

STUDIU DE CAZ PENTRU SERVICII DE TRANSPORT PUBLIC

Acest studiu de caz tratează aspecte de implementare a modelului generic de sistem pentru servicii (SServ), concentrându-se pe componenta cea mai reprezentativă a modelului – Organizarea și Configurarea unui Serviciu (OCS), ca răspuns la cererea de ofertă a unui client. OCS este parte a macro-componentei de Management al Serviciului (MS) în cadrul ciclului de viață căruia îi este asociat modelul de sistem informatic. Pe baza principiilor de interacțiune furnizor-client evidențiate de componenta CRM sunt analizate cerințele unui serviciu dintr-o clasă reprezentativă – servicii de transport public. Studiul de caz inclus descrie calculul capacităților de realizare a serviciului ca răspuns la cerere, planificarea și secvențierea activităților și alocarea resursei umane și tehnologice. Sunt referite metodele și algoritmii disponibili în biblioteca OCS creată pentru implementarea software a modelului OCS; rezultatele obținute validează soluțiile de proiectare propuse.

1 MANAGEMENTUL SERVICIULUI DE TRANSPORT PUBLIC. CRITERII DE ORGANIZARE ȘI CONFIGURARE A SERVICIULUI (OCS)

Această secțiune prezintă instanțierea unui model generic bazat pe activități al Sistemului pentru Servicii (SServ), pentru o clasă reprezentativă de servicii – și anume cele de transport public. Particularizarea modelului SServ este exemplificată - în cadrul acestui studiu de caz - pentru macro componentă cea mai direct influențată de specificitatea unei anumite clase de servicii, și anume Managementul Serviciului (MS).

Practic, în acest capitol dedicat validării experimentale a soluțiilor de modelare a SServ în vederea generării ofertei - că prim pas în procesul MS de analiză a cererii, de calcul al costurilor necesare și de negociere cu clientul pentru contractarea serviciului - este prezentată metodologia și o soluție pentru organizarea și configurarea (planificarea, secvențierea activităților și alocarea resurselor umane și tehnologice) unui serviciu (OCS) de transport public, care presupune că furnizorul serviciului (compania de transport) să poată utiliza metodologia specifică MS cu ajutorul cărora să poată organiza atât resursă umană (șoferii de autobuz) cât și cursele mijloacelor de transport (autobuzele).

Problema asociată, denumită *Bus Driver Scheduling Problem* (BDSP) (Galvão Dias, 2002), (Lourenco, 2009), este o problemă complexă a procesului de planificare operațională întâlnită în cadrul companiilor de transport. Această tip de problemă este de natură combinatorie, și din dimensiunea ei mare a condus la dezvoltarea unui mare număr de modele și tehnici aplicate în practică în funcție de complexitatea și caracteristicile particulare ale companiei de transport. În fapt:

- componenta **B** a problemei de Planificare BDSPP presupune stabilirea traseelor vehiculelor, a frecvenței de circulație a acestora în funcție de lungimea traseului, și a necesarului de vehicule în funcție de cerere;
- componenta **D** a problemei BDSPP presupune selectarea unui set de îndatoriri (*duties, assignments*) pentru șoferii de vehicule (e.g., autobuze, trenuri, vapoare, sau avioane) implicate în transportul pasagerilor sau bunurilor (Portugal, 2009).

În studiul de caz ce descrie instanțierea serviciului de transport prezentată în acest capitol este analizată o soluție de alocare și de gestiune a resurselor (umane și tehnologice - vehicule) pentru un serviciu de transport în comun care utilizează autobuze.

În particular, în cadrul acestei probleme planificarea sarcinilor șoferilor (*crew scheduling*) pentru asigurarea unui serviciu de transport public presupune construirea unui set de ture (schimburi) zilnice, care împreună să permită acoperirea tuturor curselor planificate pentru un grup de vehicule (vehicule alocate și disponibile la un moment dat). Deși de obicei se manifestă interacțiuni între planificarea vehiculelor (în prezentul studiu de caz autobuze) și a personalului (în prezentul studiu de caz șoferi de autobuz), aceste probleme vor fi soluționate separat.

