

PRIMJENJIVOST TEHNIKA ZA IZRADU VREMENSKIH PLANOVA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SUSTAVA

THE APPLICABILITY TECHNIQUE FOR MAKING TIME PLANS FOR MAINTENANCE OF TECHNICAL SYSTEMS

**Držislav Vidaković¹,
Zorislav Kraus²,
Hrvoje Glavaš²**

¹ Građevinski fakultet

Osijek

² Elektrotehnički

fakultet Osijek

^{1,2} Sveučilište Josip Juraj

Strossmayer

Pregledni rad

REZIME

Članak daje pregled tehnika izrade različitih vrsta vremenskih planova. Analizirane su njihove prednosti i nedostaci obzirom na zahtjeve za planiranje održavanja tehničkih sustava.

Upućuje se na mogućnosti povećanja efikasnosti održavanja primjenom pogodnih tehnika planiranja i optimalizacije rješenja (što daje bolju iskorisćenost resursa).

Vremensko planiranje je proces i naglašena je nužnost praćenja realizacije planova i prema potrebi njihovog ažuriranja, te stvaranje baze podataka za buduće planove.

Ključne riječi:

održavanje,
optimalizacija
tehnički sustavi
vremenski planovi

Keywords:

Maintenance,
Optimization
Technical system,
Time plans

Subject Reviews

SUMMARY

The article gives an overview of techniques for making different types of time plans. Their advantages and disadvantages due to the requirements for maintenance planning of technical systems were analyzed.

Reference is made to the possibility of increasing the efficiency of maintenance by applying suitable planning techniques and optimization solutions (that results with a better utilization of resources).

Scheduling is the process and the necessity of monitoring the implementation of plans is stressed as well as necessity to update and create a database for future plans.

Paper received:

08.03.2016.

Paper accepted:

20.03.2016.

1. UVOD

Održavanje, općenito, obuhvaća provedbu aktivnosti s ciljem da tehnički sustav funkcionira s dovoljno pouzdanosti. Pitanje vremena realizacije tih aktivnosti je izuzetno bitno za postizanje cilja, pa ih je najbolje organizirati i upravljati pomoću vremenskih (ili dinamičkih) planova.

Za izradu vremenskih planova treba:

- definirati sve bitne događaje (početke i završetke aktivnosti i tzv. *Milestone*, tj. ključne točke) i potrebne aktivnosti;
- procijeniti trajanje pojedinih elemenata sustava (njihov prestanak rada je događaj) i trajanje održavateljskih aktivnosti s potrebnim resursima;
- definirati veze između događaja/aktivnosti (tehnološke i organizacijske) i prioritet pojedinih aktivnosti (može biti npr. prema riziku od otkaza);

1. INTRODUCTION

Maintenance, in general, includes the implementation of activities aimed at the technical system to work with sufficient reliability. The question of the moment of the implementation of these activities is essential to achieve the goal, so it is best to organize and manage using the time plans (or dynamic plans). To create time plans one should:

- Define all important events (beginnings and endings of activities and so-called *Milestones*) and the necessary actions;
- To assess the lifespan of individual elements of the system (their failure is event) and duration of maintenance activities with the necessary resources;
- To define the relations between the events/activities (technological and organizational) and the priority of certain activities (can be eg. according to risk of failure);

- rasporediti događaje i aktivnosti u budućem vremenu (u skladu sa zahtjevima koje obvezno treba ispuniti, postojećim uvjetima i postavljenim ciljevima);
- optimalizirati plansko rješenje (prema izabranim kriterijima) – izabrati najbolje između više mogućih varijanti.

Plansko održavanje je investicijsko održavanje. Ono ima preventivni karakter, jer omogućava sprječavanje kvarova i zastoja u radu do kojih bi zbog njih došlo. Vremenskim planiranjem povećava se pouzdanost obavljanja održavanja (zna se kada što treba učiniti i koje resurse za to treba osigurati), a omogućava se i postizanje bolje iskorištenosti resursa izvršitelja, pa time i nižih troškova. Suprotno od tradicionalnog pristupa održavanju, suvremene strategije zahtijevaju visok udio planskih poslova i dugoročno planiranje.

Proizvođači različitih strojeva dužni su dati upute za cjeloživotno održavanje, a kod tehničkih sustava dugog vijeka uporabe (npr. proizvodni pogoni, aerodromi ili lokomotive), zbog sagledavanja sveukupnih troškova i mogućnosti njihovog snižavanja treba napraviti cjeloživotni program održavanja s odgovarajućim vremenskim planom svih predvidivih aktivnosti.

Izboru i većoj kvaliteti vremenskih planova u našoj održavateljskoj praksi sada se još ne posvećuje puno pozornosti, niti je to predmet ocjenjivanja organizacije službi održavanja [1].

2. SPECIFIČNOSTI VREMENSKOG PLANIRANJA ODRŽAVANJA

Vremenskim planovima osim terminima aktivnosti, potrebno je definirati (detaljnost ovisi o razini plana i korisniku) i [2]:

- što treba raditi (u nekim slučajevima i zašto, tj. s kojim ciljem),
- gdje treba raditi,
- kako treba raditi (kojom tehnikom i s čim).

Planiranje održavanja razlikuje se obzirom na:

- redovitost (kontinuitet) i predvidljivost radova,
- veličinu i vrstu sustava koji se održava (mogu biti veliki proizvodni pogoni, kao što su tvornice ili elektrane, pojedinačni strojevi ili manji sklopovi itd.),
- broj potrebnih aktivnosti, te količinu i trošak radova,

- Plan events and activities in advance (in accordance with the mandatory requirements, existing conditions and goals set);
- Optimize planning solution (according to selected criteria) – select the best among several possible variants.

Scheduled maintenance is the investment maintenance. It has a preventive character, because it allows the prevention of failures and downtime, which would occur without it. With scheduling, reliability of maintenance is increased (it is known when certain actions should be done and what resources it requires), and it enables a better use of executor resources, and thus lower costs. Contrary to the traditional approach to maintenance, contemporary strategies require a high proportion of planned activities and long-term planning.

Manufacturers are required to give maintenance instructions for a lifespan of the component. For technical systems with long lifespan (eg. manufacturing facilities, airports or locomotives) for the reason of an overview of the overall cost and the possibility of lowering it, a lifelong maintenance program with the corresponding time schedule of all foreseeable activities should be made.

To higher quality of maintenance plans in our maintenance practice is not given much attention, nor it is a subject of the evaluation in the organization of maintenance services [1].

2. SPECIFICS OF TIME PLANNING MAINTENANCE

Beside terms of activities itself, schedules necessary need to define (detail of the plan depends on level of the and the user) and the following [2]:

- What to do (in some cases and why, ie, to what end),
- Where to work,
- How to work (which technique and with what tools).

Maintenance planning varies according to:

- Regularity (continuity) and predictability of actions,
- The size and type of system to be maintained (big production facilities, such as factories and power plants or individual machine circuits, etc., or smaller),
- The number of required activities, and the amount and cost of activities,

- veličinu organizacije koja obavlja održavanje (uvelike ovisi o veličini sustava kojeg se održava, a može održavati više njih, kao npr. mehanizaciju na različitim gradilištima ili mreže javne rasvjete),
- vlasništvo (održavanje obavlja sam vlasnik ili ugovorno, za te poslove specijalizirane tvrtke).

Planiranje prema roku može biti dugoročno (cjeloživotni plan održavanja), a mogu se raditi i godišnji, mjesečni, tjedni i svakodnevni planovi rada.

Izraženu potrebu za optimalizacijom vremenskog rasporeda resursa ima održavanje kroz duže vrijeme koje se obavlja s više radnika i sredstava, odnosno grupa radnika, pogotovo kada se obavlja na više sustava.

Uz manje ukupne troškove, zahtjevi koji se javljaju za planiranje održavanja su:

- zadani termini ili rokovi obavljanja određenih aktivnosti,
- ograničeni resursi za obavljanje održavanja (stručna radna snaga, oprema, financije i dr.),
- promjenjivost prioriteta aktivnosti.

