

Janka Šestáková – Milan Mikšík \*

## EKOTECHNOLÓGIE PRI OPRAVÁCH KONŠTRUKCIE PODVALOVÉHO PODLOŽIA

### ECOTECHNOLOGIES FOR THE RECONSTRUCTIONS OF RAILWAY SUBGRADE CONSTRUCTION

*V súčasnosti sa v spojení s modernizáciou železničnej siete na našom území dostáva do popredia otázka trvalej stability geometrickej polohy kolaje. Táto je podmienená dodržaním predpísanej únosnosti celej konštrukcie podvalového podložia. Preto sa zriaďujú konštrukčné vrstvy, ktoré sa podieľajú na celkovom zvýšení jeho kvality.*

*Stavebná a prevádzková činnosť železničnej dopravy musí byť riadená s ohľadom na pravidlá ochrany životného prostredia. Ich rešpektovanie je dosiahnuteľné využívaním recyklovaných materiálov ale aj technológií, ktoré čo najviac sústreďujú pracovné činnosti priamo do osi kolaje.*

#### 1. Úvod

Kvalita klasickej konštrukcie jazdnej dráhy s kolajou uloženou v kolajovom lôžku, najmä stabilita geometrickej polohy kolaje, je závislá predovšetkým od správania sa materiálov železničného telesa prevádzkovej trate v nepriaznivých klimatických podmienkach. Na základe pôsobenia týchto vonkajších faktorov nastáva zhoršovanie vlastností (najmä znižovanie únosnosti) materiálov konštrukčných vrstiev podvalového podložia. V súčasnej dobe je aktuálnou otázkou zvyšovanie únosnosti zemnej pláne pri využití materiálov získaných pri samotných sanačných prácach.

#### 2. Stav konštrukcie podvalového podložia pred opravnými prácami

Z hľadiska správania sa materiálov v železničnom telese je nutné vykonať opravné práce konštrukcie podvalového podložia z týchto dôvodov:

- materiál pod kolajovým lôžkom je tvorený nepriepustnými namŕzavými zeminami
  - nastáva premena zeminy (vplyvom pôsobenia zrážok a striedania záporných a kladných teplôt);
  - nasleduje deformácia zemnej pláne;
  - a zatlačovanie zrn kolajového lôžka do zeminy;

*Nowadays the question of the constant stability of the geometry position of the track in connection with modernization of the railway network in our territory is relevant. That is conditioned by the compliance of the rated carrying capacity of the whole subgrade construction. Therefore construction layers are built, which take part in the total increase of its quality.*

*The building and operating work of the railway transport has to be managed with regard to the protection of the environmental rules. Observing the rules is available by the implementation of recycled materials. It's possible to accomplish it by using the technologies, which focus on working activities directly to the center track line.*

#### 1. Introduction

The quality of the standard construction of railway with track bedded in the ballast (especially geometric position of track stability) depends, first of all, on behavior of railway track formation materials on operation line in unfavorable climatic conditions. Negative impact of external factors results in deterioration of properties (mainly decrease of carrying) of subgrade construction materials layers. To raise the carrying capacity of formation at use of acquired materials by reconstruction works is a topical issue nowadays.

#### 2. Condition of a subgrade construction before reconstruction works

From the point of view of behavior of railway track formation materials it is needed to realize the reconstruction works in subgrade construction on the basis of the following reasons:

- if material under ballast is composed of watertight congeal soils
  - the change of parameters in soil (by precipitation influence and changing temperatures above or below zero) starts there;
  - the formation deformations followed;
  - and ballast grains are pushed to soil;

\* Ing. Janka Šestáková, Assoc. Prof. Milan Mikšík, Ph.D.,

Department of Railway Engineering and Track Management, Faculty of Civil Engineering, University of Žilina, Komenského 52, 010 26 Žilina, Slovakia, Tel.: ++421-41-7634 818, Fax: ++421-41-7233 502, E-mail: janase@fstav.utc.sk, miksik@fstav.utc.sk

- materiál podložia je vyhovujúci, ale štrk koľajového lôžka má nepriaznivú zrnitosť (veľké množstvo častíc nízkej frakcie)
  - dochádza k premiešaniu drobného štrku s časticami hmôt prepravovaných dráhovými vozidlami a so zrážkovou vodou;
  - zmes je vyplavovaná na spodnú časť koľajového lôžka;
  - a vytvorí niekoľkokentimetrovú nepriepustnú vrstvu.