Planificarea șoferilor este supusă unor constrângeri specifice fiecărei companii de transport în parte. În general, aceste constrângeri sunt impuse prin legislația fiecărei țări, acorduri la nivel de sindicate, precum și a unor reguli operaționale interne stabilite între șoferi și compania de transport în care lucrează.

În plus, la nivelul fiecărei companii de transport există reguli privitoare la întreținerea parcului auto, în ceea ce privește mentenanță săptămânală (a unui anumit număr de autobuze) și reviziile generale periodice la anumite intervale de timp (de exemplu, la 6 luni).

Ca regulă generală, în cadrul problemei de alocare de resurse (autobuze și oameni) primul pas îl reprezintă definirea orarului autobuzelor, cunoscând lungimea traseului și impunând o anumită frecvență de circulație, atât în intervalele normale de cerere, cât și în intervalele cu cerere mare (vârfuri de cerere); obiectivul global este reprezentat de minimizarea numărului de vehicule necesare cu menținerea nivelului de performanță în îndeplinirea cererii pentru serviciul de transport menționat, pe fiecare interval orar.

După definirea necesarului de autobuze pe fiecare tură (turele însumează fiecare un număr de ore – de exemplu ture de 8 ore, – în care un șofer poate conduce un interval de timp – de exemplu 4 sau 6 ore - și apoi poate îndeplini alte sarcini în cadrul companiei) este necesară realizarea planificării schimburilor fiecărui șofer în programul de lucru săptămânal.

Variații ale procedurilor de alocare zilnică a vehiculelor presupun împărțirea intervalului de exploatare zilnică a unui autobuz în unități, denumite PoW (*piece of work*), care încep și se termină la *puncte de schimb*, adică locurile unde șoferii pot fi înlocuiți (Dias, 2002). Un set de PoW succesive formează o măsură, adică o parte a îndatoririlor unui șofer într-o zi de muncă. Astfel, pe lângă timpul de condus (limitat, de exemplu, la 6 ore pe zi) un șofer va desfășura în cadrul setului de îndatoriri zilnice (*daily duty*) de 8 ore și alte activități în care sunt incluse pauzele de masă, orele suplimentare, timpul necesar pentru manevrarea autobuzului în interiorul depoului, revizia zilnică a unui număr de autobuze, inclusiv deplasarea șoferului (pe jos sau cu autobuzul) până la locul din care trebuie să plece în cursa cu autobuzul alocat. O mulțime de PoW care satisface toate constrângerile reprezintă o îndatorire fezabilă (*feasible duty*). În consecință, o soluție a problemei de planificare a resursei umane (a șoferilor de autobuz) în cadrul serviciului de transport este reprezentată de o mulțime de îndatoriri fezabile – adică un set de ture zilnice (*feasible duties*), prin care se acoperă toate cursele planificate ale autobuzelor pe o anumită rută.

Această problemă complexă de planificare este supusă atât constrângerilor impuse de legislația muncii și de regulile companiei, cât și de diverse obiective și criterii de evaluare a calității și a costurilor serviciului. Găsirea unei soluții eficiente pentru această problemă de optimizare multicriterială are un impact major asupra costurilor și calității serviciului de transport asigurat de o companie de transport.

Complementar definirii turelor zilnice (*feasible duties*) în funcție de alocarea autobuzelor pe toate intervalele orare și disponibilitatea șoferilor care pot fi alocați pe aceste autobuze, există și problema definirii turelor săptămânale ale șoferilor. Acesta presupune organizarea resursei umane (șoferii disponibili) cu diferite tipuri de îndatoriri (*duties*) într-o săptămână de lucru. Modul în care pot fi planificate turele săptămânale ale șoferilor pentru o utilizare efectivă trebuie să țină cont de legislația muncii în vigoare, ceea ce conduce la un nou set de constrângeri (Chen, 2012). Această presupune alternanța turelor de dimineață cu cele de după-amiază, precum și a celor de zi cu cele de noapte. În fine, pentru întregul personal angajat pentru activitatea de șofer, trebuie să opereze principiul egalității în acordarea zilelor libere, ceea ce determina un ultim set de restricții pentru problema de planificare a șoferilor.