Tijekom dužeg vremena realizacije planiranih poslova održavanja moguće su česte izmjene planova (promjene vremenskog rasporeda aktivnosti, njihovog sadržaja i tehnologije, a zbog toga i resursa), ali i tada je neophodan početni plan kao osnova za određivanje odstupanja i podloga za izradu novog plana. Zato je poželjno da su planovi fleksibilni i da sadrže jasnim putem dobivene podatke (npr. na osnovu čega je predviđen planirani vremenski raspored aktivnosti i njihovo trajanje) koji pomažu kod ispitivanja uzroka nastalih smetnji (dali su razlog odstupanja od plana pogrešni ulazni podaci, npr. neodgovarajući normativi, ili se razlikuju stvarni uvjeti rada od predviđenih itd.) i analize učinaka.

Planovi trebaju biti razumljivi, pregledni, primjerene detaljnosti, a po potrebi se rade posebno za pojedine dijelove sustava. Prema vrsti, širini obuhvaćanja aktivnosti, razini detalja i ostalim podacima planovi trebaju odgovarati onima kojima su namijenjeni, što naročito dolazi do izražaja na različitim razinama stručnosti i nadležnosti. Cjelokupnim planom služi se onaj koji koordinira i nadzire sve radove, a pojedine dijelove detaljnije razrađuju oni koji su zaduženi za njihovo izvođenje (unutar poduzeća ili vanjski suradnici).

- The size of an organization that performs maintenance (largely depends on the size of the system maintained; one can maintain more than one system, for example, machinery at various construction sites or public lighting),
- Ownership (maintenance performed by the owner himself or contract with companies specialized in these jobs).

Planning according to deadline may be long-term (life-long maintenance plan), and can be done as annual, monthly, weekly and daily working plans.

Emphasized need for optimizing the scheduling of resources has maintenance throughout a long period of time, which is done by more workers and resources or groups of workers, especially when performed on multiple systems.

Beside a lower total cost of maintenance, requirements that occur in planning are:

- Deadlines or terms of performing certain activities,
- Limited resources to perform maintenance (skilled labor force, equipment, finance, etc.),
- Volatility of priority activities.

Over a longer period of implementation of planned maintenance operations a frequent changes of plans may occur (change in timing of activities, their content and technology, and therefore the resources), but even then the initial plan is necessary as a basis for determining the deviation and the basis for drafting the new plan. Therefore, it is desirable that the plans are flexible and that the process of getting a resulting data is clear (eg. what is the basis for intended planned timetable and its duration). That helps in examining the causes of possible interference (whether the reason for deviation from the plan are the wrong input data, such as, inadequate norms, or the actual working conditions are different than the planned etc.) and analysis of its effects.

Plans should be comprehensible, transparent, with appropriate detail and if necessary, made specifically for certain part of the system. According to the type, scope of activities, the level of detail and other data, plans should correspond to those whom they are intended. That is particularly evident at different levels of expertise and competence. Overall plan is used by one that coordinates and supervises all the activities. Certain parts of plan are elaborated in more detail by those who are responsible for implementation (within the company or external associate).

Primjerice, operativni planovi sa svojim zahtjevima za brojnim tehničkim detaljima nisu pogodni za više upravljačke razine, dok financijske službe iziskuju odgovarajuće financijske planove, a odjeli za nabavu detaljne histograme ili tablice materijala (s pojašnjenjima) [3].

3. VRSTE PLANOVA I TEHNIKA PLANIRANJA

Za jednostavnije radove dobar izbor mogu biti samo tabelarno-brojučani planovi. Kao vremenski planovi održavanja pojedinih strojeva, uređaja i alata često se mogu vidjeti neke vrste tabelarno-brojučanih planova, kakav je primjer na slici 1. U njima aktivnosti najčešće nisu locirane u određenom vremenu, već je naznačen period ili precizirana količina rada (broj radnih sati, prijeđenih kilometara i dr.) nakon čega se moraju obaviti. Takvi planovi su sasvim zadovoljavajući za slučajeve kada proizvođač daje upute budućem vlasniku, tj. korisniku koji često ne obavlja sam veći dio održavanja, nego mu za to služi neka druga, specijalizirana tvrtka [3]. No, za izradu detaljnijeg plana za svaki konkretni slučaj vrijeme se može točno kalendarski odrediti (po datumima), a u tablici pružiti još više podataka koji će biti korisni pri realizaciji, kao što je pokazano na slici 2. Dani podaci trebaju biti prilagođeni vrsti održavanja i onome kome je plan namjenjen. Za pomoć onima koji obavljaju održavanje rade se i tzv. sheme vremenskog održavanja na kojima su simbolima označena mjesta na kojima treba provoditi aktivnosti održavanja (kao što je npr. kontrola, dolivanje i zamjena radnog fluida, podešavanje mehanizma, čišćenje i dr. [4]).

For example, operational plans with their requirements for a number of technical details are not suitable for higher management levels, while financial services require adequate financial planning and the procurement departments require detailed histograms or lists of materials (with explanations) [3].

3. TYPES OF PLANS AND PLANNING TECHNIQUES

Good choice for simpler tasks can only be table-numeric plans. Often, as maintenance schedules of individual machines, equipment or tools some sort of tabular-numerical plan can be seen (Figure 1). In those plans, activities are usually not pinpointed in a particular time, but period or quantity of work is specified (number of hours, mileage, etc.) and after that actions are needed. Such plans are quite satisfactory for cases where the manufacturer gives instructions to the new owner, ie. user who usually doesn't performs most of the maintenance alone, but hires another, a specialized company [3]. However, to produce a more detailed plan for each individual case, schedule may be layed out to determine actions (by date), and corresponding table can provide further information that will be useful in the implementation, as shown in Figure 2. Shown data must be adapted to the type of maintenance and persons aimed. To help those who perform maintenance so-called maintenance time scheme are made, where symbols mark places where maintenance activities should be performed (such as for example, control, filling and replacing the working fluid, adjusting mechanism, cleaning, etc. [4]).

Symbols used: R - Replace
I - Inspect, correct or replace if necessary
P - Perform
(I) or (P) - Recommended service for safe vehicle operation

[illegible]

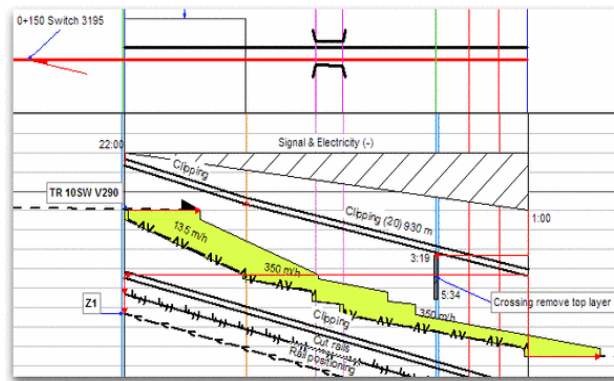
Slika 1. Tabelarno brojačani plan održavanja Subaru vozila [5]
Figure 1. Tabular-numerical plan of Subaru vehicles maintenance [5]

[illegible]

Slika 2. Obrazac za tabelarno planiranje aktivnosti i praćenje njihove realizacije
Figure 2. Form for tabular planing of activities and tracking the progres

Kada se planira realizacija aktivnosti na izduženim, linijskim objektima (vodovodni i kanalizacijski sustavi i sl.) preporučljivi su ortogonalni planovi (na engleskom imaju nazive *Time Versus Distance Diagrams*, *Linear Balance Charts*, *Linear Scheduling Method* i dr.). Oni na jednoj osi imaju označena mjesta odvijanja radova (npr. stacionaža), a na drugoj vrijeme. Aktivnosti su pravci unutar grafikona, a njihov nagib pokazuje brzinu realizacije. Na slici 3. je primjer ortogonalnog plana obnove željezničkog kolosjeka napravljen s računalnim programom TILOS. Ovakav plan mora biti dovoljno detaljan, jer je zbog specifičnosti zahvata radove potrebno obaviti u kratkom periodu (preko vikenda ili noću) da bi ometanje voznog reda bilo minimalno, pa na ordinati ima podjelu u satima.