Vonkajším prejavom obidvoch možností je znečistenie koľajového lôžka, pokles únosnosti celej konštrukcie a následný rozpad geometrickej polohy koľaje.

S ohľadom na výber pracovného postupu zvýšenia únosnosti celej konštrukcie železničného telesa sa stáva smerodajnou dlhodobá kvalita materiálu koľajového lôžka. Tento materiál je v dostatočnom predstihu pred vlastnými sanačnými prácami testovaný nielen z hľadiska použiteľnosti v novom koľajovom lôžku, ale aj pre použitie v novej konštrukčnej vrstve, ktorá sa významnou mierou podieľa na zlepšení vlastností zrekonštruovaného železničného telesa a tým samotnej jazdnej dráhy.

### 3. Prevádzková diagnostika

Diagnostika konštrukcie koľajového lôžka sa člení na:

- *prevádzkovú diagnostiku* – základná zložka komplexného systému diagnostiky, hodnotí celkový stav konštrukcie koľajového lôžka pod vplyvom prevádzkového zaťaženia;
- *vstupnú diagnostiku* – hodnotí technické a ekologické parametre materiálu koľajového lôžka už vo forme výziskového materiálu pri vstupe do komplexného regeneračného procesu mimo osi koľaje;
- *výstupnú diagnostiku* – hodnotí technické a ekologické parametre výrobkov ako materiálu do konštrukcie koľajového lôžka.

Prevádzková diagnostika materiálu koľajového lôžka zisťuje a hodnotí technickú kvalitu materiálu na základe výsledkov laboratórnych analýz vzoriek hodnotiacich parametrov: zrnitosť, tvar zŕn, zaoblenosť hrán, cudzorodé častice a odplaviteľné častice.

Hodnotenie materiálu koľajového lôžka určuje z hľadiska jeho kvality tri kvalitatívne stupne technologického spracovania materiálu:

- *0. kvalitatívny stupeň hodnotenia* – bez regenerácie;
- *I. kvalitatívny stupeň* – čiastočná regenerácia v osi koľaje (strojná čistenie);
- *II. kvalitatívny stupeň* – úplná regenerácia mimo osi koľaje (recyklácia);
- *III. kvalitatívny stupeň* – úplná regenerácia v osi koľaje (recyklácia).

Začlenenie jednotlivých stupňov diagnostiky konštrukcie koľajového lôžka a kvalitatívnych stupňov technologického spracovania materiálu koľajového lôžka do obehového systému hospodárenia s materiálom je na obr. 1.

- if material under ballast is convenient but ballast's gravel has unfavorable granularity (there is a lot of fine elements)
  - the mixing of tiny gravel with elements of material transported by rail vehicles and surface water occurs here;
  - the mixture is washed up to the bottom part of ballast;
  - and it creates a few centimeters of thin non-permeable layer.

Contamination of ballast, decreases of carrying capacity of the whole construction and consequent next destruction of geometric position of track is an external attribute of both possibilities.

The long – term quality of ballast material becomes decisive with respect to the choice a working procedure for raising the whole railway body construction carrying capacity. This material is checked well ahead before self-reconstruction works. It's checked from the point of view of applicability in new ballast and for usage in a new construction layer too. This construction layer takes part in attributes innovation of restored railway track body with major importance. That takes part a in railway line as well.

### 3. Operating diagnostic

Diagnostic of ballast construction is divided into:

- *operating diagnostic* – it is the basic component of a global diagnostic system; it evaluates the total condition of ballast construction under the thumb of load in a running order;
- *start diagnostic* – it evaluates technical and ecological parameters of ballast material in the recycling acquired material form by start to global regenerative process outside track center line;
- *output diagnostic* – it evaluates technical and ecological parameters of products like the material used for ballast construction.

Operating diagnostic of ballast material finds and evaluates technical quality of material on the basis of results from a laboratory analysis. The following evaluation parameters are detected: granularity, form of grain, chamfers of grain edge, strangeness elements and washed away elements.

