

TUSSENTIJDVERSLAG

DE IMPLICATIES VAN SCHAARSE MIDDELEN IN EEN MULTI-
PROJECT OMGEVING OP DE PLANNING EN CONTROLE VAN
PROJECTEN

Promotor: Vanhoucke Mario

Begeleider: Kerkhove Louis – Philippe

9 mei '14

TUSSENTIJDVERSLAG

DE IMPLICATIES VAN SCHAARSE MIDDELEN IN EEN MULTI-PROJECT OMGEVING OP DE PLANNING EN CONTROLE VAN PROJECTEN

OVERZICHT

Voor de eerste drie secties: probleemsituering, projectplanning en controle is bijlage 1 de leidraad. Daarnaast wordt er ook een sectie gewijd aan het verloop en de structuur van de thesis, de planning en een sectie waar het fout ging. In deze laatst genoemde sectie zal worden uitgelegd dat bij de voorbereiding van dit tussentijdsverslag niet altijd op de juiste aspecten is gefocust. Tot slot worden ook de referenties opgesomd.

PROBLEMSITUERING

Om een multi-project voor te stellen zal gebruik gemaakt worden van bijlage 1. In deze bijlage is een zeer eenvoudig voorbeeld uitgewerkt: 2 projecten zijn geschetst, elk met 3 activiteiten (3x2). Elke projectactiviteit wordt gekenmerkt door een activiteitduur, resourceconsumptie en/of volgorde relatie. Beide projecten zijn afhankelijk van elkaar, aangezien ze dezelfde resource R1 delen, die slechts voor 2 eenheden aanwezig is per tijdseenheid. Verder wordt de veronderstelling gemaakt dat de kosten proportioneel stijgen met de duur van de activiteit.

Algemeen kan een multi-project worden omschreven als het simultaan uitvoeren van verschillende projecten waarbij verschillende middelen gedeeld dienen te worden.

Verder is het algemeen geweten dat ieder project wordt gekenmerkt door onzekerheid, zo ook een multi-project. Herroelen(2003) haalt aan dat deze onzekerheden vooral toegewezen kunnen worden aan twee oorzaken. Ten eerste bekomt een project manager de benodigde gedetailleerde informatie aangaande een activiteit slechts gradueel en ten tweede zijn er op de werkvloer ook veel operationele onzekerheden. Een proactieve als een reactieve aanpak kunnen gebruikt worden om met deze onzekerheid om te gaan. Zo zal een proactieve aanpak een zekere flexibiliteit in de baseline-planning inplannen om de negatieve gevolgen van deze onzekerheid te bufferen. Een reactieve aanpak daarentegen zal de gevolgen van deze onzekerheid zoveel mogelijk proberen te minimaliseren. In mijn onderzoek zal ik voorstellen uitwerken, zowel proactief als reactief, om een antwoord te bieden op deze onzekerheid.

PROJECTPLANNING

Deze sectie wordt opgesplitst in 3 delen: eerst wordt besproken hoe het plannen van een multi-project wordt opgelost in de literatuur, vervolgens wordt een meta-heuristisch voorgesteld en tenslotte wordt een deel gewijd aan de proactieve aanpak met als doel de gevolgen van onzekerheid te minimaliseren.

LITERATUUR

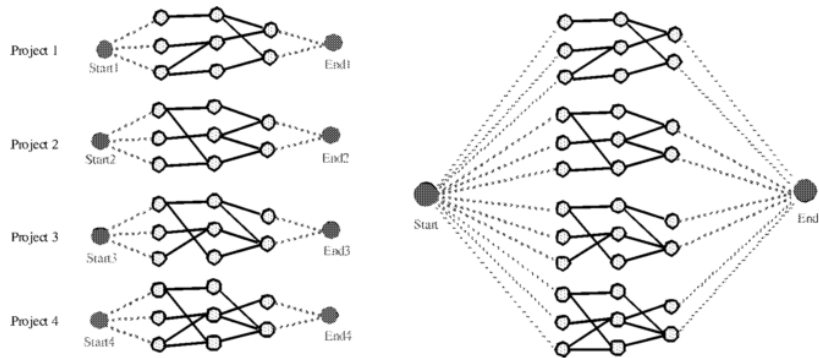
In de literatuur is dit planningsprobleem gekend als het 'Resource Constrained Multi- Project Scheduling Problem' (RCMPSP), wat een veralgemening is van het 'Resource Constrained Project Scheduling Problem' (RCPSP). Beide problemen zijn NP-hard problemen.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen twee verschillende aanpakken voor het oplossen van het RCMPSP. (Figuur 1 – Lova et. al 2001). De single-project aanpak is de eerste methode, hier worden de verschillende projecten

samengebracht tot één project en dus wordt het RCMPSP gereduceerd tot een RCPSP met één kritisch pad en één begin en één eind dummy variabele. Dit in tegenstelling tot de multi-project aanpak waarbij ieder project op zich wordt beschouwd m.a.w. ieder project wordt gekenmerkt door zijn eigen begin en eind dummy variabele en zijn eigen kritisch pad.