When planning the implementation of activities in the elongated, linear objects (water supply and sewage systems, etc.) plans named Time Versus Distance Diagrams, Linear Balance Charts, Linear Scheduling Method and others are recommended. They have on one axis designated places of work period (eg. Chainage) and time on the other. Activities are lines within the chart, and their slope indicates the rate of implementation. Figure 3 is an example of Time Versus Distance Diagram of reconstruction of railway tracks made by computer program TILOS. Such a plan should be detailed enough due to the specifics of interventions to be done in short period (over the weekend or at night) so the interference to transportation would be minimal. Thus, the ordinate has a division in hours.



Slika 3. Dio ortogonalnog plana obnove željeznič. kolosijeka rađenog s TILOS-om [6]
Figure 3. Part of Time Versus Distance Diagram of reconstruction of railway tracks made by computer program TILOS [6]

U slučajevima kada se odvijanje radnih procesa može organizirati ciklično (radi bolje iskorisćenosti i uigravanja radne snage) pogodna je posebna vrsta ortogonalnih planova koji se nazivaju ciklogrami (engleski: *Line of Balance* ili *Repetitive Scheduling Model*). Za njihovu primjenu sustav na kojem se obavljaju aktivnosti (npr. niz radionica, izduženi proizvodni pogoni, veliki brodovi, veći broj vagona ili letjelica istog tipa itd.) treba se podijeliti na više jednakih dijelova ili radnih etapa koje se označavaju na jednoj osi. Na drugoj osi je vrijeme podjeljeno na korake (taktove) koji predstavljaju vrijeme potrebno da se jedna aktivnost obavi na jednom dijelu/etapi. (Taktna organizacija prikazana ciklogramom može biti npr. i za neke radove redovitog održavanja, kao što je čišćenje i premazivanje velikih površina.) Idealni slučaj istoritmičnog obavljanja radova (ritmično ujednačeni svi procesi, tj. paralelni i bez prekida kao na slici 4.) u slučajevima iz prakse se teško može postići, ali treba mu se nastojati što više približiti usklađivanjem radnih grupa po veličini, odnosno po produktivnosti.

I ortogonalni planovi i ciklogrami, iako su poznati više od 50 godina, kod nas se vrlo rijetko primjenjuju.

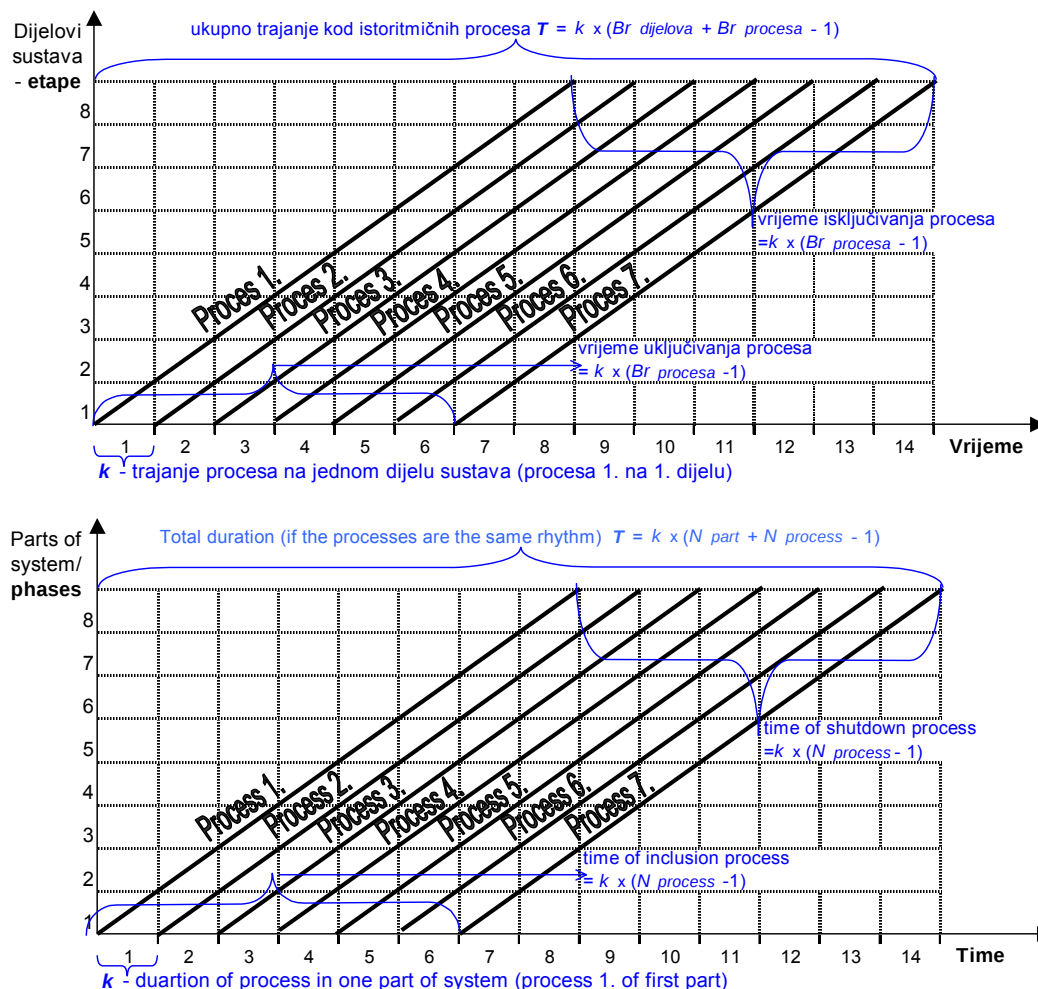
Za sve jednostavnije slučajeve, koji nisu prethodno navedenih karakteristika, vjerovatno najbolji planovi su gantogrami. Gantogrami su jednostavni linijski planovi (po potrebi nadopunjeni brojčanim podacima) koji vrlo zorno prikazuju vremenski raspored aktivnosti. Zbog toga se već oko 100 godina, u različitim varijantama, jako puno koriste za različite namjene i područja, mada ne baš često za održavanje.

In cases where the processes can be arranged cyclically (for better utilization and workforce routine) special kind of previous plans also called Line of Balance or Repetitive Scheduling Model are suitable. For their application, system (eg. A series of workshops, elongated production facilities, large ships, a number of the wagons or aircrafts of the same type, etc.) should be divided in equal parts or work stages that are denoted on one axis. On the other axis, time is divided into steps (pulses) that represent the time required to perform an activity on one part/stage (Pulse organization shown on repetitive scheduling can be done for example for some of the routine maintenance work, such as cleaning and coating large surfaces).

The ideal case of carrying out the activities in full synchronization (all processes are pulsed uniformly, ie. Parallel and without interruption as in Figure 4) in real applications are difficult to accomplish, but it should be tried to get close by harmonization of size or productivity of working groups.

I orthogonal plans and cyclograms, although known for over 50 years, in our country are very rarely applied.