Evaluation of ballast material determines three qualitative levels from technological processing quality materials point of view:

- *the qualitative level 0.* – without regeneration;
- *the qualitative level I.* – partial regeneration in track center line (machine cleaning);
- *the qualitative level II.* – complete regeneration outside track center line (recycling);
- *the qualitative level III.* – complete regeneration in track center line (recycling).

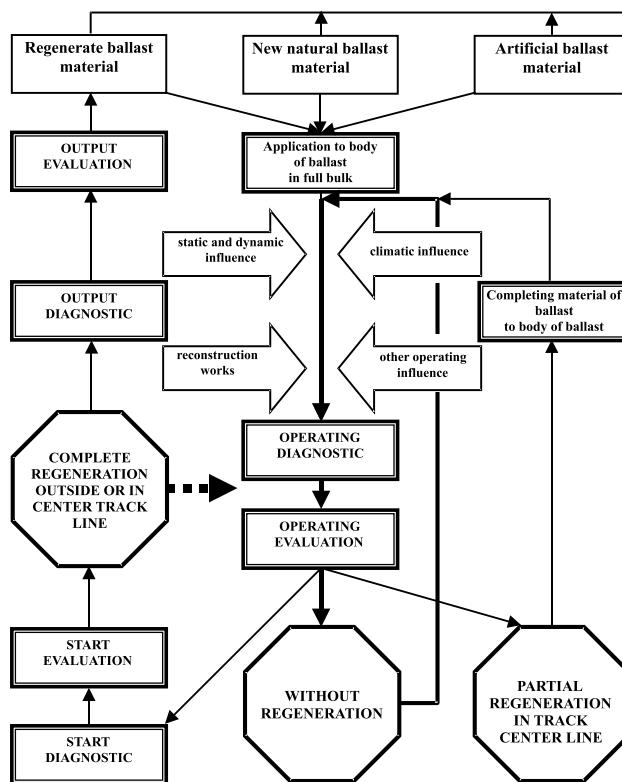
Incorporation of several degrees of ballast construction of the diagnostic and qualitative degrees of ballast material technology processing to system of cycle of material economy is in the Fig. 1.

#### 4. Technológie regenerácie získaného materiálu

##### 4.1 Čiastočná regenerácia materiálu koľajového lôžka v osi koľaje

Čiastočnú regeneráciu materiálu koľajového lôžka predstavuje technologická operácia strojného čistenia koľajového lôžka v rámci systému opravných prác železničného zvršku. Realizácia strojného čistenia zlepšuje nasledovné technické parametre materiálu:

- *zrornosť* – mechanické triedenie materiálu na dve základné frakcie podľa veľkosti triediaceho síta,
- cudzorodé a odplaviteľné častice pri predpoklade, že cudzorodé častice tvoria súčasť jemných a drobných frakcií materiálu a nadmerná vlhkosť materiálu nespôsobuje vysokú lepiivosť – nutná simulácia procesu strojného čistenia v laboratórnych podmienkach a jej hodnotenie.



Obr. 1. Začlenenie kvalitatívnych stupňov technologického spracovania materiálu koľajového lôžka do obehového systému hospodárenia  
Fig. 1. The incorporation of the qualitative degrees of ballast material technology processing to the system of cycle of material economy

##### 4.2 Úplná regenerácia materiálu koľajového lôžka mimo osi koľaje

Pri úplnej regenerácii materiálu koľajového lôžka mimo osi koľaje (recyklácii) je materiál spracovaný dostupnými technológiami s výsledným efektom prinávratenia, resp. priblíženia a v niektorých prípadoch dokonca vylepšenia pôvodných vlastností materiálu. Hodnotenie v rámci vstupnej diagnostiky kvality materiálu rozhoduje, či príslušný technologický postup recyklácie obsahuje len mechanické, alebo aj chemické technologické operácie.

##### 4.3 Úplná regenerácia materiálu koľajového lôžka v osi koľaje

Materiál koľajového lôžka je pri úplnej regenerácii v osi koľaje komplexne spracovaný priamo v rámci zostavy mechanizmov nasadených na sanáciu konštrukčných vrstiev podvalového podlažia.