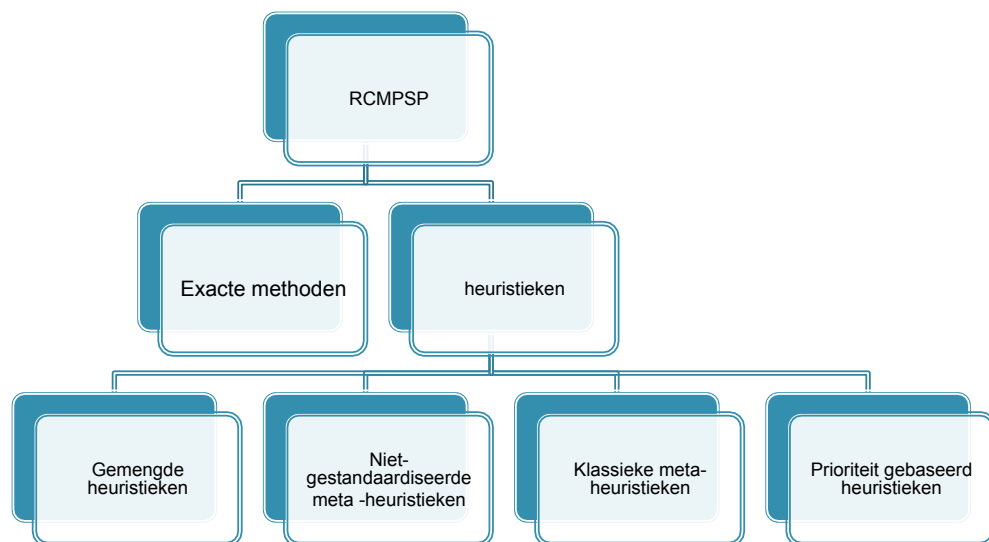
Verder zal gebruik gemaakt worden van een multi-project aanpak omdat deze beter

aanleunt bij de realiteit, minder aandacht heeft gekregen in de literatuur dan de single-project aanpak en een grotere opportuniteit voor verbetering heeft (Herroelen 2005). Ook dit is terug te vinden in bijlage 1 in het projectplanning deel: voor iedere project is een individuele planning opgesteld.



Figuur 1 a) single project aanpak b) multi project aanpak

Voor het oplossen van het RCMPSP gebruikmakend van de multi-project aanpak (Figuur 2) worden twee groepen onderscheiden: exacte methoden en heuristieken. Exacte methoden zijn in staat een optimale oplossing te bekomen. Deze methoden worden echter bekritiseerd omdat ze niet toepasbaar zijn voor grotere, complexere problemen en veel tijd vergen. Heuristieken maken gebruik van een bepaalde beslissingsregel, deze bevat meestal ook een vuistregel zodat de oplossingsruimte gericht wordt afgezocht.



Figuur 2 verschillende oplossingsmethoden binnen multi- project aanpak

Binnen de heuristieken worden vier klassen onderscheiden: (1) gemengde heuristieken; (2) niet gestandaardiseerde meta-heuristieken; (3) klassieke meta-heuristieken; (4) prioriteit gebaseerde heuristieken. Verder zal vooral gefocust worden op de laatste twee.

De sterkte van de klassieke meta-heuristiek is dat ze zowel gebruik maakt van een lokale verbeteringsprocedure als een globale procedure. Waarbij de eerste procedure intensief de veelbelovende regio's van de huidige oplossingen gaat verkennen, zal de globale procedure de gehele oplossingsruimte benutten. Echter garandeert een metaheuristiek, zoals elke heuristiek, geen optimaliteit. Enkele voorbeelden zijn het Genetisch Algoritme (GA), Simulated Annealing (SA) en Tabu Search (TS).

