



USING STOCHASTIC MODELLING METHODS IN CONSTRUCTION PREPARATION

Zdenka Hulínová¹

¹ Katedra technológie stavieb, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita, Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovensko, Tel.: +421259274597, zdenka.hulinova@stuba.sk

Abstrakt: *Uskutočňovanie výstavby je náročný proces vykonávaný v podmienkach, ktoré sa neustále menia. Každá stavba je jedinečná. Vopred vytyčené ciele sa nám obvykle dari dosahovať len s určitou pravdepodobnosťou. Deterministické metódy používané pri príprave stavieb nemusia byť vždy najvhodnejšie. Náhodný charakter stavebnej výroby vieme lepšie vyjadriť pomocou stochastických a simulačných metód modelovania. Cieľom tohto článku je analyzovať vybrané stavebné procesy z hľadiska vhodnosti použitia teórie hromadnej obsluhy pri návrhu ich optimálneho priebehu a na príkladoch potvrdiť jej využiteľnosť v stavebnej praxi.*

Kľúčové slová: *modelovanie, stavebné procesy, teória hromadnej obsluhy, simulácia*

Abstract: *Realizing buildings is a demanding process practised in constantly changing conditions. Every building structure is unique in itself. Beforehand planned aims can usually be reached only in a certain probability. The deterministic methods used in buildings preparation may not be the most suitable in every case. The haphazard character of building construction can be better expressed through stochastic and simulation modelling methods. The aim of this article is to analyze selected building processes in the aspect of the suitability of using the theory of mass service in suggesting their optimal process and through examples to confirm its efficiency in the building practice.*

Key words: *modelling, building processes, mass service theory, simulation*

1 ÚVOD

Stavebnú výrobu ovplyvňujú mnohé

1 INTRODUCTION

Building production is influencend

náhodné faktory. S niektorými vieme počítať, napríklad oneskorenie dodávky materiálu z dôvodu predpokladanej kolízie na cestách v konkrétnych hodinách počas dňa, ale niektoré dopredu predvídať nevieme, napríklad náhla zmena počasia.

Dobrá príprava je zárukou úspešnej realizácie stavby. Jej cieľom je čo najvernejšie zachytiť priebeh budúcej výstavby v priestore a v čase. Pri príprave sa používajú rôzne metódy, väčšinou založené na deterministických princípoch. Za určitých podmienok sú tieto metódy dostačujúce na plánovanie stavebných postupov. Avšak v prípade náročnejšej stavby v zložitejších podmienkach môžu byť vplyvom náhodných zmien skresľujúce.

2 METÓDY PRÍPRAVY STAVIEB

V stavebnej príprave sa uplatňujú prevažne deterministické metódy, v ktorých sa k realite snažíme priblížiť pomocou vhodných koeficientov. Takto zostavené modely sú relatívne jednoduchšie, zrozumiteľnejšie a ich výstupy sú jednoznačne určené známymi vstupnými hodnotami. Na druhej strane výstupy získané na základe deterministických postupov sa často líšia od skutočnej reality úmerne tomu, aké časté sú náhodné vplyvy spôsobujúce odklon od predpokladaného priebehu výstavby.

Ak pripustíme pri modelovaní pôsobenie náhodných vplyvov, musíme očakávať, že požadované výstupy budeme dosahovať len s určitou pravdepodobnosťou. V tom prípade je vhodnejšie použiť stochastické metódy.

Počas realizácie celého stavebného diela dochádza z rôznych dôvodov často k nejakým zmenám. Pri plánovaní výstavby môžeme predvídať tieto zmeny a riešiť to napríklad pomocou časových, materiálových, finančných a iných rezerv. Určiť ich nie je ľahké.

by a good number of haphazard factors. Some of them can be expected e.g. delay in material delivery because of the expected collision on roads in the definite hours during the day but others cannot be foreseen beforehand e. g. an abrupt change of the weather.

A good preparation guarantees a successful construction realization. Its goal is to most realistically express the process of the future construction in space and time. In preparation different methods are used which are based on deterministic principles. Under certain conditions these methods are satisfactory for planning construction progressions. Anyway in case of a more demanding construction in more complicated conditions these methods can be distorted by means of haphazard changes.

2 METHODS OF CONSTRUCTIONS PREPARATION

In a construction preparation mostly deterministic methods are used. In them we try to approach the real state of things through suitable coefficients. Models made up in this way are relatively simpler, more understandable and their outlets are distinctly determined by known inlet values. On the other hand outlets obtained on the base of deterministic methods often are different from the true reality in proportion to the frequency of haphazard influences that cause deviating from the expected construction progression.

If in modelling one accepts affecting haphazard influences then one has to expect that the required outlets will be obtained only with certain probability. In such a case, then, it is more convenient to use stochastic methods.

In the course of the whole building work there often some changes occur for a number of reasons. When planning construction one can foresee these changes and can solve it e.g. using time, material, finance and other resources. It is not easy to determine them.

Pomocou počítačovej simulácie však dokážeme tieto vplyvy zaradiť do modelu a zistiť ich možný dopad na priebeh reálnej výstavby a sledované ciele. Dnes sú k dispozícii počítačové programy, ktoré posúvajú oblasť prípravy výstavby na kvalitatívne vyššiu úroveň.

Príprava výstavby by mala pri zložitejších stavbách trvať aspoň tak dlho ako samotná výstavba. V praxi naopak býva príprava podceňovaná, možno aj v dôsledku nespoľahlivosti výstupov.

Táto situácia sa môže zmeniť v prospech kvalitnejšej prípravy práve za pomoci simulačných programov. V súčasnosti programy typu Extend, Arena, Witness a iné umožňujú simulovať priebeh výrobného procesu s cieľom jeho optimalizácie. Výstavbový proces je príliš komplikovaný a rizikový, aby sa jeho optimalizácia dala uskutočniť bez počítačovej simulácie.

3 MODELOVANIE STAVEBNÝCH PROCESOV

Pri analýze stavebných procesov z hľadiska ich modelovania potrebujeme ako prvé definovať ciele. Vzhľadom na tieto ciele bude potrebné navrhnuť optimálny variant priebehu každého stavebného procesu alebo optimálny variant výstavby ako celku.

