

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

***ZAVRŠNI RAD***

**Ante Čamber**

**Zagreb, 2008.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

# **ZAVRŠNI RAD**

**Voditelj rada:  
Prof.dr.sc. Dorian Marjanović**

**Ante Čamber**

**Zagreb, 2008.**

Izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad koristeći se stečenim znanjem i iskustvom, te informacijama prikupljenim iz literature i sa Interneta.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Dorianu Marjanoviću, mentoru ovoga rada, na stručnoj pomoći pri izradi ovog rada.

Zahvaljujem se dipl. inž. Tinu Stankoviću i doc. dr. sc. Nevenu Pavkoviću na informacijama od izuzetne važnosti za ovu temu.

## SAŽETAK

Konstruiranje i razvoj proizvoda zahtijevaju zajedničke napore i suradnju učesnika iz različitih područja što rezultira organizacijski kompleksnim vezama među ljudima i zadacima. Mnogi tradicionalni alati za upravljanje projektima kao što su na primjer *PERT*, *Gantovi dijagrami* i *CPM* metoda ne mogu riješiti probleme koji nastaju kao posljedica veza između ljudi i zadataka. Premda je ovim alatima moguće modeliranje sekvencijalnih i paralelnih procesa, nedostaju im značajke uobičajene za suvremene projekte razvoja proizvoda (RP) kao što je međuovisnost informacija očitovana u povratu i ponavljanju informacije u obliku petlji.

Kao odgovor na ove poteškoće razvijena je DSM metoda (*Design structure matrix*-u prijevodu bi značio *matrični prikaz relacija* te ćemo nadalje u tekstu pisati skraćeno DSM) s matričnim prikazom relacija. Ova se metoda razlikuje od tradicionalnih metoda za upravljanje projektima jer je usmjerena na jednostavno predočavanje protoka informacija, te na efekte koji ti tokovi imaju na tijek izvođenja cjelokupnog projekta.

U uvodnom dijelu rada biti će biti obrađene osnove DSM metode, te upute kako ju iskoristiti u svrhu poboljšanja planiranja, izvršenja i upravljanja složenim projektima uz korištenje različitih algoritama (npr. particioniranje, cijepanje i klaster metode analize itd). Nadalje obrađen je i praktični primjer uporabe DSM-a traženjem optimalnog redolsijeda za određivanje vrijednosti konstrukcijskih parametara na primjeru reduktora snage sa jednim stupnjem projenosa. Proračun reduktora se sastoji od više stotina konstrukcijskih parametara (modul, odabir materijala, nosivost ležajeva i dr.) no radi ograničenja korištenog DSM alata i obima posla uzeto je u obzir njih 40. Korišteni alat jest PSM32 čija se probna verzija može naći na Internetu.

Nakon odabira parametra i određivanje njihove međusobne zavisnosti slaže se DSM matrica konstrukcijskih parametara, koja se potom preslaguje u donje trokutastu formu u cilju minimizacije povrata informacije unutar procesa konstruiranja. Na kraju će rezultati biti komentirani i objašnjeni.

# SADRŽAJ

SAŽETAK .....	3
1. Uvod .....	6
2. Definicija DSM matrice .....	7
2.1 Podjela DSM matrica obzirom na slijed izvođenja zadataka .....	10
2.2 Tipovi DSM matrica .....	11
3. Stvaranje/gradnja strukture DSM konstrukcijske matrice.....	12
3.1 DSM partitioniranje (preslagivanje) .....	13
3.2 DSM "tearing" ili cijepanje .....	14
3.3 DSM "banding"- ulančavanje .....	15
4. Numerički DSM .....	16
5. Simulacija DSM-a baziranom na zadacima.....	17
6. DSM baziran na timu i DSM baziran na komponentama .....	19
7. Gomilanje (klaster) DSM matrice.....	22
8. Analiza parametara jednostupanjskog reduktora koristeći DSM .....	24
8.1 Alat PSM32 .....	27
8.2 Parametri reduktora .....	28
8.3 Partitioniranje matrice parametara.....	33
9. Zaključak .....	36
Literatura .....	37
Prilog.....	38

## POPIS SLIKA

Slika 1. Usmjereni graf sa tri elementa .....	6
Slika 2. Preslikavanje iz grafa u DSM matricu .....	7
Slika 3. Particionirana DSM matrica .....	8
Slika 4. Parametarski DSM prije particioniranja.....	9
Slika 5. Parametarski DSM nakon particioniranja .....	10
Slika 6. Matrica prije i poslije particioniranja .....	14
Slika 7. Matrica prije i poslije particioniranja .....	15
Slika 8. Matrica nakon cijepanja i ponovnog particioniranja .....	15
Slika 9. Primjer ulančanja.....	16
Slika 10. DSM baziran na zadacima .....	18
Slika 11. PMF i CDF .....	19
Slika 12. DSM baziran na komponentama za automobilski sustav kontrole klimatizacije .....	21
Slika 13. DSM baziran na komponentama za automobilski sustav kontrole klimatizacije nakon particioniranja .....	21
Slika 14. Podjela u timove nakon klastera.....	22
Slika 15. DSM različitih sudionika razvoja.....	23
Slika 16. Klastering.....	23
Slika 17. Struktura aktivnosti u procesu konstruiranja.....	24
Slika 18. Metodologija strukturiranja.....	26
Slika 18. Reduktor .....	27
Slika 20. Alatna traka PSM32 alata .....	28
Slika 21. DSM matrica parametara reduktora.....	33
Slika 22. DSM matrica parametara reduktora nakon particioniranja .....	34

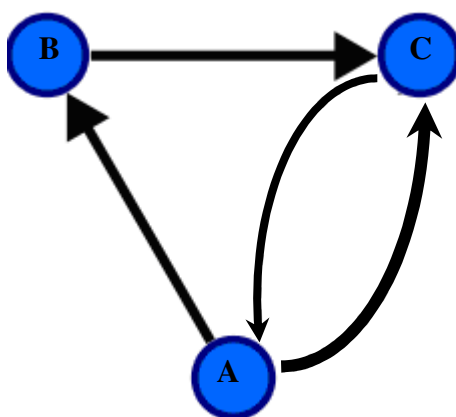
## POPIS TABLICA

Tablica 1. Matrični prikaz slike 1. ....	6
Tablica 2. Osnovne veze među elementima s obzirom na redoslijed izvođenja zadataka .....	10
Tablica 3. DSM prikaz osnovnih veza među elementima obzirom na slijed izvođenja.....	11
Tablica 4. Tipovi podataka obuhvaćeni DSM-om.....	12
Tablica 5. Karakterizacija protoka informacija .....	20
Tablica 6. Klasifikacija interakcija - Pimmler i Eppinger .....	20
Tablica 7. Shema zapisa zavisnosti parametara konstrukcije .....	32

## 1. Uvod

Redosljed izvođenja zadataka u procesu konstruiranja može se dobiti pregledom međusobnih zavisnosti. Zapisom relacija u matricnom obliku jest vrlo zgodan jer se jednostavno mogu uočiti te zavisnosti. Osim zavisnosti parametara u matricnom obliku mogu se zapisati i druge veze između objekata kao što su relacije pripadnosti, referenciranje, odgovornost sudionika i dr.

Zamislimo sustav koji se sastoji od tri elementa. Klasično matematički taj se sustav može opisati grafom na kojem vrh ili čvor predstavlja element sustava, a linija koja povezuje dva čvora predstavlja vezu između dva elementa. Ukoliko se poveznici pridoda i smisao tada se može definirati i utjecaj jednog elementa na drugi. Takav se graf naziva usmjereni graf (*directed graph* ili *digraph*, slika 1.).



**Slika 1.** Usmjereni graf sa tri elementa

Matrični prikaz usmjerenog grafa jest binarni t.j. kvadratna matrica koja se sastoji samo od nula i jedinica. U tablici 1. dan je matrični prikaz usmjerenog grafa sa slike 1.

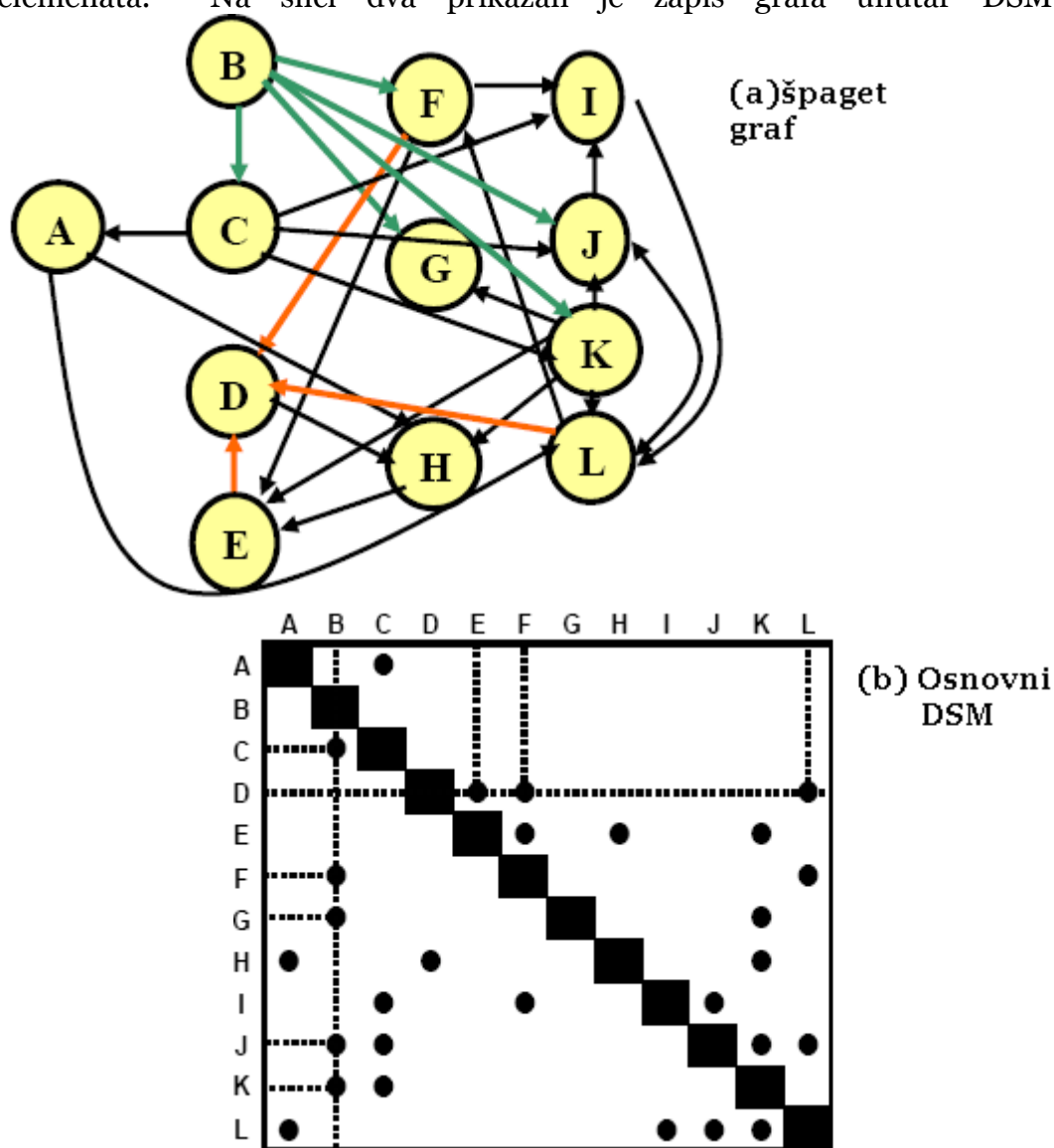
	A	B	C
A			1
B	1		
C	1	1	

**Tablica 1.** Matrični prikaz slike 1.

## 2. Definicija DSM matrice

Unutar DSM-a obuhvaćen je matrični prikaz relacija između komponenti nekog sustava. Matrica sadrži popis svih pripadnih aktivnosti i odgovarajućih uzoraka razmjene informacija - znači, koji su dijelovi (parametri) informacija potrebni da bi se pokrenula određena aktivnost i kamo odlaze informacije koje proizvodi dana aktivnost (odnosno, koji drugi zadaci unutar matrice koriste izlazne informacije).