De prioriteit gebaseerde heuristieken worden het meest gebruikt door projectmanagers voor het oplossen van het RCMPSP, dit omdat projectmanagers vaak gebruik maken van vuistregels. Verder worden in de literatuur nog verschillende redenen aangehaald waarom prioriteitsregels (PR's) zo belangrijk zijn: ze worden uitvoerig gebruikt in planning software door hun snelheid en gemak (Herroelen 2005). Ook zijn PR's componenten (lokale zoekmethoden) van andere heuristieken (Kolisch 1996b) en tenslotte zijn ze 'onmisbaar' voor het opstellen van initiële oplossingen voor meta-heuristieken (Hartmann en Kolisch 2000).

Deze klasse heuristieken is ook niet vrij van kritiek, er is namelijk al aangetoond dat de meest geschikte PR sterk afhangt van het type project en van de gebruikte doelfunctie. Daarom stellen Browning en Yassine (2010) richtlijnen op voor het selecteren van de meest geschikte prioriteitsregels voor multi-projecten die bestaan uit 3 single projecten, elk bestaande uit 20 activiteiten (20x3), met als doel de gemiddelde procentuele vertraging te minimaliseren. Deze richtlijnen zijn gebaseerd op de projectkarakteristieken, meer bepaald op de complexiteit, resourceconflicten en resource distributie. Deze informatie is echter niet vaak aanwezig en in de projectomgeving (20x3) niet realistisch. Vázquez et.al(2013) stellen een leerproces voor waarvan projectmanagers gebruik kunnen maken zonder te moeten beschikken over voorgaande informatie. Tevens is het leerproces ook geschikt voor elke multi-project grootte. De output van dit beslissingsproces is tweevoudig. Ten eerste wordt de meeste geschikte PR+TB combinatie aangereikt, rekening houdend met zowel het projecttype als de gebruikte doelfunctie. TB staat voor tiebreaker, deze wordt gebruikt wanneer verschillende activiteiten dezelfde prioriteit hebben. Ten tweede reikt het een set van best geschikte oplossingen aan. Ieder element uit deze set bestaat uit een string. De grootte van deze string is gelijk aan het totaal aantal activiteiten in het multi-project. Bovendien is ieder string item een geheel getal tussen 1 en het aantal projecten, dit geheel getal is evenveel herhaald als het aantal activiteiten in dat single project. Door opnieuw het leerproces toe te passen op deze set van best geschikte oplossingen met de meest geschikte PR+TB combinatie deze set van oplossingen opnieuw. Deze oplossingen kunnen nog verbeterd worden aan de hand van een meta-heuristiek. Meer informatie over dit beslissingsproces kan terug gevonden in Vázquez et.al(2013).

VOORGESTELDE META-HEURISTIEK

Aangezien dit leerproces nog nieuw is, en dus nog niet uitgebreid getest is geweest, stel ik een nieuwe meta-heuristiek voor die het leerproces gebruikt als initiële oplossing. De voorgestelde meta-heuristiek combineert een genetisch algoritme met de '*Forward Backward Improvement*' (FBI) methode als lokale verbeteringsprocedure. Tabel 1 stelt de verschillende karakteristieken van de metaheuristiek voor, figuur 2 is een visuele weergave van de meta-heuristiek. In de volgende paragrafen wordt de structuur van figuur 2 gevolgd.

Het leerproces wordt gebruikt als initiële populatie. Eerst dient de output omgevormd te worden opdat ze bruikbaar zou zijn. De output bestaat echter uit een string die enkel weerspiegelt uit welk project een activiteit zal geselecteerd worden. Daardoor dient de aangereikte PR+TB combinatie nog eens op de aangereikte set worden uitgevoerd. Het resultaat is een activiteitlijst, waarin de activiteit met de grootste prioriteit helemaal vooraan in de lijst staat en vice versa. Verder dient deze activiteitlijst nog omgezet te

worden naar een echte planning. Dit wordt gedaan a.d.h.v. een 'Schedule Generation Scheme' (SGS). Hier kan een onderscheid gemaakt worden tussen serieel en parallel inplannen. Ik heb voor serieel