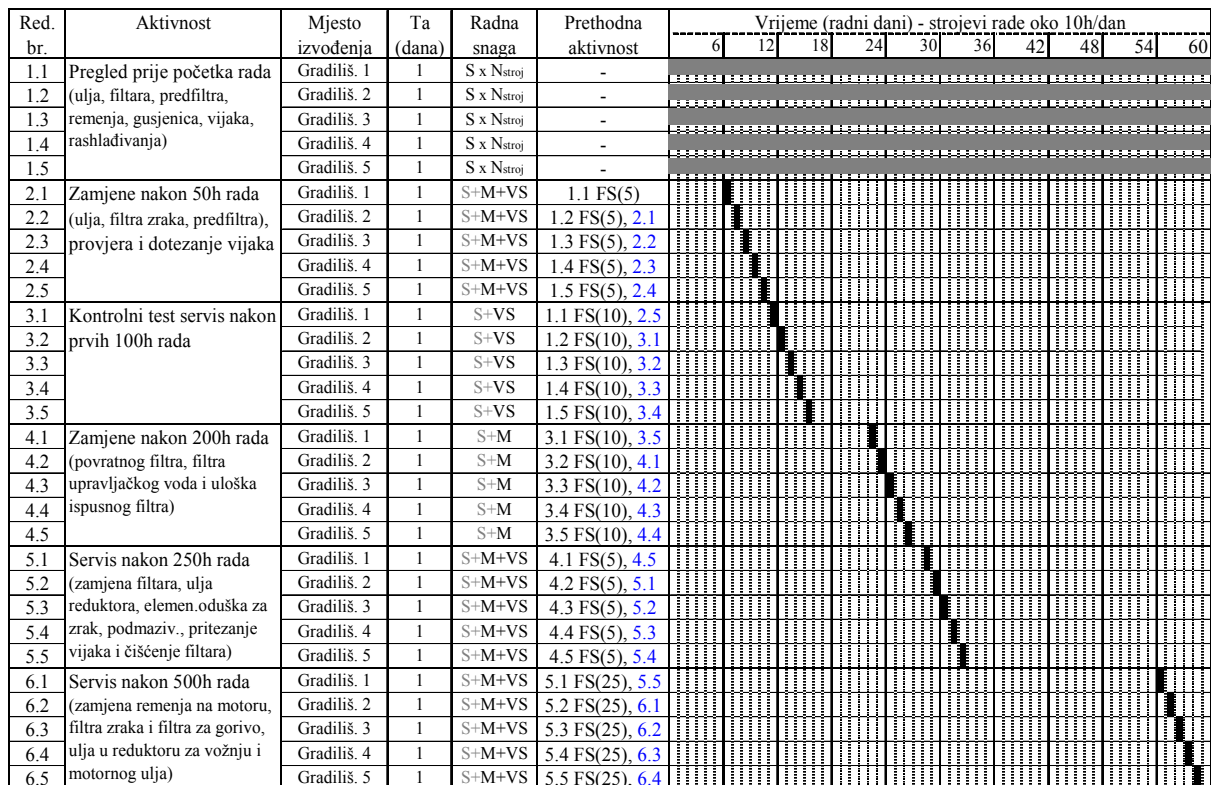
In simpler cases, without previously known characteristics, probably the best plans are the Gantt charts. Gantt charts are simple line plans (if necessary supplemented by numerical data), which very clearly show timetable. Therefore, they are used for about 100 years in various embodiments for lot of different purposes and areas, although not very often for maintenance.



Slika 4. Ciklogram 7 radnih procesa (u tehnološkom slijedu) na izduženom postrojenju
Figure 4. Repetitive Scheduling of 7 processes (in technological order) on a linear facility

Dobri su i za planiranje održavanja većih sustava, odnosno opsežnije radove s većim brojem aktivnosti, ako su slični već više puta izvođeni, što znači da se zna koje su aktivnosti kritične. Vrlo su pogodni za praćenje realizacije (bilježenje ostvarenoga – ispod linije koja prikazuje planirano), pa se za to mogu koristiti i ako je samo planiranje rađeno nekom drugom tehnikom. Na slici 5. je gantogram održavanja novih bagera jedne tvrtke koji rade prva dva mjeseca na pet gradilišta (prosječno 3 bagera na svakom gradilištu) s naznačenom radnom snagom (rukovatelj stroja "S", mehaničar izvođača radova "M" i vanjski stručni suradnik "VS") i tehnološkim (crno) i organizacijskim vezama (plavo). Na osnovu toga može se optimalizirati uporaba radne snage, odnosno planirati s njom izvođenje drugih zadataka u slobodnim periodima. (Zbog ograničenog prostora u ovom formatu na slici nisu upisani rezervni dijelovi, niti su prikazane sve održavateljske aktivnosti koje se odvijaju na bagerima).

Also, they are good for maintenance planning of larger systems or extensive work if a number of similar activities were repeatedly performed before, which means that it is known what are the critical activities. They are very useful for monitoring implementation (keeping records of realized - below the line that shows planned), so they can be used even planning itself was done by some other planning method. Figure 5 is a Gantt chart for a new excavator maintenance of a company working first two months on five different sites (average of 3 excavator at each site) with the designated labor (machine operator "S", a mechanic contractor "M" and external associate "VS") and technological (black) and organizational links (blue). It is, thus, possible to optimize the use of manpower, and plan performing other tasks with it in the free periods (due to limited space in this format in the figure are not enrolled spare parts, nor all the maintenance activities that occur on excavators are shown).



Slika 5. Gantogram s naznačenim vezama za aktivnosti održavanja bagera na pet gradilišta [3]

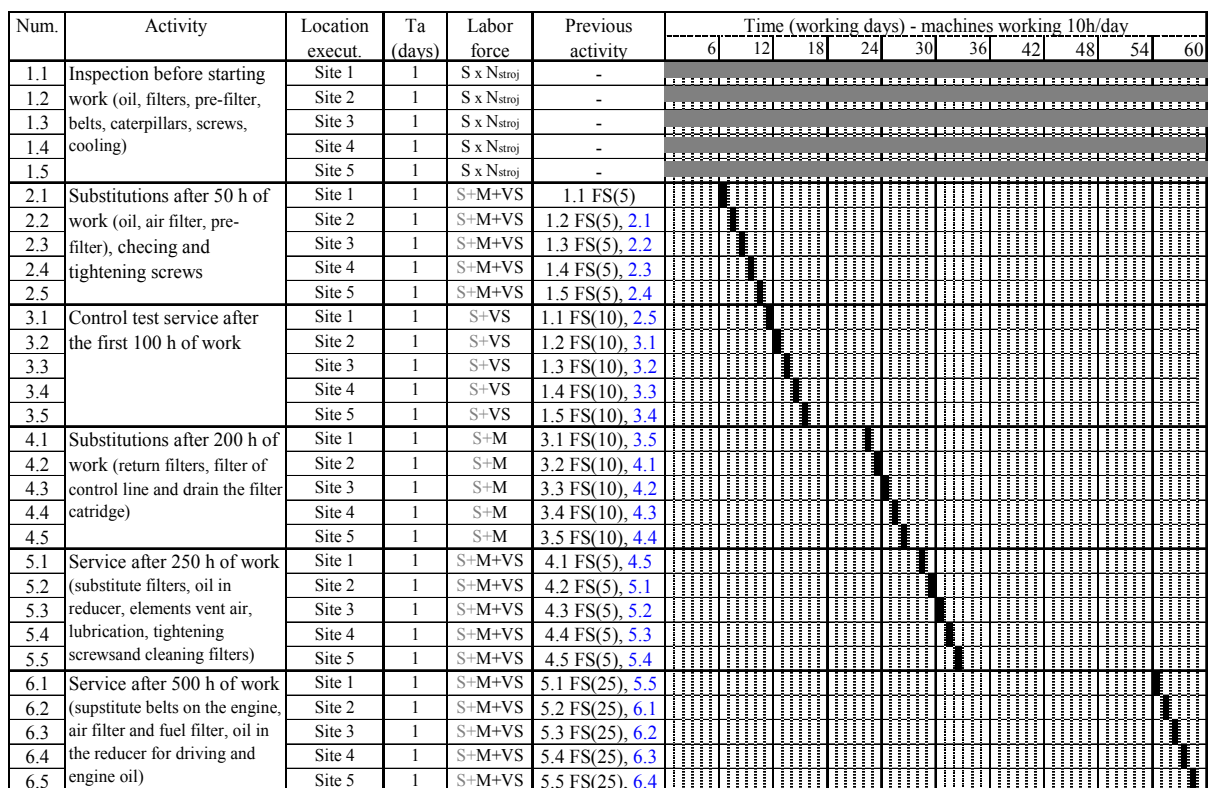


Figure 5. Gantt chart with indicated connections for mainten. activ. excavator to 5 construct. sites [3]

Ako postoji potreba vrlo detaljne razrade u vremenu (u satima ili minutama) proračunavaju se pojedini radni procesi, pa i operacije, i zajedno s tehnološkim zastojima prikazuju unutar jednog kraćeg vremenskog intervala (radne etape ili smjene) pomoću tehnološkog normala.