Získaný recyklovaný materiál je podľa výslednej frakcie použiteľný ako prídavný materiál do novozriadovanej konštrukčnej vrstvy. Niektoré technológie úplnej regenerácie v osi koľaje využívajú regenerovaný materiál pre znovuzriadenie koľajového lôžka.

#### 4. Technologies of recycling acquired material regeneration

##### 4.1 Partial regeneration of ballast material in track center line

Technological operation “machine cleaning of ballast” intro-system of permanent way reconstruction works presents partial regeneration of ballast material. Realization of machine cleaning innovates the following technical parameters of material:

- *granularity* – mechanical sorting of material for two main fractions according to size of sorterscreen;
- heterogeneous and washed away elements when it is supposed that
  - heterogeneous elements constitute a fine and tiny fraction of material;
  - in this case the simulation of machine cleaning process in laboratory conditions and the valuation of this operation are needed.

##### 4.2 Complete regeneration of ballast material outside track center line

There is a material processed by available technologies. The resulting effect of these technologies is original attributes of material return or upgrading. Valuation quality of material intro-system start diagnostic decides relevant technological procedure of recycling includes mechanical technological operations only or chemical technologies too.

##### 4.3 Complete regeneration of ballast material in track center line

Ballast material is globally processed in complete regeneration in a track center line directly in a; configuration of machines, which work by reconstruction of subgrade construction layers.

The acquired recycling material is used as an inserted material to a newly built construction layer (formation protective layer) according to the final fraction. Some technologies of a complete regeneration in track center line use regenerated material for ballast rebuild.

Pri veľmi výrazne znečistenom koľajovom lôžku je vhodné pred úplnou regeneráciou v osi koľaje využiť možnosti regenerácie čiastočnej. Materiál koľajového lôžka je týmto spôsobom upravený pre efektívnejšie využitie v systéme úplnej regenerácie.

## 5. Ekotechnológie

### 5.1 Hlavné požiadavky na moderné pracovné postupy opráv železničného spodku

V súčasnej dobe sa popri potrebe ekonomickej a časovej efektivity sanačných prác dostáva do popredia aj ich čo najmenší vplyv na životné prostredie. V železničnej doprave je vzhľadom na spôsoby výstavby, prevádzkovania a opráv riešenie tejto problematiky ešte naliehavejšie. Preto je vhodné vykonávať sanácie takými pracovnými postupmi, ktoré rešpektujú požiadavku na

- čo najkratšie vylúčenie sanovanej koľaje z prevádzky;
- minimalizáciu vplyvov činností súvisiacich s opravami prácami na prevádzku v ostatných koľajach;
- čo najmenej náročnú manipuláciu s jednotlivými konštrukčnými prvkami a materiálmi telesa železničnej trate;
- kvalitný výsledný „produkt“ s následnými racionálnymi prevádzkovými a udržiavacími nákladmi.

Takéto nároky najviac spĺňajú ucelené pracovné linky, ktoré sú schopné komplexne vykonať všetky operácie súvisiace s opravou konštrukcie podvalového podložia bez nutnosti znesenia koľajového roštu. Tieto špecializované strojné zostavy pracujú s vysokou časovou účinnosťou. Pri projektovej príprave vlastných sanačných prác je preto vhodné zväziť výhodnosť ich nasadenia oproti nasadeniu konvenčných technológií (so znesením koľajového roštu).

### 5.2 Ekotechnológie úplnej regenerácie materiálu koľajového lôžka v osi koľaje

Z hľadiska súvislosti prác pri sanácii podvalového podložia sa javí prelomovou technológiou realizovaná pracovnou linkou

Before complete regeneration in a track center line a partial regeneration is applicable in case of very expressively contamination ballast. Ballast material is reconditioned for more effective utilization into the system of complete regeneration this way.

## 5. Ecotechnologies

### 5.1 Main requirements for modern work procedures of a subgrade reconstruction

Nowadays the smallest influences on the environment are important apart from economic and time effects of reconstruction. In the railway transport it is even more urgent (considering process of building-up, operation and reconstruction) to solve this problem. Therefore it is appropriate to carry out reconstruction by work operations, which respect request for

- the shortest closing time of line under reconstruction;
- minimalization of influences from operation connected with reconstruction works for operation in other trail railway activity;
- the least difficult manipulation with railway track's body elements and materials;
- qualitative final product with subsequent rational operating and maintenance costing.