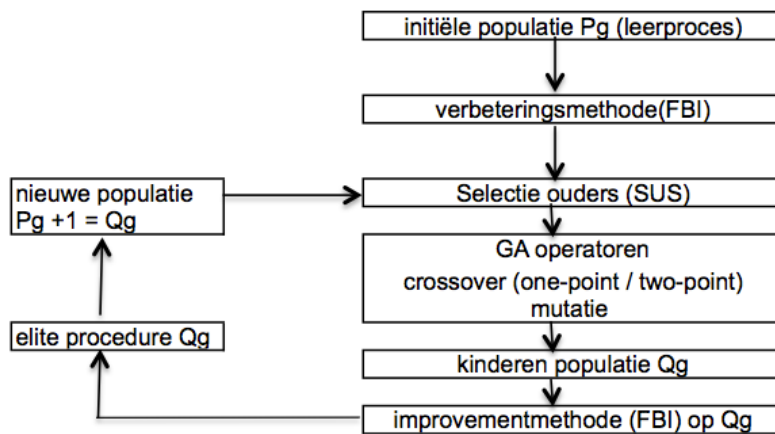
inplannen gekozen omdat het optimum niet kan worden bereikt wanneer gebruik wordt gemaakt van een parallel SGS (Hartmann en Kolisch 2000).

Metaheuristic strategie	Genetic Algorithm
Initiële populatie	Output leerproces
Schedule representation	Activiteit lijst
Schedule generation scheme	Serieel
Lokale verbeteringsmethode	FBI
Selectie procedure ouders	SUS
Crossover operator	One -point / Two-point
Mutatie operator	Verder onderzoek vereist

Tabel 1 Karakteristieken voorgestelde meta-heuristiek

Zowel op de initiële populatie als op de nieuw gegenereerde kinderoplossingen zal de FBI methode worden toegepast. Voor meer informatie over de FBI zie Lova et. Al (2000).

Alle bekomen oplossingen worden vergeleken t.o.v. elkaar a.d.h.v. een fitness functie. Het doel is om de om de beste oplossing te bekomen, die het totale project minimaliseert. Verder worden ook de totale projectduur en de gemiddelde procentuele vertraging geminimaliseerd. Hierbij wordt de vertraging bepaald door voor ieder project een einddatum voorop te stellen. Deze is gebaseerd op de lengte van zijn 'resource unconstrained critical path'.



Figuur 3 Visuele voorstelling meta-heuristiek

De ouders worden geselecteerd op basis van 'Stochastic Universal Selection' (SUS) (Goldberg 1989). Ze worden willekeurig geselecteerd, maar betere oplossingen hebben een grotere waarschijnlijkheid om geselecteerd te worden.

Voor het maken van kinderen zal zowel de one-point crossover als de two-point crossover worden getest. De mutatie operator zorgt ervoor dat er variantie wordt gecreëerd in de verschillende oplossingen, m.a.w. ze zorgen ervoor dat een oplossingsruimte beter wordt benut.

Vervolgens wordt de ouder populatie vervangen in de elite procedure, hierbij vervangt de kind populatie de ouder populatie, behalve de x% slechtste kinderoplossingen worden vervangen door de x% beste ouders oplossingen. Er zal getest worden welk percentage het meest geschikt is.

Deze metaheuristiek stopt na 70 000 tot 150 000 iteraties, met stappen van 10 000. Deze benadering is gebaseerd op (Vázquez et.al (2013)) waarbij er gebruik gemaakt wordt van 100 000 iteraties.

Tot slot zullen de bekomen resultaten vergeleken worden met andere meta-heuristieken en prioriteit gebaseerde heuristieken. Verder zal ook nagaan worden of er betere oplossingen wordt bekomen indien een random initiële populatie wordt gebruikt en wat de invloed is op de CPU tijd.

PROACTIEVE AANPAK

Zoals aangehaald in de probleemstelling, worden projecten geconfronteerd met onzekerheden. Projecten zijn afhankelijk van andere projecten omdat ze gemeenschappelijke, gelimiteerde resources delen. Daardoor is het interessant om een methode te zoeken die op een proactieve manier deze onzekerheden reduceert. Hierbij wil ik benadrukken dat dit nog verder onderzocht dient te worden, maar graag had ik al mijn gedachtegang geschetst. Ik denk eraan om buffer-activiteiten te introduceren in de verschillende projecten. Er dient dan een keuze gemaakt te worden waar de buffers geplaatst moeten worden en hoe groot deze dienen te zijn. Een mogelijke manier is om de planningssensitiviteit na te gaan. Dit kan gedaan worden a.d.h.v. Monte Carlo simulaties. Er dienen dan gepaste veronderstellingen gemaakt te worden over de kost en de verdeling van de activiteiten. Verder onderzoek is vereist om deze assumpties te kunnen maken.