Svi složeniji i specifični radovi (npr. na složenim pogonima, velikim, kompliciranim remontima i sl.) iziskuju neku vrstu mrežnog planiranja, pogotovo ako su projektno orijentirani..

Mrežno planiranje je kvantitativna matematička, brojčano-grafička tehnika (metoda), a mrežni plan (dijagram, model ili mreža) je neciklični, usmjereni graf (bez zatvorenih petlji). Ova metoda primjenjuje se od kraja 50-tih godina 20. st., a prve varijante su bile *Critical Path Method* (CPM) i *Program Evalution and Review Technique* (PERT). CPM je osmišljen u Francuskoj upravo za radove održavanja i generalnog remonta u kemijskoj industriji [7]. Ima strijelne, isključivo zatvorene planove, samo s vezama kod kojih naredna aktivnost počinje nakon što prethodna završi. PERT metoda ima stohastički način određivanja trajanja aktivnosti koje su u čvorovima, a prvo je primjenjena za realizaciju vojnih projekata. Do sada je razvijeno više stotina varijanti mrežnog planiranja [7], a najveće mogućnosti pruža metoda prethodnih aktivnosti (*Precedence Diagramming Method* - PDM), jer ima aktivnosti u čvorovima (mogu sadržavati veći broj različitih podataka), trajanje im se primarno određuje deterministički, daje mogućnost uspostave više vrsta vremenskih veza između prethodnih i narednih aktivnosti ("kraj – početak" (FS), "početak – početak" (SS), "kraj – kraj" (FF) s mogućnosti stavljanja vremenske odgode uz vezu, koja npr. uz prvi tip veze označava poslije koliko dana naredna aktivnost počinje nakon što prethodna završi), planovi mogu biti s više početnih i završnih čvorova, tj. aktivnosti, te je na osnovu nje razrađeno najviše modela za optimalizaciju rješenja. Slika 6 pokazuje mrežni plan izrađen PDM-om, kakvog vjerojatno ne bi imalo smisla raditi za jedan primjer s tako malo aktivnosti, ali takav može biti generalni plan s čvorovima koji predstavljaju rad na pojedinim dijelovima sustava i koji su po potrebi detaljnije razrađeni u zasebnim podmrežama.

If there is a need for very detailed elaboration of the time plan (in hours or minutes) individual work processes are calculated, including operations, and together with the technological setbacks displayed within a short time interval (working stages or shift) by means of technological normal.

All more complex and specific actions (eg. complex plants, a large, complicated repairs, etc.) require some type of network planning, especially if they are project-oriented.

Network planning is a quantitative mathematical, numerical - graphic technique (method), and a network plan (diagram, model or network) is non-cyclic, directed graph (with no closed loops). This method is applied from the end of the 50's of the 20th century. The first versions were Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT). CPM is designed in France specifically for the maintenance and overhaul of the chemical industry [7]. It has pointers, strictly closed plans, with connections where the next activity begins after the previous ends. PERT method has a stochastic method of determining the duration of activities that are in knots. First applications were for the realization of military projects. So far hundreds of varieties of network planning were developed [7], and the widest opportunities provides methods of previous activity (*Precedence Diagramming Method* - PDM) because it has activities in knots (may contain a number of different data), the duration is primarily determined deterministically, it enables the ability to make more kinds of time links between past and future activities ("finish – start" (FS), "start – start" (SS), "finish – finish" (FF) with the possibility of placing time delay within a link, which eg. with the first type of connection determines after how many days the next activity begins after the previous ends), plans can be with more than one start and end node, ie, activities, and it was base for the greatest number of models for solution optimization. Figure 6 shows a PDM network plan. This kind of plan probably makes no sense for an example with so little activity, but it can be a general plan with nodes that represent activity of the individual part of the system and, if necessary, are further elaborated in particular subnets.

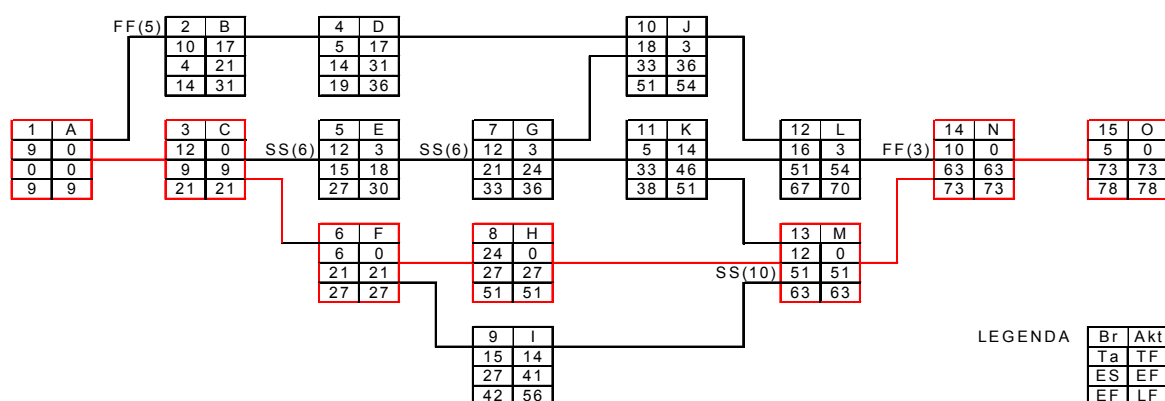


Figure 5. *Primjer mrežnog plana (veze između čvorova na kojima ništa ne piše su normalne, tj. FS bez vremenske zadržske)*

Figure 6. *Example of network plan (connections between knots without any labeling are normal, ie. FS without time delay)*

Metoda kritičnog lanca (*Critical Chain - CC*) je jedna od najnovijih varijanti mrežnog planiranja, (E. M. Goldratt, 1997. god.) koja se zbog nekih specifičnih pristupa u planiranju (veličina i raspodjela rezervi, praćenje rizika i dr. [8]) pokazala uspješnom na nizu projekata, uglavnom u SAD-u.

Usporedbom različitih vrsta planiranja prema kriterijima važnim za primjenu mrežni planovi su od relevantnih stručnjaka za ovo područje ocijenjeni kao najbolji za mogućnost analize, primjenu softvera, određivanje kritičnog puta, dinamičnost i mogući broj aktivnosti i vrsta objekata. Iako su najkompliciraniji za izradu, općenito se smatraju najkompletnijom tehnikom planiranja, dok su gantogrami najjednostavniji i najuniverzalniji [9]. Prema američkim izvorima prednosti mrežnog planiranja dovode do 20 - 30 % kraćeg trajanja projekata kod kojih je ono primjenjeno, u odnosu na projekte izvođene s drugim načinima planiranja [10].

Jedino mrežnim planiranjem se točno detektira gdje je kritični put realizacije i kolike su slobodne i ukupne rezerve na aktivnostima izvan kritičnog puta, što ukazuju na mogućnost njihovog kašnjenja, a da ne dođe do vremenskog pomaka narednih aktivnosti i završetka svih radova. Stoga vremenske rezerve definiraju prioritete za realizaciju, dok u planu predložene veze između aktivnosti omogućuju bolju organizaciju i kontrolu. Također, primjena svih matematičkih metoda optimalizacije temelji se na poznavanju veličine vremenskih rezervi.

Posljednja, izuzetno važna, ali i najkompleksnija faza planiranja je optimalizacija.

The method of Critical Chain (CC) is one of the latest versions of network planning, (E. M. Goldratt, 1997.), which, due to some specific approaches to planning (size and distribution of reserves, risk monitoring and other [8]) proved to be successful on a number of projects, mainly in the United States.

By comparing the different types of planning according to criteria relevant to the application, network maps are assessed as the best option for analysis, software application, determining the critical path, dynamism and potential number of activities and types of facilities by relevant experts in this area. Although most complicated to produce, generally are considered the most complete technique of planning, while Gantt charts are the simplest and most universal [9]. According to American sources, the advantages of network planning lead to 20 - 30% shorter duration of projects in which it is applied, in relation to projects performed by other type of planning [10].

