(desno), ovisno o vezama koje se opisuju u matrici. (lijeva i desna matrica ne prikazuju isti tip sustava) [1]	5
Slika 5.	Hijerarhijski prikaz podjele DSM modela [1].....	7
Slika 6.	Neizostavni koraci pri izradi, analizi i poboljšanju sustava [1]	11
Slika 7.	Osnovni tipovi veza korišteni pri izradi DSM-a [4].....	13
Slika 8.	Serijska, paralelna, povratna i uvjetna veza prikazana u DSM-u.....	13
Slika 9.	Početni oblik matrice (lijevo); Element F nema nikakve ulaze od drugih elemenata pa ga se premješta na početak matrice i ne razmatra više (desno);	15
Slika 10.	Ni jedan element ne zahtjeva izlaz od elementa E pa ga se premješta na kraj matrice i ne razmatra više (lijevo); Nije preostao niti jedan element sa slobodnim retkom ili stupcem. To znači da postoje povratne veze u matrici te se proizvoljno odabire element A i uočava njegova ovisnost o C. Zbog toga se mogu spojiti u jedan element (CA) (desno);	15
Slika 11.	Element CA ima prazan redak što znači da ne tvori povratnu vezu s nijednim od preostalih elemenata (lijevo); Ponovno se traži petlja elementa B, proizvoljno odabranog, s ostalim preostalim elementima. Element B ovisi o G koji ovisi o D koji ponovno ovisi o B. To je posljednja povratna veza koja uključuje sve preostale elemente (desno);	15
Slika 12.	Početni(lijevo) i konačni izgled matrice nakon što je proces particioniranja dovršen (desno)	16
Slika 13.	Početni(lijevo) i konačni izgled matrice nakon provedenog klasteriranja(desno) [4]	17
Slika 14.	Veze među članovima sustava s definiranim granicama među timovima [4].....	17
Slika 15.	Primjer modela DSM arhitekture proizvoda upravljačkog sustava klimatizacijskog uređaja u automobilu [1]	19
Slika 16.	Model DSM arhitekture proizvoda upravljačkog sustava klimatizacijskog uređaja u automobilu nakon klasteriranja [1].....	22
Slika 17.	Rezultati klasteriranja prema jednostavnoj ciljnoj funkciji koja treba minimizirati broj veza izvan klastera i veličinu klastera [1]	23
Slika 18.	Osnovni skloovi Energetskog transformatora „Yasmine 120“	29
Slika 19.	Proizvodni DSM model izrađen i klasteriran pomoću algoritma ugrađenog u CAM.....	34
Slika 20.	Proizvodni DSM model izrađen i klasteriran pomoću algoritma ugrađenog u CAM te naknadno ručno prepravljen imajući na umu postojeću podjelu na sklopove... ..	35
Slika 21.	Parametarski DSM model izrađen i klasteriran pomoću algoritma ugrađenog u CAM.....	37
Slika 22.	Parametarski DSM model izrađen i klasteriran pomoću algoritma ugrađenog u CAM te naknadno ručno prepravljen imajući na umu postojeću podjelu na sklopove.....	38

Slika 23.	Trenutna strukturna organizacija odjela Konstrukcije u Končar Energetskim transformatorima	43
Slika 24.	Prijedlog restrukturiranja odjela metalnih konstrukcija, cjevovoda i opreme prikazan DSM-om, nakon analize postojeće situacije.....	45

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
T	Sat [h]	Vrijeme izrade DSM modela
N	-	Broj elemenata u matrici
α	-	Koeficijent uz C_i
β	-	Koeficijent uz I_0
I_0	-	Broj veza izvan klastera
C_i	-	Veličina klastera, broj elemenata

SAŽETAK

Tehnički sustavi svakim danom postaju složeniji. Količina informacija koju je potrebno obraditi je odavno postala previše za pojedinca i dok broj informacija i dalje samo raste, znanje i mogućnosti obrade informacija grupe ljudi postaje također nedovoljno. Stoga su se razvile tehnike za ovladavanje goleminom količinama informacija s ciljem razumijevanja, projektiranja, vođenja i unaprjeđenja sustava. Jedna od tehnika koja se u tu svrhu koristi je DSM (engl. *Design structure matrix*), a bit će opisana i korištena kroz izradu ovog diplomskega rada.

Potrebno je analizirati postojeću podjelu na sklopove unutar konstrukcijskog odjela poduzeća „Končar Energetski transformatori“, i na temelju dobivenih informacija optimirati postojeću i predložiti novu podjelu. Poduzeće ima problema s ispunjavanjem rokova narudžbi zbog naglog povećanja broja ugovora, a trend naglog porasta novih konstrukcija i smanjenja broja naručenih serija je doveo do maksimuma koje trenutna struktura organizacije može razraditi. Kroz bolji uvid u sustav preko DSM modela, nastojat će se restrukturiranjem povećati učinkovitost postojećih resursa.

Ključne riječi: DSM, Design structure matrix, Dependency structure matrix, Transformator, Energetski, Končar, KPT, Arhitektura sustava

SUMMARY

Engineering systems are becoming more complex with every day. Amount of information that a person needs to process has become too much, but as the amount of information continues to grow, even a group's knowledge and information-processing capabilities are exceeded. Therefore, technics for manipulating vast amounts of information had to be developed if they were going to understand, control and improve systems. Design Structure Matrix or DSM is just one of those techniques, and it will be used for making this thesis.

It's necessary to analyze current division into departments within design department of "Končar Energetski transformatori" and try to optimize existing structure and suggest new division. Company has problems meeting contract deadlines due to sudden rise in number of contracts, and rise in number of new constructions and decrease in ordered series of power transformers had resulted in maximum that current division can withhold. Through better system understanding via DSM new division of department will be advised and system efficiency increased.

Key words: DSM, Design structure matrix, Dependency structure matrix, Transformer, Power, Končar, KPT, System architecture

1. UVOD

Tehnički sustavi su dio područja koje je u isto vrijeme spoj inženjerstva, menadžmenta i socijalnih znanosti. Pokraj standardnih inženjerskih sposobnosti izrada kompleksnog tehničkog sustava, zahtjeva i poznavanje društvenih znanosti o uređenju i vođenju sustava. Kako bi se promptno udovoljilo zahtjevima nadolazećih tehnoloških promjena te promjenama veličine, granica i kompleksnosti sustava, razvijali su se različiti pristupi, okviri i teorije za analizu, izradu, razvoj i upravljanje takvim sustavima.

Okolina postaje kompleksnija svakim danom. Istraživanjem svijeta koji nas okružuje akumuliramo količinu informacija koja eksponencijalno raste. Te informacije nam omogućuju projektiranje i izradu još kompleksnijih sustava. Avioni, automobili, brodovi, elektronički uređaji, strojevi – sve su to tehnički sustavi koje čovjek unaprjeđuje povezivanjem materijala, strojeva, ljudi i znanja, a koji se ne bi mogli ostvariti njihovim samostalnim djelovanjem. Količina informacija koju je potrebno obraditi je odavno postala previše za pojedinca, a kako količina i dalje samo raste, znanje i mogućnosti obrade informacija grupe ljudi postaje nedovoljno. Stoga se razvijaju tehnike za ovladavanje goleminim količinama informacija s ciljem razumijevanja, projektiranja, vođenja i unaprjeđenja sustava. Jedna od tehnika koja se za to koristi je DSM (engl. *Design structure matrix*), a bit će opisana i korištena kroz izradu ovog diplomskog rada.

1.1. Kratka povijest

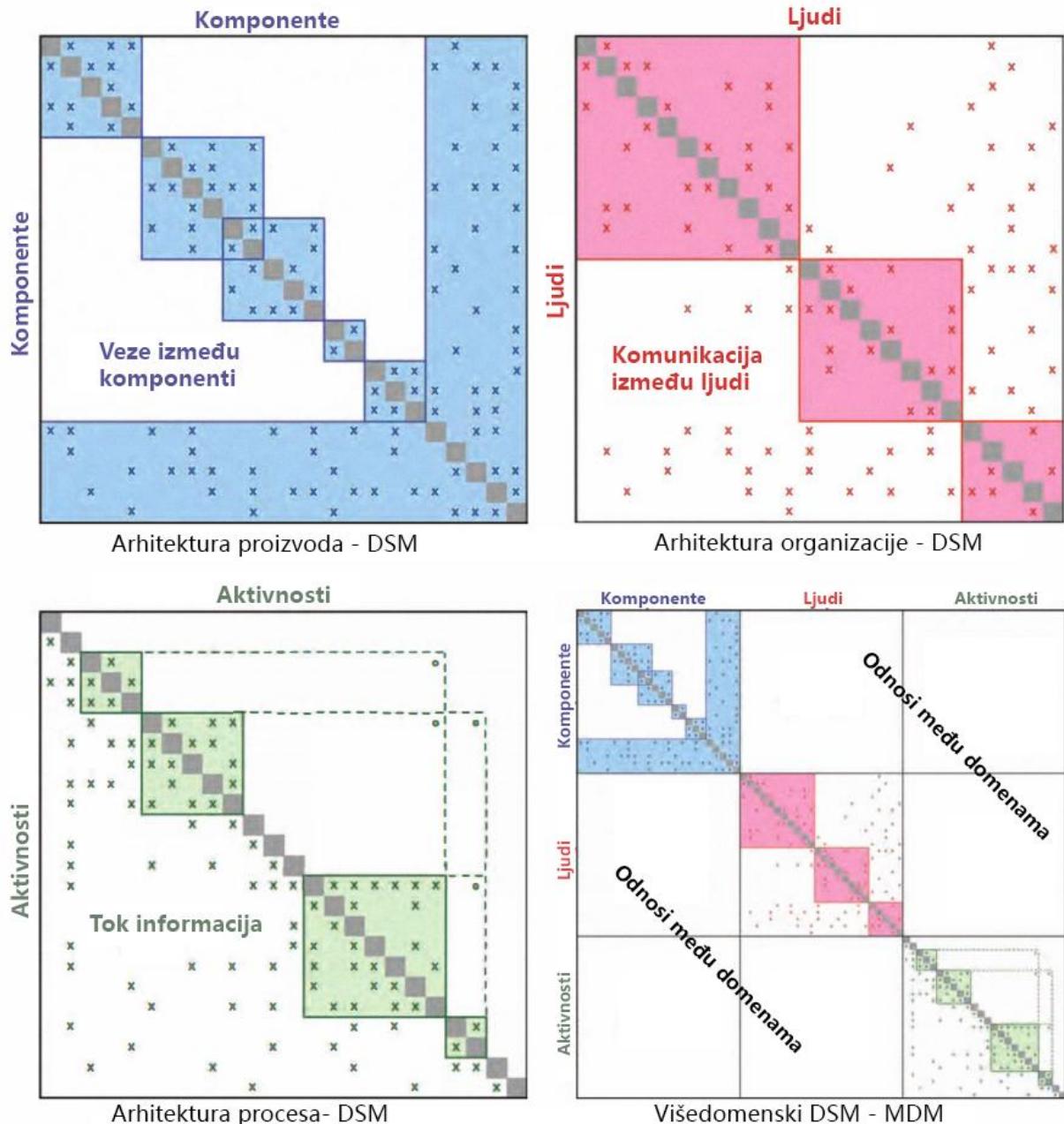
Prof. Don Stewardu s Kalifornijskog državnog sveučilišta u Sacramento pripadaju zasluge za osmišljanje DSM metode koju je prvi puta upotrijebio 1980. [1] kako bi prikazao mrežu interakcije projektnih varijabli. Razvio ju je iz metoda koje se koriste za slaganje velikog sustava jednadžbi s ciljem rješavanja uz što manji broj iteracija. Prilikom predstavljanja DSM metode kao prednosti je nabrojao: „kako bi se razvio učinkovit tehnički projekt, s jasnim detaljima gdje i kako će se resursi koristiti, kako će se postupati s konstrukcijskim rješenjima i pregledima, te kretanje informacija tijekom razrade konstrukcije“[Steward 1981b]. Razvoj se nastavio na MIT-u 1989. kad su prepoznali potencijal ove metode. Prvi primjeri korištenja, ali i razvoja DSM metode započeli su u NASA, Boeingu, General Motorsu i Intelu početkom devedesetih godina prošlog stoljeća. Danas, DSM metodu koriste i manje kompanije sa širokim spektrom djelatnosti upravo zbog njene učinkovitosti, jednostavnosti, ali i dostupnosti.

2. **Design Structure Matrix – DSM**

2.1. Što je DSM?

Svijet oko nas postaje kompleksniji svakim danom, a broj informacija koje je potrebno obraditi raste eksponencijalno. S ciljem optimalnog upravljanja informacijama, čovjek je izmislio pomagala i metode koje će mu omogućiti pravu informaciju na pravom mjestu i u pravo vrijeme uz minimalnu mogućnost pogreške. DSM (engl. *Design structure matrix*) je jedan od matričnih projektnih alata osmišljen za upravljanje informacijama, a koristi se za prikaz komponenata koje sačinjavaju sustav i odnosa među njima tako da se uoči arhitektura sustava. Svoju primjenu pronalazi u razvoju kompleksnih tehničkih sustava, a primarno se koristi u tehničkom menadžmentu. Zapravo, DSM ima mnogo širi spektar primjene pa tako osim navedenog primjenu pronalazi i u složenom sustavu bolničkog menadžmenta, finansijskim sustavima, prirodnim znanostima i socijalnim sustavima.

DSM je kvadratna $N \times N$ matrica koja opisuje međudjelovanje između skupa od N elemenata sustava. Zahvaljujući svojoj fleksibilnosti, DSM se koristi za modeliranje različitih tipova sustava. Na primjer, pri izradi arhitekture nekog proizvoda elementi DSM matrice su komponente proizvoda, a međudjelovanje bi predstavljale veze između komponenti. Ako se želi napraviti arhitektura organizacije tada bi elemente matrice predstavljali ljudi ili timovi unutar organizacije, a međudjelovanje bi moglo biti komunikacija između ljudi. U arhitekturi procesa elemente DSM matrice predstavljaju njegove aktivnosti, a međudjelovanje bi bili tokovi informacija i/ili materijala između aktivnosti. Različiti tipovi DSM arhitektura mogu se prikazati kombinirano kako bi se dobio odnos između različitih domena sustava. Gore navedeni DSM tipovi arhitektura su prikazani na slici 1.

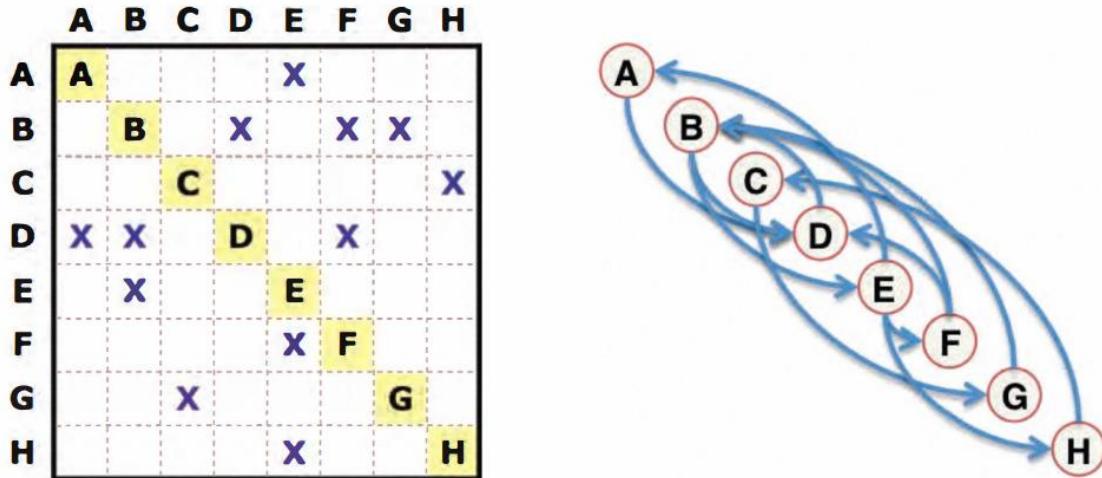


Slika 1. Četiri osnovna tipa DSM modela [1]

Uspoređujući ga s drugim mrežnim metodama modeliranja sustava, najuočljivija prednost DSM-a je pregledan vizualni prikaz matričnog formata. Matrica daje kompaktan, lako prilagodljiv i intuitivno čitak prikaz arhitekture sustava.

Slika 2. prikazuje jednostavni DSM model sustava sa osam elemenata, dok je na desnoj strani ekvivalentni graf s ucrtnim poveznicama. Ako se imena elemenata napišu s lijeve strane redaka radije nego u dijagonalne ćelije matrica dobiva na kompaktnosti. U matrici svaka dijagonalna ćelija ima svoje ulaze s lijeve i desne strane, dok se izlazi nalaze s gornje i donje strane. Podrijetlo i destinacija ulaza i izlaza se nalazi u ćelijama izvan dijagonale matrice, a

označeni su s X. Promatraljući bilo koji redak matrice otkrivamo sve ulaze elementa koji se nalazi u tom redu (koji su izlazi od drugih elemenata). Gledajući na bilo koji stupac matrice uočit će se svi izlazi elementa u tom stupcu (koji su ulazi drugih elemenata).