CONTROLE

Deze sectie wordt opnieuw opgedeeld in 3 delen: eerst wordt kort gekeken hoe de literatuur een antwoord geeft op het controleren van projecten. Hierover is er echter weinig informatie terug te vinden. Daarom wordt een het tweede deel gewijd aan de implicaties voor het controleren van een multi-project. Tenslotte wordt kort besproken hoe ik verder zal onderzoeken hoe een reactieve aanpak de gevolgen van onzekerheden in een multi-project kan reduceren.

LITERATUUR

Een vaak gebruikte techniek voor het controleren van individuele projecten is Earned Value Management. In het algemeen laat deze methodologie toe om volgende vragen op te lossen: (1) wat is het verschil tussen de geplande en werkelijke kosten?; (2) is het project voor of achter op planning?; (3) wat is de verwachte eindtijd en de totale kost, gegeven de huidige projectuitvoering?. De EVM-methodologie maakt gebruik van drie parameters om de projectuitvoering te beoordelen. Dit zijn de '*Planned Value*' (PV), '*Actual Cost*' (AC) en '*Earned Value*' (EV). Voor een verdere bespreking van EVM wordt verwezen naar Vanhoucke (2012).

Deze methodologie is echter nog niet toegepast in een multi-project omgeving.

IMPLICATIES MULTI-PROJECT OMGEVING

Door het uitwerken van een eenvoudig voorbeeldje was ik in staat om de gevolgen voor zowel de individuele projecten als voor het multi-project beter in kaart te brengen. Ik kwam tot volgende conclusies:

- De gevolgen voor de individuele projecten is dat de EVM parameters (Planned Value, Actual Cost, Earned Value) op bepaalde ogenblikken constant zullen zijn, maar dit vormt op zich geen probleem.
- Er is nood aan een methode die het mogelijk maakt om de afhankelijkheid tussen de verschillende projecten uit te drukken. Zoals al meerdere keren aangehaald wordt deze afhankelijkheid veroorzaakt door de gelimiteerde middelen die de verschillende projectactiviteiten dienen te delen.

Mijn voorstel om op het laatste een antwoord te bieden wordt uitgelegd a.d.h.v. bijlage 1 (uitvoering).

Ik heb ervoor gekozen om beide projecten individueel te simuleren, dit omdat in de planning voor een multi-project aanpak is gekozen én dit ook meer realistisch is. Projectmanagers zijn namelijk geïnteresseerd in de uitvoering van ieder individueel project. In dit voorbeeld is te zien dat in de baseline multi-project planning slechts één activiteit (project 1) is gepland voor de eerste tijdsperiode. Toch heb ik er de simulatie van project 2 aan toegevoegd om later te kunnen veralgemenen. Bovendien dient er na

iedere tijdsperiode nagetrokken te worden hoe beide projecten gepresteerd hebben t.o.v. de multi-project baseline planning. Zo is het mogelijk om na te gaan wat de gevolgen zijn voor de multi-project baseline planning en dus ook om na te trekken of project 2 onderhevig is aan de projectvariabiliteit van project 1.

Specifiek toegepast op dit voorbeeld: Activiteit A11 duurt 3 tijdseenheden i.p.v. 2 én verbruikt 3 resources in plaats van 2. Hierdoor zal de volledige baseline planning worden opgeschoven met 1 tijdseenheid. Er kan dus worden geconcludeerd dat zowel project 1 als project 2 later zullen eindigen dan gepland, doordat project 1 meer middelen gebruikt dan gepland.

Om het projectverloop te simuleren zal gebruik gemaakt worden van een Monte-Carlo simulatie. Hiervoor dienen veronderstellingen gemaakt te worden over de kost –en activiteitenverdeling. Zoals eerder aangehaald is verder onderzoek vereist om deze assumpties te kunnen staven.

OMGAAN MET ONZEKERHEID BINNEN DE CONTROLE

Er kan ook tijdens de uitvoering van het multi-project ingegrepen worden om de gevolgen van de onzekerheden in een multi-project zoveel mogelijk te beperken. Hierbij kunnen twee extrema worden onderscheiden: (1) na iedere tijdsperiode een nieuwe planning opstellen, zodat gegarandeerd kan worden dat de resources optimaal gebruikt worden of (2) niets ondernemen en dus alle activiteiten opschuiven tot wanneer aan volgorde relatie en resource beperkingen zijn voldaan. Echter zullen in het eerste gestelde extremum assumpties gemaakt moeten worden. Een mogelijke assumptie is dat enkel de activiteiten die nog niet in uitvoering zijn, opnieuw gepland moeten worden. Zo wordt voorkomen dat activiteiten gesplitst worden over verschillende tijdseenheden.