Those requirements are realized by integrated operating formations, which are able to entirely make all operation related with subgrade's construction reconstruction without necessity of track removal. These special machine formations work with high time effects. Advantages of this formation employment compared with conventional technologies (with track removal) need to be considered at project preparation of reconstruction's work.

### 5.2 Ecotechnologies for complete regeneration of ballast material in track center line

In term of reconstruction subgrade compactness technology realized by configuration *AHM 800 R* (fig. 2) appears to be upheaval.



Obr. 2. Technologická zostava AHM 800 R  
Fig. 2. Technology configuration AHM 800 R

*AHM 800 R* (obr. 2). Táto kompaktná pracovná linka je schopná vykonať sanáciu bez znesenia koľajového roštu. Súčasťou zostavy *AHM 800 R* je priamo recyklačná linka pre materiál starého koľajového lôžka, ktorý je po regenerácii použitý (po zmiešaní s novým materiálom) do novej konštrukčnej vrstvy podvalového podložia v materiáli s požadovanou krivkou zrnitosti (tzv. minerálbetón).

Integrovaná recyklácia materiálu koľajového lôžka a jeho racionálny pohyb vo vnútri pracovnej linky zaručuje:

- zníženie nákladov na dopravu a spotrebu materiálu;
- ekonomické využitie vyťaženého materiálu;
- bezprostrednú separáciu znečisteného a znečisťujúceho materiálu od materiálov novej konštrukcie železničného telesa;
- minimálnu dobu, počas ktorej je zemná pláň odkrytá;
- minimálne ovplyvňovanie železničnej prevádzky na druhej koľaji.

Časová náročnosť technológie komplexnej rekonštrukcie železničnej trate s využitím klasických postupov (úplná regenerácia materiálu koľajového lôžka mimo osi koľaje) a technológie *AHM 800 R* (úplná regenerácia materiálu koľajového lôžka v osi koľaje) je zobrazená na obr. 4 a 5.

Vzorový rekonštruovaný úsek dĺžky 500 m sa nachádza na dvojkoľajnej trati. Podvalové podložie sa navrhuje s geotextíliou a podkladnou štrkopieskovou vrstvou hrúbky 0,60 m (klasická technológia), resp. 0,55 m (technológia *AHM 800 R*).

Z grafov vyplýva, že postup rekonštrukcie priamo v osi koľaje, ktorého súčasťou je technológia *AHM 800 R*, má asi polovičnú časovú náročnosť klasickej rekonštrukcie zahŕňajúcej znesenie koľajového roštu a úplné odstránenie koľajového lôžka a sanovaných vrstiev podvalového podložia.

Princíp pracovnej činnosti zostavy *RPM 2002* (obr. 3) nadväzuje na technologický rad, do ktorého patrí *AHM 800 R*.

This compact formation of machines is able to realize the reconstruction without track removal. Component part of formation *AHM 800 R* is directly recycling formation for old ballast material used for new formation protective layer after regeneration (after its mixture with new material) in material with requisite line of granularity (so-called mineralbeton).

Integrated recycling of ballast material and its rational movement into formation assure:

- reduction of cost for material transport and consumption;
- economical utilization of acquired recycling material;
- immediate separation of contaminated material from new subgrade construction material;
- minimal period subgrade is open during it;
- minimal influence on the second track railway activity.

Time consumption of the complex reconstruction of railroad technology using standard methods (complete regeneration of ballast material (BM) outside the track center line) and technology *AHM 800 R* (complete regeneration of ballast material in the track center line) is displayed in Figs. 4 and 5.

The model reconstructed part of railway with the length of 500 m is laid in the double track. Subgrade is designed with geotextile and new formation protective layer (FPL) with the thickness 0,60 m (standard method) or 0,55 m (technology *AHM 800 R*).

The reconstruction directly in the track center line - by the technology *AHM 800 R* - has the half time consumption from the standard method, which includes the track removal and complete removing of ballast material and material of subgrade reconstruction layers, results from graphs.