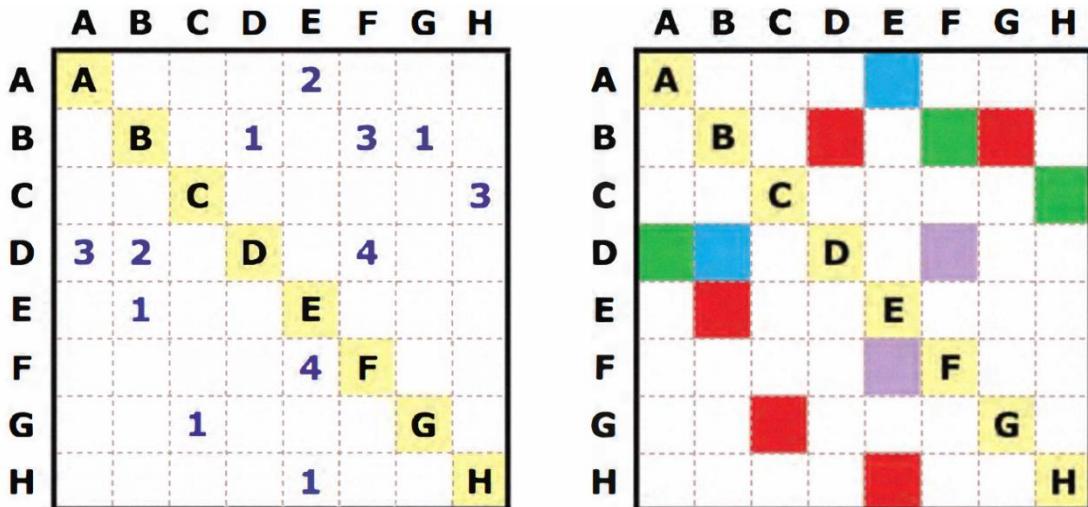
Slika 2. Binarni oblik DSM s ulazima u redcima (lijevo); ekvivalentni digraf (desno)

Na primjeru DSM modela danog slikom 2. osam elemenata sustava su označeni sa slovima od A do H, a radi bolje preglednosti često su označeni i redci i stupci. Ako uzmemo za primjer redak D može se vidjeti da ima ulaze od elemenata A,B i F. Promatraljući ponovno stupac F, vidljivo je da element ima izlaze prema elementima B i D. Može se primijetiti kako oznaka X predstavlja vezu koja je u isto vrijeme i ulaz(D) i izlaz(F), ovisno o tome iz perspektive kojeg elementa se gleda.

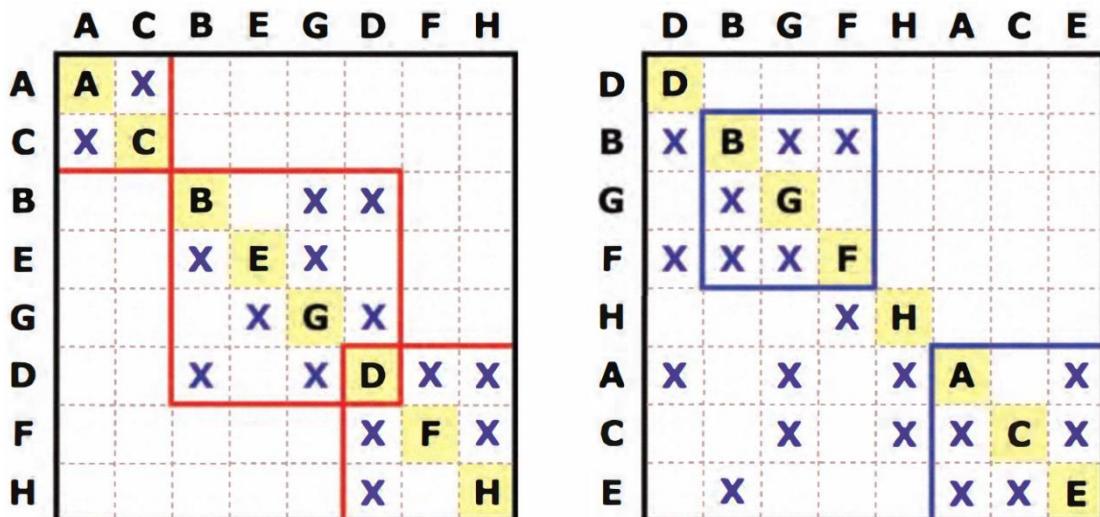
U praksi se često može naći obrnuta konvencija, odnosno transponirana matrica od one sa ulazima elemenata u redcima i izlazima prikazanim u stupcima. Originalna matrica je bila prikazana s ulazima u redovima, a izlazima u stupcima pa će se takve koristiti i u ovom radu osim ako nije drugačije istaknuto. Jednostavna matrica prikazana na slici 2. se zove još i binarni (engl. – *binary*) DSM zbog X indikatora koji predstavlja samo prisutnost veze između elemenata. Binarni DSM se može proširiti na razne načine dodavajući svojstva vezama, kao npr. upisujući broj ili simbol u polje ovisno o jakosti veze, ili prema nijansama boje. Ovakav oblik DSM-a se zove brojčani (engl. – *numerical*) DSM. Slika 3. prikazuje dva primjera. Dodatni svojstva veze između elemenata se mogu opisati dodavajući stupce lijevo od matrice u kojima bi se opisivali npr. tip, vlasnik, ili status svakog od elemenata.

DSM modeli se mogu preraspodijeliti ili preuređiti upotrebom jedne od brojnih analitičkih metoda pri čemu se najčešće koriste klasteriranje (engl. – *clustering*) i sekvenciranje (engl. –

(sequencing). Analiza klasteriranjem primjenjiva je ponajviše u proizvodnim i organizacijskim tipovima DSM modela, i to gdje su veze između elemenata uglavnom simetrične s obzirom na dijagonalu. Sekvenciranje se koristi kod procesnih tipova DSM modela i to onih sa direktnim ili vremenski ovisnim vezama.



Slika 3. Primjer veza kod brojčanog DSM-a koristeći brojeve (lijevo) i boje (desno) za prikaz jačine veze [1]



Slika 4. Analiza DSM-a preraspodjelom obično podrazumijeva klasteriranje (lijevo) ili sekvenciranje (desno), ovisno o vezama koje se opisuju u matrici. (lijeva i desna matrica ne prikazuju isti tip sustava) [1]

U literaturi i praksi se koriste razni nazivi za ovaj alat kojima se opisuje arhitektura sustava. Najčešće zato što se želi istaknuti da se taj alat koristi za modeliranje točno određenog tipa arhitekture sustava. No u suštini DSM je uvijek kvadratna matrica s redovima i stupcima koji

su identično označeni i razvrstani, pri čemu ćelije van dijagonale opisuju veze između elemenata na dijagonalni.

Često je moguće značajno unaprijediti sustav bez ozbilnjih promjena na njegovim elementima ili njegovim poveznicama. Znatna poboljšanja se postižu ako se promjeni samo način na koji su elementi strukturirani, npr. regrupiranjem komponenata proizvoda, svrstavanjem ljudi u različite timove, ili mijenjajući redoslijed aktivnosti u procesu. Spomenute promjene nam omogućuju da učinkovitije organiziramo arhitekturu proizvoda, učinkovitije upravljam organizacijom ili efikasnije provedemo proces. Ova poboljšanja su rezultat neke od metoda preraspodjile, najčešće sekvenciranja ili klasteriranja, primjenjene na arhitekturu sustava u DSM formatu.

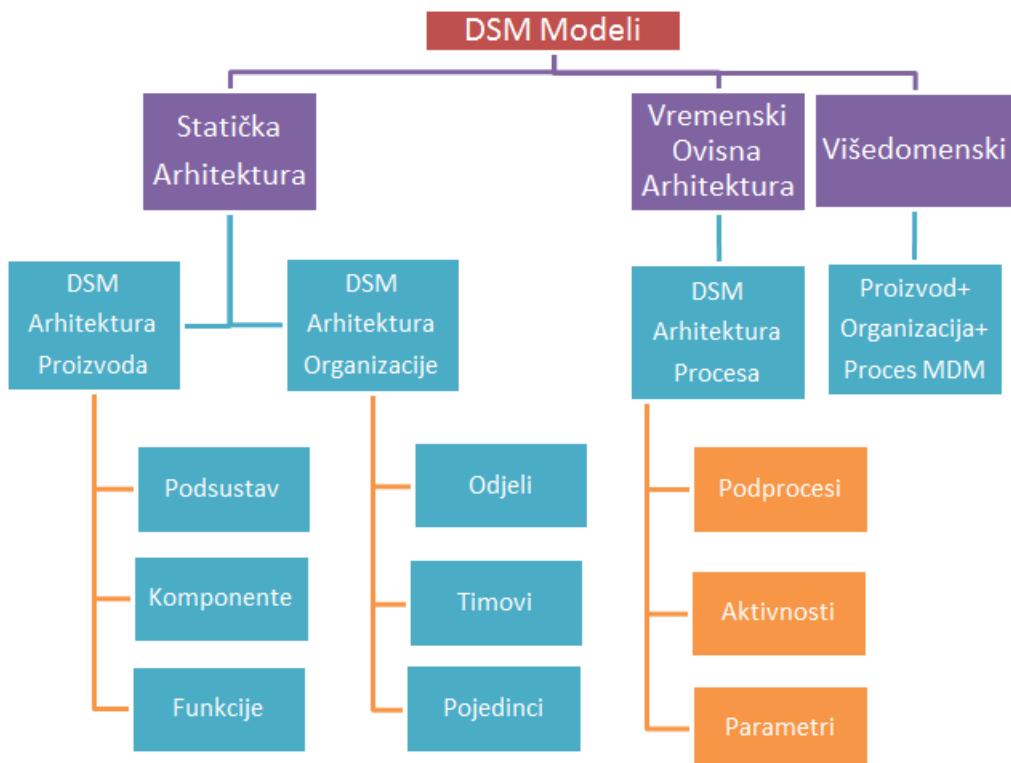
Prednosti DSM metode:

- **Sažetost** – Strukturirani raspored elemenata i njihovih veza daje kompaktan pregled arhitekture,
- **Preglednost** – Iz DSM arhitekture lako se može dobiti povratna informacija koji elementi najviše utječu na sustav te između kojih elemenata se odvija mnogo interakcije čijim restrukturiranjem i/ili reorganiziranjem u konačnici može dovesti do unapređenja sustava. DSM pruža pregled željene razine sustava iz kojeg se lakše donose odluke o promjenama u sustavu i pomaže boljem razumijevanju funkciranja sustava i njegovih sastavnica,
- **Intuitivnost** – Nakon savladavanja DSM alata, pojedinac uviđa s kojom brzinom i lakoćom je moguće razumjeti osnovnu strukturu kompleksnih sustava. Hiperarhija i kompleksnost postaju očite nakon samo letimičnog pregleda DSM-a.
- **Analiziranje** – Matrična priroda DSM metode otvara vrata primjeni brojnih analiza iz područja matričnog računa, kao i specijaliziranim alatima razvijenim posebno za DSM.
- **Fleksibilnost** – DSM je kroz povijest, odnosno tokom zadnjih par desetljeća, od svoje početne verzije prošao kroz brojne prilagodbe i promjene. Povećanje preglednosti i intuitivnosti uključujući boje, simbole i dodatne podatke osnovni su samo primjer mogućeg smjera za poboljšanje.

Nakon što je matrica strukture sustava ispravno napravljena, ljudi koji su stajali iza njne izrade nisu dobili samo bolji pregled strukture sustava već su prikupili skrivene informacije o

sustavu i potakli razgovor među raznim stručnjacima što ne bi bio slučaj u izvršavanju standardnog opisa posla. DSM daje ujednačen pogled na sustav i povećava projektantovo razumijevanje uzročno-posljedičnih veza koje se odvijaju u sustavu, što na kraju dovodi do kreativnosti i inovativnosti prilikom poboljšanja. DSM pomaže ljudima bolje upravljati kompleksnošću sustava.

2.2. Vrste DSM-a te pristup izradi i analizi



Slika 5. Hjerarhijski prikaz podjele DSM modela [1]

Gotovo svi DSM modeli do danas mogu se podijeliti u četiri tipa i tri glavne kategorije prikazane slikom 5. Prva kategorija sastoji se od modela sa statičkom arhitekturom (engl – *static architecture*), a predstavlja sustave čiji elementi mogu postojati istovremeno. U ovu kategoriju najčeće spadaju sustavi kao što su proizvodi (čije komponente fizički djeluju međusobno) i organizacije (čiji članovi komuniciraju međusobno). Druga kategorija se sastoji od modela s vremenski ovisnim tokovima (engl. – *temporal flow*) koji predstavljaju sustave čiji se elementi aktiviraju tijekom vremena. U ovu kategoriju spadaju svi tipovi procesa od koji su elementi predstavljeni sa svojim aktivnostima, pa čak i softverski procesi iako su oni

proizvod, ali izvode naredbe prema proceduri. Treću kategoriju predstavljaju višedomenski modeli (engl. – *multidomain matrix*) – MDM, koji se sastoje od više tipova DSM arhitektura (npr. proizvodne, procesne i organizacijske) spojenih u jednu matricu. Prikazuju se kombinirano kako bi se dobio odnos između različitih domena sustava.

Ova četiri tipa DSM modela su našla svoju primjenu u svim vrstama industrije, rješavajući različite tipove problema i situacija.

3. Izrada DSM modela

Rezultati koje će polučiti DSM metoda ovise o kvaliteti odrađene dekompozicije sustava te točnosti definiranih veza između elemenata. Najvažniji korak je dekompozicija proučavanog sustava u skup smislenih gradivnih elemenata. Prikladna dekompozicija može se dobiti ukoliko se npr. okupi grupa menadžera/stručnjaka iz različitih funkcionalnih grupa organizacije i zamoliti da zajednički naprave podjelu na podsustave koji najbolje opisuju sustav.

Dekompozicija može biti hijerarhijska ili nehijerarhijska. U hijerarhijskoj dekompoziciji sustav se dijeli na podsustave ili module. Ti moduli su dalje ponovno podijeljeni na komponente, a sustavi s nedvosmislenom i jednostavnom arhitekturom najviše odgovaraju ovom tipu podjele. Nehijerarhijska dekompozicija se koristi kod sustava koji su dvostrani i imaju komplikiranu arhitekturu. Nakon što je napravljena odgovarajuća podjela na elemente sustava ili aktivnosti koje prikladno opisuju projekt, postavlja ih se dijagonalno simetrično u stupce i redove DSM-a. Elementi matrice se tada opisuju s optimalnim (minimalnim potrebnim) brojem parametara koji utječu na podsustav i ponašanje cijelogupnog sustava, a podatke o tomu ponovno najbolje mogu dati voditelj i stručnjaci tih istih podsustava. Veze između podsustava se označavaju s X. Postupak je dan u nastavku: [1]

1. Definirati sustav i njegovo područje

DSM se koristi kao alat za proučavanje tijeka i razvoja kompleksnog proizvoda koji ima veliki broj interakcija između komponenti, stoga je važno definirati granice sustava kako bi se odredio smjer istraživanja. Različite definicije sustava daju različite rezultate.

2. Navesti elemente sustava

Već postojeća podjela sustava na elemente, ako postoji negdje u projektnoj dokumentaciji, je dobar početak. Autor DSM-a tada radi preinake na postojećoj podjeli sustava s ciljem fokusiranja na željene rezultate. Međutim, iskustva pokazuju kako se inicijalna podjela gotovo uvijek izmjeni tokom procesa izrade. Podjela sustava na elemente mora biti izrađena i/ili dogovorena u suradnji s menadžerima/ekspertima inače se radi o nagadanju.

3. Proučiti tok informacija među elementima sustava

Proučavanje projektne dokumentacije kao i intervjuiranje iskusnih inženjera koji rade na području od interesa je najpouzdaniji izvor informacija. Intervjui su važni koliko i projektna dokumentacija, jer veliki dio informacija ne bude sadržan ili se ne može zapisati u dokumentaciji, a pohranjen je u inženjerskim glavama. Intervjuirajući inženjere, autor DSM-a često se susreće s različitim pogledima na sustav i pripadajuće mu elemente, odnosno do sukoba mišljenja, koje je možda posljedica jednog od sljedeće navedenog.

Inženjeri imaju drugačije perspektive zbog razlike u njihovom poslu. U tom slučaju osoba koja provodi intervju bi trebala imati određeni stupanj znanja o razmatranom sustavu i tako biti u mogućnosti raspraviti o različitim gledištima te odlučiti koja perspektiva je ispravna, odnosno koja će ostvariti zacrtane ciljeve.

Najbolji intervju je u „četiri oka“, no pošto je takav i vremenski najzahtjevniji to često ne odgovara ni jednoj strani i zato se koriste intervju predlošci koje mora izraditi autor DSM-a posebno za tu priliku, a u kojima će se dobro obuhvatiti područje koje proučava. Ovu metodu često nalazimo u primjeni upravo zbog faktora vremena. Mišljenje menadžera/inženjera s viših pozicija se uzima kao relevantno ako dolazi u sukob s niže rangiranim osobljem, a ne postoji relevantnija metoda za utvrđivanje ispravnog. Sastanci su dobar način prikupljanja podataka, no i oni imaju negativne strane. Osim što su vremenski zahtjevni oni mogu dovesti do toga da niže rangirano osoblje ili osobe zatvorenijeg tipa ne žele iznositi svoja saznanja pred drugim kolegama. Pošto je DSM alat za analizu arhitekture konstrukcijskog projekta i njeni poboljšanje, najvažnija stavka je točnost podataka. U slučaju kad je brzina prikupljanja podataka ključna stavka dovodi se u pitanje kvaliteta prikupljenih informacija i kedibilitet DSM-a.

Koraci dva i tri su iterativni. Temeljito razumijevanje sustava kao rezultat intervjuiranja i proučavanja prikupljenih podataka podrazumijeva izmjenu inicijalne podijele sustava. No, sve to se radi s ciljem preciznijeg opisa sustava i što relevantnijih rezultata.

4. Popuniti matricu u skladu s prikupljenim podacima

Nakon obavljenog posla prikupljanja podataka potrebno je izraditi binarni DSM u kojem su opisane osnovne ovisnosti sustava i tok informacija između elemenata sustava. Binarni DSM dobro služi za preliminarnu analizu, međutim, bolje

razumijevanje sustava (projekta) možda zahtijeva uporabu brojčanog DSM-a koji pruža bolji opis sustava i omogućava detaljniju analizu.

5. Dati matricu inženjerima/menadžerima da je prokomentiraju

DSM omogućava konstruktorima i menadžerima bolji uvid u projekt te postavlja komunikaciju na višu razinu. Nužno je izrađenu matricu naknadno pokazati intervjuiranom osoblju i poslušati njihovo mišljenje. Ovo s jedne strane čini DSM transparentnijim u pogledu njegovih prednosti jer mnogi se tada po prvi puta susreću sa slikom sustava u matričnom prikazu, a s druge strane ih natjera da promisle o trenutnoj praksi pristupa projektu i razmisle o poboljšanjima. Ovo je svojevrsna provjera DSM-a jer svojim komentarima omogućavaju autoru da uvidi pogreške i dodatno usavrši strukturu matrice.