K stavebnému procesu pristupujeme ako k systému. Jeho prvkami sú ľudia, materiály, stroje, okolie systému a väzbami sú ich vzájomné vzťahy. Prvky a väzby medzi nimi vytvárajú určitú štruktúru, ktorá sa prejavuje v správaní systému. Optimálne navrhnutá štruktúra stavebného procesu vedie k zabezpečeniu požadovaných cieľov.

Do analýzy zaradíme niektoré zo stavebných procesov, ktoré sa na stavbách najčastejšie vyskytujú a uskutočňujú sa pomocou strojných zostáv. K takým procesom patria napríklad zemné procesy,

Anyway by means of using computer simulation one is able to include these influences in a model and to find out their possible impact on the course of a real construction and the followed aims. Today computer programs are at the disposal. They lift up the preparation phase on a higher level of quality.

The building preparation of more complex construction works should last at least as long as the construction itself. In practice, opposite to that, the preparation is as a rule, underestimated, maybe also as a result of the unreliability of outputs.

This situation can be changed in favor of more quality of preparation with the help of simulation programs. At present programs of the type of Extend, Arena, Witness and others are enable to simulate the course of a production process with the aim of its optimization. A construction process is too complex and risky for its optimization to realize without a computer simulation.

3 MODELLING BUILDING PROCESSES

Analyzing building processes in the aspect of their modelling as the first thing one needs to define the targets. In consideration of these targets it will be necessary to suggest the optimum variant of the course of each building process or the optimum variant of the construction as a whole.

One approaches to the building process as to a system. Its elements are people, materials, machines, the system's vicinity and the bonds are their mutual relations. Elements and interrelations form a certain structure that expresses itself in the system's behaviour. The optimally suggested structure of the building process leads to safeguarding the required aims.

Some of the building processes occurring in the building sites most frequently and are realized through sets of machines are included to an analyse.

ktorými v rôznom rozsahu začína každá nová výstavba. Betonárske, montážne procesy a procesy murovania sú základnými procesmi hrubej stavby. Pri dokončovacích procesoch sú vzhľadom na mechanizáciu už väčšinou nároky len na výťah. Tieto procesy je vhodnejšie riešiť pomocou metód simulačného modelovania.

V ďalšej časti budeme skúmať dva z uvedených mechanizovaných stavebných procesov ako systémy hromadnej obsluhy. Cieľom týchto systémov je nájsť optimálnu vyváženosť medzi kanálmi obsluhy a zdrojom požiadaviek.

Typické príklady nachádzame pri zemných procesoch v zostavách rýpadlo alebo nakladač - dopravný prostriedok, pri betonárskych procesoch v zostavách čerpadlo alebo žeriav – domiešavače. Takéto procesy môžeme navrhovať pomocou teórie hromadnej obsluhy.

Hlavnou úlohou bude navrhnúť takú strojnú zostavu, ktorá dokáže zaistiť požadovanú výkonnosť. V strojných zostavách je nutné určiť hlavný článok, ktorý je nositeľom výkonnosti zostavy a jemu prispôbiť ostatné prvky. Obvykle to býva najvýkonnejší alebo najdrahší stroj. Pri výstavbe sú to predovšetkým rýpadlá, nakladače, čerpadlá, žeriavy, výťahy, výrobné linky. Potrebujeme stanoviť ich typy, druhy a počet v zostave. Najjednoduchšie by bolo na výpočet použiť napríklad deterministické vzťahy.

Za určitých podmienok by bol tento návrh správny a s takto navrhnutou strojnou zostavou by sme proces aj reálne zvládli. Počas práce by však nemalo dochádzať často k náhlym zmenám a strojná zostava by mala pracovať prevažne plynulo počas celého obdobia.

Na staveniskách však vznikajú situácie, kedy náhodné vplyvy spôsobujú výkyvy vo výkonnosti. Aby sme eliminovali tieto dôsledky, posilňujeme tie prvky zostavy, ktoré týmto zmenám najviac podliehajú. Obvykle sú to dopravné prostriedky, ktoré sú vystavené

To such processes belong, e. g. earthmoving processes that are in a different scope the beginning of every new construction. Concreting, assembly processes, bricklaying processes are the basic processes of a raw construction. In finishing processes as to mechanization most demands are laid only on a lift. It is more convenient to solve these processes by methods of simulation modelling.

In the following part the attention will be directed to the two of included mechanized building processes as a system of mass service. The aim of these systems is to find out the optimum balance between channels of service and the source of claims.

Typical examples can be found in earthmoving processes in the sets an excavator or loader – a dumptrucks, in concreting processes in sets a pump or a crane – concrete mixers. Such processes can be suggested by the use of the queuing theory.

The main goal will be to choose such a machinery set that is able to guarantee the required efficiency. In machinery sets it is necessary to determine the main segment, which is the carrier of the set efficiency and to adjust to it the other rest segments. Usually it is the most effective or most expensive machine. In the construction work they are first of all excavators, loaders, pumps, cranes, lifts, production lines. It is needful to determine their types, sorts and number in a set. The most simple it will be to use e.g. deterministic relations for calculating.

Under certain conditions this suggestion would be correct and with in such a way suggested machinery set the process would be really carried out successfully. Yet, there should be no abrupt changes occurred frequently during the work and the machinery set should function mostly smoothly during the whole of the period.

Anyway, on building sites there occur situations when occasional influences cause deviations in efficiency.

rôznym dopravným kolíziám. Ich posilnením zabezpečujeme, aby hlavný článok strojnej zostavy bol plne vyťažený.

Aký počet dopravných prostriedkov (vozidiel) bude optimálny a ako bude vyzerat' situácia na stavenisku, to sa však z deterministického výpočtu nedozvieme. Odpovede nám poskytne teória hromadnej obsluhy.

4 MODELOVANIE POMOCOU TEÓRIE HROMADNEJ OBSLUHY

Procesy hromadnej obsluhy môžeme skúmať analyticky, s využitím prostriedkov matematickej analýzy, alebo experimentálne, pomocou simulačných metód [3]. V nasledovnej časti sa budem venovať analytickému prístupu.