Opće je poznato da su matrice podatne za uporabu na računalnu. Isto tako se pomoću njih mogu lako opisivati i modelirati sustavi jer mogu ukazati na postojanje ili nedostatak veza između parova elemenata sustava. Velika prednost matričnog prikaza grafa jest njezina kompaktnost i mogućnost pružanja sistematičnog ucrtavanja elemenata sustava koji je, u većini slučajeva, dovoljno jasan i jednostavan za čitanje bez obzira na veličinu. Moguće je i proširiti binarnu matricu grafa uvođenjem težinskih faktora kojima je moguće kvantificirati relacije između elemenata. Na slici dva prikazan je zapis grafa unutar DSM matrice.



Slika 2. Preslikavanje iz grafa u DSM matricu

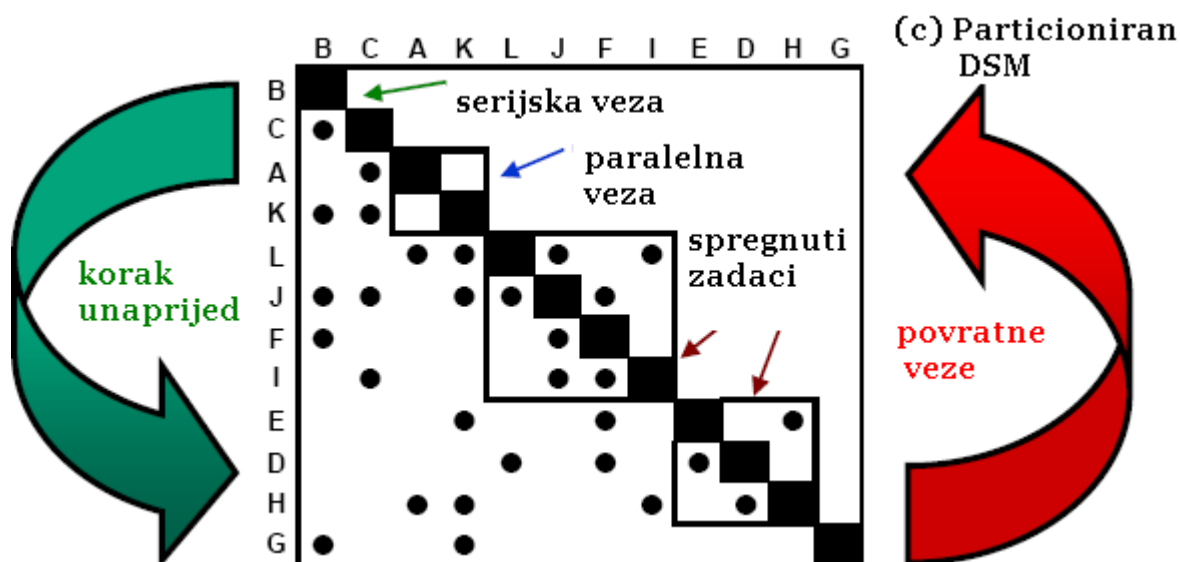
Plan DSM matrice je sljedeći: nazivi elemenata sustava položeni su niz matricu kao "imena" redaka i preko vrha kao "imena" stupaca, istim redoslijedom. Ako postoji



rub koji se proteže od čvora  $i$  do čvora  $j$ , onda je vrijednost elementa  $i, j$  (stupac  $i$ , red  $j$ ) jednakost, a označava se znakom "X" ili "•". Ako tomu nije tako, vrijednost elementa je nula (ostavlja se prazno).

Na primjer, na slici 2, B opskrbljuje C, F, G, J i K, dok E, F i L opskrbljuju D. Kao što smo napomenuli ranije, sve oznake iznad dijagonale su *feedback* oznake (povratne petlje), i one odgovaraju ulaznim informacijama koje nisu dostupne u trenutku izvođenja zadatka. U ovom slučaju, izvedba zavisnog zadatka biti će bazirana na pretpostavkama o statusu ulaznih zadataka. Kako se projekt bude razvijao, ove će pretpostavke biti revidirane ovisno o novim informacijama i zavisni zadatak će, bude li trebalo, biti ponovno izveden. Valja napomenuti kako je jednostavno odrediti veze povratnih informacija u DSM-u u usporedbi sa grafom, gdje je DSM moćan, ali jednostavan grafički prikaz složenog sustava ili projekta.

Moguće je manipulirati matricom ne bi li se eliminirale ili smanjile *povratne petlje*. Ovaj se proces naziva particioniranje ili preslagivanje DSM-a i o njemu ćemo sljedećem govoriti (Steward, 1981; Yassine et al., 1999). Nakon što je to obavljeno, počinje se nazirati transparentna donje trokutasta struktura mreže što omogućuje bolje planiranje RP-a. Postaje vidljivo koji zadaci su sekvencijalni, koji mogu biti izvršeni paralelno te koji su parni ili se ponavljaju (vidi sliku 3).



Slika 3. Particionirana DSM matrica

Jednom kad je DSM particioniran, identificiraju se zadaci u serijama i izvršavaju se sekvencijalno. Također se otkrivaju paralelni zadaci koji se mogu izvršavati istovremeno. Reorganizacija matrica pokazuje da zadatak C ovisi o zadatku B, dakle redosljed izvršavanja je B-C. Zadaci A i K ovisi oba o zadatku C, ali se mogu izvoditi paralelno (jer A i K ne ovisi međusobno). „Blokovi“ koji sadrže L-J-F-I i E-D-H pokazuju dva skupa spregnutih zadataka. Kao što je spomenuto za spregnute zadatke je teško odrediti redosljed izvođenja i vrlo često se sastoji od nekoliko iterativnih ciklusa.

Na primjer, mogli bismo napraviti plan ponavljanja tako da odredimo koji bi zadaci trebali otpočeti proces ponavljanja prema inicijalnoj pretpostavki ili procjeni o tome koja informacija nedostaje. Na slici 3, blok E-D-H može biti izvršen na sljedeći način: zadatak E započinje s inicijalnom pretpostavkom na izlazu H, izlaz E se šalje zadatku D, izlaz D se šalje H, i konačno izlaz H se šalje E. Tada E uspoređuje izlaznu informaciju (output) H sa inicijalnom pretpostavkom te odlučuje je li potrebno dodatno ponavljanje ovisno o tome koliko se inicijalna pretpostavka razlikovala od

zadnjih informacija dobivenih od H. Postupak ponavljanja se nastavlja dok ne dođe do konvergencije (modeliranje postupka konvergencije bit će obrađeno kasnije).

DSM matrica može se koristiti i za prikaz projekta koji se sastoji od skupa zadataka koje treba izvršiti. Redci i stupci se naslovljuju potpunim popisom zadataka. Oznake u matrici objašnjavaju postoje li među zadacima veze bazirane na informacijama i ako je tako, koje vrste (sekvencijalne, paralelne ili parne).

Oznake u pojedinačnim redovima prikazuju sve zadatke čiji izlaz je neophodan za izvršenje zadatka koji odgovara tom redu. Isto tako, čitanje pojedinačnog stupca otkriva koji zadatak prima informacije od zadatka koji odgovara tom stupcu. Ako poredak elemenata u matrici opisuje vremenski slijed, onda oznake ispod dijagonale predstavljaju prosljeđivanje informacija bez povratne petlje od prvog prema posljednjem zadatku (*forward mark – tok informacija bez povrata*). Oznake iznad dijagonale označavaju povratne informacije prema ranije navedenim zadacima (*feedback mark - povratne veze ili petlje*) i ukazuju na to da su zadaci koji "se kreću" od kraja prema početku ovisni o onima koji "se kreću" od početka prema kraju (tzv. *upstream* i *downstream - zadaci sa slijednim izvođenjem i obrnuto*).

Uzmimo DSM baziran na parametrima prikazan na slici 3. Ovaj je primjer uzet iz većeg DSM-a od 105 elemenata (Smith i Eppinger, 1997.). Elementi u ovom DSM-u prikazuju originalni niz dizajna parametara ili donesenih odluka.

Uzmimo u obzir veliki broj povratnih oznaka (preko dvanaest) te činjenicu da, ako bilo koja od tih oznaka potakne proces ponavljanja, to će utjecati na sve druge zadatke.

Rezultat particioniranja DSM-a je prikazan u donjoj tablici (slika 3.), a prikazuje napredak u toku odluka (o) konstruiranju i brži proces s manje ponavljanja. Primjećuje se da su povratne petlje sada ograničene na dvije manje grupe zadataka (10-8 i 3-11-7-13-5).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
POTREBE KUPACA	1	■												
OKRETNI MOMENT KOTAČA	2		■		X									
MEHANIČKE PREDNOSTI PAPUČICE	3	X		■	X	X			X		X			X
PARAMETRI SUSTAVA	4	X			■									
PROMJER ROTORA	5	X	X	X	X	■		X	X		X	X		X
ABS MODULARNI PRIKAZ	6		X				■			X				
KOJEFICIJENT TRENJA PREDNJEG CENTRIRANJA	7			X	X	X		■	X		X			X
VELIČINA STRAŽNJEG KLIPA	8		X		X				■		X			
OTPORNOST KALIBRIRANJU	9			X	X					■	X			X
VELIČINA PREDNJEG KLIPA	10		X		X				X		■			
KOJEFICIJENT TRENJA STRAŽNJEG CENTRIRANJA	11			X	X	X			X		X	■		X
UBRIZGIVAČ-MAX. TAKT	12												■	X
ODNOS REAKCIJE UBRIZGIVAČA	13		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	■

**Slika 4.** Parametarski DSM prije particioniranja

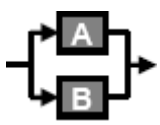
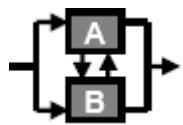
		1	4	2	10	8	3	11	7	13	5	12	9	6
POTREBE KUPACA	1	■												
PARAMETRI SUSTAVA	4	x	■											
OKRETNI MOMENT KOTAČA	2		x	■										
VELIČINA PREDNJEG KLIPA	10		x	x	■	x								
VELIČINA STRAŽNJEG KLIPA	8		X	X	X	■								
MEHANIČKE PREDNOSTI PAPUČICE	3	x	X		x	x	■	■	■		x	x		
KOEFICIJENT TRENJA STRAŽNJEG CENTRIRANJA	11		x		X	X	x	■	■		x	X		
KOEFICIJENT TRENJA PREDNJEG CENTRIRANJA	7		X		X	x	x	■	■		x	X		
ODNOS REAKCIJE UBRIZGIVAČA	13		x	X	X	x	x	x	x	■		X		
PROMJER ROTORA	5	x	X	x	X	x	■	x	X	x	■			
UBRIZGAVAČ-MAX. TAKT	12										x	■		
OTPORNOST KALIBRIRANJU	9		x		x		x			x			■	
ABS MODULARNI PRIKAZ	6													x

Slika 5. Parametarski DSM nakon particioniranja

## 2.1 Podjela DSM matrica obzirom na slijed izvođenja zadataka

U DSM metodologiji se mogu veze između elemenata sustava prikazati s obzirom na slijed izvođenja. U tablici 2. prikazane su tri osnovne vrste veza među elementima sustava: paralelni (ili istovremeni), sekvencijalni (ili ovisni) i parni (ili međuovisni).

Za zavisne zadatke teško je odrediti redoslijed njihova izvršavanja, često će to biti unutar nekoliko iterativnih ciklusa. Skup međusobno zavisnih zadataka trebao bi se izvoditi istovremeno. Sama iterativnost je objašnjena tako što će pri istovremenom izvođenju skupa zavisnih zadataka, informacije čije vrijednosti još zadatku nisu poznate morati će biti pretpostavljene. Kasnije će se pretpostavke korigirati i sve to u nekoliko ciklusa (iteracija).

OSNOVNE VEZE MEĐU ELEMENTIMA			
VEZA	PARALELNI (nezavisni zadaci)	SEKVENCIJALNI (zavisni zadaci, serijski)	MEĐUOVISNI (zavisni zadaci, spregnuti)
BINARNA MATRICA			

Tablica 2. Osnovne veze među elementima s obzirom na redoslijed izvođenja zadataka

Unutar DSM prikaza sustava dijagonalni elementi matrice ni na koji način ne opisuju sustav pa se obično i to mjesto ostavlja praznim ili se zacrnjuje (tablica 3).