Izrada DSM modela:

1. **Dekompozicija** – Razlaganje sustava na njegove sastavne elemente i to kroz nekoliko hijerarhijskih razina.
2. **Identificiranje** – Prepoznavanje veza među elementima sustava.
3. **Analiza** – Elemente i njihove veze posložiti tako da se vide strukturalne šablone i njihov utjecaj na ponašanje sustava.
4. **Fokusiranje** – Nakon napravljenog DSM modela uočiti i istaknuti značajke koje su bitne ili su od interesa.
5. **Poboljšanje** – Izrada DSM-a ne nudi samo bolje razumijevanje sustava nego i poboljšanje sustava kroz aktivnosti koje su rezultat DSM analize i interpretacije modela.



Slika 6. Neizostavni koraci pri izradi, analizi i poboljšanju sustava [1]

Prije izvođenja navedenih pet koraka potrebno je provesti odgovarajuću pipremu i planiranje za izvedbu zacrtanih ciljeva. Izrada modela se može bitno razlikovati od gore navedene procedure i često sami nisu dovoljni, ali u svakom slučaju izrade DSM-a može se prepoznati svih pet koraka. Vrijeme potrebno za izradu obično iznosi nekoliko tjedana, a najviše ovisi o faktorima kao što su poznavanje sustava koji se modelira, pristup proizvodnim i procesnim stručnjacima, dostupnom dokumentacijom, razini detalja koja se želi postići u modelu i

naravno iskustvu DSM modelera. Iskustveni izraz koji se može naći u literaturi [1], a vezan uz potrebno vrijeme za izradu DSM modela je:

$$T = 0,02 \cdot N^2 \quad [\text{h}]$$

pri čemu je N broj elemenata u matrici.

3.1. Sekvenciranje (engl. - Sequencing)

Sekvenciranje je definirano kao analiza procesa arhitekture DSM-a kroz logičko razvrstavanje aktivnosti, utvrđujući pri tom serijske, paralelne i sparene setove aktivnosti. [1]

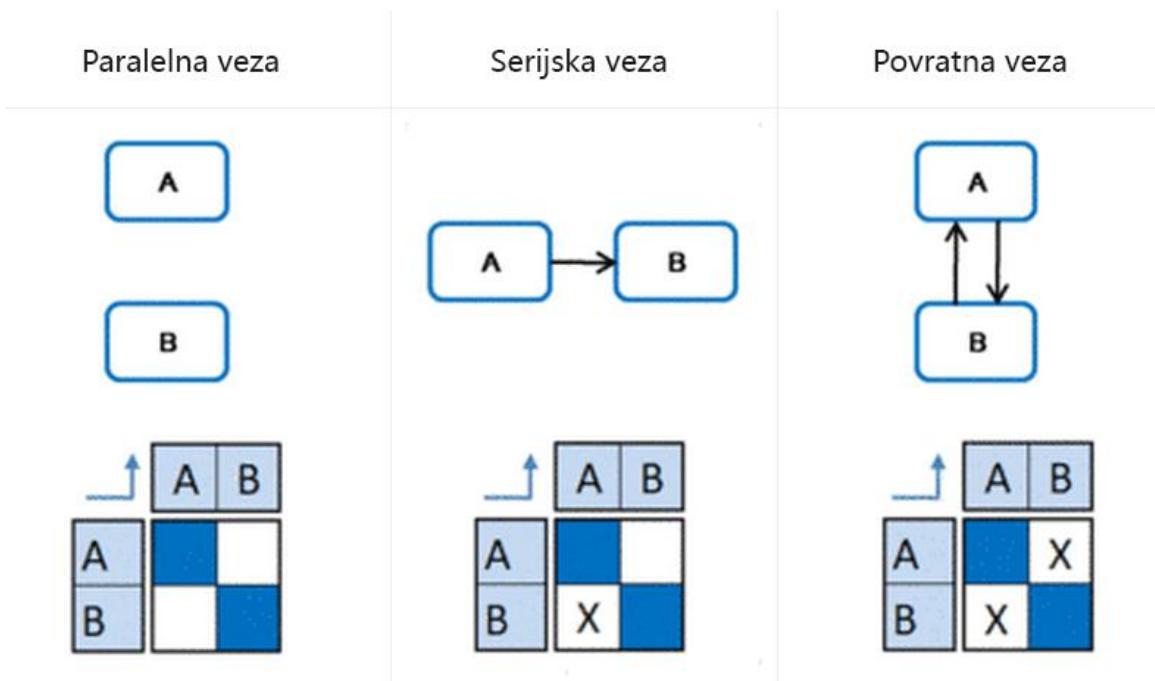
Sparene aktivnosti su dvije ili više povezanih aktivnosti s možebitnim iterativnim karakterom, uslijed postojanja povratne veze između svake od aktivnosti. Osim povratne veze postoje još dva osnovna tipa, paralelna i serijska veza koje ne povećavaju komplikiranosti sustava u onolikoj mjeri koliko povratne veze, ali ako nisu pravilno raspoređene u matrici, dodatno doprinose složenosti sustava.

Paralelnu vezu karakterizira neovisnost elemenata sustava. To znači da se u sustavu mogu izvoditi paralelno, odnosno u isto vrijeme. Neke paralelne aktivnosti možda nemaju direktnu vezu, ali ovise o istom elementu pa iz te perspektive jesu povezani.

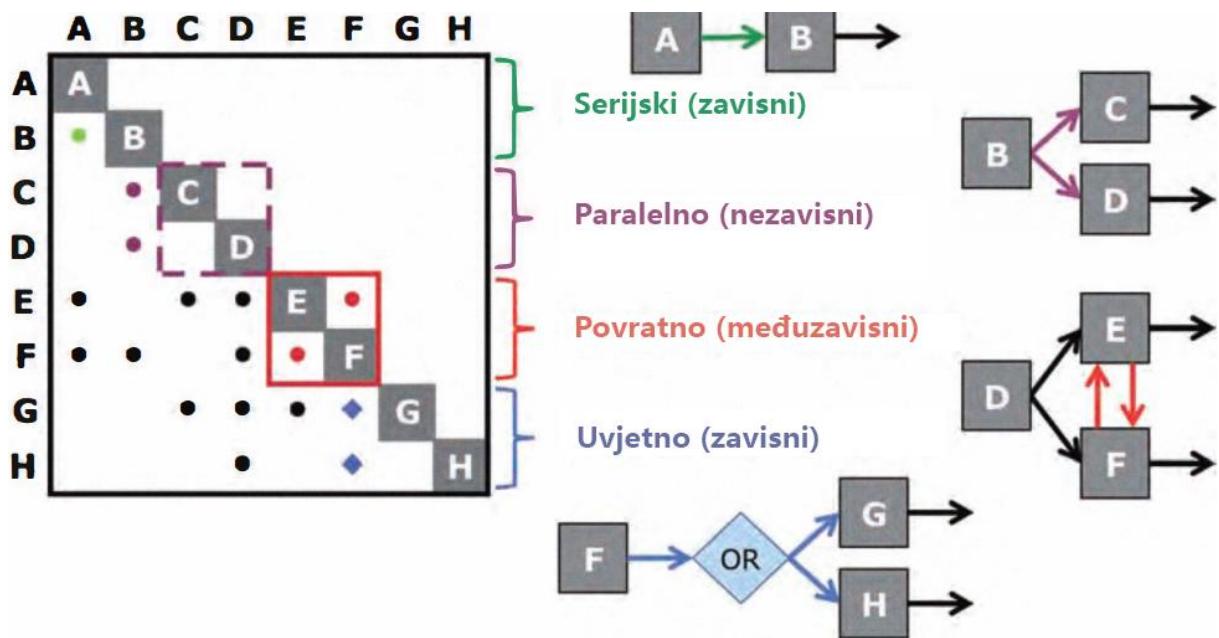
Serijska veza podrazumijeva izvođenje aktivnosti redoslijedom definiranim u sustavu. To znači da se elementi ne mogu izvršavati istovremeno, odnosno jedan od elemenata ima za izlaz informaciju bez koje sljedeći element ne može započeti. Postoje slučajevi kad se aktivnosti elemenata preklapaju i započinju istovremeno, ali u tom slučaju ovisi o prirodi sustava hoće li to biti moguće.

Elementi povratne veze su međusobno zavisni i zahtijevaju informaciju o ulazu i izlazu jedno od drugog. Ovakve aktivnosti su vrlo česte u inženjerskim projektima i sustavima, osobito gdje se nesigurnost rješava s analizom, *prototypingom*, i sl.,

Kondicionalna veza, koja se također ponegdje u literaturi[1] svrstava u osnovne tipove, označava uvjetno pokretanje aktivnosti elemenata koji su ispred, ovisno o ishodu aktivnosti elemenata izvedenih prije u sustavu.



Slika 7. Osnovni tipovi veza korišteni pri izradi DSM-a [4]



Slika 8. Serijska, paralelna, povratna i uvjetna veza prikazana u DSM-u

Sekvenciranje je oblik preraspodjele stupaca i redaka DSM-a s ciljem minimiziranja broja iteracija (ciklusa). Za kompleksne tehničke sustave, vrlo je nevjerojatno da će jednostavnim

prerasporedbom stupaca i redaka ostvariti idealnu formu matrice. Idealni DSM takvog sustava bi poprimio oblik donjetrokutaste matrice sa svim elementima koncentriranim uz dijagonalu. Svi algoritmi za sekvenciranje rade na sličnom principu, a to je: [4]

1. Prepoznati elemente sustava koji se mogu izvršiti/odrediti bez ulaznih parametara drugih elemenata u matrici. Ti elementi se lako prepoznaju u matrici po praznom retku. Nakon što ih se pronađe postavljaju se na lijevu stranu matrice. Nakon što su svi takvi elementi premješteni oni se više ne razmatraju u dalnjoj analizi.
2. Prepoznati elemente sustava koji nemaju izlazne parametre potrebne ostalim elementima u matrici. Ti elementi se lako prepoznaju u matrici po praznom stupcu. Nakon što ih se pronađe postavljaju se na desnu stranu matrice i ne razmatra više.
3. Ako ne preostane ni jedan element nakon 1. i 2. koraka tada je matrica potpuno particionirana. Suprotno, preostali elementi sadrže povratne veze i informacijske krugove.
4. Odrediti informacijske krugove jednom od sljedećih metoda:
 - a. *Path searching*
 - b. *Powers of the Adjacency Matrix Method*
 - c. Triangulacijski algoritam (engl. – *Triangularization Algorithm*)
5. Spregnuti elemente uključene u jedan krug u reprezentativni element i vratiti se na korak 1.

Dan je primjer korištenja metode *Path searching*: [4]

- a. U metodi *Path searching* tok informacija se prati unatrag ili unaprijed sve dok se isti zadatak ne pojavi dva puta. Svi zadatci između prvog i drugog pojavljivanja tvore petlju informacijskog toka. Kad se sve petlje pronađu, i svi zadatci rasporede, sekvenciranje je gotovo i matrica je u donjetrokutastoj formi. U nastavku je dan jednostavan primjer, ali s obrnutim redoslijedom redova i stupaca, odnosno u redovima se nalaze izlazi, a ne ulazi kao do sada.

	A	B	C	D	E	F	G
A	X						
B		X	X				
C	X			X			
D	X						X
E							
F		X	X				X
G	X	X					

	A	B	C	D	E	F	G
A	X						
B		X	X				
C	X			X			
D	X						X
E							
F		X	X				X
G	X	X					

Slika 9. Početni oblik matrice (lijevo); Element F nema nikakve ulaze od drugih elemenata pa ga se premješta na početak matrice i ne razmatra više (desno);

	F	A	B	C	D	E	G
F	X			X	X	X	
A		X					
B			X	X			
C	X				X		
D	X						X
E							
G		X	X				

	F	A	B	C	D	G	E
F	X			X	X	X	
A		X					
B			X	X			
C	X				X		
D	X						X
G		X	X				
E							

Slika 10. Ni jedan element ne zahtjeva izlaz od elementa E pa ga se premješta na kraj matrice i ne razmatra više (lijevo); Nije preostao niti jedan element sa slobodnim retkom ili stupcem. To znači da postoje povratne veze u matrici te se proizvoljno odabire element A i uočava njegova ovisnost o C. Zbog toga se mogu spojiti u jedan element (CA) (desno);

	F	CA	B	D	G	E
F	X			X	X	
CA	X	X				X
B		X	X			
D	X				X	
G	X	X				
E						

	F	B	D	G	CA	E
F			X	X	X	
B		X		X		X
D			X	X		
G	X			X		
CA					X	
E						

Slika 11. Element CA ima prazan redak što znači da ne tvori povratnu vezu s nijednim od preostalih elemenata (lijevo); Ponovno se traži petlja elementa B, proizvoljno odabranog, s ostalim preostalim elementima. Element B ovisi o G koji ovisi o D koji ponovno ovisi o B. To je posljednja povratna veza koja uključuje sve preostale elemente (desno);

The diagram illustrates two 7x7 matrices representing dependencies between seven entities (A through G) on both the rows and columns. The first matrix (left) shows a dense network of dependencies. The second matrix (right) shows the same entities partitioned into three clusters: {F, B}, {D, G, C}, and {A, E}. The connections are primarily within these clusters, indicating a more organized or partitioned system.

Slika 12. Početni(ljevo) i konačni izgled matrice nakon što je proces particioniranja dovršen (desno)

Nakon particioniranja sustav ima manje povratnih veza, što u konačnici, ovisno o tipu sustava, znači pouzdanije i brže izvođenje sustava. Mogu se uočiti i elementi koji se izdvajaju iz cjeline sustava što u konačnici može dovesti do formiranja novog podsustava ako to inženjeri/menadžeri odluče.

3.2. Klasteriranje (engl. - *Clustering*)

Kada elementi u DSM-u predstavljaju komponente proizvoda ili timove razvojnog projekta, cilj algoritma analize i razvrstavanja elemenata u matrici potpuno je drugačiji od onog pri sekvenciranju. Sada je cilj pronalazak podskupova DSM elemenata (klastera ili modula) koji se međusobno isključuju ili imaju minimalan utjecaj jedni na druge, odnosno klastera kao grupe elemenata koji su međusobno usko povezani, a slabo povezani s ostatkom sustava. Algoritam za postizanje prije spomenutog se naziva klasteriranje.

Drugim riječima, klasteri sakupu većinu (ponekad i sve) veza među elementima u svoj okvir (granice), a veze između klastera se svedu na minimum ili potpuno eliminiraju.

Radi ilustracije, dan je primjer sa sedam sudionika (elemenata matrice) prikazani na DSM primjeru ispod. Ako je cilj analize formirati nekoliko timova, prema danim vezama između ljudi u DSM-u označenih s X, koliko je optimalno imati timova i ljudi u svakom timu? Klasteriranjem DSM-a prema primjeru ispod odredit će se optimalan broj timova i broj ljudi u svakom od timova prema vezama među ljudima. Ulazi su u stupcima, a izlazi u redcima.

	1	2	3	4	5	6	7
1	X					X	
2	X	X	X			X	
3			X			X	
4		X	X	X	X		X
5	X		X	X	X		
6	X			X		X	
7		X	X	X			X

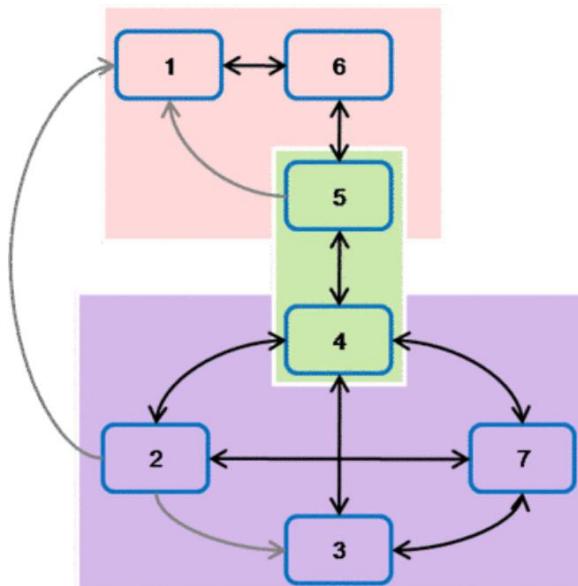
	1	6	5	4	2	3	7
1	X						
6	X	X					
5	X	X	X		X		
4			X	X	X	X	X
2	X			X	X	X	X
3			X				X
7		X	X	X			X

Slika 13. Početni(lijevo) i konačni izgled matrice nakon provedenog klasteriranja(desno) [4]

Iz dobivene konfiguracije sustava sustav je podijeljen u tri tima:

tim 1		član 1,5 i 6
tim 2		član 4 i 5
tim 3		član 2,3,4 i 7

Bitno je napomenuti da je osoba četiri član tima dva, ali i tima tri. Na taj način više veza među članovima je zadržano unutar tima, bez nepotrebnog povećavanja veličine tima (uključivanjem člana 5 u tim tri).



Slika 14. Veze među članovima sustava s definiranim granicama među timovima [4]

4. DSM arhitekture proizvoda

Zadatak diplomskog rada je izrada DSM-a za dani energetski transformator nakon čega je potrebno napraviti analizu mogućnosti prerasporedjele pojedinih komponenti u druge sklopove, te općenito analizirati njihov optimalan raspored za tražene sklopove ako se kao kriteriji uzme potrebno vrijeme i broj konstruktora. Traženi sklopovi energetskog transformatora su oprema, cjevovodi te metalni dijelovi, pod koje spada kotao, dno kotla, poklopac kotla i konzervator. Želi se postići smanjenje potrebnog vremena za razradu ovih sklopova energetskog transformatora i to optimiranjem toka informacija među inženjerima i preraspodjelom posla između navedenih sklopova među konstruktorima.

Kako se energetski transformator sastoji od velikog broja malih komponenti, međusobno zavisnih, a koje se daju svrstati u pripadajuće sklopove i koji zajedno djelujući čine jedan tehnički sustav, odnosno proizvod, nameće se sam po sebi tip DSM-a kojim će provesti analiza.