Prvou úlohou pri modelovaní stavebných procesov pomocou teórie hromadnej obsluhy je zadefinovať vhodný typ modelu. V stavebníctve sa stretávame prevažne s modelmi jednokanálovými alebo viackanálovými, uzatvorenými, bez strát.

V nasledujúcom kroku je potrebné vypočítať základné parametre systému obsluhy, ktorými sú: parameter vstupu λ (intenzita vstupu), parameter obsluhy μ (intenzita obsluhy) a parameter prevádzky ρ (intenzita prevádzky). Vstupné údaje potrebné pre ich výpočet sú: stredná hodnota času vstupu požiadaviek do systému T_v a stredná hodnoty času obsluhy T_o . Tieto časy môžeme dostať buď deterministickým výpočtom alebo štatistickým sledovaním, alebo z databázy porovnateľných údajov. Predpokladáme, že prúd požiadaviek, ktoré vstupujú do systému v intervale $(0, t)$, má Poissonovo rozdelenie pravdepodobností s parametrom

To eliminate these consequences one strengthens these elements of the set, which are most of all subject to them. As a rule these are means of transport that are facing to various transport collisions. By strengthening them one secures the main segment of the machinery set to be fully function.

Yet, it cannot be found out from the deterministic calculation what number of transport means (vehicles) will be optimal, or how the situation on the building site will be like. The answers will be given by the queuing theory (the mass service theory).

4 MODELLING THROUGH THE MASS SERVICE THEORY

Mass service processes can be investigated analytically using means of mathematical analysis or experimentally through a simulation method [3]. In the following part attention will be given to an analytical method.

The first task in modelling building processes by means of a theory of mass service is to define a suitable model type. In the building industry one or more channels models, closed, without losses are mostly used.

In the next step it is needful to calculate the service system basic parameters, which are: the input parameter λ (input intensity), the service parameter μ (service intensity) and the operational parameter ρ (operational intensity). The input data necessary for their calculation are: the mean time value of the input of claims in the system T_v and the mean value of the service time T_o . These time values can be obtained either by the deterministic calculation or through statistic observation or from a database of the comparable dates. Let us expect that the stream of claims entering in the system in the interval $(0, t)$, has a Poisson's division of probabilities with the parameter λt and the

λt a čas obsluhy má exponenciálne alebo Erlangovo rozdelenie s parametrom μt [4].

V treťom kroku počítame číselné charakteristiky, ktoré dostávame v podobe stredných hodnôt a pravdepodobností. Umožnia nám rozhodnúť sa o optimálnom návrhu strojnej zostavy a o priebehu stavebných prác.

Zemné procesy

Analyzujeme strojnú zostavu, ktorá je typickým príkladom pre zemné procesy, napríklad rýpadlá (kanále obsluhy) a dopravné prostriedky (požiadavky na obsluhu). Podľa počtu rýpadiel môže byť tento model jednakanálový alebo viackanálový. Kanále tvoria konečný počet neusporiadaných paralelných staníc obsluhy, t. j. požiadavka sa obvykle môže postaviť k ľubovoľnému voľnému kanálu.

Prúd požiadaviek je ohraničený, pretože počet požiadaviek býva známy. Sú to systémy bez strát, nakoľko požiadavka po vstupe do systému čaká na obsluhu vo fronte, ak sú kanále obsadené. Z hľadiska požiadavky na obsluhu môžu byť aj rôznorodé. Budeme predpokladať, že intenzita vstupu sa nemení. Čakanie požiadavky vo fronte obvykle nebýva ohraničené časom, ale môže byť ohraničený počet prvkov v rade. To sa stáva v dôsledku stiesnených pomerov na stavenisku.

Intenzita obsluhy býva obvykle konštantná, v prípade nerovnakých rýpadiel môžu poskytovať aj rôznorodú obsluhu. Z hľadiska prevádzky určujeme spoľahlivosť obsluhy podľa reálnych podmienok v strojnom parku.

Betonárske procesy

Typickým modelom betonárskeho procesu je dovoz čerstvého betónu z mimostaveniskovej výrobné domiešavačmi a na stavenisku doprava čerstvého betónu čerpadlom alebo žeriavom a betonárskymi košmi. Rovnako ako pri zemných procesoch môže ísť o jednakanálový alebo viackanálový model s ohraničeným počtom požiadaviek bez strát. Špecifickou

service time has an exponential or Erlang's division with the parameter μt [4].

In the third step the numeric characteristics given in the form of mean values and probabilities are calculated. They will enable us to determine on the optimum suggestion of a machinery set and on the course of the construction works.

Earthmoving processes

We analyze a machinery set that is a typical example of earthmoving processes, e.g. excavators (channels of service) and means of transport (claims to service). According to the number of excavators this model can be a one-channel or a more-channel type. The channels form the final number of non-arranged parallel service stations, i.e. a claim usually can be put to any free channel.

The stream of claims is limited (the circular system) because the number of claims is usually known. These are systems without losses for the claim after entering the system waits for service in a range if the channels are engaged. In the aspect of a claim on the service they can be different. Let us assume that the input intensity is unchanged. The claim's waiting in a range is usually not limited in time but the number of elements in a range can be limited. It occurs as a result of limited conditions on a building site.

The service intensity is as a rule constant, in case of different excavators it can also be different. From the point of view of the operation the service reliability is determined by the real conditions in the machinery park.

Concrete laying processes

The typical model of a concrete laying process is delivering fresh concrete from an off-building site concrete plant in concrete mixers and on a building sites delivering fresh concrete through a concrete pump or a crane with concrete baskets. The same as in earthmoving processes it can be a one-channel or more-

požiadavkou betonárskych procesov je obmedzenie času pobytu požiadavky v systéme z dôvodu nežiaduceho začiatku tuhnutia čerstvého betónu.

5 PRAKTICKÉ OVERENIE TEÓRIE HROMADNEJ OBSLUHY

Pri modelovaní stavebných procesov môžeme vychádzať z kombinácií jednotlivých strojov, ktoré vyhovujú podmienkam realizácie. V súčasnosti býva lehota výstavby najčastejšie určovaná dohodou. Tým je v časovom pláne vymedzené požadované trvanie jednotlivých prác. Na základe tohto času a objemu prác určíme potrebnú výkonnosť strojnej zostavy. Niektoré situácie nedávajú veľa možností na rozhodovanie o výbere strojov, inokedy bude vhodných variantov strojných zostáv viac.