OSNOVNE VEZE MEĐU ELEMENTIMA																														
VEZA	PARALELNI	SEKVENCIJALNI	MEĐUOVISNI																											
<b>BINARNA MATRICA</b>	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td>■</td></tr> <tr><td>B</td><td>■</td><td>■</td></tr> </table>		A	B	A	■	■	B	■	■	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td>■</td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td>■</td></tr> </table>		A	B	A	■	■	B	X	■	<table border="1"> <tr><td></td><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>A</td><td>■</td><td>X</td></tr> <tr><td>B</td><td>X</td><td>■</td></tr> </table>		A	B	A	■	X	B	X	■
	A	B																												
A	■	■																												
B	■	■																												
	A	B																												
A	■	■																												
B	X	■																												
	A	B																												
A	■	X																												
B	X	■																												

**Tablica 3.** DSM prikaz osnovnih veza među elementima obzirom na slijed izvođenja

U paralelnoj konfiguraciji nema interakcije među elementima sustava. Ponašanje sustava možemo razumjeti u potpunosti kroz razumijevanje ponašanja pojedinih elemenata. Ako je sustav projekt, onda su elementi sustava zadaci koje treba obaviti. Prema tome, aktivnost B je neovisna o aktivnosti A i među tim dvjema aktivnostima nije potrebna nikakva razmjena informacija.

U sekvencijalnoj konfiguraciji jedan element jednosmjerno utječe na ponašanje ili odluke drugog elementa. To znači da se konstrukcija parametara elementa B odabire ovisno o konstrukciji parametara elementa A, odnosno da, ako govorimo o projektnim zadacima, zadatak A mora biti dovršen prije no što zadatak B može početi s radom.

Konačno, u parnom sustavu, protok utjecaja ili informacija je isprepleten: element A utječe na element B i obratno. Do ove situacije može doći ako nije moguće sa sigurnošću utvrditi parametar A bez da je prvo utvrđen parametar B i obratno. Ovakva se kružna ovisnost naziva "kružnim tokom" ili "krugovima informacija". DSM-om se mogu prikazati 4 različita tipa podataka (Browning, 2001.) - tablica 3.

## 2.2 Tipovi DSM matrica

Uz pomoć matrice može se prikazati povezanost informacija među dijelovima proizvoda, među timovima koji trenutno rade na projektu, među aktivnostima (struktura projekta na koja jest tema ovoga rada), i među parametrima. U tablici 4. upravo je prikazana takva podjela DSM matrica. Pored toga dana je i svrha pojedinog tipa, te metode koje se primjenjuju na takve matrice. Metode će biti detaljnije opisane u nastavku teksta.

<b>TIPOVI DSM-a</b>	<b>INTERPRETACIJA</b>	<b>PRIMJENA</b>	<b>METODE</b>
<b>(«task-based») baziran na zadacima</b>	<b>Zadatak/ ulazno stanje/izlazne veze</b>	<b>Raspored projektnih zadataka, redoslijed aktivnosti</b>	<b>Preslagivanje ili particioniranje , cijepanje (cijepanje), vrednovanje</b>
<b>(«parametar-based») baziran na parametrima</b>	<b>Parametri, bodovanja i neophodni slučajevi</b>	<b>Apstraktni nivo procesa</b>	<b>Particioniranje , cijepanje (cijepanje), vrednovanje</b>
<b>(«team-based») baziran na timovima</b>	<b>Karakteristike veza između više timova</b>	<b>Integracija timova, organizacijski menadžment</b>	<b>Klaster analiza</b>
<b>«component-based» baziran na komponentama</b>	<b>Mnogostruke veze između komponenti</b>	<b>definicija modula sustava – integracija u podsustave</b>	<b>Klaster analiza</b>

**Tablica 4.** Tipovi podataka obuhvaćeni DSM-om

### ***3. Stvaranje/gradnja strukture DSM konstrukcijske matrice***

Uspjeh DSM-a je određen prikladnom dekompozicijom sustava i točnošću sabranih ovisnosti veza. Identifikacija veza između elemenata nije laka zadaća, štoviše subjektivna je i ovisi o osobi ili timu. Stoga je od velike važnosti pažljivo, pod promatranjem, provesti dekompoziciju sustava na smislene elemente, kao što su podsustavi i moduli. Postoje dva osnovna pristupa provedbi ovog postupka:

- Konvertiranje (promjena/prenamjena) postojeće dokumentacije: priručnici, rasporedi, IDEF dijagrami, itd.
- stručni intervjui

Preporučuje se hibridni pristup gdje se početni DSM gradi na postojećoj dokumentaciji, a potom se koriste stručni intervjui kao dodatak i potvrda početnom DSM-u. U tom se drugom koraku okuplja skupina menadžera/stručnjaka iz različitih područja unutar organizacije te ih se zamoli da zajednički nabroje različite podsustave od kojih se sastoji cjeloviti sustav. Ovaj tip dekompozicije može biti hijerarhijski i ne-hijerarhijski (također znan kao "mrežna dekompozicija", *network decomposition*).

Kod hijerarhijske dekompozicije moguće je podijeliti sustav u pod-sustave i module koji se kasnije dijele na manje dijelove, dok kod ne-hijerarhijske dekompozicije hijerarhija sustava nije vidljiva.

Kad su određeni pogodni elementi sustava ili skup aktivnosti od kojih se sastoji projekt, treba ih popisati u DSM kao oznake redova i stupaca, istim redoslijedom.

Nakon toga valja odrediti elemente matrice tako da se zamoli određenog menadžera ili stručnjaka iz grupe da napravi minimalni skup parametara (uzet s popisa) koji utječu na vlastiti pod-sustav i pridonose njegovu ponašanju. U DSM-u baziranom na zadacima, to može biti minimalni skup aktivnosti koje treba obaviti prije nego što se pokrene aktivnost pod promatranjem. U DSM-u baziranom na parametrima, redovi i stupci jesu konstrukcijski parametri koji pokreću konstruiranje ili definiraju sustav i tada je moguće tražiti od menadžera/stručnjaka da definiraju odnose prvenstva među navedenim parametrima. Zadatke/parametre/elemente u DSM-u označavamo znakom "X" ili "•".

### 3.1 DSM particioniranje (preslagivanje)

Particioniranje je proces manipuliranja redcima i stupcima DSM-a (odnosno, preraspodjela istih) tako da novo uređenje DSM-a ne sadrži nikakve povratne petlje (*feedback* ili povrat informacije); tako se DSM transformira u ***donje trokutasti oblik***.

Gotovo je nemoguće da će jednostavna manipulacija redovima i stupcima rezultirati oblikom trokuta kod kompleksnih strojarskih zadataka. Dakle, cilj analitičara više nije eliminirati povratne oznake, već ih pomaknuti što je bliže moguće dijagonali (ovaj oblik matrice poznat je kao „*block triangular*“) kako bi što manje elemenata bilo uključeno u proces ponavljanja što će opet rezultirati bržim razvojnim procesom.

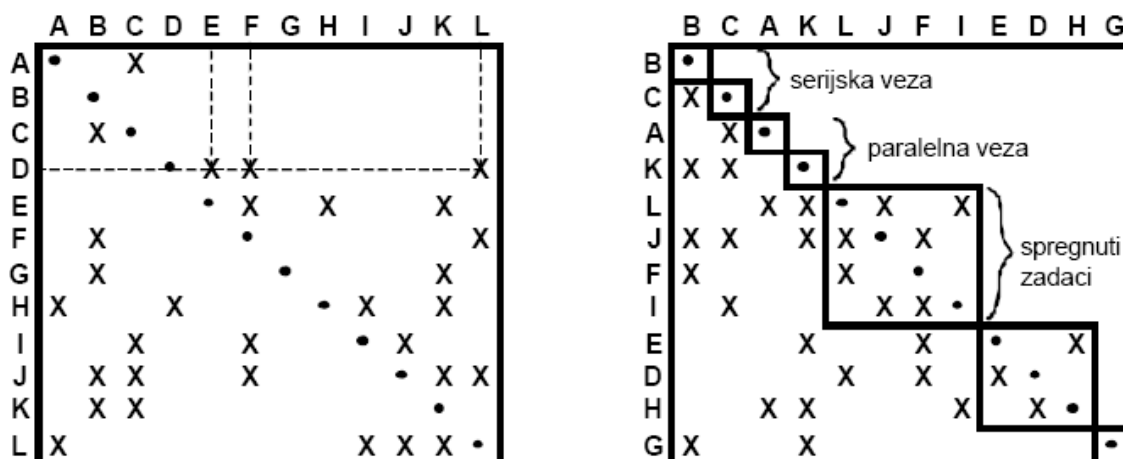
Najjednostavnije bi bilo reći da se vrši zamjena redaka i stupaca, te time i redoslijed izvršavanja zadataka s ciljem da što manje relacija bude iznad glavne dijagonale. Postupci reorganizacije redoslijeda izvršavanje zadataka redovito daju kao rezultat matricu u kojoj se mogu uočiti blokovi veza oko glavne dijagonale. Blokovi na dijagonali pokazuju informacijske sprege zadataka uzrokovane povratnim vezama. Preostale veze ispod glavne dijagonale pokazuju „isporuku“ informacija zadacima koji slijede.

Kod DSM particioniranja koristi se nekoliko pristupa. Oni, pak, svi slično obrađuju informacije. Svi algoritmi particioniranja mogu se pisati u nekoliko koraka kako slijedi:

- ***Identificiraju se elementi sustava*** (ili zadaci) ***koje je moguće odrediti*** (ili izvršiti) bez utjecaja ostalih elemenata u matrici, i to promatrajući prazni red u DSM-u. Ti se elementi postavljaju na vrh DSM-a. Jednom kad je element "presložen", miče ga se iz DSM-a zajedno sa svim odgovarajućim oznakama te se tad ovaj korak ponavlja na preostalim elementima.
- ***Identificiraju se elementi sustava*** (ili zadaci) ***koji ne opskrbljuju druge elemente u matrici informacijama***, i to tako da se promotri prazan stupac unutar DSM-a, te se njih postavi na dno DSM-a. Jednom kad je element "presložen", miče ga se iz DSM-a zajedno sa svim odgovarajućim oznakama te se

tad ovaj korak ponavlja na preostalim elementima.

- Ako nakon koraka 1 i 2 unutar DSM-a nije ostao nijedan element, potrebno je u **potpunosti particionirati matricu**; ako ne, to znači da preostali elementi sadrže povrat informacija (najmanje jedan).
- **Povrat informacija** se određuju uz pomoć jedne od navedenih metoda:
  - **Traženje puta:** traže se informacije (prema naprijed ili nazad) dok se jedan zadatak ne pronađe dvaput (Sargent i Westberg, 1964; Steward, 1981). Svi zadaci između prvog i drugog ponavljanja zadatka tvore zatvoreni tok ili povratnu petlju informacija.
  - **Potenciranje matrice:** potenciranjem DSM-a na  $n$ -tu potenciju pokazuje koji element je moguće doseći iz njega samog u  $n$  koraka promatrajući neki unos koji nije nula za taj zadatak po dijagonali matrice (Warfield, 1973.)
- **Urušiti elemente** uključene u jedan krug u jedan reprezentativni element i vratiti se na korak broj 1.



Slika 6. Matrica prije i poslije particioniranja

### 3.2 DSM "tearing" ili cijepanje

Cijepanje je proces odabira skupa povratnih petlji bez kojih (ako ih izdvojimo iz matrice i onda ju ponovno particioniramo) će matrica postati donje trokutasta trokut. Takve identificirane i izdvojene skupove nazivamo se rascjepima.

Identificiranje ovih rascjepa znači da smo odredili skup pretpostavki koje treba donijeti ne bi li se započelo s ponavljanjima procesa čim se u procesu naide na spregnute zadatke. Nakon donošenja ovih pretpostavki nije potrebno donositi nikakve dodatne procjene.