4.1. Proizvod ili Sustav

Kompleksan proizvod ili tehnički sustav dolazi u raznim oblicima, pa tako npr. automobili, zrakoplovi, strojevi, elektronički uređaji, i sl. Arhitektura bilo kojeg proizvoda podrazumijeva međusobni raspored komponenata koji zajedno ostvaruju predviđenu svrhu. Arhitektura je sadržana u komponentama proizvoda, njihovim međusobnim odnosima i odnosima proizvoda s okolinom, ali i na principima na kojima se temelji izrada konstrukcije te njena evolucija. Ovisno o pogledu na sustav, komponente proizvoda predstavljaju sastavne elemente koji sačinjavaju sustav ili proizvod. Međuodnosi u matrici predstavljaju vezu između komponenti, a mogu biti različitog tipa ovisno o prirodi veze između njih. Klasteri su grupa komponenata promatrani kao cjelina zbog određenih veza koje postoje među njima, a određeni kroz analizu DSM-a arhitekture proizvoda, s ciljem boljeg opisivanja sustava te povećanja njegove učinkovitosti.

4.2. Izrada DSM modela arhitekture proizvoda

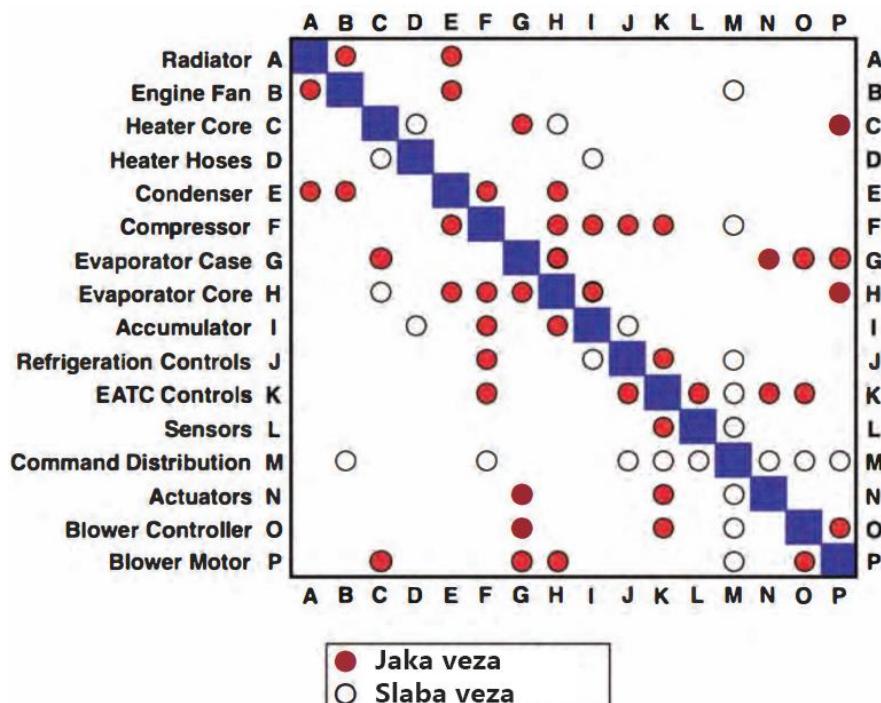
Izrada arhitekture podrazumijeva sljedeća tri koraka:

1. Hjerarhijska dekompozicija proizvoda u module i komponente
2. Dodjeljivanje funkcija komponentama i modulima
3. Definiranje veza među modulima i komponentama (ključni korak kod primjene DSM)

Do danas, DSM su koristili brojni inženjeri i znanstvenici za analizu arhitekture proizvoda, a ovisno o kontekstu i autoru dobiva je i razna imena, pa tako npr. DSM arhitekture proizvoda, DSM arhitekture sustava, DSM proizvoda, i sl. U svim slučajevima DSM model predstavlja proizvod opisan preko komponenti i veza među njima.

Okvirna izrada DSM arhitekture proizvoda uključuje:

1. Dekompozicija proizvoda ili sustava u cjelini na podsustave i/ili komponente.
Postavljanje kvadratne matrice DSM modela s nazivima komponenata u redovima i stupcima.
2. Prepoznati veze među komponentama i predstaviti ih pomoću znaka ili vrijednosti u DSM polju.



Slika 15. Primjer modela DSM arhitekture proizvoda upravljačkog sustava klimatizacijskog uređaja u automobilu [1]

Prije upuštanja u izradu DSM modela određenog proizvoda valja imati sljedeće na umu: [1]

- **Granice sustava** mogu biti određene već iz prvog pokušaja dobro, no često to nije slučaj. One se biraju tako da uključuje sve relevantne komponente i veze koje se žele prikazati u DSM modelu. Prve skice modela će ukazati na to da li su potrebne promjene u granicama sustava nakon što se pokaže koliko je kvalitetno sustav opisan postojećim.
- Postoje različiti **tipovi veza**, poveznica, odnosa i interakcija među komponentama. Neke je moguće dobro definirati, kao npr. fizičku vezu između komponenata. S druge strane neke nije lako obuhvatiti, ili su skrivene, ili se javljaju samo pod određenim uvjetima, kao na primjer prijenos topline, vibracije, razne vrste smetnji i utjecaja okoliša. Zbog toga je dobro koristiti različite oznake, vrijednosti ili boje pri označavanju pojedinih tipova veza u DSM-u.
- Razmotriti razinu, stupanj i **jakost veze** između komponenti. Umjesto binarnog DSM-a, možda će se varijacije u sustavu bolje opisati s brojčanim DSM modelom, npr. podjela na jake i slabe veze kao na primjeru sa slike 15.
- Većina veza u DSM modelima proizvoda su **simetrične**. To bi značilo da ukoliko postoji veza između komponente A i komponente B, tada je B, također, povezana s komponentom A. Asimetrične veze su također prisutne, ovisno o tipu veza koji se koristi u DSM modelu, npr. komponenta C proizvodi buku koja utječe na komponentu D, ali ne i obrnuto.
- Postoji optimum u **broju komponenata** koje sačinjavaju model, iako ga je gotovo nemoguće pogoditi već u prvoj iteraciji, ali nalazi se između pretjerano detaljno opisanog modela i jednostavnog modela kojeg je isto tako lako za interpretirati. U literaturi [1] se preporučuje započeti s manjim brojem komponenata, DSM veličine 20-50 komponenata, a zatim dodavati komponente i veze gdje je procijenjeno da treba. Prilikom određivanja optimalnog broja na umu treba imati svrhu izrade modela i dostupne resurse za izradu modela, koji će onda sugerirati u kojem rasponu se nalazi optimalni broj. Naknadna analiza napravljenog DSM modela može otkriti gdje je potrebno dodatno poboljšati (detaljizirati) model, kao i dijelovi koji imaju previše informacija, a bez da se gubi smisao i cjelovitost modela.
- **Prepoznavanje veza** među komponentama inicijalno obično počinje preko dostupne dokumentacije, dostupnih informacija o vezi i sl. Međutim, za većinu DSM modela proizvoda, nužno je prikupiti barem dio podataka kroz direktnе intervjuе sa

stručnjacima iz konkretnog područja kako bi se izvukle informacije o sustavu koje nisu ili se ne daju zapisati u dokumentaciji. Preporučljivo je verificirati i prokomentirati DSM model nakon izrade s ljudima koji stoje iza njegovih komponenata.

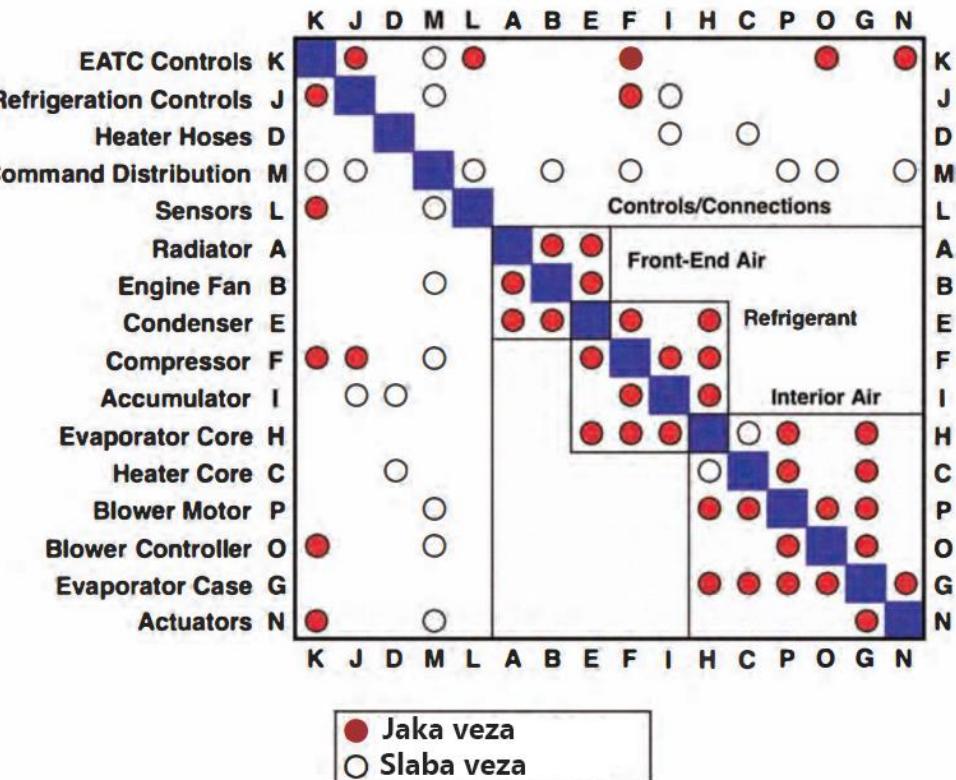
Ispravno izrađeni DSM model ima sljedeće karakteristike: [1]

- Model ima očitu svrhu, odnosno model nije napravljen samo da bi se napravio,
- Model sadrži adekvatan broj detalja za predviđenu namjenu,
- Ljudi koji stoje iza napravljenog DSM modela, prethodno su imali dovoljno znanje ili ekspertizu o konkretnom sustavu,
- DSM se promatra kao „dinamični model“, konstantno ga osvježavajući s novim podacima i saznanjima,
- Dovršeni DSM model često prati otkrivanje novih, inače skrivenih karakteristika sustava.

4.3. Analiza DSM modela arhitekture proizvoda

Kao što je već nekoliko puta spomenuto, izradom DSM modela nekog tehničkog sustava nerijetko isplivaju korisne informacije o karakteristikama sustava koje nisu bile toliko očite prije. Još veći broj ih se može derivirati kroz pažljivu analizu modela. Najčešće korištena metoda za analizu DSM modela arhitekture proizvoda je klasteriranje (engl. – *clustering*). To je jedan oblik analize preraspodjelom redova i stupaca matrice u kojem se grupiraju elementi prema zadanim kriterijima, a to je obično broj i jačina veza. Klasteri formiraju grupe komponenata s ciljem povećanja učinkovitosti kroz njihovo zajedničko djelovanje. Na primjer, više komponenti koje proizvodi/dobavlja isti proizvođač/dobavljač, a međusobno su usko povezane, dobar su kandidat za povezivanje u klaster.

Slika 16. prikazuje DSM model upravljačkog uređaja klimatizacijskog sustava u automobilu koji je prošao kroz proces klasteriranja. Nakon analize DSM-a vidljive su tri grupe komponenata s mnogo jakih, međusobnih veza i pokojom vezom prema ostalim komponentama sustava. Grupe su označene kao vanjski zrak, rashladni sustav, unutrašnji zrak. Te grupe nazivaju se klasterima, podsustavima ili modulima, ovisno o kontekstu i autoru. U rezultatima klasteriranja, osim tri očita klastera, postoji i grupa od 5 iterativnih komponenti koje tvore raspodijeljeni klaster označen kao kontrole/priklučci.



Slika 16. Model DSM arhitekture proizvoda upravljačkog sustava klimatizacijskog uređaja u automobilu nakon klasteriranja [1]

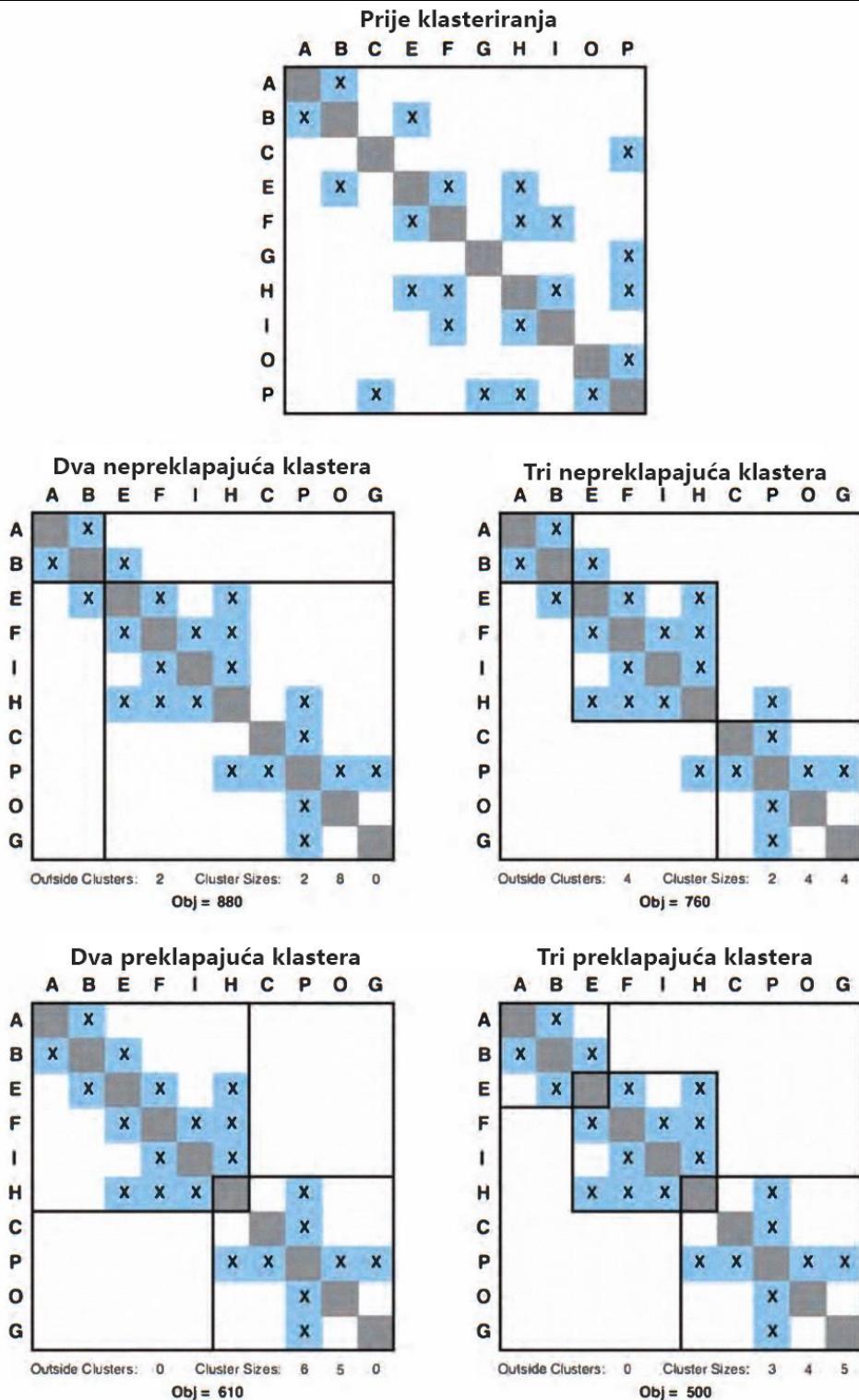
Klasteriranje je u osnovi problem raspodjele koji traži optimalnu raspodjelu između N komponenti i M klastera. Matematičke funkcije koje stoje iza klasteriranja rade kompromis između dva konfliktna cilja:

- I. Minimizirati broj i/ili jačinu veza izvan klastera,
- II. Minimizirati veličinu klastera.

Ne može se definirati najbolji omjer jer je on funkcija tipa sustava i DSM-a. To znači da je neizbjegljivo usporediti rezultate dobivene klasteriranjem s različitim postavkama ciljnih funkcija, a iz njih će se često dati izvući korisne informacije o ponašanju arhitekture sustava. Na sljedećoj slici su prikazana četri rezultata klasteriranja - sa ili bez preklapanja komponenti i sa dva ili tri klastera. Ciljna funkcija uzima u obzir i veličinu klastera (C_i) i broj veza izvan klastera (I_o), prema sljedećem izrazu: [1]

$$Cilj = \alpha \sum_{i=1}^M C_i^2 + \beta \cdot I_o$$

pri čemu je $\alpha = 10$ i $\beta = 100$.