Pri tvorbe modelov zostáv navrhujeme najskôr z technologického hľadiska všetky možné a dostupné druhy a typy strojov. Následne vhodnou kombináciou vytvoríme varianty. Dôležitým krokom je výber vhodnej metódy modelovania podľa toho, aké výstupy a s akou presnosťou potrebujeme. Všetky varianty musia spĺňať základné podmienky, t. j. dodržanie technologickej disciplíny a stanoveného času. V prípade väčšieho počtu variantov rozhodujú o optimálnom z nich ďalšie dôležité kritériá, ako sú napríklad náklady.

V nasledujúcich dvoch príkladoch sú zachytené výstupy získané počas sledovania zemných a betonárskych procesov na stavbách, deterministické výpočty a ich stochastické overenie.

Pr. 1 Zemné procesy: 2 x rýpadlá (CAT) + dopravné prostriedky (Scania)

Úlohou bolo vykopať stavebnú jamu o objeme 2160 m³ pri stanovenom čase prác 32 hod.

Na stavbe pracovali dve rýpadlá s objemom lyžice 0,8 m³. Dopravné prostriedky s objemom korby 11 m³

channels model with a limited number of claims without losses. The specific claim of concrete laying processes is the time-limited stay in the system because of the undesirable start of fresh concrete setting.

5 PRACTICAL VERIFICATION OF THE MASS SERVICE THEORY

In modeling construction processes one can proceed from a combination of singular machines that satisfy the realization conditions. Nowadays the time limit of construction is usually determined by agreement. By that means in the schedule the required lasting of singular works is limited. On the base of this time and range of works the needed efficiency of a machinery set will be determined. Some situations cannot give much space for determining the choice of machines. In other cases there will be more convenient variants of machinery sets.

In forming sets of models first all possible and accessible sorts and types of machines are suggested from the technological point of view. Successively variants are created through a suitable combination. An important step is choosing a suitable modelling method according to what outputs and how precisely we need them. All the variants must satisfy the basic conditions, i.e. keeping to technological discipline and the time agreed. In case of a more number of variants further important conditions are decisive in determining the optimal of them, such as, e.g., the cost.

In the following two examples are illustrated the outputs obtained during investigating earthmoving and concrete laying processes at building sites, deterministic calculations and their stochastic verification.

Ex. 1 Earthmoving processes: two times excavators (CAT) + means of transport (Scania)

The goal was to dig a construction hole with the volume of 2160 m³ in the agreed

odvážali výkopok na skládku do vzdialenosti 7 km s priemernou rýchlosťou jazdy $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. V sledovanej zostave boli nasadené 3 dopravné prostriedky.

Vyhodnotenie výstupov

Hodnotiaci proces pozostáva zo štyroch krokov: vyhodnotenie sledovania, vyhodnotenie deterministických výstupov, vyhodnotenie stochastických výstupov, záverečné vyhodnotenie.

A)Vyhodnotenie sledovania - pozorovaním sa zistili prestoje rýpadiel. Ako riešenie sú možné tieto návrhy:

- zmeniť uzol obsluhy, t. j. druh, typ a počet rýpadiel,
- zmeny v prúde požiadaviek, t. j. zväčšiť počet vozidiel pri zachovaní objemu korby, prípadne pri menšom počte vozidiel zvýšiť objemy korby.

B)Vyhodnotenie deterministických výstupov:

- analýza reálnej situácie pomocou harmonogramu (3 vozidlá) ukázala prestoje rýpadiel, ktoré sa odstránili pridaním ďalšieho vozidla, čo prinieslo skrátenie pracovného cyklu, úsporu času aj nákladov,
- deterministickým výpočtom vyšiel ako vhodný variant 5 vozidiel,

C)Vyhodnotenie stochastických výstupov získaných pomocou teórie hromadnej obsluhy:

- stochasticky overený deterministický návrh, t. j. 5 vozidiel, popisuje pravdepodobnú situáciu tak, že intenzita prevádzky bude $\rho = 0,613$, priemerne bude stáť 0,8 vozidla vo fronte, čo predstavuje 16,8 % prestoj, t. j. priemerne strávia vozidlá vo fronte 1,5 min., priemerné využitie rýpadla bude 83,8 % (vzhľadom na nízke využitie rýpadla a malé ρ treba zvýšiť počet vozidiel),

time of works 32 hours.

There were two excavators working on the building site with the dipper capacity of $0,8 \text{ m}^3$. The means of transport having the bed capacity volume 11 m^3 transport the digged up ground to a dump in the distance of 7 km with the average speed $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. There were three transport means to follow the set.

Outputs evaluation

The evaluation process consists of four steps: investigation evaluation, the deterministic outputs evaluation, the stochastic outputs evaluation, the final evaluation.

A)Investigation evaluation – through inspection the standstills of excavators were found out. As a solution the following suggestions are possible:

- to change the knot of service, i.e., the sort the type and the number of excavators,
- changes in the stream of claims, i.e., to rise the number of vehicles while the volume of the bed will be retained, or, in a lower number of vehicles to rise the bed capacity.

B)Deterministic outputs evaluation:

- analyzing the real situation by means of a timetable (3 vehicles) showed the excavators' standstills which were removed by adding a one vehicle more that lead to shortening a performance cycle and economizing time and costs,
- an adequate variant of five vehicles was found out through a deterministic calculation.

C)Evaluating stochastic outputs obtained by the queuing theory:

- stochastically proved deterministic suggestion, i.e. 5 vehicles, it describes a probable situation in such a way that the performance intensity will be $\rho = 0,613$, averagely 0,8 of a vehicle will stand in a queue that represents 16,8 % of a standstill, i.e. the vehicles will stand in a queue 1,5

-stochasticky overených 7 vozidiel ukazuje intenzitu prevádzky ($\rho = 0,858$), súčiniteľ prestoja vozidiel bude 33,2 % (2,3 vozidla vo fronte), t. j. priemerne strávia vo fronte 2 min., priemerné využitie rýpadla je 97 %.