Only network planning accurately detects the critical path of implementation and the extent of the free and total reserves on activities outside the critical path, which indicate the possibility of delays and that there is no lag for the next activities and the completion of all activities. Therefore, time reserves define priorities in realization, while links between activities presented in the plan enable better organisation and control. Also, the application of all mathematical methods of optimization is based on knowledge of the size of time reserves.

The last, very important, but also the most complex phase of planning is the optimization.

Ciljevi optimalizacije nemaju uvijek iste prioritete i mogu biti suprotstavljeni, pa se događa da dok se plan po jednom parametru optimalizira po drugom se pogoršava. Optimalizacija se u pravilu radi iterativno i ne primjenjuje se uvijek ista metoda proračuna, a u nekim slučajevima je vrlo teško doći do strogog, matematičkog optimuma, te se zadovoljava s dovoljno dobrim rješenjem [3].

Vremenski planovi mogu biti izraženi u radnim danima, od prvog pa nadalje ili mogu biti locirani u neko konkretno kalendarsko vrijeme. Prebacivanje iz radnih u kalendarske dane vrlo lako se obavlja kada se koriste računalni programi za planiranje (samo se izabere između ponuđenih kalendara ili se kreira odgovarajući naznačujući koji će dani biti neradni).

S računalnim programima za vremensko planiranje (kod nas je u široj uporabi *Microsoft Project*) ubrzava se proračun i iscrtavanje planova, ali i dalje ostaje ovisnost o ulaznim podacima, glavna uloga planera (u procjeni trajanja aktivnosti i određivanju veza između njih da ne bi došlo do anomalija kao što je početak naredne aktivnosti prije prethodne i sl.), te problemi pojedinih tehnika u proračunu i prikazu rezultata.

4. PROBLEMI S VREMENSKIM PLANIRANJEM U PRAKSI

Uz izvjesne nedostatke metoda, problemi vremenskog planiranja uvelike su na subjektivnoj razini onih koji trebaju učestvovati u procesu izrade i provođenja planova.

Nepovjerenje u vremenske planove u najvećoj mjeri je plod neznanja, isto kao i precjenjivanje i nerealna očekivanja, a zbog čega onda dolazi do početnog ushićenja i do velikih razočarenja s planovima. Pogotovo su iracionalna očekivanja da će sve biti riješeno samom nabavkom nekog od računalnih programa za planiranje, a što ustvari predstavlja tek jedan korak u pravom smjeru. Događa se da izvođači radova nabave sofisticirane programe za planiranje, a onda ih ubrzo prestanu koristiti ili se služe samo manjim dijelom njihovih mogućnosti [11].

Kao i kod svakog uvođenja nečega novoga, za planiranje je potreban određen period uhodavanja, kada učesnici trebaju steći neka nova znanja i općenito unositi više energije u posao. U slučaju da je novi način rada potrebno artikulirati kroz više pokušaja koji ne daju odmah pozitivan rezultat, uobičajeno se javlja povećani otpor.

The objectives of optimization do not always have the same priorities and parameters may be opposed to each other, so it happens that while the plan is optimized by one parameter, by the second parameter is getting less optimized. Optimization, as a rule, is performed iteratively and is not always applied to the same calculation method. In some cases it is very difficult to get to a strict, mathematical optimum, so sufficiently good solution is taken [3].

Time plans can be expressed in working days, from the first onwards or may be located in a specific calendar time. Switching from working days to calendar days is very easily done when using computer programs for planning (just select between calendars offered or create appropriate calendar indicating working and non-working days).

The computer programs for planning (locally Microsoft Project is widely used) accelerate calculation and drawing of plans, but dependency on the input data, the main role of planners (in the assessment of the duration of the activity and determining the relationship between them to avoid anomalies such as the beginning of next activity before the previous is finished, etc.), and the problems of individual techniques with the calculation and presentation of results still remains.

4. SCHEDULING PROBLEMS IN PRACTICE

Apart from certain drawbacks of methods, time planning problems are largely on a subjective level of those who should participate in the process of developing and implementing plans. Mistrust in schedules for the most part is a result of ignorance, as well as overestimation and unrealistic expectations, which leads to the initial elation and major disappointments with the plans. Especially irrational expectation is that everything will be resolved by purchasing some computer program for planning, which is in fact only one step in the right direction. It happens that contractors purchase sophisticated planning software, and then they soon cease to use or serve only a small portion of their potential [11].

As with any introduction of something new, planning takes certain running-in period, when participants need to acquire new knowledge and generally bring more energy to the job. If the new way of doing things must articulate through a certain trial period and not immediately give a positive result, an increased resistance can be expected.

Do suprotstavljanja planiranju nesumnjivo dolazi i iz uvriježenog nastojanja zaposlenika da se izbjegne sve što može poslužiti za kontrolu njihovog rada, dok pri tome uopće nisu svjesni koliko im dobri vremenski planovi u tom radu mogu pomoći.

Neuspjeh jednih planova potiče pesimizam i sumnju u druge, buduće planove, i tako se još više narušava vjerodostojnost cijelog koncepta planiranja [3].

Upitna je veličina rezervi koje se unose u planirano trajanje aktivnosti. Tradicijski se teži većoj vjerojatnosti (65 - 90%), ali za to unešene rezerve ostaju skrivene i teško kontrolive. Često se ne zna točno kome su namijenjene i potroše se bez opravdanog razloga.

Da bi ispunile svoju namjenu rezerve u planu trebaju biti plod pomne analize predstojećih situacija i temeljem toga ciljano raspoređene i transparentno naznačene. Jedno rješenje ovog problema daje metoda kritičnog lanca, kod koje se trajanje aktivnosti određuje agresivno (samo toliko da je vjerojatnost 50%), a na kraju svakog lanca aktivnosti u mreži postavlja se zaštitna vremenska rezerva (*buffer*) koja je uvijek znatno manja nego što je ukupno skraćanje trajanja aktivnosti u odnosu na tradicijsku procjenu s rezervama [8].

Kao po nepisanom pravilu, ako je planom slučajno predviđeno više vremena (odnosno radne snage) nego je zaista potrebno, onda će to biti zaista i utrošeno. Kod "prekomotnog" plana rukovodstvo i radnici vrlo rijetko će se potruditi da racionalizacijom i dobrom organizacijom postignu bolje rezultate, već se obično zadovoljavaju s ispunjenjem zadanog roka. Ako plan realno nije moguće ostvariti, proboji često bivaju i znatno veći nego bi zbog pogrešnog plana bilo nužno. Za sve je tada opravdanje loš plan, a analiza ostvarenih rezultata uobičajeno se izbjegava [3].

5. PREPORUKE ZA VREMENSKO PLANIRANJE

Vremenski planovi uvijek trebaju biti potpuni (sa svim radovima potrebnim za izvršenje zadatka, sa svim potrebnim informacijama) i čitljivi i razumljivi, ali ne preopširni i pretjerano precizni (smatra se da osoba na operativnoj razini može pratiti najviše 100 - 200 aktivnosti). Kod planova za duža razdoblja obično treba izraditi generalni plan koji se detaljno razrađuje po nadolazećim vremenskim odsjecima, od 1 - 3 mjeseca, za koje onda postoje pouzdane informacije.

By opposing the plan undoubtedly comes from the conventional efforts of employees to avoid everything that can be used to control their work, while at the same time they are unaware of how good schedules can help them in their work.

The failure of some plans encourages pessimism and doubt in others, future plans, and thus further undermining the credibility of the whole concept of planning [3].

The size of the reserves entered in the planned duration of the activities is questionable. Traditionally pursued probability is greater (65-90%), but entered reserve remain hidden and difficult controll. Often it is not known exactly for whom reserves are intended to be spent and are usually spent without justification.

To fulfill their purpose reserve in the plan should be the result of careful analysis of the upcoming situation and on this basis, targeted and transparently indicated. One solution to this problem provides a method of critical chain, in which the duration of the activity is aggressively determined (just as much that the probability is 50%), and at the end of each chain of activities in the network a protective time reserve (*buffer*) is set, which is still considerably shorter than the shortening of duration of the activity in relation to the traditional estimate of the reserves [8].