Slika 17. Rezultati klasteriranja prema jednostavnoj ciljnoj funkciji koja treba minimizirati broj veza izvan klastera i veličinu klastera [1]

Ako se koristi neka od analitičkih metoda za klasteriranje DSM-a, potrebno je prekontrolirati dobivene rezultate. Sljedeće valja uzet u obzir: [1]

- **Broj klastera (M)** se mora unaprijed definirati inače bi bez ograničenja rezultat analize mogao biti ili $M = 1$, odnosno cijela matrica jedan klaster, ili da proglaši svaku komponentu jednom matricom, odnosno $M = N$. Naravno da nijedan od prije spomenutih ekstrema nije poželjan, stoga je nužno definirati granice i nakon svake analize promotriti rezultate dok ne budemo zadovoljni.
- **Veličina klastera** se kontrolira definiranjem gornje i donje granice broja komponenata koje se mogu nalaziti u klasteru. Ponekad je dobro donju granicu broja klastera postaviti na jedan. Međutim, maksimalan broj komponenata koje se mogu naći u jednom klasteru se mora ograničiti. Variranjem ovih granica direktno utječemo na maksimalni broj klastera u matrici.
- Primjer **preklapajućih klastera** je dan na slici 13, 16 i 17, međutim, većina algoritama koji nisu napravljeni za DSM ne podržavaju preklapanje komponenata u dva ili više klastera. Prepoznavanje i povezivanje takvih komponenata čini važnu stavku u optimiranju arhitekture proizvoda. Stoga, klasteriranje DSM modela općenito dopušta mogućnosti preklapanja u klasterima, ali samo ako su takva rješenja bitna za određeni slučaj.
- Spomenuta su četiri **tipa veza** među komponentama: prostorna povezanost, tok materijala, tok informacija i prijenos energije. Konfiguracija klastera matrice koja sadrži sve tipove veze će se bitno razlikovati od matrice koja sadrži samo jedan tip veze. Postavlja se pitanje, koji tip veze bi trebao imati prednost pred ostalim prilikom klasteriranja? Odgovor treba potražiti usporedbom DSM modela s različitim tipovima veza, odnosno njihovom kombinacijom i zasebnim promatranjem.
- **Povezujuće komponente** nalaze se gore lijevo u matrici na slici 16. One imaju značajno više veza i to sa svim komponentama. Povezujuće komponente obično obavljaju funkcije nadzora i kontrole ili povezuju komponente (npr. cjevovodi u klimatizacijskom sustavu prikazanom na slici 16). Pojedini algoritmi za klasteriranje posjeduju mogućnost podešavanja broja veza iznad kojih se komponenta automatski postavlja u povezujuće komponente. Ove komponente se smještaju u gornji lijevi ili donji desni kut DSM-a. Kao što je bio i slučaj s ostalim parametrima algoritma za klasteriranje, variranjem gornjeg broja veza dobije se bolji uvid u problematiku sustava.

- **Ručno klasteriranje** se često koristi za fino podešavanje klastera nakon što je provedeno klasteriranje nekim od softvera. Ponekad cijeli proces klasteriranja se provodi ručno no samo ukoliko se radi o jednostavnijem sustavu.
- **Odabir optimalne podjele** - Modularizacija danas znači balansiranje velikog broja faktora, stoga je korisno predložiti nekoliko rješenja i razmotriti ih s menadžerima/inženjerima prije nego se donese konačna odluka.

4.4. Rezultati analize

DSM arhitekture proizvoda pruža vrlo jasan prikaz sastavnih komponenti proizvoda i detaljnu mrežu njihove interakcije. Sadrži u isto vrijeme dekompoziciju proizvoda i mrežu veza. Najčešća analiza koja se primjenjuje je klasteriranje, čime se generiraju alternativne podjele komponenata u module, poboljšava razumijevanje strukture proizvoda i unosi inovativnost u arhitekturu.

DSM dobiva na vrijednosti s povećanjem proizvoda i kompleksnosti njegovog sustava. Danas pogotovo dobiva na značaju, kada kompleksnost sustava prelazi mentalne sposobnosti pojedinca, pa i grupe, da zapamti sve detalje sustava. Dvije glavne prednosti DSM-a su sposobnost da sažeto prikaže relativno velik broj komponenata te njihove veze i istakne područja sustava s bitnim grupama komponenata te tako utječe na modularnost sustava.

5. Izrada arhitekture sustava energetskog transformatora

Izrada arhitekture sustava proizvoda doprinosi boljem razumijevanju tehničkog sustava i otvara mogućnosti za unaprjeđenje u vidu upravljanja, nadziranja i poboljšanja. Prije nego se krene u izradu potrebno je imati jasno definiran cilj koji će kasnije sam nametnuti metodu koja će najlakše i/ili najbolje dovesti do njegovog ostvarenja. Ovisno o cilju razlikovat će se i konačni izgled arhitekture sustava, jer nije isto ako se želi poboljšati proizvod, reorganizirati proizvodnja ili optimirati raspodjelu posla. Nakon što su jasno definirani ciljevi i odabran alat za njihovo postizanje slijedi definiranje granica sustava. Različite granice sustava za isti tehnički sustav dat će različita rješenja, kao što je pokazano u trećem poglavljtu, stoga je vrlo bitno razumjeti što se želi postići i koje komponente utječu na ishod. Prilikom određivanja komponenti sustava autor si konstantno mora postavljati pitanje: „Na koji način ova komponenta utječe na sustav i kako je vezana s drugim komponentama?“. Prvo treba doći do ispravno definiranog sustava spremnog za daljnju analizu i izvlačenje korisnih informacija. Izrada arhitekture sustava je iterativan proces i potrebno je n puta razmotriti podjelu sustava i definirane granice jer samo tako možemo biti sigurni u dobiveno rješenje.

5.1. Transformatori

Transformator je mirujući elektromagnetski uređaj koji na načelu elektromagnetske indukcije pretvara sustav izmjeničnog napona u drugi ili više drugih sustava napona iste frekvencije.

Transformatori koji se koriste u elektroenergetskom sustavu za prijenos i razdiobu električne energije nazivaju se energetski transformatori, a s obzirom na snagu dijele se na: [2]

- Generatorske ili blok transformatore koji se koriste u elektranama za spajanje generatora i visokonaponske mreže.
- Mrežne transformatore koji transformiraju napon visokonaponske mreže npr. 400 kV, 220 kV ili 110 kV u napon distribucijske mreže 30 kV ili 35 kV. Mogu biti tronamotni transformatori, autotransformatori i regulacijski transformatori.
- Distribucijski transformatori koji se izvode za napon od 35 kV i niže. Izrađuju se kao dvonamotni i tronamotni.

Osim energetskih transformatora postoje i ostale vrste transformatora koji se zajedno nazivaju specijalni transformatori.

Prema načinu hlađenja transformatori se dijele na: [2]

1. Suhe transformatore
2. Uljne transformatore

Zbog loših izolacijskih svojstava zraka te njegovih loših svojstava kao toplinski vodič, suhi transformatori grade se za napone do 50 kV i snage do 10 MVA. Nezapaljivost je njihova glavna prednost pa se koriste na mjestima gdje je to od posebne važno (brodovi, bolnice, rudnici). Uljni transformatori imaju aktivni dio (jezgru, namote, priključke i sklopku) uronjene u izolacijsku tekućinu, odnosno ulje. S obzirom na dobra izolacijska svojstva i veliku specifičnu toplinu transformatorskog ulja, transformatori visokih naponi i velike snage izrađuju se u pravilu kao uljni.

Aktivni dio transformatora i ulje nalaze se u kotlu, odnosno kućištu kojeg čine: dno, kotao, poklopac s kupolama i konzervator. Preko radijatora i stjenki kućišta, generirana toplina se prenosi iz aktivnog dijela transformatora u okoliš. S obzirom da Končar Energetski transformatori d.o.o. proizvodi transformatore snage od 25 do 500 MVA i napona od 30 do 450 kV govoriti će se isključivo o uljnim transformatorima.

Osnovni dijelovi konstrukcije transformatora su jezgra, namoti, priključci, kućište, oprema, konzervator i ulje.

- **Kotao** – dio kućišta transformatora u koje se ulaže jezgra s namotima i svi ostali aktivni dijelovi. Stjenke kotla napravljene su od čeličnog lima kojem se krutost povećava navarivanjem ojačanja. Kotao mora biti hermetički zatvoren zbog ulja koje se u njemu nalazi. Na kotlu se nalaze nosači za ormarić instalacija i ormarić sklopke, priprema za nosač konzervatora, razni ventili i zasuni za kontrolu ulja u transformatoru, kabel kanali, montažni otvori, nosač hladnjaka itd. Radi transporta unutar pogona i same montaže mora sadržavati prihvate za mosni granik, ali i hidrauličku dizalicu.

Poklopac kotla isto tako služi kao potpora za brojne komponente, pa tako: VN,SN i NN provodnike, kupole, kabelske kutije, montažne otvore, regulaciju sklopke. Spoj između kotla i poklopca najčešće se izvodi pomoću vijčane prirubnice, u suprotnom je zavaren za kotao i zajedno čine konstrukciju tzv. transformatorskog zvona.

Dno kotla se često zavaruje nakon izrade po obodu plašta kotla i jedini način rastavljanja je rezanje, ali postoji i mogućnost povezivanja vijčanim spojem s brtvom između prirubnica. Taj način povezivanja je skuplji jer zahtjeva više strojne obrade koja na kraju mora biti i preciznija. Broj vijaka na prirubnici doseže brojke od 150 komada što kasnije, u slučaju

potrebe, predstavlja problem za rastaviti i sastaviti. Veliki broj vijaka je potreban radi brtvljenja uslijed podtlaka koji kotao mora podnijeti pri vakumiranju. Konstrukcijski se izvodi ili kao debela čelična ploča (do 60mm) ili ravna čelična ploča ojačana IPE profilima. Glavna funkcija mu je nositi aktivni dio transformatora i podnijeti opterećenja prilikom transporta. Na njemu se također nalaze razni ventili i zasuni za ispuštanje i kontrolu ulja, kao i transportni prihvati za hidrauličku dizalicu.

- **Jezgra** – sastavljena je od limova debljine 0,26 mm koji se slažu jedan na drugi na način da se dobije približno kružni presjek (određuje teorija magnetizma). Jezgra se nakon slaganja tlači steznim pločama koje su pričvršćene svornjacima i učvršćuje između donjeg i gornjeg jarma pomoću čeličnih letvica visoke čvrstoće. Kod većih transformatora se dodatna čvrstoća i krutost jezgre dobivaju dodatnim zatezanjem pomoću bandaža od stakloplastike koja tijekom zagrijavanja polimerizira i tako dobiva konačna svojstva.

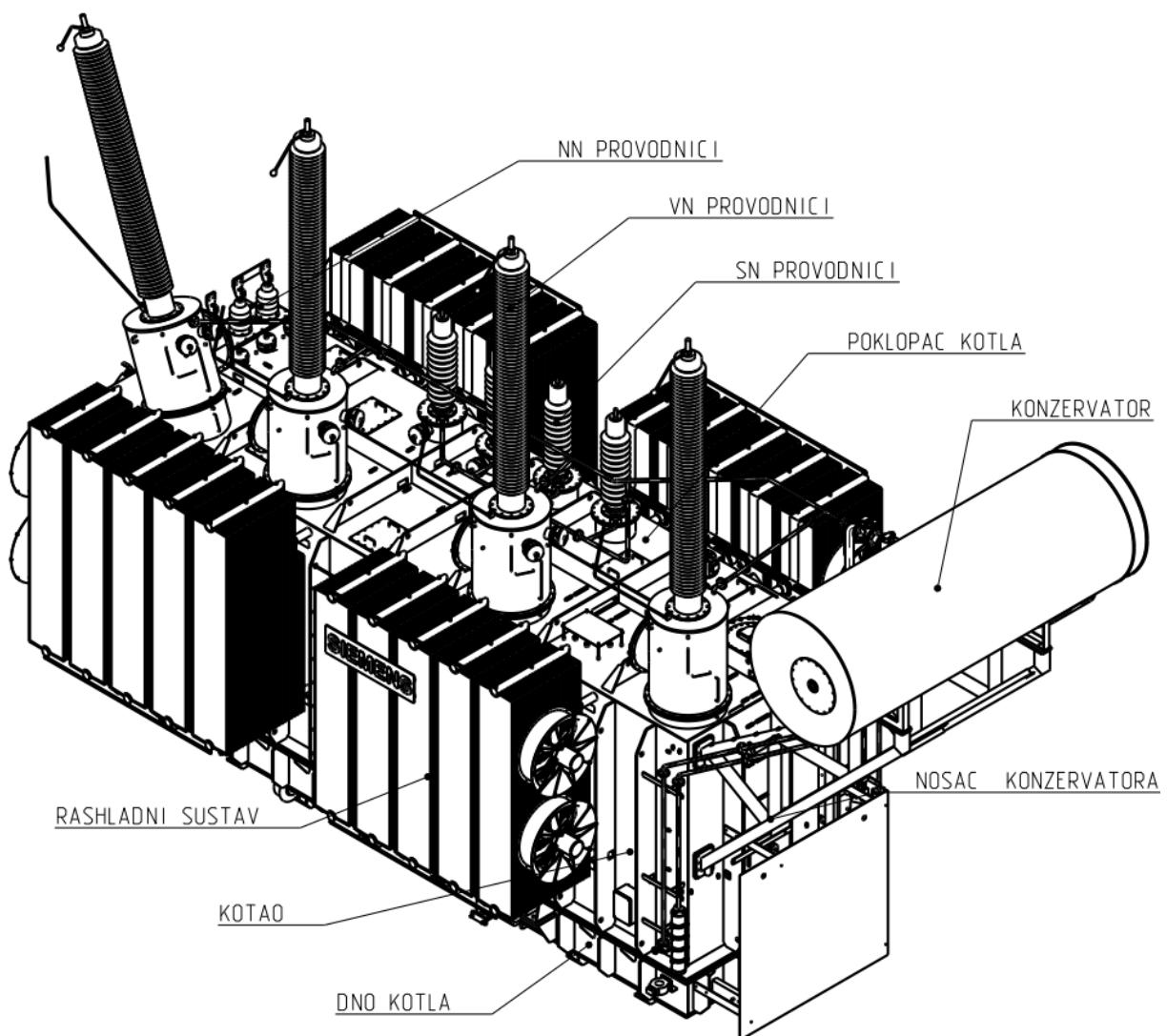
- **Namoti** (svitci) – postoji više vrsta namota: NN (niskonaponski), SN (srednjenaponski), VN (visokonaponski), RN (regulacijski), TN (stabilizacijski). Ovisno o zahtjevima naručioca, uobičajeni raspored namota od manjeg promjera prema većem je: stabilizacijski, niskonaponski, visokonaponski te regulacijski. Regulacijski namoti služe za upravljanje i regulaciju izlazne struje i napona na transformatoru. Namoti su od bakrene žice izolirane papirnatom (Kreppapir) izolacijom kod transformatora većih snaga dok je kod transformatora manjih snaga i napona dovoljna izolacija lakom. Između slojeva namota stavljuju se radikalni kanali da bi se stvorili procjepi kojima kasnije prolazi ulje koje je nužno za hlađenje i izolaciju namota.

- **Priklučci** – aktivni dio transformatora koji povezuje namote i glavnu sklopku. Krajeve namota potrebno je spojiti s glavnim sklopkom, a pri tome ne smiju svojim magnetskim poljem ometati druge komponente aktivnog dijela transformatora. Ukoliko se radi o trofaznom transformatoru s visoko, srednje i niskonaponskim namotom te finom i grubom regulacijom sa stabilizacijom problem postaje vrlo kompleksan. Na glavnoj sklopici je, prema željama kupca u tehničkim podacima za narudžbu transformatora, moguće višestruko kontrolirati prijenosne omjere pojedinih namota. Priklučci svaki puta zahtijevaju potpuno novu tehničku dokumentaciju, a ako se tome pridoda kompleksnost i osjetljivost izvedbe onda je jasno da su konstrukcijski najkomplikiraniji dio transformatora.

- **Oprema** – pod sklop opreme se ubrajaju i cjevovodi koji povezuju konzervator s kupolama provodnika i vode do raznih ventila i zasuna za ispuštanje i punjenje ulja. Na njima se nalaze *buholtz* releji, ventili, zasuni i odušnici koji spadaju pod opremu. Osim navedenog,

pod opremu spadaju radijatori rashladnog sustava, ormarići, označne pločice, kabel kanali, razni priključci i na kraju vijčana roba. Ovo je sklop na kojem se očekuju i na kojem su moguće brojne promjene što vode ka ubrzajućem procesu. Fizičke veze između komponenti i razmjena informacija između konstruktora prilikom konstruiranja će odlučivati o raspodjeli.

- **Ulje** – koristi se za hlađenje i izolaciju transformatora. Ispunjava cijelu unutrašnjost kotla, što ponekad znači i po nekoliko stotina tona ulja. Puni se nakon sušenja tako da se prvo napravi vakuum i tako osigura da uđe u sve nazuže procjepe i u cijelosti popunjava prostor jer nema zračnih mjehurića koji bi to onemogućavali.



Slika 18. Osnovni sklopovi Energetskog transformatora „Yasmine 120“

5.2. Aktualni sustav

Svrha izrade DSM-a za navedene sklopove je analiza arhitekture sustava i eventualna preraspodjela komponenata između sklopova. Analizom sustava planira se ostvariti bolji uvid u trenutno funkcioniranje sustava kao i prostor za unaprjeđenje efikasnosti sustava kroz poboljšanje arhitekture. Trenutno stanje sklopova oprema i cjevovodi nije zadovoljavajuće i voditelji odjela konstrukcije su uvjereni da postoji, ali i da je nužna preraspodjela dijela poslova iz cjevovoda i opreme na odjel metalnih dijelova. Time bi se, osim rasterećenja sustava u pogledu količine posla i podataka koje je potrebno obraditi, smanjila potrebna komunikacija između odjela, a ona uzima značajnu količinu vremena pri konstruiranju te dodatno stvara mogućnosti za pogreške zbog krivo plasiranih informacija, da bi se na kraju dobio efikasniji sustav i kvalitetniji proizvod.