D)Záverečné vyhodnotenie:

Obmedzenie, s ktorým v modeli musíme počítať, sa pri zemných procesoch najčastejšie týka veľkosti fronty, prístupu na stavenisko a radenia do fronty pri viacerých kanáloch obsluhy. Pri výkopových prácach na rozľahlejších stavbách je potrebné správne navrhnuť postavenie ťažobných strojov. Pri tom zohľadňujeme hĺbku vykopyvajúcej, sklon terénu, akčný rádius stroja, postavenie dopravných prostriedkov tak, aby bol uhol nakladania čo najmenší, vhodný a bezpečný príjazd a odjazd, dostatočný prehľad o situácii pri jednotlivých kanáloch z dôvodu lepšieho rozhodovania obsluhy vozidla o tom, ku ktorému rýpadlu sa pristaviť atď.

Na základe vstupných podmienok, výpočtov a obmedzení v tomto príklade budú v rozhodovacom procese vylúčené varianty: deterministicky určený variant s 5 vozidlami aj reálne pracujúca zostava s 3 vozidlami (vzhľadom na nízke využitie rýpadiel a tým aj z obavy o nesplnenie termínu ukončenia prác). Optimálna bude zostava 7 vozidiel, ktorej priemerné a pravdepodobnostné výstupy najlepšie zaručia splnenie cieľa.

min. averagely, the average use of an excavator will be 83,8 % (with a view of the low use of the excavator and a low ρ it is urgent to rise up the number of vehicles),

-stochastically proved 7 vehicles show the performance intensity ($\rho = 0,858$), the coefficient of a standstill will be 33,2 % (2,3 of vehicle in a queue), i.e., averagely they will stand in a queue 2 min., the average use of an excavator being 97 %.

D)Final evaluation:

A limitation that should be considered of in a model in ground processes is most often connected with the length of a queue, the access to a building site and the forming a queue in more service channels. In digging up works on bigger building construction places it is necessary correctly to suggest locating mining machine. In this is considered: the depth of a hole dug, the slant of the terrain, the machine action radius, the location of the means of transport in such a way that the angle of loading be the minimum possible, a suitable and safe coming in and coming out, a satisfactory review of the situation at individual channels to better decision making the vehicle service about to which excavator to stand by, etc.

On the base of the input conditions, calculations and limitations in this example in the consideration process the following variants will be excluded, the deterministically appointed variant with 5 vehicles together with a really functioning set with 3 vehicles (considering the low exploitation of excavators and also the fears of not fulfilling the terms of finishing the works). The set of 7 vehicles will be optimal and whose average and probable

Pr.2 Betonáž: čerpadlo (CIFA) + domiešavač (MAN)

Betonáž stropnej dosky zabezpečovalo čerpadlo s výkonom $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ spolu so 4 domiešavačmi s objemom bubna 5 m^3 s priemernou rýchlosťou jazdy $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ z betonárky vzdialenej 15 km.

Vyhodnotenie jednotlivých prístupov

Pri hodnotení betonárskych procesov musíme zohľadniť aj požiadavku, ktorá súvisí so začiatkom tuhnutia čerstvého betónu [1]. Všeobecne platí požiadavka, aby sa čerstvý betón vyrobil, dopravil a spracoval do začiatku tuhnutia, čo je závislé od mnohých faktorov, ku ktorým patria:

- druh a trieda použitého cementu, vodný súčiniteľ, použité prísady a prímiesy,
- teplota prostredia pri miešaní, doprave a spracovaní čerstvého betónu,
- čas miešania a plnenia bubna domiešavača, čistenie,
- doprava a manévrovanie z betonárky po komunikáciách, po stavenisku, vertikálna doprava až na miesto spracovania v debnení,
- čas spracovania (zhutňovania) čerstvého betónu.

Niektoré z týchto faktorov vieme zistiť, vypočítať, odhadnúť. Teória hromadnej obsluhy nám umožňuje získať ďalšie užitočné údaje, ako je priemerný čas zdržania domiešavačov vo fronte a v systéme. Pri rozhodovaní by sme niektoré varianty strojnej zostavy mali vylúčiť práve pre ich prídlhý pravdepodobný čas stáť vo fronte.

Druhým dôležitým rozhodovacím kritériom sú priestorové možnosti na stavenisku.

outputs will be the best to safeguard fulfilling the target.

Ex.2 Concrete laying process: a concrete pump (CIFA) + a concrete mixer (MAN)

The concrete casting of the ceiling panel was carried out by a pump of the capacity $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ together with 4 concrete mixers having the drum volume 5 m^3 with the average driving speed $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ from a concrete plant in 15 km distant.

Evaluating individual methods

In evaluating the concrete processes one also should consider the claim relied to the beginning of fresh concrete setting [1]. Generally the claim is valid that fresh concrete should be produced, transported and processed up to the beginning of fresh concrete setting which is influenced by many factors:

- type and class of the concrete used, the water coefficient, the ingredients and adulterants used,
- the vicinity temperature at mixing, transport and processing of fresh concrete,
- time of mixing and filling the drum of a concrete mixer, cleaning,
- transport and manoeuvring from the concrete plant via communications, through the building site, vertical transport up to the place of processing in decking,
- time of processing (concretion) the fresh concrete.

One can identify, calculate and estimate some of these factors. The queuing theory enables us to get further useful data such as the average time of the standstill of concrete mixers in a queue and in the system. In consideration some variants of the machinery set should be excluded just for too long a time of their staying in a queue.

The second important considering criterion are the spacing capacities on a building site.

Pomocou teórie hromadnej obsluhy dostávame obraz o priemernej dĺžke frontu, a to nás opäť v rozhodovacom procese usmerní pri výbere toho variantu, pri ktorom bude priemerný počet prvkov vo fronte vyhovovať priestorovým podmienkam výstavby.