Ne postoji optimalna metoda cijepanja ali preporučljivo je koristiti dva kriterija pri donošenju odluka vezanih uz cijepanje:

1. minimalan broj rascjepa; zato što oni predstavljaju procjene ili inicijalne pretpostavke koje treba donijeti. Bolje je da takvih pretpostavki bude što manje.

2. ograničenje rascjepa na najmanje blokove uz dijagonalu; jer, ako dođe do ponavljanja unutar ponavljanja (tj. blokovi unutar blokova), ova unutarnja

ponavljanja postaju češća. Stoga, poželjno je ograničiti unutarnja ponavljanja na što manji broj zadataka.

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

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

Slika 7. Matrica prije i poslije particioniranja

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

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

Slika 8. Matrica nakon cijepanja i ponovnog particioniranja

### 3.3 DSM "banding"- ulančavanje

Ulančavanje jest operacija dodavanja izmjeničnih svijetlih i tamnih vrpce prikazu DSM-a kako bi se prikazale nezavisne (tj. paralelne ili slijedne) aktivnosti (ili elementi sustava) (Grose, 1994.).

Zbir vrpce ili nivoa unutar DSM-a stvaraju ključan put sustava/projekta. Također, jedan element/aktivnost unutar svake vrpce jest ključna aktivnost. Zato je bolje imati manje vrpce jer one doprinose karakteristici istovremenosti danog projekta/sustava. Na primjer, u niže prikazanom DSM-u (slika 9.) zadaci 4 i 5 ne opskrbljuju jedan drugog informacijama; neovisni su jedan od drugog i zato pripadaju istoj vrpce. Valja primijetiti da se u ovom postupku povratne petlje uopće ne uzimaju u obzir.

Sa ulančavanjem označujemo one aktivnosti ili procese koje možemo istovremeno izvoditi, te one koje koji se moraju obavljati slijedno (kada jedna završi druga počinje). Preferira se da ima više paralelnih aktivnosti nebili se proizvodnja odvijala brže.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1														
2	X								X					
3		X		X										
4	X		X											
5	X		X			X		X				X	X	
6	X				X									
7	X					X								
8						X						X		
9	X		X	X				X						
10				X		X	X	X			X			
11						X	X	X		X				
12	X					X	X			X	X			
13	X				X							X		
14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Slika 9. Primjer ulančanja

## 4. Numerički DSM

U binarnom zapisu DSM-a gdje se matrica sastoji od jedinica i nula ili simbola (X-eva) i praznih kvadratića korištena je samo jedna karakteristika da bi se opisalo veze između elemenata sustava, to jest karakteristika "postojanja" i „smisla“ veze .

U usporedbi s binarnim DSM-ovima, numerički DSM (NDSM) bi mogao sadržavati mnoštvo karakteristika koje bi nudile detaljniji uvid u veze među različitim elementima sustava. Poboljšani uvid/opis ovih veza omogućio bi bolje razumijevanje sustava i razvoj kompleksnijih i praktičnijih algoritama za particioniranje i cijepanje.

Uzmimo za primjer slučaj gdje zadatak B crpi informacije od zadatka A. Ako su ove informacije predvidive ili imaju minimalni utjecaj na zadatak B, moguće je eliminirati ovisnost zadatka B o zadatku A. Kod binarnog DSM-a to nije moguće. Kakve je karakteristike/mjere moguće upotrijebiti?

- **Težinski faktor:** Steward (1981) je predložio korištenje brojeva nivoa umjesto znaka "X" za neke oznake unutar binarne matrice. Težinski faktori označavaju redosljed kojim bi trebalo cijepati povratne oznake. Oznaka s najvećom težinom se cijepa prva, te se potom matrica ponovno particionira. Ovaj se proces ponavlja dok sve povratne oznake ne nestanu. Težinski faktori variraju od 1 do 9 ovisno o procjeni inženjera o tome gdje se kvalitetnom pretpostavkom može zamijeniti dio informacije.
- **Razina važnosti:** moguće je stvoriti jednostavnu verbalnu ljestvicu za razlikovanje važnih nivoa oznake "X". Na primjer, možemo odrediti ljestvicu od tri nivoa: 1 = visoka razina ovisnosti, 2 = srednja razina ovisnosti i 3 = niska razina ovisnosti. Prema ovom scenariju krenut ćemo prvo s cijepanjem oznaka niske razine ovisnosti pa prijeći na oznake srednje i visoke razine ovisnosti, u postupku sličnome onom koji koristi metodu s težinskim faktorima.

Postoji još karakteristika koje ovise o tipu DSM-a koji se koristi pri predstavljanju i analizi problema. Na primjer, kod DSM-a koji se bazira na aktivnostima mogu se poduzeti sljedeće mjere:

- **Intenzitet ovisnosti:** ovo može biti mjera između 0 i 1, gdje 1 predstavlja iznimno snažnu graničnu ovisnost. Tada je moguće particionirati matricu dovodeći do minimuma zbroj mjera ovisnosti iznad dijagonale matrice.
- **Opseg prenesenih informacija:** u DSM-u se može iskoristiti stvarna mjera opsega razmijenjenih informacija (što se mjeri u bit-ima). Particioniranje takvog DSM-a zahtijevalo bi da se kumulativni opseg povratnih informacija svede na minimum.
- **Promjenjivost informacija:** moguće je stvoriti mjeru promjenjivosti da bi se prikazala nestabilnost informacija koje se razmjenjuju među zadacima. Ta mjera bi mogla biti statistička varijanta svih prijašnjih vrijednosti pojedinog zadatka, ili, ako nemamo stvarnu povijest izlaza tog zadatka moguće je stvoriti neku subjektivnu mjeru (Yassine et al., 1999.).
- **Vjerojatnost ponavljanja:** ova vrijednost predstavlja vjerojatnost da će jedna aktivnost uzrokovati ponavljanje druge aktivnosti. Elementi iznad dijagonale predstavljaju vjerojatnost vraćanja (ponavljanja) na ranije (kako slijedi) aktivnosti nakon što je obavljena aktivnost koja prethodi (Smith et al., 1997.) dok elementi ispod dijagonale predstavljaju mogućnost - prerada nakon ponavljanja (Browning, 1998.). Moguće je napraviti algoritme za particioniranje kako bi se zadacima u DSM-u dalo takve naredbe koje bi smanjile vjerojatnost ponavljanja ili trajanje samog procesa. Browning je (1998.) napravio simulacijski algoritam za izvedbu takvog zadatka.
- Utjecaj vjerojatnosti ponavljanja na cjelokupni proces (impact factor): ovo je moguće zamisliti kao djelić stvarnog posla koji treba ispočetka obavljati dođe li do procesa ponavljanja [Browning (1998.) i Carrascosa et al. (1998.)]. Ova se mjera obično koristi u kombinaciji s ranije spomenutom mjerom vjerojatnosti ponavljanja da bi se simulirao efekt ponavljanja na trajanje procesa.

## 5. Simulacija DSM-a baziranom na zadacima

DSM modele možemo iskoristiti za dobivanje rasporeda i raspodjelu troškova za određeni slijed izvedbe zadataka (Browning i Eppinger, 2002.).

Trošak i trajanje (i razilaženja među njima) su većinom funkcije broja ponavljanja potrebnih za izvedbu odnosno opsega ili utjecaja tih ponavljanja.

Obzirom da do ponavljanja može i ne mora doći (ovisno o raznim varijacijama), ovaj model tretira ponavljanja stohastično, tako da vjerojatnost da do ponavljanja dođe ovisi o određenom paketu informacija koje potiču ponovni rad.

Simulacijski model karakterizira konstrukcijski proces kao proces koji se sastoji od aktivnosti koje dobivaju informacije jedna od druge, a promjene u tim informacijama uzrokuju ponavljanje rada.

Kao što smo ranije napomenuli, ponavljanje rada unutar jedne od aktivnosti može potaknuti lančanu reakciju u aktivnostima koje su navodno završile s radom i onima u kojima rad još traje. Ponavljanje rada unutar određenih aktivnosti je jedan od rizika, koji kombinira vjerojatnost promjene u ulaznim vrijednostima i utjecaj koji ta promjena može imati na zavisne aktivnosti. Utjecaj mjere koja se koristi u simulaciji predstavlja tek dio ukupnog rada koji treba ponoviti.

Dakle, simulacijski model se predočava dvama DSM-ovima od kojih jedan sadrži vjerojatnosti promjene informacije, a drugi utjecaje te promjene.

U DSM-u koji sadrži vjerojatnosti promjene oznake iznad dijagonale se zamjenjuju primarnim vjerojatnostima ponovnog rada, a one ispod dijagonale sekundarnim (slika 10).

Simulacija također objašnjava trajanje i trošak stohastične aktivnosti koristeći procjenu od tri točke (optimistična - O, najvjerojatnija - M i pesimistična - P) kako bi se stvorila trokutasta distribucija za trošak i trajanje svake aktivnosti. Model nasumce odabire jedinstvenu vrijednost za trajanje i trošak svake aktivnosti iz njezine trokutaste distribucije za svaku simulaciju.

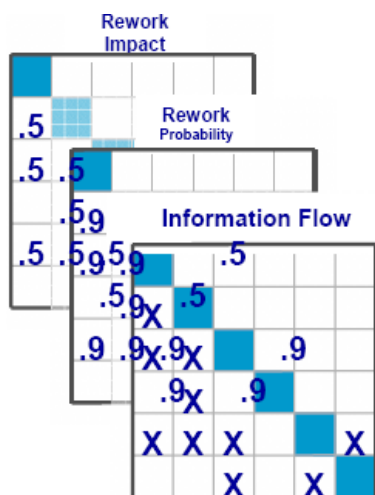
Svaka aktivnost također ima pridruženu krivulju poboljšanja koja predstavlja učenje, vremena postavljanja itd. Krivulja učenja (LC) se izražava u postocima, odnosno ona iznosi onaj postotak ukupnog trajanja koji je potreban da bi se regeneriralo izlaze (na primjer, potrebno je 30% ukupnog trajanja da bi se aktivnost ponovila drugi i svaki sljedeći put) (slika 10).

Model također koristi tri druga vektora, a dužina svakog od njih je jednaka broju aktivnosti.

Prvi je sekvencirajući vektor određuje redoslijed aktivnosti u DSM-u, to jest konfiguraciju procesa. Promijenimo li sekvencirajući vektor možemo istražiti alternativne konfiguracije procesa.

Drugi je vektor rada ( $W$ ) koji prati količinu preostalog rada za svaku pojedinu aktivnost. Obično se svaki unos u ovom vektoru se postavlja na 100% kako bi se započela simulacija.

Treći vektor, *work now* ili trenutni rad, s Booleanskim unosima određuje hoće li neka aktivnost obavljati određeni rad u određeno vrijeme tijekom simulacije.



Activities	Durations (days)			Costs (\$k)			LC
	O	M	P	O	M	P	
Activity 1	1.9	2	3	8.6	9	13.5	35%
Activity 2	4.75	5	8.75	5.3	5.63	9.84	20%
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Activity N	9	10	12.5	6.8	7.5	9.38	33%

**Slika 10.** DSM baziran na zadacima

Simulacija koristi jednostavan pristup ----- . Svaka se simulacija sastoji od niza jednakih vremenskih koraka ( $\Delta t$ ) koji moraju biti kraći od trajanja najkraće aktivnosti.