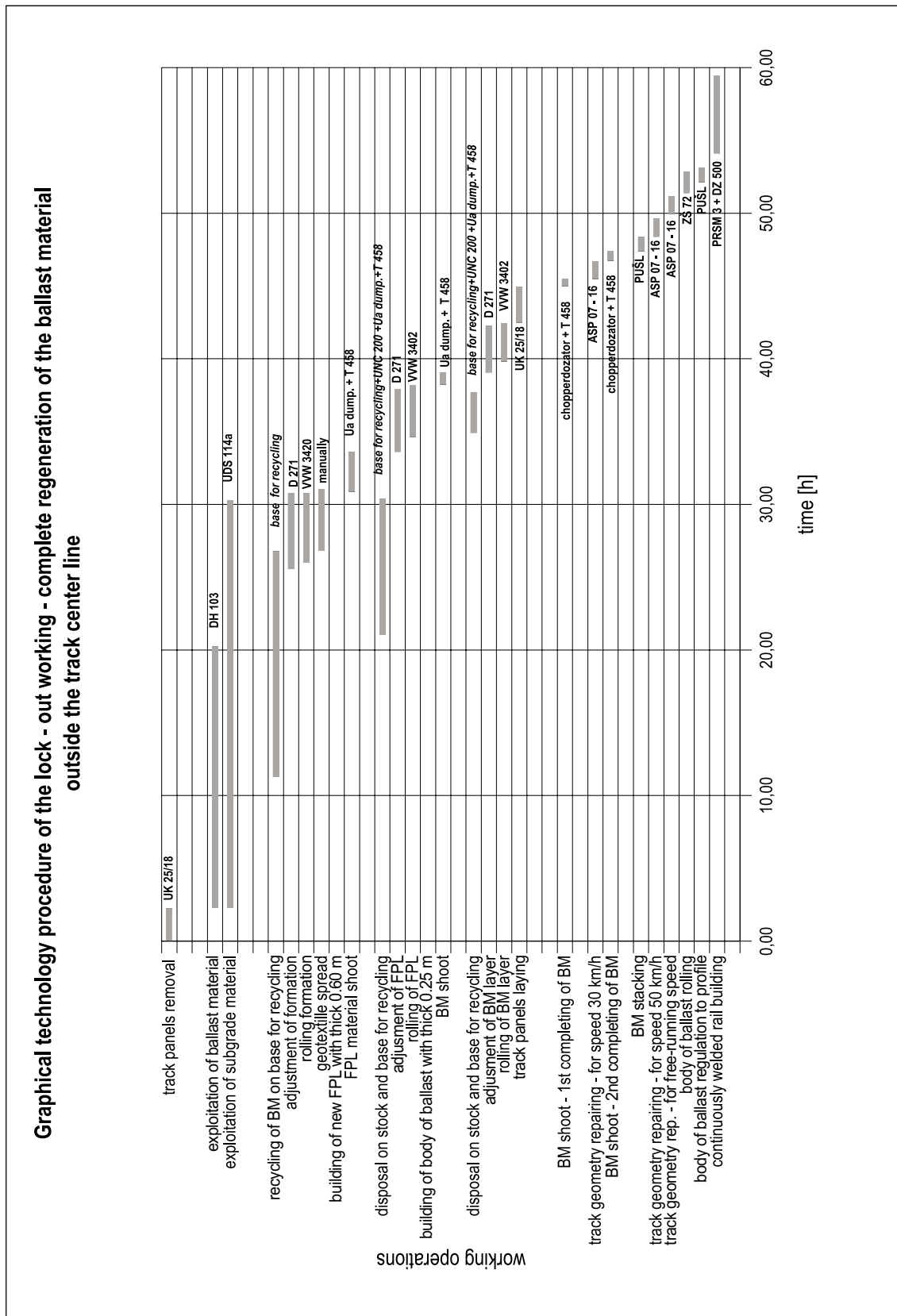
Work operation principle of formation *RPM 2002* (Fig. 3) fasten on technology sequel, including *AHM 800 R*.