A)Vyhodnotenie sledovania - pozorovaním sa zistili prestoje domiešavačov. Ako riešenie sú možné tieto návrhy:

- posilniť čerpanie výkonnejším čerpadlom s nasledovným dopadom: zrýchlenie procesu, potreba výkonnejšej čaty betonárov, zvýšenie nákladov na čerpadlo a betonárov, ale konečné zníženie nákladov v dôsledku rýchlejšej výstavby,
- zmenšiť počet domiešavačov s nasledovným dopadom: pravdepodobnosť predĺženia procesu v dôsledku nevyužitia čerpadla, negatívny dopad na celkové náklady vplyvom predĺženia výstavby,
- zmeniť objem bubna domiešavačov a ich počet.

B)Vyhodnotenie deterministických výstupov:

- podľa harmonogramu pri analýze reálneho stavu (4 x domiešavače s objemom 5 m³) trval cyklus práce domiešavača 80 min., s 10 min. čakaním na čerpadlo,
- deterministickým výpočtom (pre domiešavače s 5 m³ objemom bubna) vyšiel ako vhodný variant 5 domiešavačov,

C)Vyhodnotenie stochastických výstupov získaných pomocou teórie hromadnej obsluhy:

- stochasticky overený reálny stav na stavenisku, t. j. 4 x domiešavače 5 m³ vedie k predpokladanej intenzite prevádzky ($\rho = 0,859$),

By means of the mass service theory one gets a picture of the average longevity of a queue that in its turn will direct one to choose just the variant favourable for the space conditions of the construction because of the convenient average number of elements in the queue.

A)Evaluating the investigation – through observation the standstills of the concrete mixers were detected. As a solution there are possible the following suggestions:

- support pumping by a more efficient pump with the following impact: accelerating the process, need of a more effective team of concreters, enhancing investments for a pump and concreters but the final lowering the costs through the quicker construction work,
- lower down the number of concrete mixers with the following impact: probability of lengthening the process through the standstill of the pump, a negative impact on the whole costs influenced by lengthening the construction,
- change the drum volume of the concrete mixers and their number.

B)Evaluating the deterministic outputs:

- according to the timetable in analyzing the real state (4 x concrete mixers of the volume 5 m³) the duration of the concrete mixer's cycle of work was 80 min. with 10 min. of standstill in waiting for a pump,
- through a deterministic calculation (for concrete mixers with 5 m³ of the drum volume) the variant of 5 concrete mixers proved itself to be acceptable,

C)Evaluating the stochastic outputs obtained by the queuing theory:

- the stochastically verified real state on the building site, i.e. 4 x concrete mixers 5 m³ leads to the expected performance intensity ($\rho = 0,859$),

- súčiniteľ prestoja domiešavačov bude 47,2 % (1,89 domiešavačov vo fronte), t. j. priemerne strávia vo fronte 29 min. (deterministicky vyšlo 10 min.), priemerné využitie čerpadla je 98,6 % (ešte môžeme skúsiť znížiť počet domiešavačov),
- stochasticky overený deterministický návrh, t. j. 5 x domiešavače 5 m³ vedie k predpokladom, že na stavenisku sa budú tvoriť fronty ($\rho = 1,074$), priemerne budú stáť 3 domiešavače vo fronte, čo predstavuje 61 % prestoj, t. j. priemerne strávia vo fronte 46,3 min., priemerné využitie čerpadla bude 99,8 % (vysoká výkonnosť umožňuje ešte znížiť počet domiešavačov),
 - stochasticky overíme aj model s 3 domiešavačmi 5 m³ a získame informácie o poklese intenzity prevádzky na $\rho = 0,644$, súčiniteľ prestoja domiešavačov bude 27,2 % (0,81 domiešavačov vo fronte), t. j. priemerne strávia vo fronte 5,7 min., ale priemerné využitie čerpadla je 85,8 %,
 - stochasticky overíme ešte model so 4 domiešavačmi 9 m³ a vyššou výkonnosťou čerpadla, pri ktorom bude intenzita prevádzky $\rho = 0,706$, súčiniteľ prestoja domiešavačov bude 40,6 % (1,6 domiešavačov vo fronte), t. j. priemerne strávia vo fronte 24,3 min., priemerné využitie čerpadla je 95,3 %.

D)Záverčné vyhodnotenie:

Uvažujme orientačne čas začiatku tuhnutia čerstvého betónu 120 min.

- the coefficient of the concrete mixers' standstill will be 47,2 % (1,89 concrete mixers in a queue), i.e. they averagely will stay in the queue 29 min. (deterministically it was 10 min.), the average pump exploitation is 98,6 % (still one can try to lower down the number of concrete mixers),
- the stochastically verified deterministic suggestion, i.e. 5 x concrete mixers 5 m³ leads to assumptions that on the building sites there will be queues ($\rho = 1,074$), averagely there will be a standstill of 3 concrete mixers in a queue, which represents a standstill of 61 %, i.e. they averagely will stand in queue 46,3 min., the average pump exploitation will be 99,8 % (high efficiency makes lowering the number of concrete mixers still possible),
 - also the model with 3 concrete mixers 5 m³ will be stochastically verified and one will obtain the information that the performance intensity lowered down to $\rho = 0,644$, the concrete mixers' standstill coefficient will be 27,2 % (0,81 concrete mixers in a queue), i.e. averagely they will stay in a queue 5,7 min., but the pump average exploitation is 85,8 %,
 - still one will stochastically verify the model with 4 concrete mixers 9 m³ and a higher pump efficiency in which the performance intensity will be $\rho = 0,706$, the concrete mixers' standstill coefficient will reach 40,6 % (1,6 concrete mixers in a queue), i.e. averagely they will stay 24,3 min. in the queue, the average pump exploitation being 95,3 %.

D)The final evaluation:

Let us consider for guidance the time of starting the solidification of fresh concrete 120 min.

Po vylúčení časov súvisiacich s výrobou, dopravou a spracovaním čerstvého betónu nám zostane približne 30 min. na čakanie vo fonte. Ďalšie obmedzenie, ktoré súvisí s reálnou situáciou, nedovoľuje na stavenisku stáť vo fronte viac ako dvom domiešavačom.