Astfel, pot fi definite diverse reguli pe care o tură zilnică (*feasible duty*) trebuie să le îndeplinească, cum ar fi:

- durata minimă și cea maximă a unui interval de șofat (adică o perioadă compusă din PoW consecutive sau o mulțime de PoW separate de mici intervale);
- durata minimă și maximă a pauzelor;
- durata minimă și maximă de lucru (*work duration*);
- numărul maxim de ore suplimentare;
- numărul maxim de schimbări de autobuze pentru un șofer;
- durata minimă de condus pe un anumit autobuz.

În general, în literatură de specialitate s-a ținut cont de diverși factori care iau în considerare pentru planificarea în cele trei perspective (zilnică, săptămânală, lunară): numărul de șoferi disponibili, numărul total de ore de lucru, perioadele de timp de odihnă, etc., de exemplu (Mitra, 1985), (Desrochers, 1989), (Clement, 1995).

Totuși, doar o mică parte dintre lucrările publicate țin cont în planificarea turelor personale într-o săptămână de lucru și de constrângeri în stabilirea îndatoririlor, e.g. alternanța turelor de zi și de noapte, depărtarea față de locul de muncă, alocarea unui week-end liber pentru executarea turelor de noapte, etc. De exemplu, în (Chen, 2012) este prezentată o soluție de rezolvare a problemei de alocare a resurselor într-un serviciu de transport care ține cont de constrângeri definite de tipul turei (dimineață, după-amiază, noapte), de perioada zilei în care are loc tură (*time shift*) și de partiția tipurilor de activități într-o tură (*work intensity*).

Planificarea personalului pentru realizarea unui serviciu de transport public conform unor specificații impuse utilizează, conform modelului OCS propus, un model și un algoritm din biblioteca de modele matematice, algoritmi și instrumente – biblioteca denumită *Informații partajate* (*shared information*). În continuare sunt descrise modele și algoritmi specifici incluși în această bibliotecă IPAR, ce pot fi utilizați în OCS de transport public.

1.1 Modele de programare matematică pentru planificarea personalului în servicii de transport public

Problema planificării șoferilor este NP-hard, fiind o problemă de optimizare combinatorie.

Ca atare, abordările de tip optimizare nu au fost incluse în biblioteca, din cauza dimensiunii foarte mari a problemei de planificare de personal considerată. A fost vizat un compromis între calitatea soluțiilor și timpul de calcul, ceea ce a determinat considerarea

procedurilor euristice care pot produce în mod eficient soluții bune cât mai apropiate de acelea obținute manual în timp real. Efortul de calcul important al tehnicilor de programare matematică, cât și lipsa de generalitate a metodelor euristice a determinat includerea în biblioteca IPAR a unui algoritm care combină modele de optimizare cu proceduri euristice (Wren, 1995). Biblioteca IPAR mai conține și metode de programare liniară cu numere întregi (*Integer Linear Programming – ILP*), (Jensen, 2004).

Problema planificării șoferilor de autobuz este rezolvabilă generând mai întâi un număr mare de ture zilnice (*feasible duties*), și aplicând apoi o tehnică de programare matematică care acoperă toate cursele autobuzelor pe ruta considerată, cu costuri minime. Chiar și pentru probleme de dimensiune mică, numărul total de ture este prea mare, fiind necesară reducerea lui. O tehnică utilizată a constat din eliminarea unor ture potențiale caracterizate prin: pauze lungi, pauze la ore nepotrivite ale zilei sau cu foarte puține activități înainte sau după o pauză de masă. Similar, se pot utiliza sisteme bazate pe proceduri euristice care selectează ture de interes potențial și elimina ture mai puțin eficiente (Ryan, 1981), (Falkner, 1992).

Unul dintre algoritmi incluși examinează toate PoW posibile pentru a determina dacă două PoW consecutive pot fi combinate. Din moment ce fiecare PoW (sarcina de șofat) trebuie să înceapă, să se termine, sau să aibă o pauză într-un punct de schimbare de autobuz, reducerea numărului de astfel de puncte de schimbare va conduce la un număr mai mic de ture zilnice (*feasible duties*) potențiale. Este însă necesară generarea unui număr suficient de mare de ture zilnice de interes potențial. Calitatea soluției finale va depinde de numărul și de calitatea turelor zilnice generate; generarea este realizată într-un mod controlat printr-o procedura euristică specifică.