As a unwritten rule, if the plan accidentally provided more time (or labor) than is really necessary, then this time will be actually spent. In this kind of overestimated plan, management and workers will rarely try to rationalize and with a good organization achieve better results, but are usually satisfied with the fulfillment of the set deadline. If it is not reasonably possible to achieve the plan, breakthroughs are often much higher than would be necessary due to the wrong planning. Then, excuse for everything is a bad plan, and analysis of achieved results are usually avoided [3].

5. TIME PLANNING RECOMANDATIONS

Time plans allways have to be complete (with all necessary information and tasks to complete), easy to read and easy to understand, but not excessively broad and overly precise (it is considered that the person at the operational level can monitore 100 - 200 activities at most). When plans are made for longer period, it is usually necessary to draw up a general plan. General plan is then elaborated in detail for the upcoming time segments, usulally 1 - 3 months, with more reliable information in disposition.

Ako planirani radovi nisu kratkotrajni i jednostavni, najčešće je potrebno kombiniranje više komplementarnih vrsta vremenskih planova. Na osnovu napravljenih planova realizacije aktivnosti izvode se planovi resursa – histogrami (radne snage, materijala, rezervnih dijelova itd.), te financijski planovi – dijagrami tijeka novca (cash flow) i "S" krivulja (kumulativni prikaz financijskih sredstava). Može se mrežno planirati da bi se detektirale rezerve i kritični put, a za praćenje realizacije i bilježenje ostvarenoga prema tome napraviti druge pogodne planove (npr. gantogram, liniju balansa ili liniju putokaza). Za to veliku pomoć pružaju odgovarajući računalni programi koji kada se plan napravi s nekom složenijom tehnikom (mrežnom) iz njega odmah izvode prateće tj. pomoćne planove.

Pri optimalizaciji planova obvezno treba voditi računa da vremenski raspored potreba za pojedinim vrstama radne snage i sredstava rada zbog bolje iskorištenosti bude ujednačen, ako ne idealan, što je teško očekivati, barem realno ostvariv (bez učestalih i izrazitijih vršnih potreba i prekida u korištenju). Optimalizacija broja i vremenskog rasporeda resursa može se obavljati i izdvojeno, bez obzira na optimalizaciju roka i troškova [12]. Rješavanje složenih problema uvijek se jednostavnije provodi po pojedinim vremenskim ili prostornim odsjecima.

Za raspodjelu resursa između aktivnosti koje se mogu odvijati istovremeno, a zahtjevaju iste resurse, može se služiti heurističkim pravilima. Ona nisu konačna i striktna, ali su dosta jednostavna za primjenu i mogu se koristiti za primjere svih veličina i složenosti [13]. Heuristička pravila su rezultat iskustva, statističke obrade, razmišljanja i logičnog zaključivanja, pa je da bi ih se uspostavilo potrebna prethodna obrada većeg broja praktičnih primjera [10].

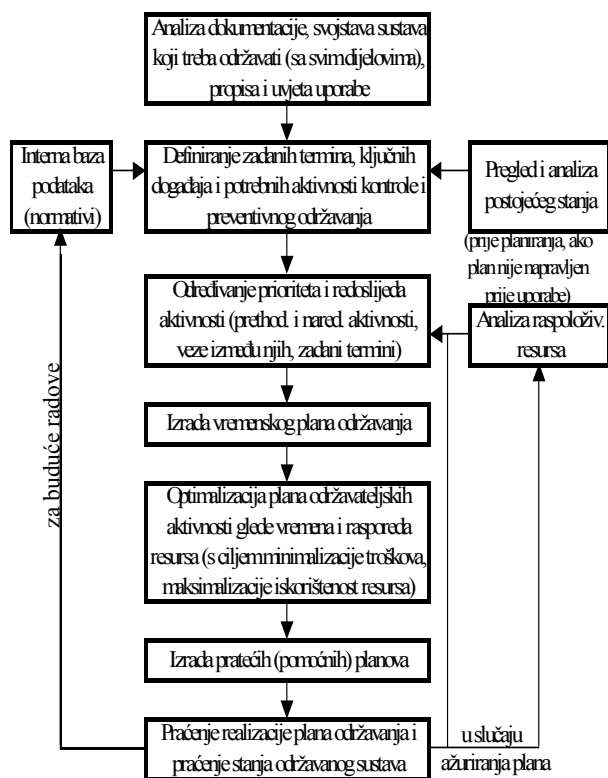
Planiranje nije jednokratni postupak nego proces koji traje sve dok se ne završi realizacija plana. Tek ako se kontinuiranom kontrolom izvedbe osigura povratni tijek informacija plan može funkcionirati kao dinamički model (slika 7). Svaki, manje ili više uspješno, realiziran posao, poželjno je iskoristiti kao određenu pripremu za naredne zadatke koje će se ponavljati na istom ili sličnim sustavima. Ne smije se oslanjati samo na osobno iskustvo pojedinaca, već treba kreirati i redovito ažurirati interne baze podataka (normative vremena i materijala), jer je pouzdanost ulaznih podataka presudna za uspješnost vremenskog i troškovnog planiranja.

If the planned activities stretch over a longer period of time and are complex, combination of several complementary types of time plans are usually needed. Based on the realization of activities planned, plans of resources are made - histograms (manpower, materials, spare parts, etc.), and financial plans - diagrams of cash flow and "S" curve (cumulative presentation of financial assets). A network plan can be used to detect reserves and the critical path, but for tracking a realization and for monitoring implementation other appropriate plans can be used (eg, Gantt chart, line balance or line of pointers). Great help in that matter provides appropriate computer program that utilizes some complex technique (network) and immediately drafts supporting ie. auxiliary plans.

During plan optimization, time table is aimed to be balanced (requirements for particular manpower and resources should be taken into account for better utilization of labor), if not ideal (unlikely to be achieved), but at least realistically achievable (without frequent and pronounced peak demand and interruptions). Optimization of quantity of resources and timetable can be performed separately, regardless of the deadline and costs optimization [12]. Solving complex problems is always easier carried out by individual time or spatial divisions.

For the allocation of resources between the activities that can be undertaken simultaneously (and require same resources), heuristics principles may be used. They are not final and strict, but they are quite simple to implement and can be used on applications of any size and complexity [13]. Heuristic rules are the result of experience, statistical analysis, thinking and logical reasoning. Thus, it takes a large number of practical examples to be processed in order to get them established [10].

Planning is not a one-time process. It is a process that lasts until the completion of the plan implementation. Plan can function as a dynamic model only if continuous control ensures feedback (Figure 7). Each, more or less successfully job realized, is desirable to be used as a some kind of specific preparation for future tasks that will be repeated on the same or similar objects. To rely solely on the personal experience of individuals should be avoided. Regularly updated internal database should be created (norms of time and materials), because the reliability of the input data is crucial for the success of the time and cost planning.



Slika 7. Proces dinamičkog planiranja složenijeg i dugotrajnijeg održavanja tehničkih sustava

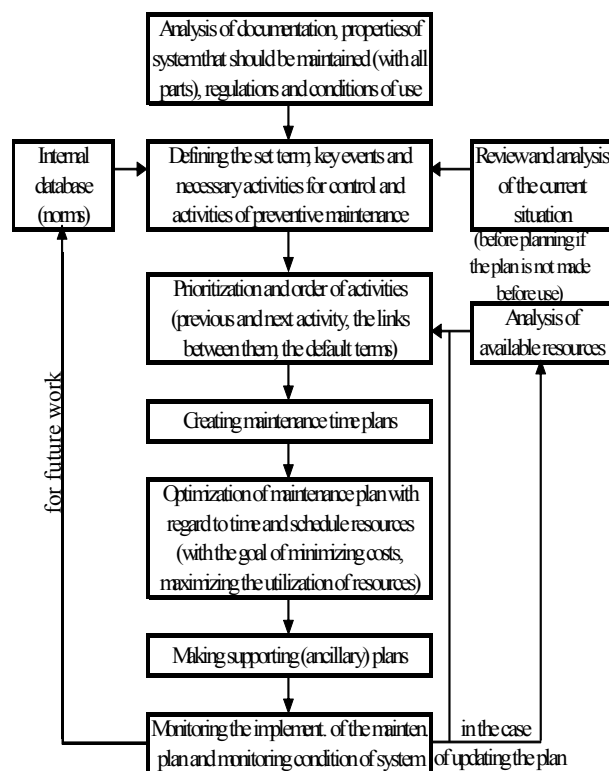


Figure 7. Process of dynamic planning for maintenance of complex system over a longer time period

Pogrešno je svu pozornost usmjeriti isključivo na izradu planova, a zanemariti ljudski faktor. Važno je pravilno uspostaviti koncept planiranja unutar sustava izvođača radova. Planiranje iziskuje timski rad i nikako ne treba biti ograničeno na specijalizirane planere, nego u izradu planova svakako trebaju biti uključeni i oni koji će voditi njihovo izvršenje. Plan mora biti prihvaćen od svih učesnika i treba poraditi na tome da svi koji učestvuju u realizaciji radova planove shvate u prvom redu kao pomoć za što uspješnije ispunjavanje zadanih ciljeva.