Na základe vstupných podmienok, výpočtov a obmedzení budú v rozhodovacom procese vylúčené varianty: reálne pracujúca zostava so 4 domiešavačmi 5 m³ (vzhlľadom na hraničné hodnoty času vo fronte aj počet domiešavačov vo fronte), deterministicky určený variant s 5 domiešavačmi 5 m³ (vzhlľadom na čas vo fronte 46,3 min.), rovnako strojná zostava s 3 domiešavačmi 5 m³ (vzhlľadom na nízke využitie čerpadla). Optimálna bude zostava domiešavačov s väčším objemom bubna, ktorá spĺňa okrajové podmienky a prináša aj isté časové a finančné zlepšenie.

Na základe obdobného posúdenia ďalších 120 príkladov (80 betonárskych procesov a 40 zemných procesov), môžeme prijať niektoré závery. Analýze boli podrobené procesy na stavbách realizovaných na Slovensku, prevažne v Bratislave a okolí. Dopravné vzdialenosti dovozu čerstvého betónu aj odvozu zeminy boli do 20 km. Pri posudzovaní reálnej situácie na stavbách bolo možné vysledovať tri stavy:

- strojná zostava v reálna situácii pracovala optimálne, plynule, bez prestojov, t. j. zostava bola vyvážená,
- hlavný článok v strojnej zostave (žeriav, čerpadlo, rýpadlo) mal prestoje, t. j. zostava bola počtom požiadaviek (dopravných prostriedkov) poddimenzovaná,
- požiadavky v strojnej zostave mali prestoje, t. j. zostava bola počtom požiadaviek predimenzovaná.

After excluding the times of production, transport and processing the fresh concrete, the rest time is approximately 30 min. of waiting on a queue. The further limitation relative to the real situation in a building site does not allow staying in a queue more than two concrete mixers.

On the ground of the starting conditions, calculations and limitations in the consideration process the following variants will be excluded: the really functioning set with 4 concrete mixers 5 m³ (considering the extremal time values in a queue as well as the concrete mixers' number in the queue), the deterministically appointed variant with 5 concrete mixers 5 m³ (considering the time 46,3 min. in a queue), the same the machinery set of 3 concrete mixers 5 m³ (considering a low pump exploitation). A set of concrete mixers with a bigger drum volume that satisfies the limit conditions and also bring in certain time and financial improvement will be optimal.

On the base of a similar considering the next 120 examples (80 concrete laying processes and 40 earthmoving processes), certain conclusion can be accepted. The processes in the building construction places realized in Slovakia, mostly in Bratislava and the vicinity were analyzed. The transport distances of distributing fresh concrete as well as ground removal were up to 20 km far. In evaluating the real situation on building places the following 3 states could be detected:

- the machinery set in a real situation functioned optimally, smoothly, without standstills, i.e. the set was well balanced,
- the main segment in the machinery set (a crane, a pump, an excavator) had standstills, i.e., the set as to the number of claims (means of transport) was undersized,
- the claims in the machinery set had standstills, i.e. the set as to the number of claims was overlarge.

Druhy, typy, počty prvkov a podmienky v sledovaných procesoch sa stali podkladom pre nový návrh strojných zostáv pomocou deterministických výpočtov. Následne bola pomocou teórie hromadnej obsluhy overená pravdepodobnosť správania reálnej aj deterministicky navrhutej strojnej zostavy a vybraný optimálny model.

Po analýze jednotlivých výstupov je možné prijať niektoré zovšeobecňujúce poznatky vyjadrené aj v tabuľke 1. Uvádza, ako sa vzájomne líšili počty požiadaviek v strojných zostavách vypočítaných deterministicky a stochasticky oproti reálnej situácii na stavbe.

The elements, kinds, types, numbers of elements and conditions in inspected processes began to be the ground for a new suggestion of machinery sets by means of deterministic calculations. In turn with the help of the mass service theory was proved the probability of behaving the real as well as the deterministically suggested machinery set and so was chosen an optimal model.

After analyzing the individual outputs it is possible to accept some general knowledge also expressed in table 1. It shows how the numbers of claims in machinery sets calculated deterministically and stochastically were different from the real situation on a building site.

Tab. 1 Porovnanie výstupov podľa jednotlivých metód

Tab. 1 Comparison of outputs according to the individual methods

Realita /Reality	Deterministický výpočet Deterministic calculation	Stochastický výpočet Stochastic calculation
optimálna optimal	väčší počet greater number	rovnaký počet equal number
predimenzovaná overlarge	rovnaký alebo väčší počet equal or greater number	menší počet lower number
poddimenzovaná undersized	rovnaký alebo väčší počet equal or greater number	väčší počet greater number

Z tabuľky vyplýva, že deterministický výpočet vedie prevažne k predimenzovaniu strojných zostáv (v rozsahu 1 – 5 požiadaviek) v porovnaní s optimálnou reálnou zostavou. Dobre fungujúca reálna strojná zostava bola stochastickým výpočtom potvrdená. Intenzita prevádzky deterministicky navrhutej strojnej zostavy bola najčastejšie $\rho > 1$ a požiadavky trávili priemerne 50% času vo fronte. Využitelnosť hlavných článkov bola síce vysoká (95 % – 100 %), čo zaručovalo splniteľnosť cieľa, ale so zbytočnými nákladmi na požiadavky čakajúce vo fronte.

Niektoré stavebné procesy vykazovali zhodu medzi reálnou situáciou, deterministickým výpočtom a stochastickým návrhom. Väčšinou sa to

From the table it is clear that the deterministic calculation mostly leads to overlarge machinery sets (in the range 1 – 5 claims) compared to the optimal real set. The well-working real machinery set was confirmed by a stochastic calculation. The performance intensity of the deterministically suggested machinery set mostly was $\rho > 1$ and the claims stayed averagely 50 % time in a queue. The main segments exploitation was high (95 % – 100 %) which guaranteed fulfilling the task but it was with profitable costs of claims waiting in the queue.

Some construction processes showed a match between the real situation, the deterministic calculation and the stochastic suggestion. Mostly it was true in a lesser

týkalo menšieho počtu požiadaviek (2 - 3) pri malých vzdialenostiach (cca do 2 km) .