Echter zal ik nog verder onderzoeken welke factoren deze onzekerheden introduceren om dit in een model te kunnen gieten.

STRUCTUUR & VOORLOPIGE INDELING

De tabel hiernaast stelt een voorlopige structuur voorop over hoe ik de thesis momenteel zie. Echter zullen er zeker nog wijzigingen aangebracht worden, omdat ik nog bezig ben met het uitzetten van mijn onderzoeksopzet.

INHOUDSTABEL

1. Multi- projectomgeving: wat + uitdagingen
2. Literatuurstudie
 - a. Planning
 - b. Controle
3. Beschrijven + opbouw heuristiek
4. Proactieve aanpak onzekerheid
5. Reactieve aanpak onzekerheid
6. Resultaten
7. Hypothesen en assumpties
8. Finale conclusie

PLANNING

Onderstaande tabel geeft de planning weer, echter wil ik hier opnieuw benadrukken dat het momenteel nog niet mogelijk is om een exacte planning op te stellen, omdat ik nog bezig ben met het uitzetten van mijn onderzoeksopzet.

TIJDPERIODE	DOELSTELLING
MEI – JULI 2014	Verder uitwerken thesisonderzoek <ul style="list-style-type: none"> • Proactieve aanpak onzekerheid verder uitwerken • Reactieve aanpak onzekerheid verder uitwerken • Voorgestelde metaheuristiek
AUGUSTUS 2014	literatuurstudie Dataverzameling - Vertrouwd geraken met C++/LaTeX
SEPTEMBER – DECEMBER 2014	Uitvoeren onderzoek
FEBRUARI – MAART 2015	Uitschrijven resultaten
MEI 2015	Finaliseren document

WAAR GING HET FOUT?

Eerst en vooral ben ik de eerste persoon om te toegeven dat ik mezelf in de voorbereiding van mijn tussentijds verslag de verkeerde vragen heb gesteld en dus ook de verkeerde accenten heb gelegd.

Eerst en vooral heb ik de beperkingen van EVM nader onderzocht, namelijk dat deze methodologie gebruik maakt van deterministische gegevens en m.a.w. geen rekening houdt met projectvariabiliteit. Aangezien projectvariabiliteit een vorm van onzekerheid is leek mij dit een goed uitgangspunt. Deze tekortkoming kan worden opgelost door EVM te combineren met risk management. Meer bepaald heb ik mij gefocust op de bestaande uitbreidingen van EVM a.d.h.v. 2 grafische raamwerken met als doel risk management te incorporeren. Deze 2 grafische raamwerken zijn: (1) EVM met 'Cost Control Index' en 'Schedule Control Index' (Acebes et. al 2013); (2) EVM met de grondbeginselen van Monte Carlo simulatie (Acebes et. al 2014). Deze laten projectmanagers toe visueel te bepalen of de projectuitvoering binnen de verwachte variabiliteit valt of niet. Bovendien was mijn doel dan om beide raamwerken met elkaar te vergelijken. Verder heb ik ook gekeken wat de invloed is van het raamwerk in een multi-project omgeving. Verdere uitleg is tezamen met dit document doorgestuurd. Echter had ik mij hier meer de vraag moeten stellen wat de implicaties zijn op de controle van projecten in een multi-project omgeving.

Vervolgens heb ik dan te specifiek gefocust op het plannen van het RCMPSP. Verder had ik mij ook nog de vraag moeten stellen hoe in de planning de risico's die multi-projecten lopen kunnen worden beperkt.

REFERENTIES

- Browning, T. R., & Yassine, A. A. (2010). Resource-Constrained Multi-Project Scheduling : Priority Rule Performance Revisited Resource-Constrained Multi-Project Scheduling : Priority Rule Performance Revisited, 126(2), 212–228.
- Chen, Z., & Chyu, C. (2012). Solving the Resource Constrained Project Scheduling Problem to Minimize the Financial Failure Risk, 1(1), 42–47.
- Goldberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search optimization and machine learning. Reading: Addison-Wesley.
- Hartmann, S., R. Kolisch. 2000. Experimental Evaluation of State-of-the-Art Heuristics for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem. European Journal of Operational Research, 127(2) 394-407.