6. ZAKLJUČAK

Svaki složeniji tehnički sustav treba posebno analizirati kako bi se odredio optimalni način održavanja. Kod dugotrajnog obavljanja poslova održavanja samo se vremenskim planiranjem omogućava realno sagledavanje cjeloživotnih troškova održavanog sustava (i svođenje na sadašnju vrijednost), a to je podloga za odlučivanje o isplativosti varijantnih rješenja.

Focusing attention solely on the development of plans and ignorance of human factor is an error. It is important to establish the correct concept of planning within the contractor. Planning requires teamwork and should not be limited to the specialized planners, but in the development of plans should certainly be involved and those who will lead their execution. The plan must be accepted by all parties involved. It should be ensured that all involved in the project see plans primarily as an aid for successful fulfillment of the goals.

6. CONCLUSION

Every complex technical system should be separately analyzed to determine the optimal way of maintenance. In the long-term maintenance tasks only the scheduling allows realistic assessment of lifetime costs of system maintained (and the reduction to the present value). That is the basis for deciding on the viability of alternatives.

Nema tehnike vremenskog planiranja i vrste plana koja bi bila najbolja za sve slučajeve, nego treba birati i kombinirati prema karakteristikama radova koji će se izvoditi, vremenu izrade plana (prije ili tijekom uporabe), ovisno dali je to cjeloživotni program ili detaljni plan i ovisno tko je krajnji korisnik plana [3]. Uz to planovi proizlaze iz raspoloživih informacija i organizacije uporabe objekta održavanja (može npr. biti sezonsko).

Kod vremenskih planova održavanja potrebna je transparentnost i mogućnost prilagođavanja novonastalim situacijama, zbog vjerojatnih promjena negativnih utjecaja na objekt održavanja, novih zahtjeva i novih mogućnosti održavanja.

Veća efikasnost obavljanja održavanja postiže se s boljim vremenskim rasporedom radnika i strojeva i zato ga na kraju planiranja treba optimalizirati. Mogućnost uštede na korištenju resursa i općenito organizaciji i provođenju rada koja se može postići s vremenskim planiranjem ovisi o vrsti održavanja, onome tko održava i onog što se održava.

Za uspjeh realizacije planiranih aktivnosti uvijek je nužan kontinuirani monitoring sa spremanjem selektiranih podataka u baze koje su važne za izradu budućih planova.

Korist koju planovi potencijalno mogu pružiti proporcionalna je trudu i znanju, odnosno troškovima uloženim u njihovu izradu. Naravno da to treba biti srazmjerno složenosti, financijskoj vrijednosti, mogućoj uštedi, rizicima, uvjetima ugovora i dr. karakteristikama svakog konkretnog slučaja.

Osim tehničkih znanja i iskustva planiranje iziskuje logiku i intuiciju, a i dozu kreativne i konceptualne sposobnosti. Planovi, kao prikaz rezultata procesa planiranja, samo su informacije na papiru, ili sve češće ekranu, i nema njihove uspješne realizacije bez odgovornog odnosa ljudi koji ih provode u djelo, odnosno nastojanja da se izvedba zaista provede planiranim putem.

There is no time planning technique or type of plan that would be best in all cases. It should be selected and combined according to the characteristics of the activities to be performed, the moment of planning (prior to or during use), depending on whether it is a lifelong program or a detailed plan and depending who the end-user of plan is [3]. In addition, plans are derived from the available information and organization of use of the facility maintained (can be eg. seasonal).

Maintenance time plans require transparency and the ability to adapt to new situations, because of the possibility of changes in negative impact to the facility maintained, new requirement and new features of maintenance.

Greater efficiency in performing maintenance is achieved with better timetable of manpower and machines, and therefore at the end of the planning it should be optimized. The potential for savings in the use of resources, general organization and implementation of activities that can be achieved with a time planning depends on the type of maintenance, subject that maintains the facility and facility itself.

Successful implementation of planned activities rely on continuous monitoring and keeping the selected data in data bases that are important for making future plans.

The potential benefits plans can provide are proportional to the effort and knowledge, and the funds invested in their production. It should be proportionate to the complexity, financial value, possible savings, risks, contract conditions, and other characteristics of each case.

In addition to technical knowledge and experience planning requires logic and intuition, and even a dose of creative and conceptual skills. Plans, as well as graphical representation of results of planning process, are only the information on the paper, or more often on the screen. There is no successful implementation without a responsible attitude of people who put them into work and efforts to truly implement the planned route.

7. REFERENCES

- [1] Vidaković, D., Lacković, Z., Bubalo, T.: *Utjecaj tehničke dijagnostike i održavanja na troškove građevinske mehanizacije*, 12th International Conference on Organization, Technology and Management in Construction (SENET), Primošten, Zbornik radova na CD-u, 2015.
- [2] Whiting, A.: *Structural Integrity Inspection with Unmanned Aerial Vehicles*, Aerecon, Perth, 2014. <http://www.slideshare.net/informaoz/andre-w-whiting-aurecon>. Pristup 10. 02. 2016.
- [3] Vidaković, D., Bubalo, T.: *Metode pogodne za vremensko planiranje aktivnosti održavanja*, 21. International Conference Maintenance 2015, Šibenik, Zbornik radova: 20-30.
- [4] Todosijević, M., Marić, A., Đorđević, Lj., Gligorićević, S.: *Radna sposobnost mašina i njihovo održavanje*, Journal of applied engineering science, br. 9: 43-47, 2005.
- [5] <http://www.subaruforester.org/vbulletin/f88/subaru-maintenance-schedule-us-1060/index3.html>. Pristup 10. 02. 2016.
- [6] TILOS – Time-location planning software for managing linear construction projects <http://www.tilos.org/railway-construction.html>. Accessed at 5. 02. 2016.
- [7] Matejević, B.: *Istorijski razvoj dinamičkog planiranja u građevinarstvu*, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu br. 27: 13–27, 2012.
- [8] Francis, S.P.: *Critical Chain Scheduling and Risk Management – Projecting Project Value from Uncertainty*, Svjetski tjedan za upravljanje projektima, Hong Kong, 2002.
- [9] Zlatanović, M., Matejević, B.: *Kriterijumi kvaliteta dinamičkih planova*, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu br. 25: 255–263, 2010.
- [10] Radujović, M. i suradnici: *Planiranje i kontrola projekata*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.
- [11] Vidaković, D.: *Karakteristike i problemi mrežnog planiranja u građevinarstvu*, M – Kvadrat br. 78: 48-56, 2015.
- [12] Vidaković, D.: *Optimizacija vremenskih planova za građevinske projekte*, 10. Internacionalni simpozijum iz project managementa – YUPMA, Zlatibor, Zbornik radova: 333–337, 2006.
- [13] Hegazy, T., Shabeeb, K. A., elbeltagi, E., Cheema T.: *Algorithm for Scheduling with Multiskilled Constrained Resources*, Journal of CE and Management 126(6): 414-421, 2000.

Corresponding author:
Držislav Vidaković
Faculty of Civil Engineering,
J. J. Strossmayer University of Osijek
Email: dvidak@gfos.hr
Phone: +385 (0)91 224 07 37