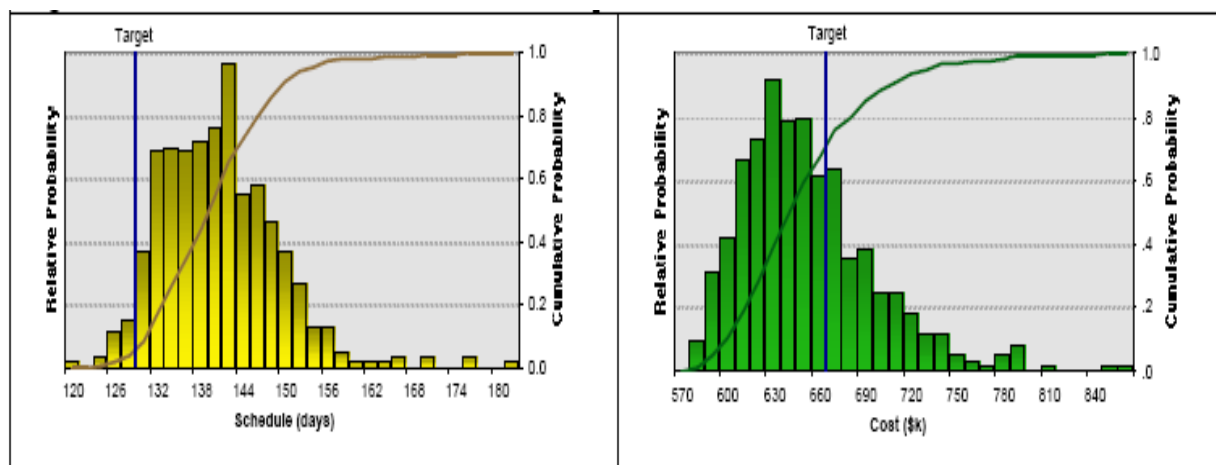
Na primjer, ako aktivnosti traju od pet do pedeset tjedana, razumni  $\Delta t$  bi bio 0,5 tjedana pošto se trajanja aktivnosti zaokružuju na cijeli broj ovisan o ovim koracima. Manji koraci omogućuju veću rezoluciju modela i kraće vrijeme izvršenja simulacije.

Tijekom svakog koraka model traži najviše aktivnosti sa slijednim načinom izvođenja kojima je potreban rad i aktivnosti koje se mogu odvijati istovremeno. Aktivnosti ne započinju s radom dok ne dobiju potrebne podatke od prethodno završenih aktivnosti. Rad se obavlja u dostupnim aktivnostima tijekom svakog

vremenskog koraka a njihov nedovršeni rad se smanjuje za onaj dio njihovog trajanja koji predstavlja vremenski korak.

Cjelokupni trošak procesa se povećava ovisno o trošku ovog rada. Kadgod neka aktivnost završi, model traži moguća ponavljanja (ponovni rad u prethodnim aktivnostima) i sekundarni ponovni rad koji rezultira iz onih ponavljanja u DSM-u koja koriste vjerojatnosti. Dođe li do ponovnog rada, količina istog (postotak aktivnosti zadane u DSM-u i modificirane posljedicama krivulje poboljšanja) se dodaje vektoru  $W$ . Kada sve aktivnosti završe s radom, svi unosi na vektoru  $W$  su jednaki nuli. Model pretvara broj vremenskih koraka u prikladne jedinice i prosljeđuje ovu informaciju kao  $S$ , trajanje procesa ili raspored (schedule) za simulaciju.

Pokretanjem simulacije dobiva se primjer prikazan na slici 11 (Browning i Eppinger, 2002.). Vidimo funkcije masovne vjerojatnosti (PMF) i funkcije kumulativne distribucije (CDF) za velik broj rezultata rasporeda i troškova. Prosjek trajanja,  $E[S]$ , jest 141 dan sa standardnim odklonom,  $SDs$ , od 8 dana, a prosjek troška,  $E[C]$  iznosi 647 000 US \$, sa standardnim odklonom,  $SDc$ , od 45 000 \$.



Slika 11. PMF i CDF

## 6. DSM baziran na timu i DSM baziran na komponentama

Premda se koncentriramo na DSM baziran na aktivnostima, moglo bi biti zanimljivo dati uvid i u DSM baziran na timu obzirom da je riječ o korisnom alatu za analizu organizacijskih struktura razvojnim procesima.. U stvari, upravljanje tokom informacija među aktivnostima i među grupama trebalo bi biti samo jedan integrirani korak.

DSM baziran na timu se bavi organizacijskim menadžmentom baziranim na protoku informacija između različitih organizacijskih entiteta. Elementi koji se analiziraju su pojedinci i grupe (redovi i stupci u matrici) koji surađuju na projektu. Jedan od korisnika ovih DSM-ova je NASA koja ih koristi kao alat za analizu sustava.

DSM baziran na timu se sastavlja tako da se identificiraju potrebni tokovi informacija i prikažu kao veze između organizacijskih entiteta unutar matrice. Iz tablice 5 možemo iščitati nekoliko mogućih načina za karakteriziranje protoka informacija.

TIP PROTOKA	MOGUĆA METRIKA
DETALJNOST	Rijedak(dokumenti,e-mail) Bogat(modeli, lice u lice)
FREKVENCIJA	Niska(serijska, na vrijeme(«on-time»)) Visoka(neprekidna)
SMJER	U jednom smjeru i u dva smjera
VRIJEME	Rano(nepotpuni, osnovni,parcijalni) Kasno(finalno)

**Tablica 5.** Karakterizacija protoka informacija

Matricom je moguće manipulirati sa ciljem dobijanja grupe timova i pojedinaca s visokom stopom interakcije, pokušavajući istovremeno svesti ponavljanja unutar grupa na minimum. Dobivene grupacije čine koristan okvir za organizacijski dizajn jer se koncentriraju na predviđene komunikacijske potrebe različitih igrača. Za primjer primjene, vidi McCord i Eppinger, 1993. Oni su predložili DSM baziran na timu za analizu organizacijske strukture potrebne za poboljšani proces proizvodnje automobilskog motora.

Slično modeliranju i analizi organizacija korištenjem DSM pristupa, možemo modelirati i sustav ili projekt koristeći DSM-ove bazirane na komponentama. Njima je moguće modelirati i analizirati konstrukcije sustava / produkta određujući interakcije među podsustavima i komponentama sustava/produkta.

U ovoj analizi može postojati kvalifikacijska shema za interakcije unutar DSM-a baziranog na komponentama. Tablica 6 prikazuje klasifikaciju interakcija koju su predložili Pimmler i Eppinger [1994.].

INTERAKCIJA	SPECIFIKACIJE
PROSTORNA(SPATIAL-S)	Opisuje kolika je potrebna blizina dva elementa.
ENERGIJA-E	Opisuje potrebu izmjene energije između elemenata.
INFORMACIJA-I	Potrebna izmjena podataka ili signala između elemenata.
MATERIJAL-M	Potrebna izmjena materijala između elemenata.

**Tablica 6.** Klasifikacija interakcija - Pimmler i Eppinger

Uzmimo DSM baziran na komponentama za automobilski sustav kontrole klimatizacije na slici 12 (Pimmler i Eppinger, 1994.). DSM je tako organiziran da je očita struktura sklopa elemenata prikazana na slici 13 Gomilanje oznaka uz dijagonalu DSM-a je rezultiralo stvaranjem triju "komada" za sustav kontrole klimatizacije: komad zraka u prednjem dijelu, hladionički komad i komad unutrašnjeg zraka (Pimmler i Eppinger, 1994.).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
HLADNJAK	A	2 0 0 2			2 -2 0 0											
MEHANIZAM VENTILATORA	B	2 0 0 2			2 0 0 2								1 0 0 0			
JEZGRA	C			1 0 0 0			2 0 0 0	-1 0 0 0								0 0 0 2
CIJEVI GRIJAČA	D		1 0 0 0					-1 0 0 0								
KONDENZATOR	E	2 -2 0 0	2 0 0 2			0 2 0 2		-2 2 0 2								
KOMPRESOR	F				0 2 0 2			0 2 0 2	1 0 0 2	0 0 2 0	0 0 2 0		1 0 0 0			
ISPARIVAČ	G		2 0 0 0					2 0 0 0						2 0 0 0	2 0 0 0	2 0 0 2
JEZGRA ISPARIVAČA	H		-1 0 0 0		-2 2 0 2	0 2 0 2	2 0 0 0		1 0 0 2							0 0 0 2
AKUMULATOR	I			-1 0 0 0		1 0 0 2		1 0 0 2		1 0 0 0						
KONTROLE HLADENJA	J				0 0 2 0			1 0 0 0		0 0 2 0			1 0 0 0			
EATC KONTROLE	K					0 0 2 0				0 0 2 0		0 0 2 0	1 0 0 0	0 0 2 0	0 0 2 0	
SENZORI	L									0 0 2 0			1 0 0 0			
RASPODJELA PO KOMANDNOJ PLOČI	M	1 0 0 0				1 0 0 0				1 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 0		1 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 0
SIGNAL	N						2 0 0 0				0 0 2 0		1 0 0 0			
KONTROLE VENTILATORA	O						2 0 0 0				0 0 2 0		1 0 0 0			2 0 0 2
MOTOR VENTILATORA	P		0 0 0 2				2 0 0 2	0 0 0 2					1 0 0 0		2 0 0 2	

Key:  
0 E  
1 M

Slika 12. DSM baziran na komponentama za automobilski sustav kontrole klimatizacije

	K	J	L	D	M	A	B	E	F	I	H	C	P	O	G	N
EATC KONTROLE	K	0 0 2 0	0 0 2 0	0 0	1 0 0 0				0 0 2 0					0 0 2 0		0 0 2 0
KONTROLE HLADENJA	J	0 0 2 0			1 0 0 0				0 0 2 0	1 0 0 0						
SENZORI	L	0 0 2 0			1 0 0 0											
CIJEVI GRIJAČA	D									-1 0 0 0		1 0 0 0				
RASPODJELA PO KOMANDNOJ PLOČI	M	1 0 0 0	1 0 0 0	1 0 0 0			1 0 0 0		1 0 0 0				1 0 0 0	1 0 0 0		1 0 0 0
HLADNJAK	A						2 0 0 2	2 -2 0 0								
MEHANIZAM VENTILATORA	B				1 0 0 0		2 0 0 2	2 0 0 2								
KONDENZATOR	E						2 -2 0 0	2 0 0 2	0 2 0 2		-2 2 0 2					
KOMPRESOR	F	0 0 2 0	0 0 2 0		1 0 0 0			0 2 0 2		1 0 0 2	0 2 0 2					
AKUMULATOR	I	1 0 0 0			-1 0 0 0					1 0 0 2						
JEZGRA ISPARIVAČA	H							-2 2 0 2	0 2 0 2	1 0 0 2		-1 0 0 0	0 0 0 2		2 0 0 0	
JEZGRA	C			1 0 0 0								0 0 0 2			2 0 0 0	
MOTOR VENTILATORA	P				1 0 0 0						0 0 0 2			2 0 0 2	2 0 0 2	
KONTROLE VENTILATORA	O	0 0 2 0			1 0 0 0								2 0 0 2		2 0 0 0	
ISPARIVAČ	G										2 0 0 0	2 0 0 0	2 0 0 2	2 0 0 0		2 0 0 0
SIGNAL	N	0 0 2 0			1 0 0 0											2 0 0 0

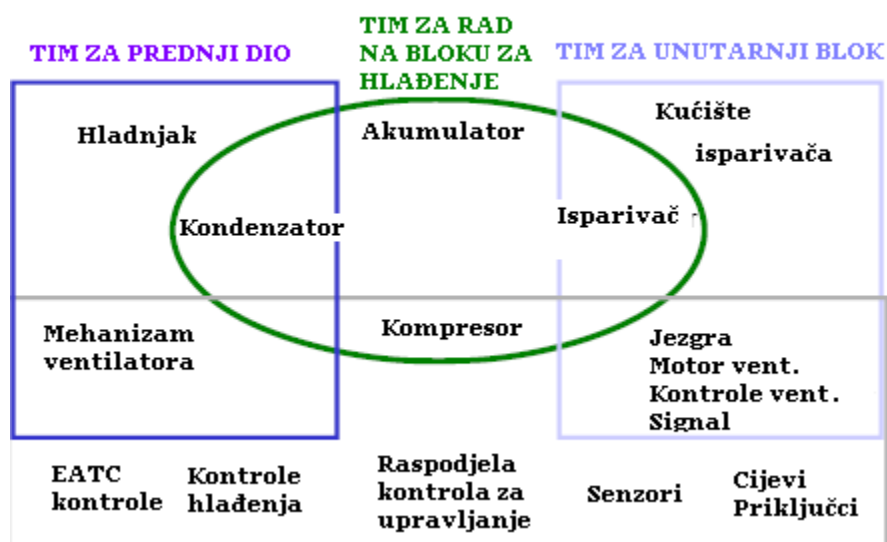
Slika 13. DSM baziran na komponentama za automobilski sustav kontrole klimatizacije nakon particioniranja

## 7. Gomilanje (klaster) DSM matrice

Kod particioniranja smo vidjeli da je glavni cilj bio maknuti povratne informacije koje su bile iznad dijagonale ispod nje, s tim da su elementi DSM-a bili zadaci koje je trebalo izvršiti.