- Herroelen, W.S. 2005. Project Scheduling - Theory and Practice. *Production and Operations Management*, 14(4) 413-432
- Kolisch, R. 1996b. Serial and Parallel Resource-Constrained Project Scheduling Methods Revisited: Theory and Computation. *European Journal of Operational Research*, 90(2) 320-333.
- Leus R., Wullink G., Hans E.W., & Herroelen W. (2003). A Hierarchical approach to multi-project planning under uncertainty. 3-4
- Lova, A., Maroto, C., & Tormos, P. (2000). A multicriteria heuristic method to improve resource allocation in multiproject scheduling. *European Journal of Operational Research*, 127(2), 408–424.
- Lova, A., & Tormos, P. (2001). Analysis of Scheduling Schemes and Heuristic Rules Performance in Resource-Constrained Multiproject Scheduling, 265-266.
- Vázquez, E. P., Calvo, M. P., & Ordóñez, P. M. (2013). Learning process on priority rules to solve the RCMPSP. *Journal of Intelligent Manufacturing*, (October 2012)
- Vanhoucke M., *Project Management with Dynamic Scheduling*, Springer, 215-237.

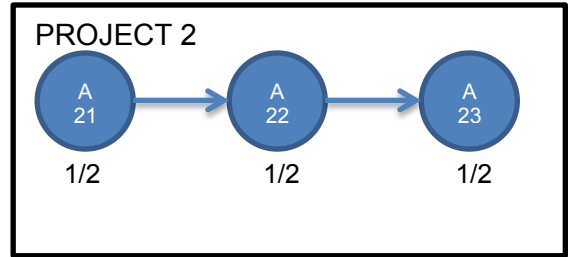
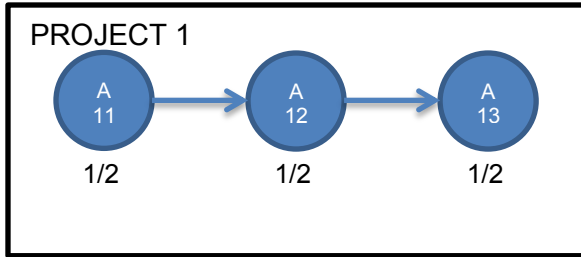
ADDITIONELE GELEZEN LITERATUUR

- Acebes, F., Pajares, J., Manuel, J., & López-paredes, A. (2013). Beyond Earned Value Management : A Graphical Framework for Integrated Cost , Schedule and Risk Monitoring. *Physics Procedia*, 74, 181–189
- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2014). A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics. *International Journal of Project Management*, 32(3), 423–434.
- Chen, W.-N., & Zhang, J. (2012). Scheduling Multi-Mode Projects under Uncertainty to Optimize Cash Flows: A Monte Carlo Ant Colony System Approach. *Journal of Computer Science and Technology*, 27(5), 950–965.
- Debels, D., De Reyck, B., Leus, R., & Vanhoucke, M. (2006). A hybrid scatter search/electromagnetism meta-heuristic for project scheduling. *European Journal of Operational Research*, 169(2), 638–653.
- Gonçalves, J. F., Mendes, J. J. M., & Resende, M. G. C. (2008). A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 189(3), 1171–1190.
- Joshi, K. (2012). A Modified Genetic Algorithm for Resource Constrained Project Scheduling, 57(3), 41–45.
- Kumanan, S., Jegan Jose, G., & Raja, K. (2006). Multi-project scheduling using an heuristic and a genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(3-4), 360–366.
- Skolud B, & Marcinczyk B. (2012). Project oriented production optimization, *Journal of Machine Engineering*, 12, No. 3, 80-90.
- Vanhoucke, M., & Vandevoorde, S. (2006). A simulation and evaluation of earned value metrics to forecast the project duration. *Journal of the Operational Research*, 58(10)
- Vanhoucke, M., & Vandevoorde, S. (2008). Earned Value Forecast Accuracy and Activity Criticality, (3), 1–4.
- Vanhoucke, M. (2011). On the dynamic use of project performance and schedule risk information during project tracking. *Omega*, 39(4), 416–426.
- Vanhoucke M. (2012). *Project Management with Dynamic Scheduling*, Springer