Problema de planificare a forței de muncă (șoferi) este formulată astfel:

$$\min \sum_{j \in P} c_j x_j, \text{ în prezența restricțiilor}$$

$$\sum_{j \in P} a_{ij} x_j \geq 1, \quad \forall i \in I \quad (\text{R1})$$

$$\sum_{j \in P} b_{ij} x_j \geq u_j, \quad \forall i \in I \quad (\text{R2})$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in P, \quad (\text{R3})$$

unde

$$I = \{i; \text{PoW}\}$$

$$P = \{j; \text{tura zilnică candidată}\}$$

$$c_j = \text{costul turei } j$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{dacă tura } j \text{ este în soluție} \\ 0, & \text{în caz contrar} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{dacă PoW } i \text{ aparține turei } j \\ 0, & \text{în caz contrar} \end{cases}$$

$$b_{ij}, u_j = \text{valori reale care reprezintă proprietăți operationale ale soluției}$$

Fiecare rând al matricii **A** (de componente a_{ij}) corespunde unui PoW și fiecare coloană (sau variabilă) corespunde unei ture zilnice definite de PoW-urile definite de elementele non-

zero. Se spune că linia i este acoperită de coloana j dacă $a_{ij} = 1$. Restricțiile (R1) impun că fiecare PoW să facă parte din cel puțin o tură din soluție.

Restricția (R2) forțează satisfacerea unor proprietăți operaționale ale soluției (de ex. procentaj al tipurilor de sarcini, număr al sarcinilor sau timp de lucru maxim). Aceste restricții fac problema foarte dificil de rezolvat din cauza că nu se poate exploata avantajul structurii de tip "acoperire de set" a modelului, asociată cu restricțiile (R1). Includerea restricțiilor (R2) în funcția obiectiv, cu coeficienți de penalizare corespunzători, permite rezolvarea acestei probleme.

1.2 Modele de tip acoperire de seturi și partiționare de seturi

În implementarea practică, formularea anterioară este simplificată și restricțiile (R2) sunt îndepărtate. Formularea rezultantă este aceea a unei probleme de tip acoperire de set. Pentru acest model, un vector binar $[x_j]$ care îndeplinește restricțiile (R1) definește o *acoperire*. Este permisă existența de supraacoperiri de către restricții de tip inegalitate " \geq ", ceea ce înseamnă că mai mult decât o singură sarcină acoperă aceeași PoW.

Modelul de *tip partiționare de seturi* este un caz special în care restricțiile (R1) sunt de tip egalitate. Practic, acest tip de model impune prezența unui singur șofer în fiecare autovehicul; la orice moment de timp. Dificultatea majoră cu acest model particular constă în aceea că, dacă este disponibil un număr limitat de ture generale, nu poate fi garantată existența unei soluții fezabile. De aceea, în practică se începe cu aplicarea modelului de tip acoperire de seturi chiar dacă numărul de supraacoperiri în soluția finală poate fi adesea foarte mare.

Tehnicile implicate în rezolvarea acestor două probleme sunt foarte asemănătoare. Uneori este posibilă reducerea dimensiunii problemei aplicând reguli de dominantă (Beasley, 1987). Deasemenea, se pot folosi valorile euristicii de tip greedy pentru obținerea de soluții inițiale bune; valorile acestor soluții inițiale fezabile for fi mărginite superior pentru valoarea soluției optimale. Apoi se utilizează o relaxare liniară pentru a calcula o margine inferioară pentru soluția optimală (Paixao, 1989). Ecartul dintre marginile inferioară și superioară poate fi redus prin aplicarea euristicii greedy primale și duale, iar îmbunătățirea marginilor inferioare poate fi făcută și prin relaxare cu Lagrangean.