Međutim, kada su elementi ljudi zaduženi za te zadatke, ili podsustavi i komponente većeg sustava, kod sastavljanja DSM-a imamo drugi cilj. Cilj postaje pronaći podsustave elemenata DSM-a koji su uzajamno isključivi ili među njima postoji minimalna interakcija. Taj se proces naziva gomilanje (*clustering*). Drugim riječima, te „nakupine“ ili klasteri sadrže u sebi većinu, ili čak sve, interakcije (DSM oznake) a interakcije između različitih klastera su minimizirane ili eliminirane (Fernandez, 1998; Sharman and Yassine, 2003; Yu et al., 2003). U tom slučaju, blokovi postaju analogni formacijama tima ili neovisnim sklopovima unutar sustava. Štoviše, oznake ispod i iznad dijagonale ovdje su iste i predstavljaju interakcije između timova ili sučelja među sklopovima.

### Raspodjela timova



**Slika 14.** Podjela u timove nakon klastera

Slika 14 prikazuje rezultate nakon klastera. Želi se istaknuti ne samo tri glavna bloka već i njihova povezanost. Glavna poveznica im je blok za kontrolu i priključci.

Od nastalih blokova dobivaju se tri glavna tima: tim koji se bavi prednjim izgledom sustava za klimatizaciju, tim koji se bavi jezgrom, motorom ventilatora, signalom, i na kraju tim koji se bavi cirkulacijom na bazi kompresor-isparivač-kondenzator,akumulator. Sva tri tima su povezuju Cijevi, priključci, kontrole zraka i senzori.

Promotrimo DSM na slici 15. Unosi u matrici govore nam koliko je komunikacija među različitim sudionicima razvoja (osoba A, osoba B itd.) česta i/ili intenzivna, to jest koliko često timovi moraju raditi jedni s drugima: dnevno, tjedno ili mjesečno.

	A	B	C	D	E	F	G
A	●	●			●	●	
B		●		●			●
C		●	●	●			●
D		●	●	●	●		●
E				●	●	●	
F	●				●	●	
G		●	●	●			●

Slika 15. DSM različitih sudionika razvoja

Kao što je vidljivo iz slike 16, glavni DSM smo preuredili tako da je većina interakcija sadržana unutar dva bloka: EF i EDBCG.

Tri su interakcije, ipak, još uvijek izvan svih blokova (timova) i tako stvaraju točke interakcije/suradnje između dva tima.

Alternativni način slaganja timova je vidljiv iz slike 16. On predlaže formiranje dvaju timova koji se preklapaju (AFE i EDBCG) s tim da jedna osoba (osoba E) pripada i jednom i drugom timu i može služiti kao veza među njima.

Na odluku o tome kako se elementi proizvoda dodjeljuje određenom dijelu utječe nekoliko tehničkih i ne-tehničkih faktora.

	A	F	E	D	B	C	G
A	●	●	●				
F	●	●	●				
E		●	●	●			
D			●	●	●	●	●
B				●	●		●
C				●	●	●	●
G				●	●	●	●

(a) DSM nakon klaster analize

	A	F	E	D	B	C	G
A	●	●	●				
F	●	●	●				
E		●	●	●			
D			●	●	●	●	●
B				●	●		●
C				●	●	●	●
G				●	●	●	●

(b) Druga solucija za klaster analizu

Slika 16. Klastering

Postoji nekoliko računalnih klaster tehnika koje traže optimalna rješenja bazirana na razmjeni ("ustupak za ustupak") između važnosti shvaćanja ovisnosti unutar blokova i između njih, koji bi pod određenim pretpostavkama mogli doći do optimalnih rješenja (Fernandez, 1998.; Yu et al., 2003.).



## 8. Analiza parametara jednostupanjskog reduktora koristeći DSM

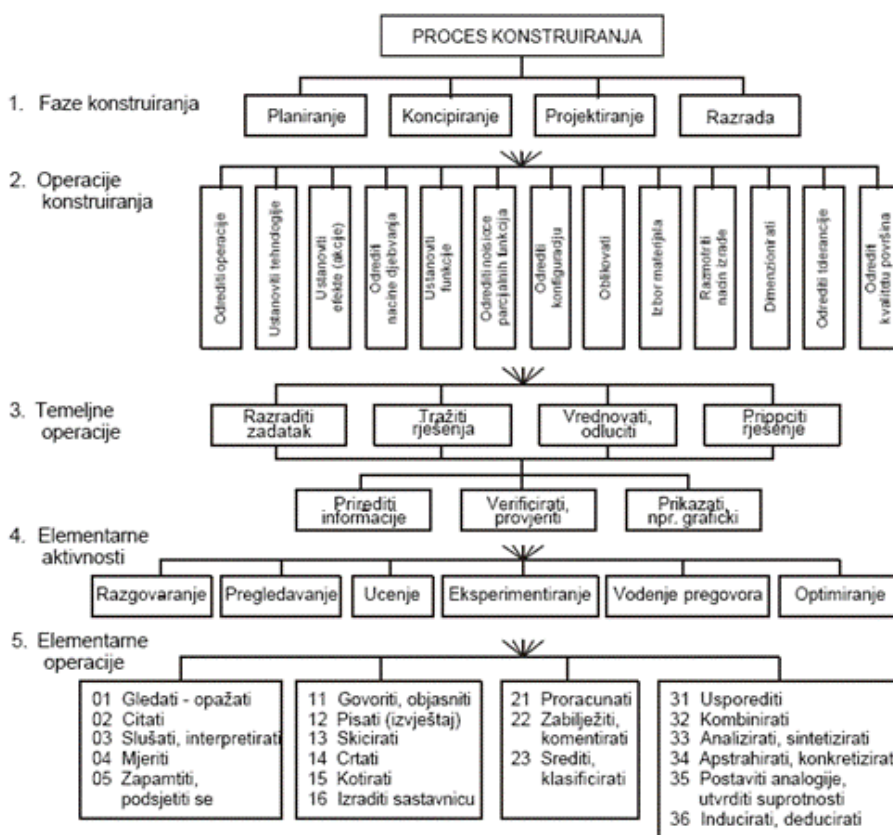
Relacije zavisnosti između parametara najbrojnije su i najsloženije u procesu konstruiranja. Većina tih zavisnosti su algebarske jednačbe. Proces rješavanja tih jednačbi je jedna od ključnih aktivnosti. Složene konstrukcije na kojima rade timovi konstruktora mogu generirati mnogo parametara čije međuzavisnosti je potrebno organizirati pregledno i jednoznačno. Prijedlog za zapis je matrica relacija između parametara konstrukcije-DSM.

DSM nam daje uvid u način vođenja složenog zadatka i ističe pitanja zahtjeva i potreba informacija, slaganje zadataka i ponavljanje.

Proces konstruiranja se sastoji od niza operacija u međusobnim odnosima i mogu sagledati na dva načina - slika 17.

- hijerarhijski vertikalno ovisno o složenosti aktivnosti u procesu konstruiranja – operacije na nižem nivou u hijerarhiji su uvijek elementi operacija na višem nivou
- te horizontalno kroz blokove aktivnosti koje treba ciklički ponavljati kako bi se došlo do željenog cilja.

Blokovi aktivnosti se definiraju kao sekvence postavljene u logički slijed kako bi se proces konstruiranja tako kontrolirao i odvijao po jednoj prije definiranoj shemi.



Slika 17. Struktura aktivnosti u procesu konstruiranja

Okosnica procesa konstruiranja sadržane su u temeljnim operacijama te bi ih kao takve trebali savladati i koristiti svi inženjeri pri traženju rješenja nekog zadanog problema. Da bi se DSM metoda bolje prikazala i objasnila uzet je primjer reduktora. Uzeti su parametri koji su potrebni za proračun rada reduktora. Pravilnim unosom tih parametara u matricu i unosom njihove međuovisnosti pokušava se doći do optimalnog redoslijeda u proračunavanju tj. kako da se razvije optimalni proizvod uz maksimalnu korisnost konstruktora. Sam proračun reduktora je dosta iscrpan i velik. Tim optimalnim redoslijedom dobijemo na vremenu i brzini proračunavanja. Rezultati se ne bi trebali olako prihvaćati jer oni su samo smjernica ili jedan od pokazatelja kako bi se proračun trebao najbrže odvijati. Iskustva nekada pokazuju drugačije. Gore prikazana slika 17 opisuje strukturu aktivnosti u procesu konstruiranja. Može se uočiti neke sličnosti između tih aktivnosti i aktivnosti DSM-a. Algoritmi korišteni na slici su slični algoritmima koji se koriste u DSM-u. Također je bitno istaknuti da sam DSM-om može također poboljšati proces konstruiranja, olakšati neke faze i skratiti-ubrzati sam postupak.

Tip DSM-a je na bazi parametara. Reduktor snage je sa jednim stupnjem prijenosa (slika 18).

Postupak koji inženjeri imaju kod rješavanja složenijih projekata ili problema je da ga podjele u manje dijelove ili blokove. To se radi u svrhu boljeg snalaženja, lakšeg rada i bržeg rješavanja tog projekta. U razvoju takvih složenijih proizvoda, njihove funkcije i dijelovi od kojih se sastoji se podjele u jednostavnije funkcije te kao takvi proučavaju i traže alternativna rješenja. Jedna od metoda koja to omogućava je DSM. Dva su razloga zašto se to radi:

1. **POJEDNOSTAVLJANJE**- jednostavnije probleme je lakše riješiti od nego složenije
2. **BRZINA**- izrada rješenja tako pojednostavljenih problema se mogu izvoditi paralelno

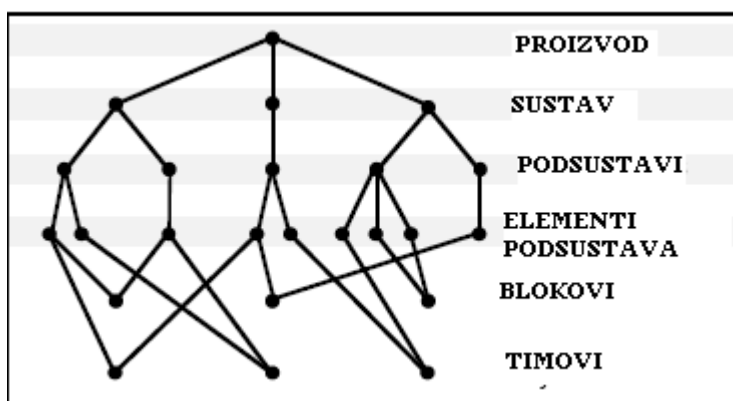
Postoje također dva ograničenja korištenja takvog sustava:

1. **DEKOMPOZICIJA**- pronalaženje odgovarajućeg broja jednostavnijih procesa i sama dekompozicija može nekada predstavljati problem
2. **INTEGRACIJA**- kombiniranje i sjedinjavanje svih tih rješenja u jedno

Ulrich i Eppinger (1994.) definiraju strukturu proizvoda u kojoj su ti podjeljeni elementi organizirani u blokove (chunks). Ta struktura primjenjuje se u razvoju proizvoda i njegovoj proizvodnji. Također je vezana za proizvodne mogućnosti proizvodni plan neke tvrtke. Opisani primjer opisuje međusobne odnose između parametara u reduktoru. Dobiveni blokovi opisuju rezultate koji nastaju nakon dekompozicije i primjene klaster metode. Kod više dobivenih blokova moguća je podjela u timove od kojih bi svaki rješavao jedan problem. U automobilskoj industriji imamo više stotina razvojnih timova. Konstruirati cijeli automobil odjednom bilo bi prekomplikirano; a sa druge strane raditi dio po dio bilo bi presporo (istodobno inženjerstvo).

U ovom radu je predočena DSM metoda u tri koraka; započinje sa odabirom parametara u reduktoru a završava sa tvorbom blokova u kojima su raspodijeljeni međuovisni parametri.