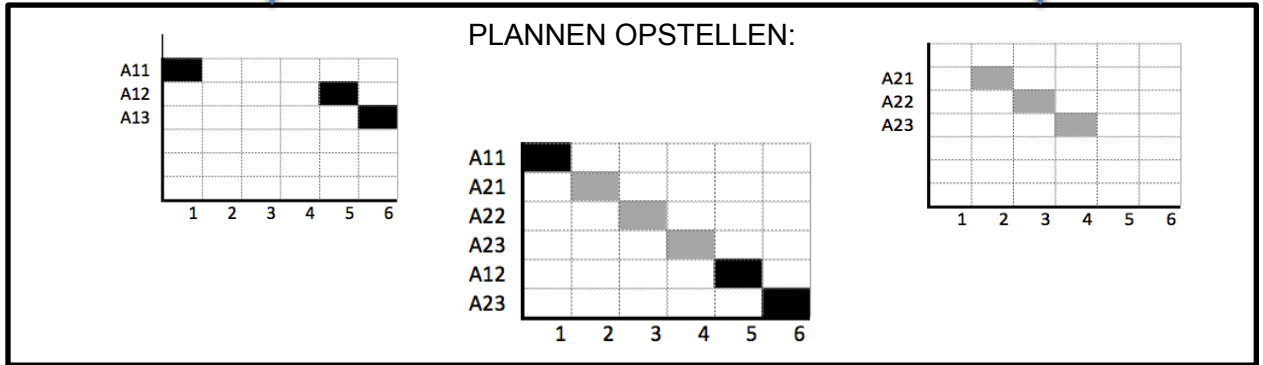
BIJLAGE 1

PROBLEMSITUERING

A i = project
 l_j j = activiteit
 d/r d = duur r = resource consumptie/unit R_{max} = 2/tijdseenheid

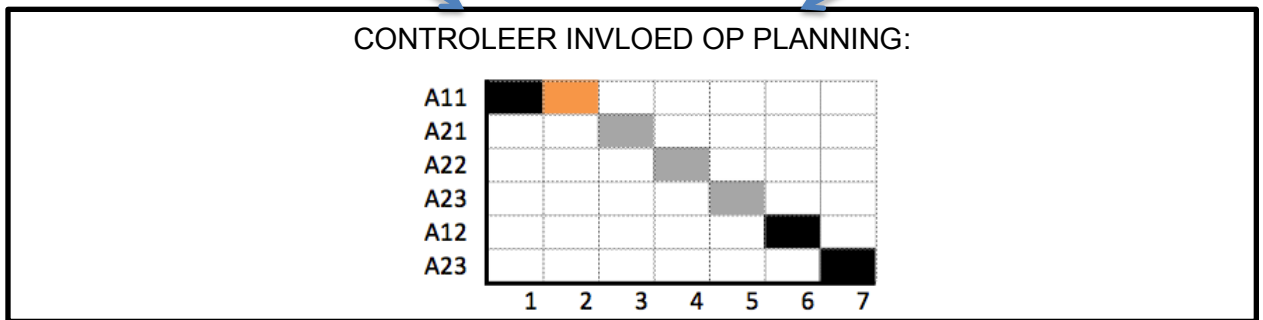
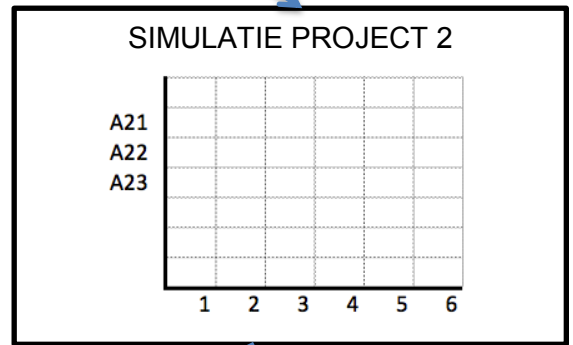
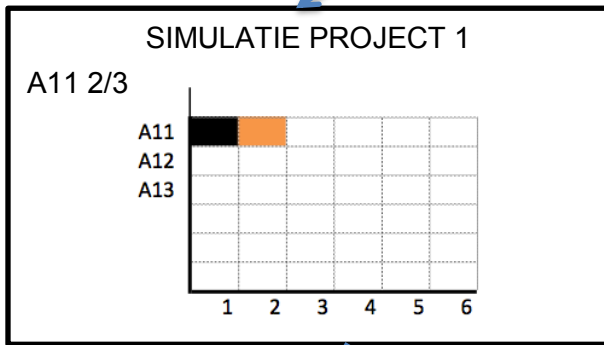


PLANNING



t=1

UITVOERING (SIMULATIE)



MONITORING INDIEN NODIG?

Einde projecten?
 Anders t = t+1