Mogućnosti izbora i ispunjavanja želja kupca su u posljednjih 10 godina doveli do pojedinačne proizvodnje velikog broja transformatora, a značajno se povećala količina opreme koja ide na transformator. Variranje tih opcija je dovelo do toga da od stotinjak transformatora što je ove godine izašlo iz tvornice za skoro pola se moralo raditi veći dio nove ili u potpunosti nova konstrukcija, dok je unatrag samo 4 godine taj broj bio oko 130 transformatora i 23 nove konstrukcije. Zbog rapidnog povećanja količine zahtjeva kupca, uz istovremeno povećanje količine opreme, broja dijelova i kompleksnosti transformatora, menadžment nije bio u stanju provesti analizu i napraviti reorganizaciju sustava. Organizacija sustava odjela konstrukcije predviđena je za dvadesetak transformatorskih konstrukcija godišnje i funkcionalala je dobro dok je tako i bilo, no 2011. godina je donijela više od duplo narudžbi za koje je sustav sposoban, točnije 48. S obzirom da kapitalizam pozna samo profit, a firma mora voditi brigu o reputaciji, pogotovo u vrijeme velike „ekonomskе krize“, svi ugovori su prihvaćeni i odrađeni u ugovorenom terminu. Međutim, dobit te godine nije bila veća, kako bi se dalo naslutit, već manja i to zbog prije spomenutog smanjenja vrijednosti potpisanih ugovora, odnosno smanjenja serija u kojim su se transformatori naručivali. Kako je to sustav „izgurao“ iako nije predviđen za toliki broj narudžbi? Menadžment firme smatra da je sustav vjerojatno „sposobniji“ nego se to za njega predviđalo, no treba istaknuti da se isto tako uvela dodatna, treća smjena u sve pogone, a odjel Konstrukcije i Projektnog su osim radnog tempa od 120% morali ostajati prekovremeno 3 mjeseca po 2h dnevno plus zaposleno je desetak novih inženjera na oba odjela. Trend zapošljavanja novih ljudi na odjelu konstrukcije se nastavlja, ali to nije dugoročno rješenje problema. Voditelj svakog od

sklopova je obavezan prekontrolirati obavljeni posao razrade konstrukcije inženjera zaposlenih na tom sklopu, a to uzima glavninu njegovog radnog vremena, tj. s današnjim rokovima uzima i više nego što je moguće obaviti tokom osmosatnog radnog vremena. Menadžment u susret tome „zateže“ rokove i zadaje još više posla, a granice bilo mentalne bilo fizičke ne dopuštaju dalje. Kako je kontrola neophodna, jedno od rješenja je zapošljavanje novih voditelja, no to su inženjeri s dugogodišnjim iskustvom iz svih područja transformatora i njihov broj je itekako ograničen, a promicanjem nedovoljno kvalificiranih ljudi „izbjegava se pravi problem“ te povećava mogućnost skupih pogreški. Dakle, sustavu novozaposleni ljudi doprinose vrlo malo, jer krajnja brzina razrade konstrukcije konkrenog transformatora ovisi o krajnjoj brzini voditelja kojom može prekontrolirati dokumentaciju. Pošto se do novih voditelja ne dolazi preko biroa, to znači da su nužne promjene u sustavu. Činjenica da se u 2014. očekuje 55 konstrukcija itekako ide tome u prilog.

Problem kojeg bi se uz pomoć ovog diplomskog rada trebalo riješiti, usredotočava se na mogućnosti poboljšanja i uštede pri razradi konstrukcije metalnih dijelova, cjevovoda i opreme.

Kako se obim posla oko pojedinog transformatora povećavao tako su se novi zadaci vezani uz opremu dodjeljivali istoimenom odjelu, no to tada nije bilo predviđeno kao stalno rješenje. Dio posla kojeg izvodi oprema lako može obaviti konstruktor iz nekog od odjela metalnih dijelova s kojim je taj dio fizički povezan. Razlog zašto to nije tako karakterističan je za KPT, a vezan je uz nabavu. Narudžba metalnih dijelova i opreme od vanjskih suradnika je jeftinija ukoliko su vremenski rokovi za izradu dulji. Zbog toga je pri prvoj promjeni organizacije sustava, kada je broj transformatora bio još uvijek ispod 20 konstrukcija godišnje, napravljen odjel opreme kako bi se ubrzala izrada dokumentacije za narudžbu iste. Odjel se zadržao i s vremenom od metalnih dijelova priključio cjevovode. Danas, sa skoro 50 konstrukcija godišnje, kada se jedva ostvaruju krajnji rokovi narudžbi, ovaj odjel je izvor zastoja. Na račun fizičkih veza i razmjene informacija između konstruktora planira se napraviti DSM model koji će ukazati na optimalnu raspodjelu, ili barem smjernice po kojim izvesti raspodjelu posla, no ne očekuje se prijedlog formiranja novog sklopa nakon klasteriranja matrice, eventualno grupiranje u veći.

5.3. Izrada DSM-a

Energetski transformator, kao što je već spomenuto, je proizvod izrazito složene arhitekture, ali ne zbog tehničke komplikiranosti, kao što je slučaj npr. sa avionom, već zbog velikog broja komponenti od kojih je sastavljen i koje je potrebno pravovremeno razraditi. Pa tako, broj dijelova ukoliko se u obzir uzme vijčana roba i pločice između namota može biti i preko 80 000 što ga svakako svrstava među proizvode vrlo složene arhitekture. Stoga, izrada DSM modela svakako opravdava utrošena sredstva jer korisne informacije koje se dadu iščitati iz njega mogu donijeti manja ili veća unapređenja, a to na kraju danas znači konkurentnost i uštede.

Započeto je s traženjem modela transformatora koji će se uzeti kao reprezentativan. Radi se o „Yasmine 120“ transformatoru koji je izrađen za naručitelja iz Alžira, nazivne snage 120 MVA i napona 245 kV, a dodijeljen od strane rukovoditelja odjela Konstrukcije. Zatim su izvađeni svi montažni crteži glavnih sklopova s pripadajućim sastavnicama i potom proučeni te prokomentirani s inženjerima radi potpunog razumijevanja veza među komponentama i toka konstrukcijskog procesa. Iz dostupne dokumentacije glavnih montažnih crteža i pripadajućih sastavnica napravljena je podjela na komponente.

Prva verzija matrice napravljena je na temelju fizičkih veza između komponenata i toka informacija pri konstruiranju, a zatim su određene veze među komponentama. Druga verzija matrice napravljena je od najvažnijih parametara koji se uzimaju u obzir prilikom konstruiranja. Za izradu i analizu je korišten besplatni programski alat „CAM – Cambridge Advance Modeller“ razvijen na Cambridge sveučilištu. Ostali besplatni programski alati nisu imali mogućnost klasteriranja, već samo ručnog premještanja. Programi kao „Project DSM“ koji ima vremenski ograničenu besplatnu verziju također nema mogućnost klasteriranja, a osim toga funkcija ručnog prebacivanja redaka matrice ne radi ispravno i već nakon par pomaka izazove rušenje aplikacije. Također, sačuvani dokument prilikom ponovnog otvaranja ponovno vrati na automatsko preslagivanje. Nadalje, Dodavanja veza između elemenata mu je vrlo neintuitivno (nema mogućnost dodavanja veza direktno u matrici) iako program pri samoj izradi novog projekta izgleda vrlo impresivno. Program za koji sam se na kraju odlučio, tj. CAM, ima zadovoljavajuće opcije za posao koji je ovaj diplomski zahtijeva. Najveća manja mu je nedostatak opcije brojčane matrice. Nažalost nijedan od programa nije imao mogućnost podešavanja ciljne funkcije klasteriranja, pokazane na slici 17 i objašnjene u poglavlju 4.3.

Isto tako, niti jedan od dostupnih programa nije imao mogućnost brojčane matrice i klasteriranja.

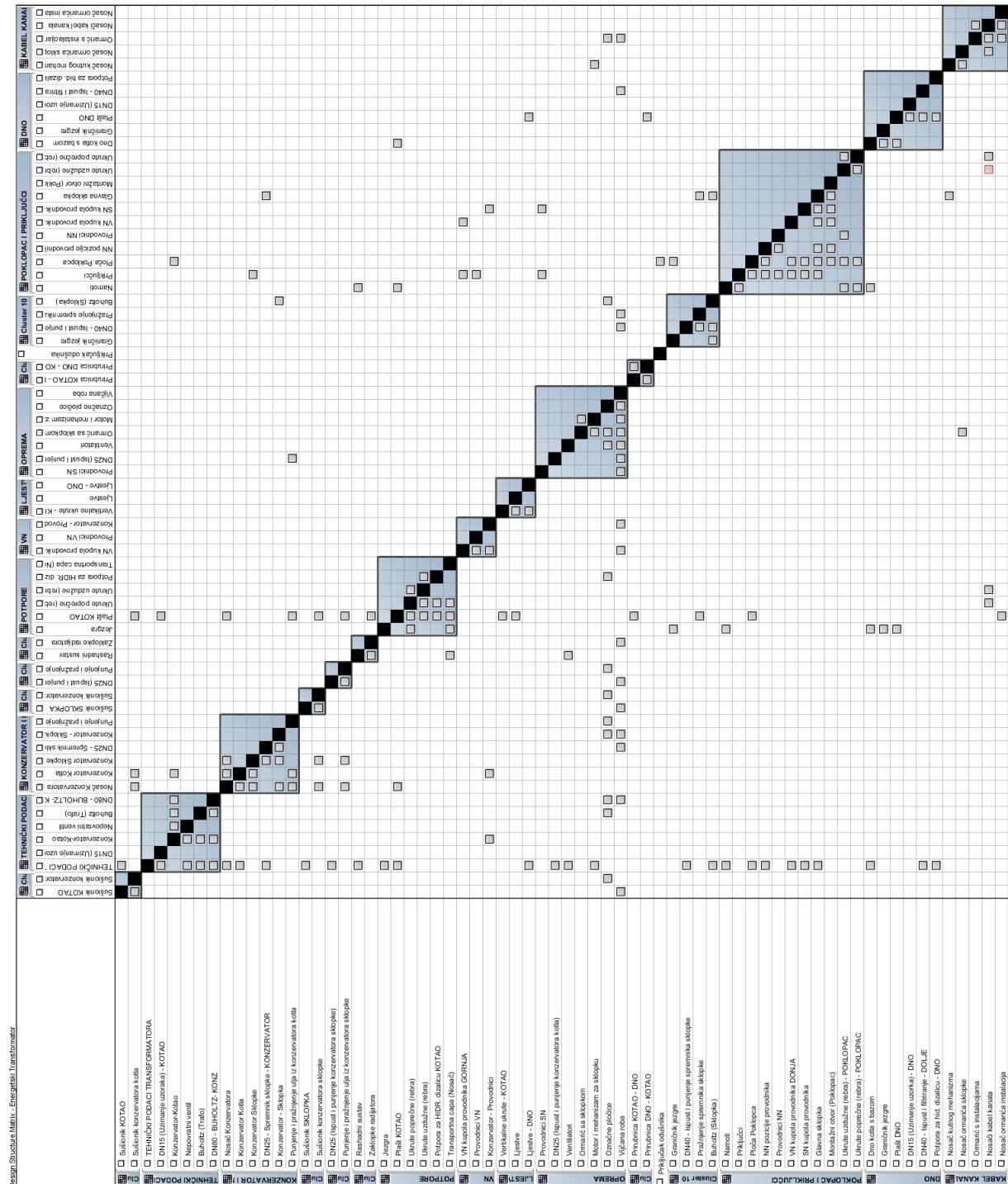
5.4. Komponentni DSM model

Prvi korak kod oba DSM modela je definiranje granica. Uzete su samo komponente koje čine promatrane sklopove, odnosno pozicije iz glavne sastavnice. Pošto te komponente zahtijevaju ulazne informacije od određenih komponenti i sklopova koje ne ulaze u okvire metalnih dijelova, opreme i cjevovoda, sustav je proširen i na njih. Međutim, ti sklopovi nisu secirani na komponente već su uzeti kao sklop. Da nije tako, na kraju bi se došlo do prevelike i nepregledne matrice koja sadrži gotovo sve komponente transformatora. Iz takve matrice vrlo je teško izvući korisne informacije, stoga je vrlo bitno ispravno definirati granice sustava. Problem prevelikog broja elemenata (>100) je izbjegnut uključivanjem samo komponenti glavnih sklopova koje su predmet proučavanja. Na primjer, ukoliko pozicija glavne sklopke na poklopcu kotla (Metalni dijelovi) traži ulaznu informaciju od određene komponente iz sklopa Priklučci, stavljena je ovisnost te komponente o cijelom sklopu umjesto točno određene komponente.

Nakon što su sve željene komponente unesene i njihove definirane međuvisnosti, nužno je provjeriti, redak po redak, da li je sve ispravno odrađeno. Broj komponenata završio je na 69. Broj veza među komponentama je 211, što je 4,5% od mogućeg broja veza te se može reći da je matrica slabo popunjena. To obično znači da se komponente mogu razrađivati relativno neovisno jedna o drugoj.

U nastavku su prikazane verzije matrice nakon klasteriranja uz pomoć algoritma ugrađenog u program i verzija nakon ručnog preslagivanja elemenata u klastere. Radi se o konačnim verzijama matrica, a prethodne nema smisla prikazivati jer se razlikuju neznatno u broju komponenata i njihovim vezama.

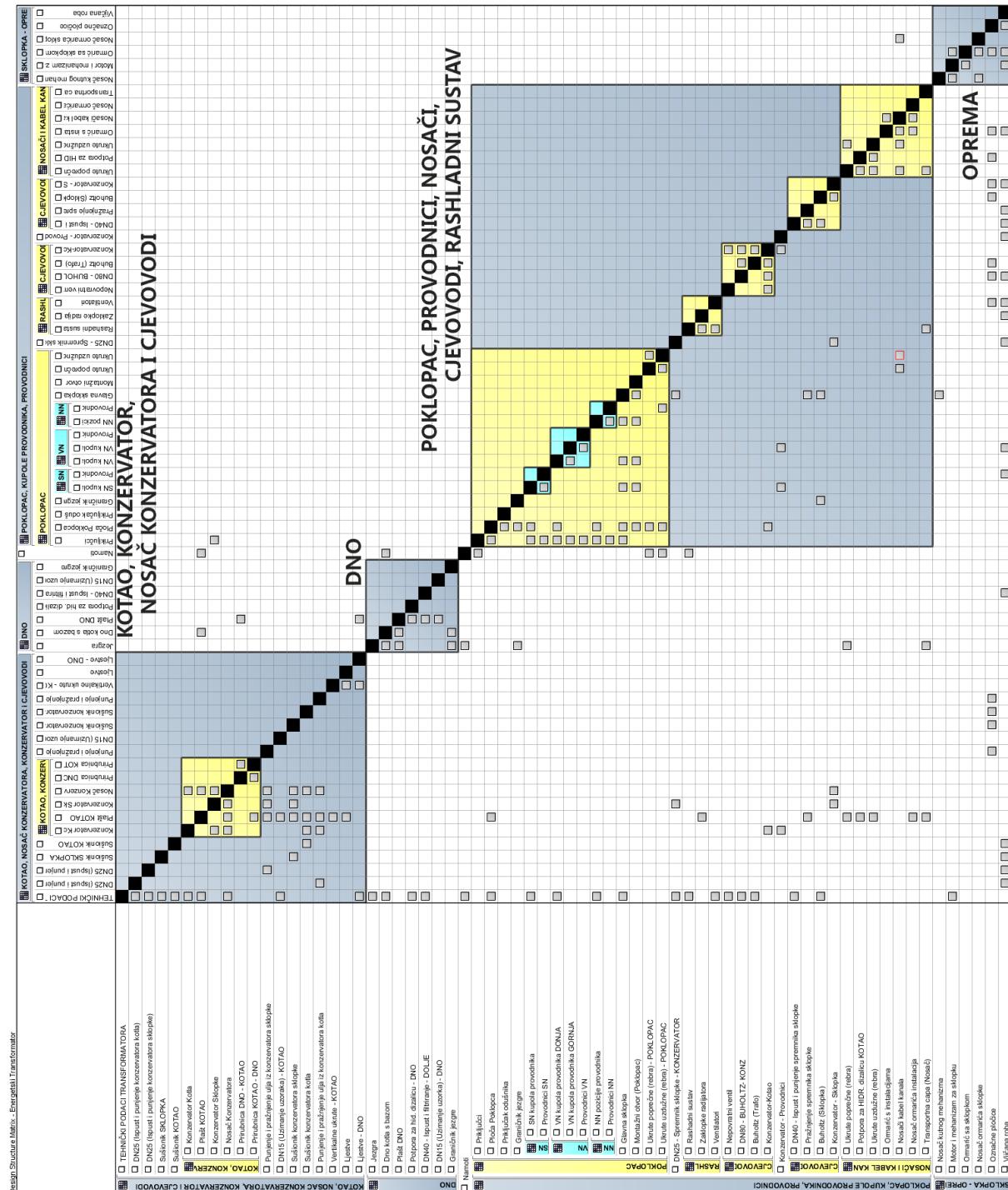
Program je uspješno formirao klastere i prepoznao neke od sklopova koji kao takvi danas postoje u strukturi odjela konstrukcije, kao npr. konzervator i nosač konzervatora, poklopac kotla te rashladni sustav. Formirano je 15 klastera od kojih najmanji ima samo 2 elementa dok najvećeg čini 11 komponenti. (Slika 19)



Slika 19. Proizvodni DSM model izrađen i klasteriran pomoću algoritma ugradenog u CAM.

Ne može se sa sigurnošću govoriti o prihvatljivoj veličini klastera jer bi to bilo određivanje parametara optimuma i zaključivanje prije nego se provjeri što DSM model predlaže, no dvije komponente ne mogu biti mjerilo za formiranje novog sklopa u strukturi odjela konstrukcije. Vidljivo je da postoje i komponente koje nisu u nijednom od klastera, a razlog je slaba povezanost s drugim komponentama. Nakon klasteriranja, svaki od klastera je sekvencioniran

posebno, da bi na kraju i sam redoslijed klastera bio sekvencioniran. Nakon što su predloženi klasteri razmotreni, potrebno je unijeti ljudski faktor i posložiti matricu prema viđenju autora. Imajući na umu postojeće sklopove formirani su klasteri kao što je prikazano na sljedećoj slici. Valja spomenuti kako je program vrlo intuitivan za ručno preslagivanje klastera i izvođenje sekvencioniranja te klasteriranja.



Slika 20. Proizvodni DSM model izrađen i klasteriran pomoću algoritma ugrađenog u CAM te naknadno ručno prepravljen imajući na umu postojeću podjelu na sklopove.

Nakon ručnog klasteriranja smanjen je broj klastera na 4. Neki od klastera obuhvaćaju veliki broj komponenti pa je dodatno napravljena podjela na klastere unutar samog klastera, a ona nudi prijedloge za raspodjelu posla među konstruktorima razrađivačima. Osim toga smanjen je broj veza u gornjetrokutastoj matrici koje u ovom slučaju predstavljaju potrebu za razmjenom informacija između ljudi/odjela koji razrađuju dotične komponente. Najudaljenija veza od dijagonale, a koja se nalazi u gornjetrokutastoj matrici, predstavlja povezanost ovisnost plašta kotla o namotima i glavne sklopke o priključcima. Oba podatka se nalaze u tehničkim podacima transformatora i ne predstavljaju stvarni iteracijski postupak. Dakle, zanemarivi su.