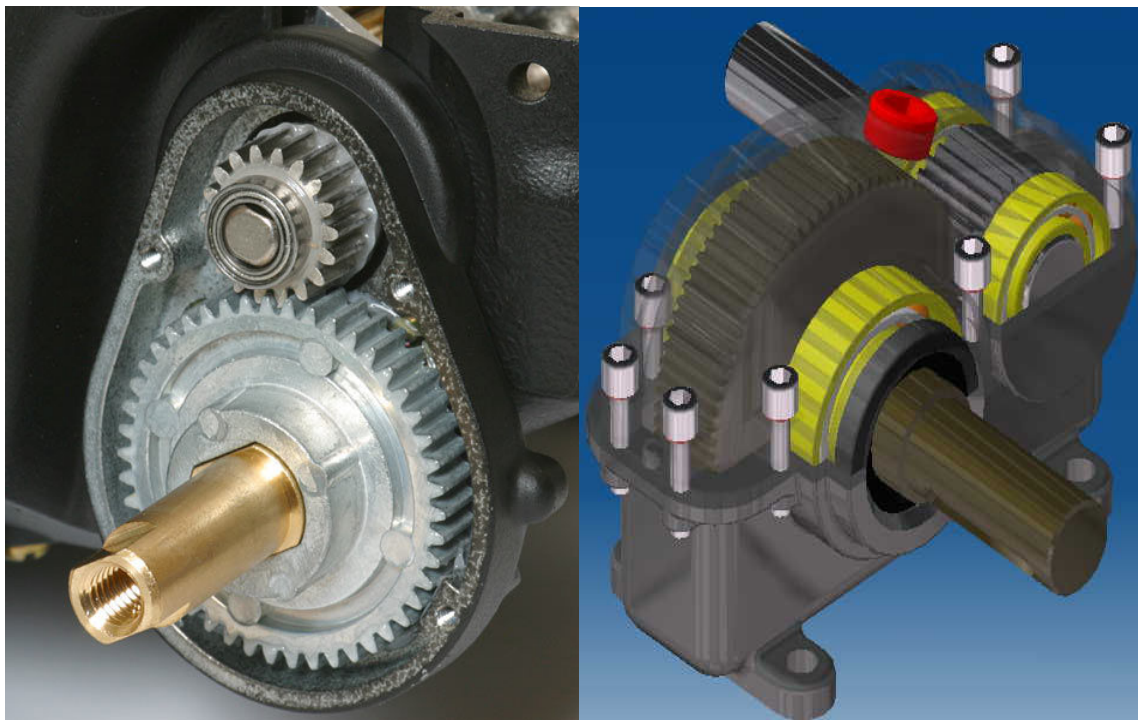
1. **Odabir parametara** – izbor 40-ak parametara koje je moguće povezati pomoću nekih relacija ili funkcija.
2. **Dokumentiranje i razrada ovisnosti između odabranih parametara** – dokumentiranje je bitno jer nam daje uvid kako su parametri usklađeni, što može pomoći u kasnijim fazama razvoja proizvoda. Također pravilno usklađivanje parametara i kasniji klastering nam može bolje istaknuti veze između parametara. U slučaju novih spoznaja između veza matrica se može uskladiti tim novim činjenicama.
3. **Klaster analiza i tvorba blokova** – klaster analiza će stvoriti blokove (kvadrate) unutar matrice koji će tvoriti zasebnu skupinu parametara, njima se pridodaje veća važnost. Ako ima više blokova onda je moguće određivanje timova.



**Slika 18.** Metodologija strukturiranja

Strukturiranje procesa ili proizvoda opisan primjerom, tj. Načinom da se odrede veze između istoimenih, eliminira upotrebe ostalih sredstava ili načina opisa koji su možda kompliciraniji i zahtjevniji. Pogodnosti za razvoj proizvoda su sljedeće:

- 1) Metodologija rada daje uvid u strukturu problema koji se javljaju u razvoju proizvoda. Kada je u pitanju DSM čija su baza komponente on pruža prikaz proizvoda kroz više perspektiva (klastering se radi ovisno o 4 tipa veza između komponenti– prostor, energija, informacija, materijali. Određivanje inženjerskih potreba razmatranjem pozitivnih i negativnih veza, također se gledaju i veze koje ne tvore blokove).
- 2) Detaljna analiza pomoću DSM-a pruža jednostavniji razvoj proizvoda, stvaranje timova i time raspodjelu poslova, brže izvođenje i dr.
- 3) Dobiveni blokovi nekada predstavljaju odstupanja od industrijske prakse. Razvoj proizvoda se obično sastoji od dijelova ili blokova koji tvore međusobno isključive skupove ( primjer, McCord i Eppinger 1993.) Smatra se da se samo preklapanjem blokova mogu pravilno riješiti problemi koji vežu dva ili više blokova. U ovom primjeru to nije moguće jer za to je potreban malo složeniji zadatak ili malo više parametara.



**Slika 19.** Reduktor

Reduktor ili u ovom slučaju jednostupanjski zupčani prijenosnik sa ravnim zubima prima snagu od elektromotora preko spojke S1, a na izlaznom vratilu je, preko spojke S2, predaje radnom stroju (RS).

Program korišten za izradu matrice, određivanje zavisnosti i particioniranje se zove PSM32 (obrađen u poglavlju 8.1).

## 8.1 Alat PSM32

PSM32 je na izgled jako jednostavan program s kojim je jako lagano manipulirati matricom. Od jednostavnog particioniranja, cijepanja i podertavanja ili „banding“. Početak je sličan kao i kod ostalih programa slične namjene, odredi se broj stupaca-redaka matrice, ispišu njihova imena. Nakon toga se odrede njihove međuzavisnosti koje su u intervalima od 0 do 9. Ostale navedene operacije ili ako hoćemo povratak na prijašnje stanje, se nalaze na alatnoj traci slika 20.



$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{F\lim}}{S_F} \cdot 0,7$$

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 \cdot T_{1\max}}{\lambda \cdot z_1^2 \cdot \sigma_{FP}} \cdot Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha}}$$

p14-Moment ubrzanja masa radnog stroja  $T'_\varepsilon$

p15-Moment okretanja  $z_1$  (uz sve gubitke od radnog stroja do zupčanika  $z_1$ )  $T_1$

$$T'_1 = T_1 + T'_\varepsilon$$

p1-Potrebna snaga radnog stroja  $P$

p16-Gubici elastične spojke  $P_{gs}$

p2-Broj okretaja elektromotora  $n$  ( $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ )

p17- $\eta'_{uk}$

$$\eta'_{uk} = \frac{P}{P \cdot \left(1 + \frac{P_{uk}}{100}\right)} = \frac{1}{1 + \frac{P_{uk}}{100}}$$

$$T_1 = \frac{P}{\omega \cdot \eta'_{uk}}$$

p39-Prijenosni okret spojke  $T_s$

$$T_{S_2} = (T_1 + T'_\varepsilon) \cdot i \cdot \eta'_{uk}$$

p18-Zagonski moment radnog stroja reduciran na vratilo  $V_1$  zupčanika  $z_1$   $GD^2_{redI}$

p5-Vrijeme uključivanja elektromotora  $t_u$

$$T_\varepsilon = \frac{GD^2_{redI} \cdot \omega}{4 \cdot g \cdot t_u} = \frac{GD^2_{redI} \cdot n_1}{375 \cdot t_u}$$

p3-Standardni prijenosni omjer  $i$

$$i = \frac{z_2}{z_1}, \quad n_2 = \frac{n_1}{i}$$

p22-Diobeni promjer zupčanika  $d = z \cdot m$

p33-Širina zupčanika  $b = \lambda \cdot m$

p23-Promjer tromosti rotirajućih masa na vanjskom promjeru  $d$   $D = d^2/2$

p38-Zagonski moment zupčanika  $GD^2_z = G \cdot D$

p21-Težina rotirajućih masa  $G = d^2 \cdot b \cdot 60.2$

p26-Razmak osi vratila  $a$

$$a = m \cdot \frac{z_1 + z_2}{2}$$

p20-Zahvatni kut  $\alpha$

p24-Pogonski zahvatni kut  $v$ -parova  $\alpha_w$

p25-Faktor pomaka profila  $x$

$$\cos \alpha_w = \frac{a}{a_w} \cdot \cos \alpha$$

$$x_1 + x_2 = (z_1 + z_2) \cdot \frac{ev\alpha_w - ev\alpha}{2 \cdot \tan \alpha}$$

p27-Debljina zuba na tjemenu promjeru  $s_a$

p28-Tjemeni promjer  $d_a$

p29-Promjer pogonske (kinematske) kružnice zahvata  $d_w$

p30-Osnovni (temeljni) promjer  $d_b$

p31-Podnožni promjer  $d_f$

$$d_{a_1} = d_1 + 2 \cdot m(1 + x_1)$$

$$d_{w_1} = d_1 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$d_{f_1} = d_1 - 2 \cdot m(1,25 - x_1)$$

$$d_{\delta_1} = d_{w_1} \cdot \cos \alpha_w$$

p37-V-razmak osi vratila  $a_w$

p32-Potrebna tjemena zračnost  $c$

$$c = a_w - \frac{d_{a_1} + d_{f_2}}{2}$$

- parametri kao materijali vratila i kućišta, obrade rukavaca i sl. se vade iz posebnih tablica ili Strojarskog priručnika. Također neki parametri ovise o parametrima koji se izvlače iz posebnih tablica. To su recimo dinamičke čvrstoće koje se izabiru iz tih tablica ovisno o kojem se materijalu radi.

Pitanje kako zapisati matricu reda veličine npr. približno 1000 parametara, dakle ukupno  $10^6$  ćelija. Svakako da nema smisla zapisivati sve vrijednosti ćelija, jer će vrlo vjerojatno samo mali postotak imati "oznaku" postojanja zavisnosti. Dovoljno je uz svaki parametar zapisati samo adrese, odnosno redne brojeve stupaca drugih parametara o kojima on ovisi. Iz takvog se zapisa jednostavnim algoritmom može generirati i matični prikaz (odnosno submatrica određenog područja) u situacijama kada je to potrebno. Tablica 6 prikazuje matrice zavisnosti parametara konstrukcije svedene na listu sa tri stupca. Drugi stupac matrice sadrži adrese parametara o kojima ovisi određeni parametar, a treći stupac sadrži zapis semantike zavisnosti:  $p_j = f(p_i, i \in \{1, \dots, n\}, i \neq j)$ , gdje je  $n$  broj svih definiranih parametara u bazi parametara.

Funkcija  $f$  zavisnosti parametara najčešće će biti jedna ili više algebarskih jednadžbi, no može biti i druga vrsta funkcije, ovisno o vrsti parametra (npr. funkcija može biti u obliku logičkih "if-then" pravila).

Zapis zavisnosti parametara konstrukcije može nam dati još jednu vrlo korisnu informaciju. Često je posebno važno znati kako promjena jednog parametra utječe na ostale parametre u konstrukciji, odnosno koji sve parametri ovise o određenom parametru? Takva informacija može se dobiti kao rezultat upita ("query-a") u kojem se prikazuju svi reci liste u kojima se traženi parametar pojavljuje u drugom stupcu liste.

Matrica zavisnosti parametara konstrukcije može poslužiti kao podloga za izradu matrice zavisnosti konstrukcijskih zadataka. Ukoliko se u matičnom obliku zapišu relacije pripadnosti svakog od parametra konstrukcijskim zadacima, interesantno bi bilo istražiti dali je moguće realizirati algoritam koji bi na temelju zapisa u obje matrice automatski generirao matricu zavisnosti konstrukcijskih zadataka.