Rozdielne výstupy je možné sledovať medzi samotnými stavebnými procesmi. Napríklad zemné procesy sú charakteristické väčšími rozdielmi medzi deterministickými výstupmi a stochastickými. Najväčšie rozdiely (4 - 5 požiadaviek) vznikali pri väčších vzdialenostiach (7 – 20 km), keď bolo treba celkovo navrhnuť viac dopravných prostriedkov (4 – 8). Zhodné výstupy sa dosiahli do menších vzdialeností odvozu zeminy (do 7 km) pri návrhu menšieho počtu vozidiel (2 – 3).

Betonárske procesy vykazujú menšie rozdiely medzi deterministickými a stochastickými výpočtami. Výstupy sa ale líšili v prípade nerovnakej obsluhy. Ak požiadavky obsluhoval žeriav, vznikla zhoda medzi výpočtami pri vzdialenostiach do 10 km a malých objemoch domiešavačov (do 6 m³), a to v počte 2 – 3 vozidlá. V ostatných prípadoch bol stochastický návrh optimálnej zostavy menší o jeden dopravný prostriedok oproti deterministickému.

Ak požiadavky obsluhovalo čerpadlo, výpočty boli zhodné do vzdialenosti 10 km, a to 2 – 4 domiešavače. V ostatných prípadoch bol rozdiel opäť o jedno vozidlo. To neplatilo pri väčších vzdialenostiach (nad 10 km) a malých objemoch bubna (5 – 6 m³), kedy bolo potrebných viac domiešavačov (4 – 5) a rozdiely medzi deterministickým výpočtom a stochastickým boli väčšie (3 – 4 domiešavače). Všeobecne sú malé objemy domiešavačov pomocou čerpadla rýchlo vyprázdnené, takže ich počet pre jeho plynulú prácu musí byť väčší.

V procese výstavby sa stretávame s podobnými procesmi. Navrhnuť vhodný model a pracovať s ním umožňuje použiť niekedy jednoduché prístupy a inokedy vyžaduje náročné experimentálne sledovanie. To sa bez počítačovej podpory nezaobíde.

number of claims (2 - 3) in short distances (approximately up to 2 km).

The different outputs can be observed among the building processes themselves. E.g. earthmoving processes are characteristic with bigger differences between deterministic and stochastic outputs. The biggest differences (4 - 5 claims) occurred in longer distances (7 – 20 km) when it was needful wholly to suggest more means of transport (4 – 8). Identical outputs were reached up to shorter distances of the ground disposal (up to 7 km) when a lesser number of vehicles was suggested (2 – 3).

Concrete laying processes show minor differences between deterministic and stochastic calculations. Yet, the outputs differed in case of various service. If the claims were realized by a crane, there was identity between the calculations in distances up to 10 km and the small volumes of a drum (up to 6 m³) in the number 2 – 3 vehicles. In the rest of cases the stochastic suggestion of the optimum set was smaller by one means of transport compared to the deterministic one.

If the claims were catered for by a pump, the calculations were identical up to the distance 10 km, namely 2 – 4 concrete mixers. In the rest of cases the difference was again by one vehicle. It was not true in longer distances (over 10 km) and small drum volumes (5 – 6 m³) when more concrete mixers were needed (4 – 5) and differences between a deterministic and stochastic one were bigger (3 – 4 concrete mixers). Generally small concrete mixers' volumes with the help of a pump are quickly empty so their number for its smooth function must be larger.

In a construction process one meets similar processes. Suggesting a suitable model and working with it enables us sometimes to use simple approaches and sometimes it requires demanding experimental investigation. It cannot do without a computer's help.

6 ZÁVER

Cieľom prípravy výstavby je premyslieť a navrhnuť postup výstavby tak, aby sme dodržali všetky ciele. Metódy a prostriedky si vyberáme vždy podľa konkrétnych podmienok. Pri príprave niektorých stavebných procesov je hlavnou úlohou návrh optimálnej strojnej zostavy.

Deterministické metódy sú všeobecne jednoduchšie a teda aj používanjšie. Dávajú však len malý obraz o možnom priebehu stavebného procesu. Teória hromadnej obsluhy je náročnejšia, ale dáva viac informácii o pravdepodobnom dianí na stavbe. Na základe analýzy sledovaných procesov môžeme predpokladať, že uplatnením stochastických prístupov pri príprave výstavby ušetríme čas aj náklady, ktoré počas realizácie môžu nedostatočnou prípravou vzniknúť.

K náročným podmienkam výstavby sa ešte lepšie priblížime pomocou počítačovej simulácie. Vznik vhodných simulačných programov priniesol možnosť experimentovať na zostavenom modeli stavebného procesu a plánovať jeho budúci priebeh. Rozhodovanie sa tým stáva menej práčne, rýchlejšie a komplexnejšie.

6 CONCLUSION

The goal of construction preparation is to consider and suggest the construction proceeding in such a way that all the targets are reached. Methods and means are to be chosen always in accord with the existing conditions. In preparing some building processes the main goal is suggesting the optimal machinery set.

Deterministic methods are generally simpler and so the most often used. Yet they provide only a small picture about the possible course of a building process. The queuing theory is more ambitious but it brings more information about the probable situation on a building site. On the base of analyzing the observed processes one can assume that through applying stochastic approaches in preparing the construction both the time and the costs can be economized while in case of unsatisfactory preparation they can occur.

A computer simulation enables us to more closely approach to the exacting construction conditions. Establishing suitable simulation programs has brought the possibility to make experiments on assembled model of the construction process and to plan its future course. In this way consideration is less laborious, quicker and more complex.

Literatúra / References

- [1] Briatka, P., Štefánik, L., Makýš, P.: Mimostavenisková doprava čerstvého betónu a vplyv teploty prostredia. *Beton. Technologie. Konstrukce. Sanace.* 4/2009, s. 30-35.
- [2] Hulínová, Z.: Modelovanie stavebných procesov. *Modelovanie v čase.* STU Bratislava 2009, ISBN 978-80-227-3160-7, 81 s..
- [3] Sakál, P., Štrpka, A.: Operačná a systémová analýza. *ES SVŠT Bratislava*, 1983, s. 232 - 250, 85-425-83.
- [4] Unčovský, L.: Stochastické modely operačnej analýzy. *ALFA Bratislava* 1980, 63-557-80, s. 17-307.

Recenzia/Review: doc. Ing. Gabriel Fedorko, PhD.