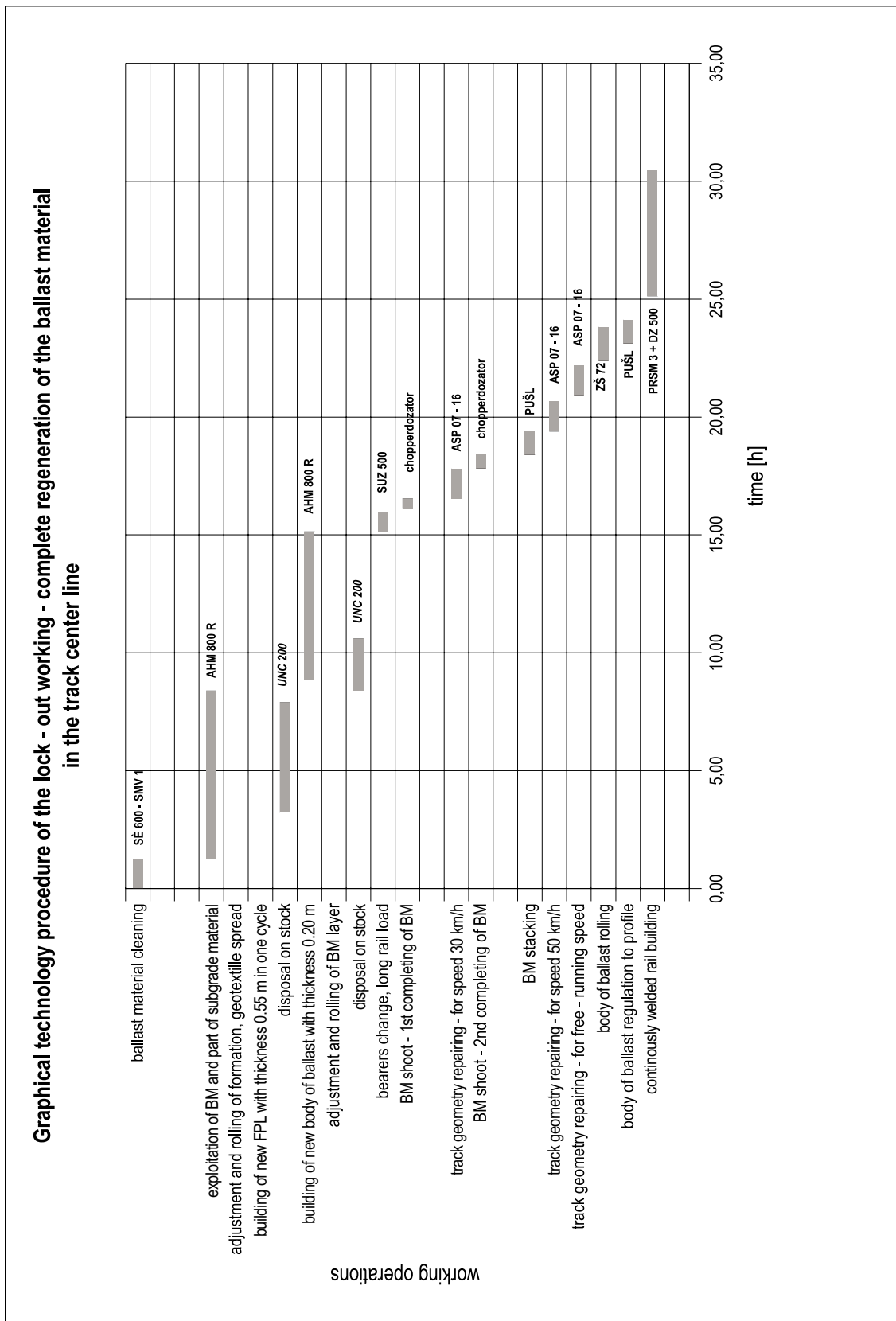
Obr. 3. Technologická zostava *RPM 2002*  
Fig. 3. Technology configuration *RPM 2002*

Tak isto využíva výhody sanácie bez znesenia koľajového roštu a regenerácie materiálu koľajového lôžka priamo v pracovnej linke. Posun k lepšiemu sa prejavuje vo využití recyklátu. Regenerovaný materiál koľajového lôžka je rovnako ako pri *AHM 800 R* pridávaný do novoziadovanej podkladnej vrstvy podvalového podlo-

It uses advantages of regeneration without track removal and ballast material regeneration directly in machine formation as well. Advancement is shown in recycling acquire material utilization. Regenerated ballast material is as well as in *AHM 800 R* added to new formation protection layer, but part of its is returned