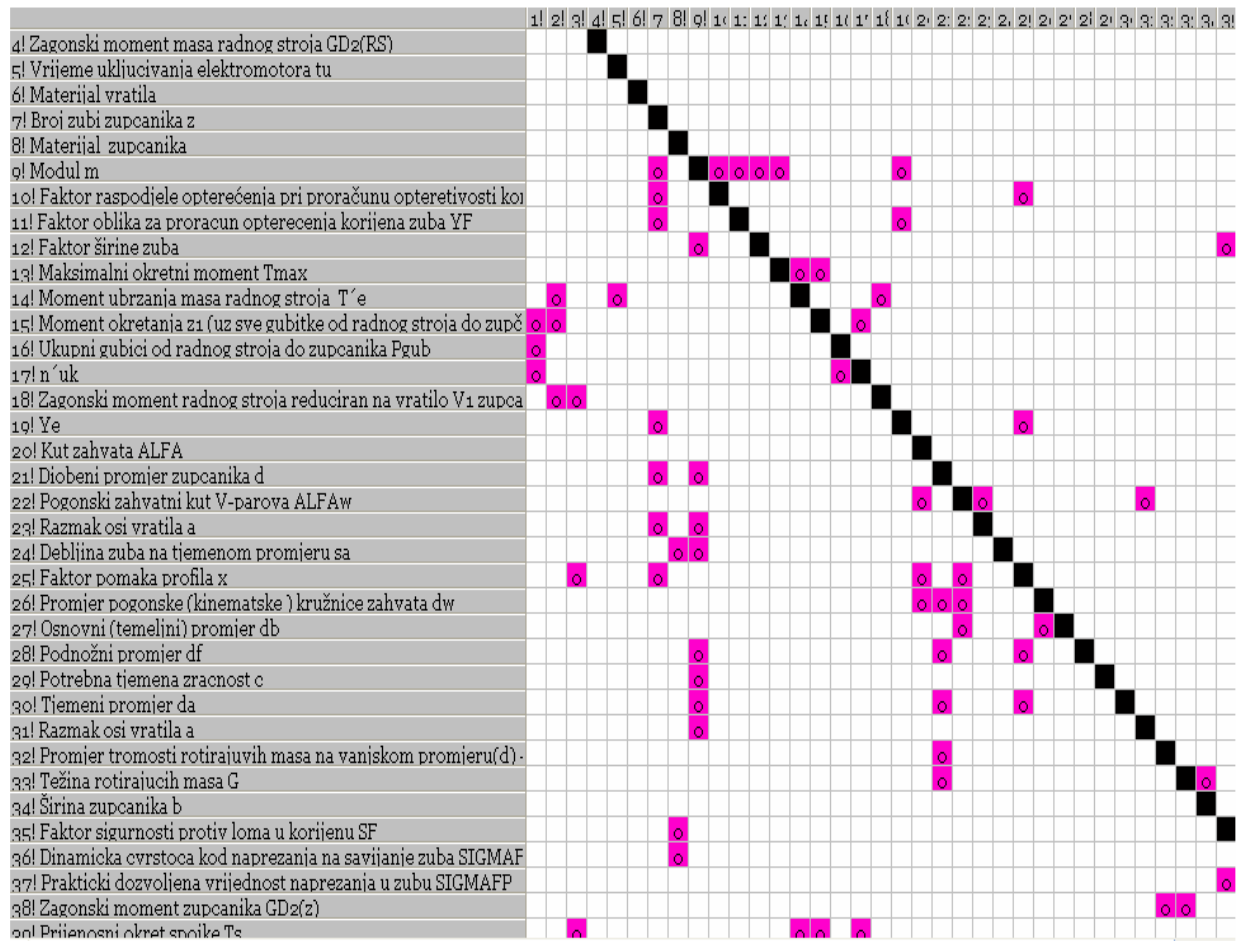
Redni broj parametra	Ovisi o:	Zapis funkcijskih zavisnosti
p1		
p2		
p3	p2, p7	$p3=f(p2)$ $p3=f(p7)$
p4		
p5		
p6	p7, p8, p19, p13, p35, p10, p11	$p6=f(p8, p7, p19, p13, p35, p10, p11)$
p7	p3	$p7=f(p3)$
p8		
p9		
p10	p7, p8	$p10=f(p8, p7)$
p11	p7, p25	$p11=f(p25, p7)$
p12	p6, p33	$P12=f(p6, p33)$
p13	p14, p15	$p13=f(p14, p15)$
p14	p2, p18, p5	$p14=f(p2, p18, p5)$
p15	p1, p2, p17	$p15=f(p2, p1, p17)$
p16	p1	$p16=f(p1)$
p17	p1, p16	$p17=f(p1, p16)$
p18	p4, p2	$p18=f(p2, p4)$
p19	p7, p8	$p19=f(p8, p7)$
p20		
p21	p22, p33	$p21=f(p22, p33)$
p22	p7, p6	$p22=f(p6, p7)$



p23	p22	$p23=f(p22)$
p24	p20, p26, p37	$p24=f(p20, p37, p26)$
p25	p24, p7, p20	$p25=f(p24, p7, p20)$
p26	p7, p6	$p26=f(p6, p7)$
p27	p6	$p27=f(p6)$
p28	p6, p22, p26	$P28=f(p6, p22, p26)$
p29	p22, p20, p24	$p29=f(p20, p22, p24)$
p30	p24, p29	$p30=f(p24, p29)$
p31	p7, p6, p22	$p31=f(p6, p7, p22)$
p32	p28, p31, p37	$p32=f(p28, p37, p31)$
p33	p12, p6	$p33=f(p12, p6)$
p34	p8	$p34=f(p8)$
p35	p34, p36	$p35=f(34)$ $p35=f(p36)$
p36	p8	$p36=f(p8)$
p37		
p38	p21, p23	$p38=f(p21, p23)$
p39	p2, p3, p14, p15	$p39=f(p2, p3, p14, p15)$

**Tablica 7.** Shema zapisa zavisnosti parametara konstrukcije

Ukupno 39 parametara je ubačeno u matricu i određene međuovisnosti, prikazano na slici 21.



Slika 21. DSM matrica parametara reduktora

### 8.3 Partitioniranje matrice parametara

Nakon što je napravljena matrica i međuzavisnosti između parametara onda slijedi partitioniranje. To je jednostavno sa nekim alatom/ programom koji pomaže u toj zadaći. Korišten je PSM32 koji te parametre partitionira trenutno. Obično je potrebno za ovih 39 parametara i do nekoliko sati. Također prostoručno partitioniranje dovodi do grešaka koje će dati krive rezultate. Slika 22. pokazuje partitioniranu matricu prikazanu na slici 21.



parametri: modul  $m$ , Faktor raspodjele opterećenja pri proračunu opterećenja korijena  $K_{Fa}$ , Faktor oblika za proračun opterećenja korijena zuba  $Y_F$ ,  $Y_\varepsilon$ , Faktor širine zuba  $\lambda$ , V-razmak osi vratila  $a_w$ , Faktor pomaka profila  $x$ , Razmak osi vratila  $a$ , Težina rotirajućih masa  $G$ , Diobeni promjer zupčanika  $d$ , Promjer tromosti rotirajućih masa na vanjskom promjeru  $d$   $D$ , zagonski moment zupčanika  $GD^2_z$ , Pogonski zahvatni kut V-parova  $\alpha_w$ .

Dobivena skupina bi se trebala u proračunu prva proračunavati jer o njoj ovisi gotovo cijeli proračun ili bar dio koji smo mi promatrali. Sigurno bi se bolji rezultati dobili da je uzeto više parametara.

U cijeloj toj priči modul  $m$  igra jako veliku ulogu. Za dio proračuna reduktora koji smo promatrali on bi trebao biti „odskočna daska“. Kada odredimo parametre koji njega određuju i proračunamo modul onda bi se trebalo krenuti na ostatak proračuna. Osim kvadratnog osjenčanog područja koji nam je najzanimljiviji tu su neka područja koja na prvi pogled izgledaju da ne ovise o ničemu. To je zato što je njihova vrijednost zadana i ne mijenja se, ulazna snaga, broj okretaja i dr.

Možda ušteda vremena, brzine izvođenja nije velika u ovom primjeru ali probajte zamisliti konstrukcijske projekte od par tisuća parametara, kada na projektima radi više ljudi a vrijeme i optimalizacija igraju veliku ulogu. Tu je DSM najjače oružje. Onaj koji nauči pravilno koristiti DSM i nađe joj svrhu u svom radu bi lako mogao izboriti prednost i prvenstvo na tržištu.

U prilogu se mogu naći veće i preglednije slike 21 i 22.

## 9. Zaključak

DSM metoda dokumentiranjem razmijenjenih informacija zadovoljava važnu potrebu menadžmenta u strojarstvu. Ona, na vizualno impresivan način, nudi mogućnosti za shvaćanje, objašnjavanje i organizaciju aktivnosti u procesu konstruiranja i organizacijskih pitanja kao što su formiranje timova koji će sudjelovati u projektu i arhitektura proizvoda.

Ovaj rad nudi uvod u DSM metodu kao alternativni pristup klasičnim tehnikama upravljanja složenim RP projektima. Metoda se pokazuje korisnom već samom izgradnjom DSM-a i uvidom u njega, te je čak i bez daljnjih analiza, stvaranjem DSM modela projekta ili sustava, poboljšana mogućnost čitanja i predodžbe kompleksnosti projekta ili sustava. Uz pomoć DSM-a moguće je jednostavno predočiti proces drugima jednom jedinom slikom.

U radu su opisane mogućnosti primjene DSM-ova na nekoliko primjera "iz stvarnog života", no valja navesti da je literatura prepuna primjera uspješne primjene DSM-ova na različitim poljima: automobilske industriji (McCord and Eppinger, 1993; Yassine et al., 2000), industriji poluvodiča (Osborne, 1993.), građevinarstvu (Austin et al., 2000.) i telekomunikaciji (Eppinger, 2002.), da nabrojimo samo neke.

DSM se u ovom radu pokazao kao korisna metoda za analizu procesa konstruiranja proizvoda. Opisan je način određivanja optimalnog rasporeda određivanja parametara sa identifikacijom iterativnih djelova procesa konstruiranja. Takvi iterativni blokovi mogu poslužiti kao osnova sa određivanje timova. Metoda je primjenljiva za velike i složene projekte gdje je potreba za analizom neophodna..

Mnogi od navedenih DSM alata i algoritama su našli primjenu u različitom softveru, upotrebljavanom i u komercijalne i istraživačke svrhe. Važan izvor informacija je bila Internet stranica [www.DSMweb.org](http://www.DSMweb.org), koja sadrži mnoštvo primjera, uputa i sl. za procese grupiranja, cijepanja, particioniranja i simulacije. Također, ponuđeni su i linkovi do drugih korisnika iz područja DSM-a, te DSM softver.

## Literatura

- [1] **Thomas U. Pimmler and Steven D. Eppinger**, *INTEGRATION ANALYSIS OF PRODUCT DECOMPOSITIONS*, Cambridge, Massachusetts 1994.
- [2] **Donald V. Steward**, *An Introduction To The Psm32 Program*, 1999.
- [3] **Neven Pavković**, *OBJEKTNO ORIJENTIRANI PRISTUP MODELIRANJU PROCESA KONSTRUIRANJA*, Zagreb 2000.
- [4] **Tyson R. Browning**, *Proces integration using Deisgn Structure Matrix*, 2001.
- [5] **Tyson R. Browning**, *Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems:A Review and New Directions*, 2001.
- [6] **Milan Opalić, Petar Rakamrić**, *REDUKTOR*, Zagreb 2001.
- [7] **Olivier de Weck**, *Tasked-based DSMs*, Massachusetts Institute of technology 2003.
- [8] **Keith L. Woodman, Vincent J. Bilardo Jr.**, *Applying the Design Structure Matrix (DSM) Technique to NASA Organizational Design*, NASA Langley Research Center 2005.
- [9] **Karl-Linus Blomberg, Joakim Eriksson, Jonas Svensson**, *Mapping of relations and dependencies using DSM/DMM-analysis*, Jönköping June 2005.
- [10] **Konstantinos Kalligeros, Olivier de Weck, Richard de Neufville**, *Platform identification using Design Structure Matrices*, Cambridge, Massachusetts 2006.
- [11] **M. Germani, M. Mengoni and R. Raffaelli**, *DESIGN STRUCTURE MATRIX USED AS KNOWLEDGE CAPTURE METHOD FOR PRODUCT CONFIGURATION*, Dubrovnik - Croatia, May 15 - 18 , 2006.

<http://www.dsmweb.org/>

<http://citeseer.ist.psu.edu/>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Dependency\\_Structure\\_Matrix](http://en.wikipedia.org/wiki/Dependency_Structure_Matrix)

[www.problematics.com](http://www.problematics.com)