5.5. Parametarski DSM model

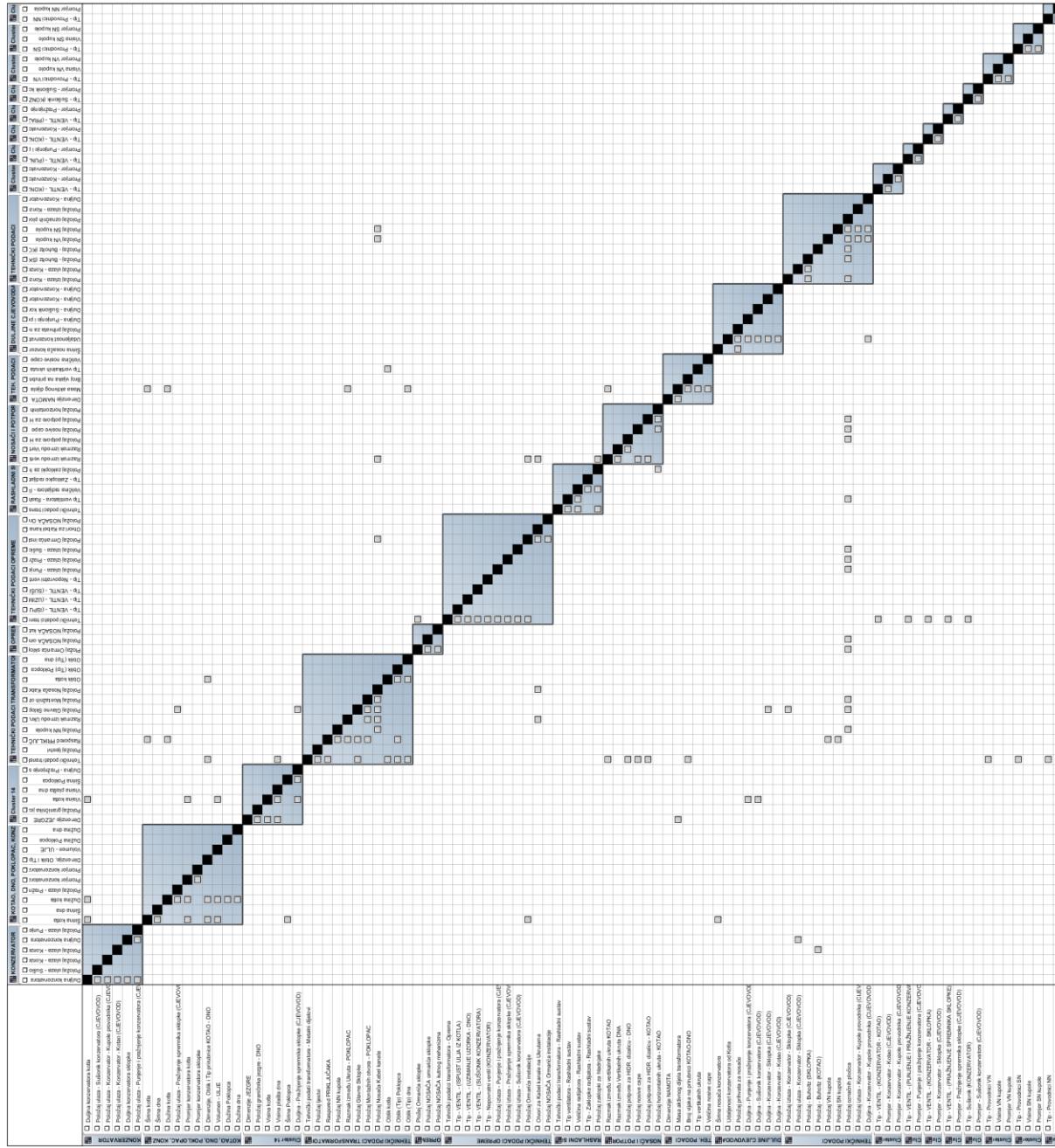
Nakon što su određene granice, uzeti su parametri koji određuju promatrane sklopove, odnosno pozicije iz glavne sastavnice. Očekivano, određeni parametri zahtijevaju ulazne informacije od komponenata koje ne spadaju među metalne dijelove, opremu i cjevovode. Radi se o dimenzijama i masi aktivnog dijela transformatora (namoti, jezgra i priključci) te kao mjerodavni parametri nužno ih je bilo staviti u matricu jer određuju gabarite pasivnog dijela transformatora, odnosno njegovu vanjštinu. Ti parametri, u slučaju ručnog klasteriranja, svrstani su pod poseban klas ter nazvan „Tehnički podaci transformatora“ jer to i jesu podaci koji se nalaze u projektnoj dokumentaciji transformatora. Pošto svaka komponenta teoretski ima svoju visinu, dužinu, širinu i položaj, što vodi k matrici od 500+ parametara, i bilo bi nepraktično sve ih navoditi jer većina gabaritnih parametara pojedine komponente ovise međusobno jedna o drugoj i mogu se reducirati u jedan, dok samo jedan od njihovih parametara je zapravo povezan s komponentom ili komponentama hijerarhijski iznad nje. Na primjer položaj i dimenzije nosača ormarića sklopke koji ovisi o dimenzijama ormarića i položaju sklopke. Ako spojimo nosač i ormarić sklopke u jednu komponentu nije se izgubila niti jedna informacija jer su položaj i gabariti tih komponenti usko povezani.

Ukoliko je neki od parametara izostavljen, npr. položaj i dimenzije nekog od ventila na kotlu, to ne znači da je model matrice neispravan i da će davati krive rezultate. Iz sličnih parametara i njihove raspodjele u klastere se može zaključiti kamo pripada izostavljena komponenta.

Nakon što su svi željeni parametri uneseni i njihove veze definirane, nužno je provjeriti, redak po redak, da li je sve ispravno odradeno. Broj parametara završio je na 99. Broj veza među komponentama je 188, što je 1,9 % od mogućeg broja veza te se može reći da je matrica slabo

popunjena. To potvrđuje slučaj dobrih mogućosti razrade pojedinih komponenti neovisno o drugima spomenut pri kraju prošlog poglavlja.

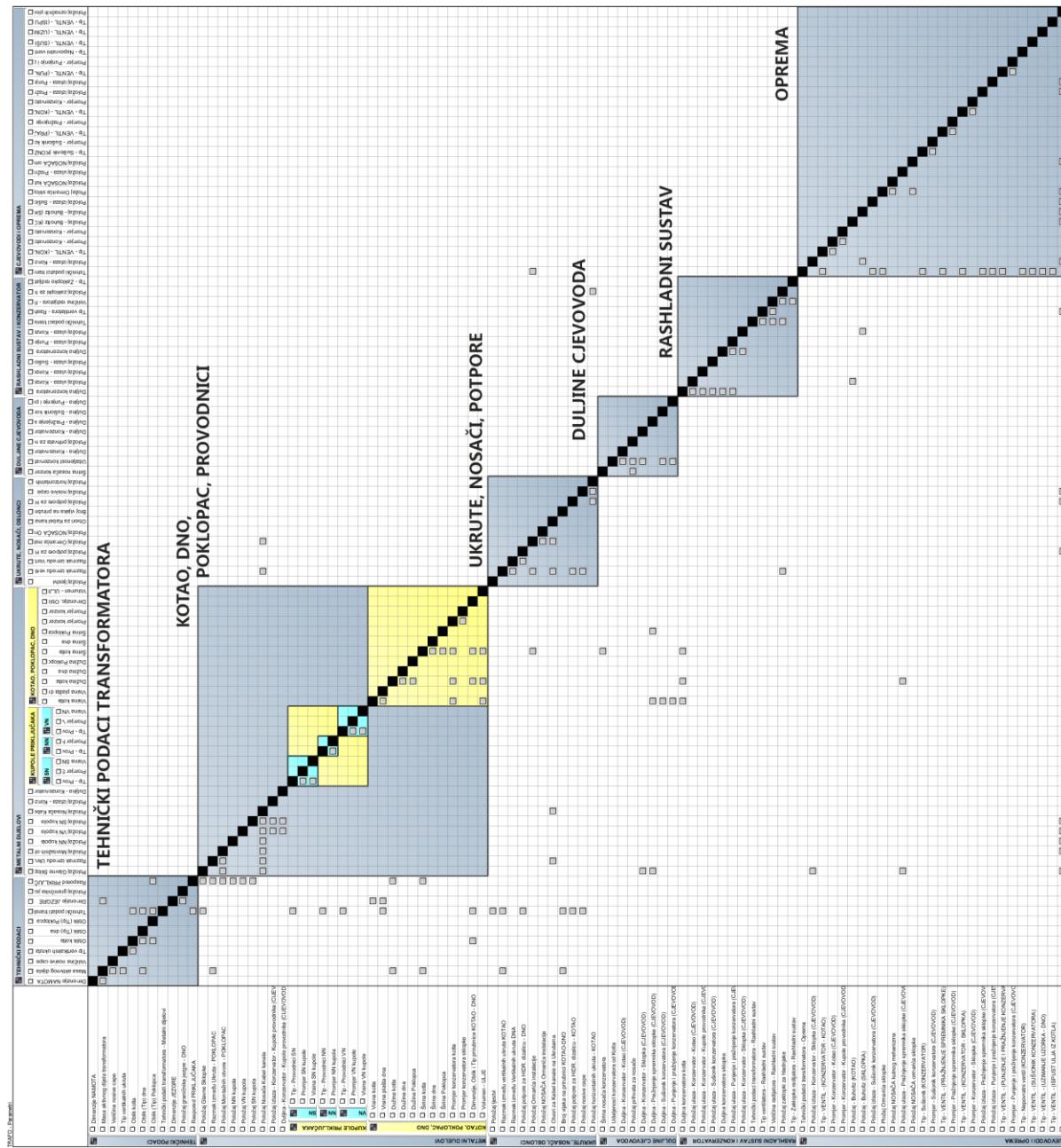
U nastavku su prikazane verzije matrice nakon klasteriranja uz pomoć algoritma ugrađenog u program i verzija nakon ručnog preslagivanja. Radi se o konačnim verzijama matrica, a prethodne neće bit prikazane.



Slika 21. Parametarski DSM model izrađen i klasteriran pomoću algoritma ugrađenog u CAM.

Formiran je velik broj klastera s dva ili tri člana, što je posljedica vrlo malog broja veza među komponentama i velikog broja ključnih ulaznih podataka sadržanih u projektnoj

dokumentaciji. No izuzev 9 vrlo malih klastera kreirani su i neki dosad poznati sklopovi kao kotao, konzervator i nosač konzervatora, poklopac s priključcima i rashladni sustav. Od novih klastera valja izdvojiti mehanizam glavne sklopke i potpore za dizalice uparene s ukrutama na kotlu. Bilo bi zanimljivo vidjeti rezultate klasteriranja s programom koji podržava brojčanu matricu, no nijedan dostupni program (autoru poznat) ne podržava klasteriranje i brojčanu matricu u isto vrijeme. Problem je riješen ručnim klasteriranjem i nastavljanjem posla koje je računalo započelo, a prikazano je na sljedećoj slici.



Slika 22. Parametarski DSM model izrađen i klasteriran pomoću algoritma ugrađenog u CAM te naknadno ručno prepravljen imajući na umu postojeću podjelu na sklopove.

Dovršavanjem posla koje je računalo započelo i naknadnim sekvencioniranjem formirani su sklopovi: „cjevovodi i oprema“, „rashladni sustav i konzervator“, „duljine cjevovoda“, „ukrute nosači i oslonci“, „metalni dijelovi“ i „tehnički podaci“. Klaster oprema i cjevovodi je najveći i ima 27 elemenata, ako ne brojimo metalne dijelove koji su dodatno klasterirani na još 2 modula („kupole provodnika i provodnici“ te „kotao, dno i poklopac“). Naknadnim sekvencioniranjem svakog od klastera dobila se donjetrokutasta matrica s tek četiri veze u gornjem dijelu matrice. Radi se o dvije nepoznate duljine karakterističnih cjevovoda bez da se odrede gabariti konzervatora i pripadajućeg nosača te položaj vertikalnih ukruta radi položaja zaklopki radijatora. Jedna od njih se odnosi na tehničke podatke transformatora i ne predstavlja iteracijski konstrukcijski proces.

5.6. Analiza napravljenih DSM modela

Napravljeni DSM modeli daju dobar uvid u funkcioniranje sustava pasivnog dijela energetskog transformatora. Usporedbom parametarskog i komponentnog modela na vidjelo izlazi koje komponente su usko povezane pri razradi konstrukcije, a koje se mogu razrađivati neovisno od ostatka transformatora. Ovisno o cilju, iz istih modela se može izvući nekoliko različitih zaključaka. Ovaj diplomski rad istražuje da li je postojeća podjela na konstrukcijske odjele zaista i ona koja će najbrže poslati konstrukciju transformatora u izradu. Naime, firma sve teže ispunjava zahtjeve za novim transformatorskim konstrukcijama koje su stalnom porastu i stoji pred raskrižjem na kojem jedan put vodi u temeljito restrukturiranje konstrukcijskog odjela, drugi u povećanje učinkovitosti kroz usavršavanje postojeće strukture i treći koji traži značajno povećanje inženjerskog kadra bez promjene strukture. Ovaj rad treba pokazati za koji od tih putova se uprava mora odlučiti. Rad kreće s pretpostavkom da postoji mesta za unaprjeđenje, odnosno da treba poći drugim putem na raskrižju.

Komponentni DSM model:

Komponente koje su vjerojatno uzrok nepotpunog klasteriranja su „tehnički podaci transformatora“, „jezgra“, „namoti“ i „priključci“. Tehnički podaci transformatora sadržavaju sve projektne parametre transformatora, a neki od važnijih su: podaci o jezgri, namotima, položaju priključaka, sklopke, opremi koja ide na transformator, raspored opreme i sl. Pošto su to parametri, a ne komponente, nije ih moguće dobro opisati u komponentnom DSM modelu. Ako se pogleda na komponentnu matricu već na prvi pogled je vidljivo da veliki broj elemenata ovisi o „tehničkim podacima transformatora“. Zato će ta „komponenta“ ući u

klaster pod koji spada najviše elemenata koji od tuda crpe ulazne informacije. Te veze će poremetiti formiranje ostalih klastera, a najlakši način za izbjegći taj problem je vrednovanje veza te komponente s ostalima kao manje važne. U ovom radu taj problem se smatra riješen nakon ručnog klasteriranja jer autor smatra kako prilikom tog procesa on odlučuje koje su veze među komponentama važnije.

Parametar koji utječe na gotovo sve komponente metalnih dijelova je masa aktivnog dijela transformatora. Kroz komponentnu matricu nije ju moguće dobro prikazati pa je ona, u ovom slučaju, pridružena cijelom sklopu (npr. jezgra, namoti).

„Označne pločice“ i „vijčana roba“ također imaju veliki broj veza s ostalim komponentama, ali za razliku od „tehničkih podataka transformatora“ oni ne daju ulazne informacije ostalim komponentama već traže ulazne informacije od velikog broja ostalih komponenti. To je zato što se npr. označne pločice razrađuju tek nakon što su sve ostale komponente završene, kao što je slučaj i s vijčanom robom. Problemu se može pristupiti i tako da će se za svaki sklop napraviti komponenta za koju će se uzeti da sadrži potrebne tehničke podatke, npr. „tehnički podaci - oprema“, „tehnički podaci - jezgra“ itd. Takav pristup je korišten u parametarskom DSM modelu. Njegov nedostatak je što se tako predviđaju klasteri i prije nego je program proveo algoritam klasteriranja.

Što se tiče odjela opreme, nakon klasteriranja nije se izlučio u matrici, već se su se njegove komponente smjestile uz komponente na koje su ugrađene. To je i očekivano, jer većina opreme koja ide na transformator je zapisana u projektnim podacima o transformatoru, i može se unaprijed razraditi. Nema razloga da se ne nalazi na istom crtežu kao i npr. poklopac kotla. Slično vrijedi i za cjevovode. Većina ih se smjestila uz komponente koje određuju njihove parametre pa zvuči logično da ih se na tom odjelu onda i razradi. Odjel opreme nakon što su razrađeni svi ostali skloovi uzima crteže te u njih ucrtava opremu i zatim izrađuje pripadne sastavnice. To je ubrzalo mogućnost početka rada na novim transformatorskim konstrukcijama, ali produžilo ukupno vrijeme potrebno za razvoj jednog transformatora jer se javlja potreba razraditi nove crteže i prenijeti informacije.

Parametarski DSM model:

Zbog malog broja veza između parametara promatranih sklopova transformatora može se zaključiti da se dobar dio razrade sklopova konstrukcije može odraditi neovisno jedan o drugom. To je tako i u praksi. Odjeli razrađuju svoje sklopove neovisno o drugima jer sve

podatke potrebne za započeti konstrukciju pronalaze u projektnoj dokumentaciji. Kasnije se svi ti skloovi spajaju u jedan pomoću programa za 3D modeliranje i provjerava ispravnost održenog posla te nastavlja dalje s razradom zavisnih skloova (oprema i cjevovodi).

Kao što je spomenuto prije, kod parametarskog DSM modela korišten je pristup u kojem se tehnički podaci o transformatoru „razbijaju“ na više parametara, i to tako da svaki završi u klasteru čije parametre sadrži. Time je napravljena podjela prije samog klasteriranja, no nakon ručnog klasteriranja uzeto je da su eventualne nastale nepravilnosti ispravljene. Ako za cilj imamo samo provjeriti ispravnost postojeće strukturne organizacije konstrukcijskog odjela onda je to prihvatljiv pristup.