Obr. 4. Grafický technologický postup komplexnej rekonštrukcie železničnej trate - úplná regenerácia materiálu kolajového lôžka mimo osi koláje  
 Fig. 4. Graphical technology procedure of the complex reconstruction of the railway - complete regeneration of the ballast material outside the track center line



Obr. 5. Grafický technologický postup komplexnej rekonštrukcie železničnej trate - úplná regenerácia materiálu kolajového lôžka v osi koláje  
Fig. 5. Graphical technology procedure of the complex reconstruction of the railway - complete regeneration of the ballast material in the track center line

žia, ale časť sa tiež vráti späť do koľajového lôžka. Takto sanované úseky železničnej trate sú prevádzkyschopné už po príslušnej smerovej a výškovej úprave koľajového roštu.

## 6. Záver

Zvýšené nároky v spojení s plynulým nasadením technológií využívajúcich regeneráciu materiálu priamo v osi koľaje sú kladené na prípravné práce pred začiatkom sanácie. V úseku, na ktorom sa uvažuje s ich nasadením, je potrebné:

- vykonať adekvátny geotechnický prieskum, ktorého výstupom je
  - ucelený prehľad o materiáloch pod koľajovým lôžkom;
  - detailný návrh parametrov konštrukčných vrstiev podvalového podložia;
- posúdiť priechodnosť s ohľadom na priechodný prierez zostavy v prepravnej i pracovnej polohe;
- zaznamenať polohu miest obmedzujúcich možnosti činnosti celej pracovnej linky, a to
  - umelých stavieb (mosty, priepusty);
  - úrovňových križovaní;
  - základov stožiarov a návěstidiel zasahujúcich do pracovného záberu;
- kvalitatívne zhodnotiť a kvantitatívne odhadnúť materiál koľajového lôžka pre
  - výrobu novej podkladnej vrstvy (minerálbetón) – AHM 800R, RPM 2002;
  - jeho spätné vrátenie do nového koľajového lôžka – RPM 2002.

Aj na základe zistenia týchto vstupných podmienok a ich vplyvu na celkovú časovú, ekonomickú, materiálovú a ekologickú efektívnosť je možné rozhodnúť sa pre použitie technológie opravy podvalového podložia bez znesenia koľajového roštu (AHM 800R, RPM 2002) alebo technológie klasickej.

## 7. Literatúra - References

- [1] ŠESTÁKOVÁ, J.: *Technologické postupy prác pri modernizácii a optimalizácii železničných tratí a staníc*, Plan of thesis, Žilina 1998;
- [2] MIKŠÍK, M.: *Kreislaufwirtschaft mit dem Schotterbettmaterial*, In: Proceedings „Second Scientific Conference JP Faculty of Transport“, Section 3, 4, Pardubice, 2000, p. 237 – 242;
- [3] Advertising brochures of Swietelsky firm;
- [4] Plasser&Theurer: <http://www.eurailpress.com/plasser/>.

to ballast. Such reconstruction distances of railway are able to operate after track is adjusted in its longitudinal alignment.

## 6. Conclusion

Increased demands in connection with continuous technology employment using material regeneration directly in track center line, are bestowed on preparation works before the reconstruction starts. In a distance where these technologies are under consideration is needed:

- to carry out an adequate geotechnical prospecting the result of which is
  - integrated view of materials under ballast;
  - detailed parameter design of subgrade construction layers;
- to take measure of capacity with reference to structure gauge of machine formation – in transfer and operating position;
- to register a position of places, which restrict operation possibilities of the whole machines formation, namely
  - subgrade's buildings (bridges, pass filters);
  - overheads;
  - concrete foundations of masts and semaphores (if they interfere with a machine's operation area);
- to evaluate quality and to estimate quantity of ballast material for
  - making a new formation protective layer (minerálbetón) – by AHM 800R and RPM 2002;
  - return this one to the new ballast – by RPM 2002.

Following this detection of the start conditions and their influence on total time, economical, raw material and ecological effects it is possible to decide on technology usage of subgrade reconstruction without track removal (AHM 800 R, RPM 2002) or for usage of the standard technology.