Ručnim klasteriranjem veliki broj elemenata svrstan je pod klaster opreme i cjevovoda, iako je međusobna povezanost gotovo nikakva, i ako se uzme isti kriteriji kao kod ostalih formiranih klastera onda je ovo prisilno formirani klaster. Ti parametri najbolje odgovaraju uz komponente uz koje se fizički montiraju i o čijim parametrima ovise. To upućuje na to da su odjeli opreme i cjevovoda loše rješenje i da neovisno o tome što bi zahtijevalo više vremena pojedinom inženjeru za razradu konstrukcije (ako bi potpala pod neki drugi odjel), to bi u globalu donijelo vremenske uštede, povećanje kvalitete konstrukcije i smanjenje mogućnosti pogreške. Ali ipak, uz uvjet da se inženjeri s odjela opreme i cjevovoda ispravno rasporede po preostalim odjelima.

Matrica je gotovo u potpunosti donjetrokutasta, a veze u gornjoj matrici su vezane uz položaj kabel kanala, ormarića s instalacijama, te tehničke podatke transformatora o položaju ukruta. Ako se žele odrediti već u fazi razrade kotla onda to i jesu iterativni procesi, jer se nosači za raznu opremu i položaj kabel kanala na ukrutama sa sigurnošću mogu odrediti tek nakon što su definirani svi ostali parametri transformatora. No radi uskih rokova, kabel kanali se razrađuju „preko reda“.

Predloženi klasteri iz oba modela, uz algoritam ugrađen u program, složili su se da konzervator i pripadajući nosač, trebaju biti u istom klasteru kao i poklopac kotla s pripadajućim elementima provodnika. Isto tako, vidljive su i naznake povezivanja konzervatora i pripadajućeg nosača s kotlom, kao što je to bio slučaj s komponentnim DSM modelom. Ono što je poznato i bez DSM-a, ali svejedno njime potvrđeno, je jaka povezanost poklopca, dna i kotla transformatora u oba modela. To sugerira formiranje jednog velikog klastera u kojem će biti svi gore navedeni skloovi. Što uopće predstavlja kad se komponente nađu u istom klasteru; - to znači da ih treba razrađivati na istom odjelu po mogućnosti što manji broj ljudi, idealno jedna osoba. Time bi se minimizirala razmjena informacija između

konstruktora, a ona uzima nezanemarivu količinu vremena u konstrukcijskom procesu. Kada bi samo jedna osoba razrađivala konstrukciju svih komponenti u klasteru, stavka prijenos informacija bi potpuno nestala i time bi se uštedjelo ne samo na vremenu nego bi se smanjile i mogućnosti pogreške. Problem ovakvog sustava je vrijeme potrebno za završiti sav posao. Kod podjele posla više ljudi održuje zadatke koji se mogu paralelno izvršavat i na kraju obavi zadani posao kalendarski ranije, ali uz utrošak više radnih sati, koji se javlja zbog nužnog prijenosa informacija.

Kod binarne matrice s malim brojem veza između komponenata (neovisno parametara ili sklopova), kao što je slučaj s izrađenom parametarskom matricom, problem postaje nemogućnost vrednovanja veza, pa se komponente ne klasteriraju ispravno. No, naknadno ručno klasteriranje može „ispraviti pogreške“ algoritma.

5.7. Prijedlozi poboljšanja

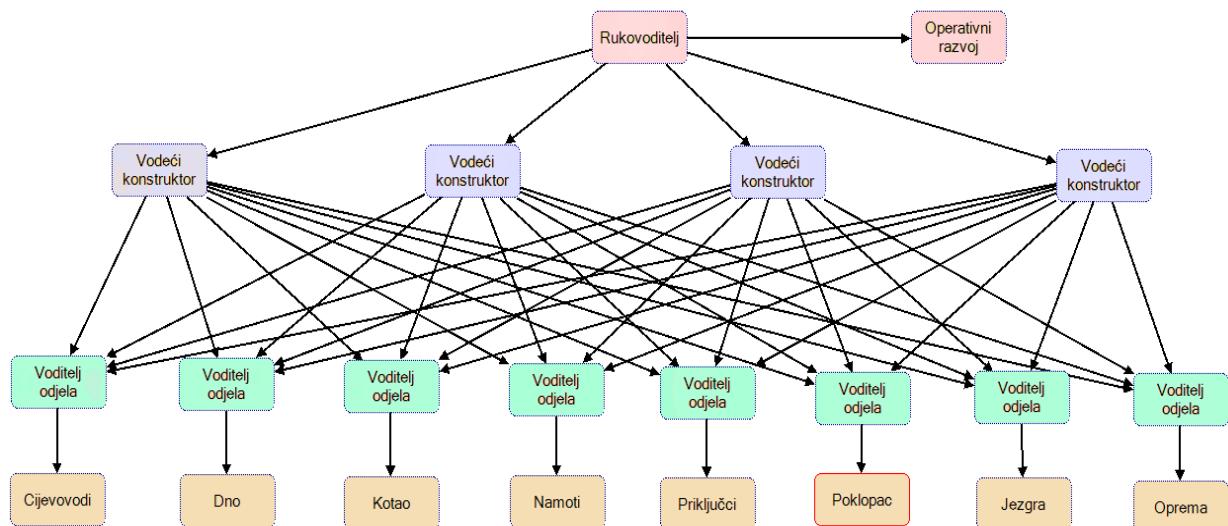
Kroz razgovor s inženjerima i nakon izrade modela matrica, autor je dobio dobar uvid u funkcioniranje arhitekture tehničkog sustava transformatora na relativno jednostavan način. Dobar zato što se nakon izrade matrica smatra kompetitivnim govoriti o mogućim poboljšanjima arhitekture sustava.

Velike promjene u strukturi organizacije u početku gotovo uvijek nailaze na odbojnost, što zbog perioda privikavanja, što zbog naviknutosti na staru organizaciju, ali i vremena potrebnog da se promjene pokažu kao pozitivne.

Kako je već napomenuto, firma se nalazi pred raskrižjem gdje se mora odlučiti za velike strukturne promjene ukoliko misli nastaviti poslovati s trendom povećanja dobiti, konkurentnosti i novih ugovora. Trenutno postoji nekoliko solucija za restrukturiranje, ali nijedna nije dovoljno potkrijepljena činjenicama i menadžment se još uvijek ne usudi napraviti taj korak, jer krivi bi ga mogao nepovratno oštetići. Izrađeni DSM modeli se svakako mogu smatrati dobrim argumentom uz predložene promjene.

Uštede kroz reviziju podjele na sklopove mogu ponuditi dovoljno prostora za prihvaćanje svih nadolazećih projekata bez potrebe zapošljavanja novih ljudi. Problem je što se posao previše rascjepkao i pri tome se stvorilo mnogo potrebe za transferom informacija između inženjera. Klasterirani DSM predlaže spajanje gotovo svih metalnih dijelova u jedan, ali uz jasnu podjelu među podsklopovima koja se zapravo može smatrati podjelom poslova među inženjerima na odjelu. To bi za inženjere značilo da moraju razraditi veću količinu posla

odjednom, što uključuje poslove na sklopovima koje do sada nisu razrađivali i zahtjeva vještine koje se moraju razviti s vremenom. Ovo znači da bi se vrijeme razrade transformatora kratkoročno najvjerovalnije produžilo, ali dugoročno bi se ostvarile željene uštede. Teoretski najmanje rasipanje vremenskih resursa bilo bi ostvareno ukoliko bi jedan konstruktor razradio sve sklopove transformatora. No za to bi mu trebalo jako puno vremena, a rokovi to naravno ne dopuštaju. S druge strane, posao je podijeljen na mnogo malih segmenata i konstrukcija je sposobna otići u proizvodnju u puno kraćem roku. Javljuju se problemi u komunikaciji i mogućnost pogreške što se u praksi često očituje. Cilj je naći mjeru između teorije i prakse, odnosno kao varijable ciljne funkcije uzeti količinu posla, broj ljudi, mogućnost pogreške, količinu komunikacije i minimizirati je. No, za konkretne brojke i iznose uštede treba napraviti puno dublju analizu od izrade DSM modela.



Slika 23. Trenutna struktura organizacija odjela Konstrukcije u Končar Energetskim transformatorima

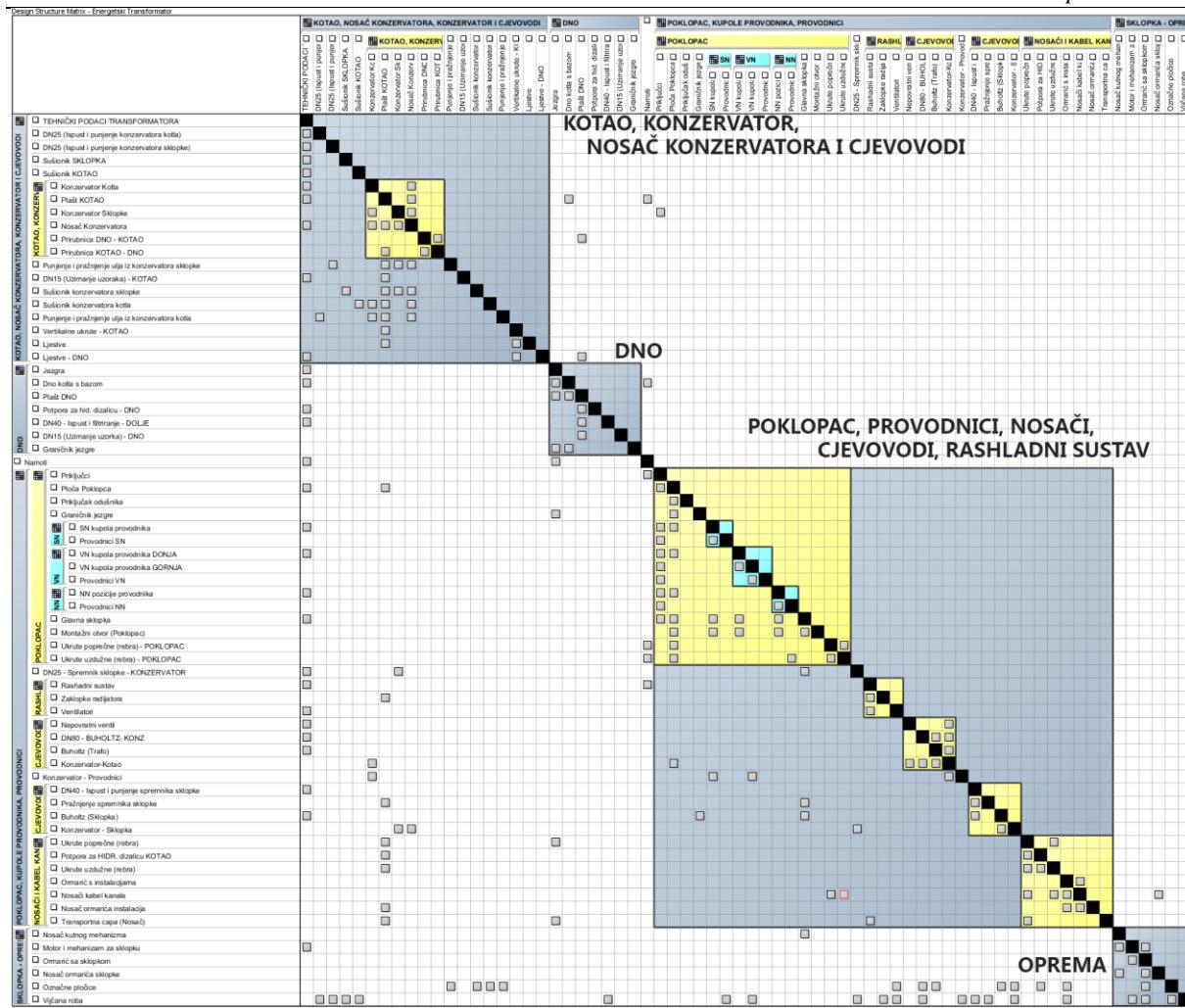
Ako se razmotri postojeća struktura konstrukcijskog odjela u firmi koja je prikazana na slici 23, onda hijerarhijski postoje rukovoditelj, vodeći inženjeri, voditelji odjela, konstruktori razrađivači i operativni razvoj. Konstrukcijski proces započinje s izradom „osnutka“ od strane vodećeg inženjera nakon razrade projektne dokumentacije u projektnom odjelu. Vodeći inženjer ugrubo izrađuje najvažnije dijelove aktivnog i pasivnog dijela konstrukcije transformatora i stavlja je na raspolaganje voditeljima odjela koji dalje raspodjeljuju posao konstruktorima razrađivačima. „Usko grlo“ ove strukture su voditelji odjela. Nakon što je konstruktor razrađivač odradio svoj dio posla on ga daje voditelju na pregled. Pregled

praktički podrazumijeva ponavljanje procesa razrade, samo ovaj put od strane voditelja, radi kontrole obavljenog posla. Pošto su svi razrađivači dužni svoju konstrukciju dati na pregled, to znači da voditelj mora provjeri posao svakog čovjeka na odjelu, a to podrazumijeva poprilično posla, ili preformulirano, poprilično vremena. Posao voditelja kontrolira vodeći inženjer, a rukovoditelj dodjeljuje poslove vodećim konstruktorima i trudi se ispuniti rokove koje je menadžment zadao.

Kada bi konstruktori razrađivači preuzeli više posla na sebe, s vremenom bi postali iskusniji i bolji u svom poslu, a to bi onda voditeljima ubrzalo proces pregleda jer imaju kvalitetnije razrađivače i potrebno je manje kontrole. DSM modeli upućuju na povećanje obima posla razrađivača pa se mogu povezati ove dvije teorije i uzeti da bi takav smjer razvoja strukture polučio željene rezultate.

To vodi k smanjenju ili potpunom ukidanju odjela opreme i cjevovoda i zatim raspodjele tog posla razrađivačima na odjelima kojih se te komponente dotiču. Ako se nastavi ići u tom smjeru cijeli odjel konstrukcije težit će podjeli na aktivni (jezgra, namoti, priključci) i pasivni dio (metalni dijelovi, oprema, cjevovodi, rashladni sustav) transformatora sa svojim rukovoditeljom i sa svojim vodećima, razrađivačima te voditeljima odjela. To zvuči kao drastična promjena, ali u suštini ne bi prouzrokovao konfuziju među zaposlenicima, jer bi većina inženjera ostala gdje jest, samo bi se povećao njihov obim posla i sukladno novoj organizaciji produžili vremenski rokovi. U prilog ovome ide i činjenica da je ovakva organizacijska struktura prisutna među dobrim dijelom konkurencije na svjetskom tržištu.

Na posljednjoj slici je prikazan komponentni DSM model s novom strukturu. Odjel opreme gotovo potpuno nestaje i ostaje samo na par komponentama poput označnih pločica. Odjel cjevovoda također nestaje, a njihov posao preuzimaju razrađivači na odjelima metalnih dijelova o kojem komponente cjevovoda ovise. Kotao, konzervator i nosač konzervatora su u obadvije matrice bili u istom klasteru što upućuje na čvrstu vezu između njih. Poklopac i provodnici, kupole provodnika i pripadajući cjevovodi također.



Slika 24. Prijedlog restrukturiranja odjela metalnih konstrukcija, cjevovoda i opreme prikazan DSM-om, nakon analize postojeće situacije.

6. ZAKLJUČAK

DSM (engl - *Design Structure Matrix*) je moćan alat za prikaz, upravljanje i optimiranje kompleksnih tehničkih sustava, naravno, pod uvjetom da se izradi i upotrijebi ispravno. Osim što nudi jednostavan i lako razumljiv prikaz kompleksnih sustava, on intuitivno ukazuje na mesta za poboljšanje i napredak. Zbog svoje matrične forme omogućuje primjenu brojnih matematičkih algoritama razvijenih posebno za ovu metodu s ciljem postizanja željenog. Nakon što je primijenjen na sustavu, ljudi koji stoje iza njega su u pravilu detaljno upoznali sustav i svjesni su problema te na koji način bi se mogli otkloniti, ako ikako.

DSM nekog tehničkog sustava nije lako izraditi, što često stoji kao ozbiljna prepreka na putu. Osim što ga nije lako napraviti, ne može ga ni svatko izraditi. Potrebno je znanje iz svih područja sustava i temeljito poznavanje odnosa među njegovim elementima, što iziskuje popriličnu količinu iskustva, ovisno naravno još i o tipu te stupnju složenosti sustava. Vrijeme potrebno za izradu često je presudno u odluci da li će se sustav modelirati il ine. Iako se sve češće upotrebljava, potrebno je razmotriti što se može dobiti njegovom izradom i da li je stvarno nužno upuštati se u izradu. Pokraj tima ljudi kojeg valja angažirati za izradu, ono povlači za sobom i vrijeme drugih ljudi u firmi te čelnih ljudi menadžmenta/inženjera koje je potrebno intervjuirati što u današnje vrijeme skupo košta. To je razlog zašto najčešće primjenu nalazi u kompanijama koje razrađuju proizvode vrlo složene tehničke i organizacijske prirode (letjelice, automobili, brodovi) što ga u takvim sustavima čini neophodnim. DSM će najmanje resursa uzeti ukoliko se koristi pri samoj izradi tehničkog sustava, što je ponekad nemoguće jer se isti često značajno razvija kroz vrijeme. No ove nedostatke imaju i ostali alati za prikaz, upravljanje i optimiranje tehničkih sustava pa se na kraju postavlja pitanje da li je nužno koristi baš DSM metodu ili se može upotrijebiti i neka druga? Odgovor na to nalazi se u kompleksnosti sustava.

U ovom radu se pokazao kao dobar argument za eventualne prijedloge promjena strukture odjela konstrukcije u Končar Energetski transformatorima.

LITERATURA

- [1] Design Structure Matrix Methods and Applications, Steven D. Eppinger i Tyson R. Browning, 2012
- [2] Skalicki B., Grilec J.: Električni strojevi i pogoni, Udžbenici sveučilišta u Zagrebu, 2004.
- [3] <http://www.dsmweb.org/en/understand-dsm/technical-dsm-tutorial0/introduction-to-dsm.html>
- [4] <http://www.dsmweb.org/en/understand-dsm/technical-dsm-tutorial0/building-creating-dsm.html>

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija
- III. Matrica komponentnog DSM modela ručno i automatski klasterirana
- IV. Matrica parametarskog DSM modela ručno i automatski klasterirana