În cadrul bibliotecii OCS de algoritmi de planificare a fost inclusă și o metodă de *relaxare a modelelor de tip partiționare de seturi* în care sunt permise *PoW neacoperite* (denumite și omisiuni sau *leftovers*), adică acele PoW care nu sunt asociate cu- sau nu sunt acoperite de nici o tură fezabilă. Omisiunile sunt în mod evident nedorite, deoarece ele corespund unor curse fără șoferi asignati, și de aceea ele trebuie să fie penalizate în funcția obiectiv. În practică, omisiunile vor fi asignate unor echipaje utilizând timpi de lucru suplimentari, sau grupându-le împreună cu omisiuni de la alte curse, uneori ignorând restricțiile.

Modelul relaxat de tip partiționare de seturi a fost definit după cum urmează:

$$\min \sum_{j \in P} c_j x_j + \sum z_i y_i, \text{ în prezența restricțiilor}$$

$$\sum_{j \in P} a_{ij} x_j + y_i = 1, \quad \forall i \in I$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad \forall j \in P,$$

$$y_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I,$$

unde:

$$I = \{i; \text{PoW}\}$$

$$P = \{j; \text{tura zilnica candidata}\}$$

$$c_j = \text{costul turei } j$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{dacă tura } j \text{ este în soluție} \\ 0, & \text{în caz contrar} \end{cases}$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{dacă PoW } i \text{ aparține turei } j \\ 0, & \text{în caz contrar} \end{cases}$$

Acest model poate fi considerat ca o generalizare a problemei de împachetare de seturi (având $z_i = 0$ și o transformare corespunzătoare a vectorului de costuri $c'_j = -c_j$ (Darby-Dowman, 1985).

1.3 Alți algoritmi de planificare a resursei umane

În cadrul bibliotecii OCS de algoritmi de planificare a resursei umane pentru servicii de transport public au mai fost incluși:

- **Algoritmi genetici;** aplicarea algoritmilor genetici extinde abordarea tradițională cu formulările de tip acoperire de seturi / partiționare de seturi, permițând considerarea simultană a mai multor criterii complexe. Un algoritm genetic (GA) poate fi integrat într-o problema BDSP, putând fi utilizat și ca instrument cu grad înalt de interactivitate sau ca o aplicație de sine stătătoare.

GA încorporează în mod natural cunoștințe ale utilizatorului, și produce soluții care sunt direct implementabile pentru a furniza soluții în procesele de planificare operațională ale firmelor furnizoare de servicii de transport.

- **Algoritmi de programare liniară cu numere întregi;** acești algoritmi au o eficiență bună de calcul, și au fost integrați în biblioteca OSC de metode și instrumente pentru a fi utilizate în probleme de corelare a profilului cererii zilnice de servicii de transport cu capacitățile de resursă umană (dimensionarea numărului de șoferi pe ture zilnice), cât și în probleme de planificare a programului de muncă săptămânal al personalului angajat.

2 STUDIU DE CAZ PENTRU SERVICII DE TRANSPORT PUBLIC. SOLUȚIONAREA PROBLEMEI DE PLANIFICARE ȘI ALOCARE A RESURSELOR

Această secțiune prezintă un studiu de caz în domeniul serviciilor de transport public, pentru care este detaliat modul de organizare și configurare a serviciului, în cadrul segmentului de Management al Serviciilor (MS) conform modelului generic de Sistem pentru Servicii (SServ) care a fost dezvoltat anterior. Sunt definite și soluționate problemele de:

- *planificare a serviciului* la nivelul fiecărei ore a unei zile și la nivelul fiecărei zile a săptămânii;
- *secvențiere a activităților* care compun serviciul de transport (conducerea autobuzelor pe traseu, întreținere periodică, mentenanță preventivă, s.a.);
- *alocare a resurselor umane, materiale și financiare* (șoferi respectiv autobuze, combustibil și componente pentru întreținere) pentru îndeplinirea cerințelor de calitate impuse serviciului, cu dimensionarea optimă a costurilor furnizorului (pentru salarii, baza materială, depou, piese de schimb, materiale consumabile, licențe și autorizații).

2.1 Formularea cerințelor pentru serviciul de transport public

Se consideră un serviciu de transport public care utilizează autobuze, și care trebuie realizat pentru o zonă a orașului, pe baza datelor referitoare la: lungimea cursei (distanță între cele două capete ale traseului de circulație al autobuzelor); numărul de opriri (stații) pe traseu; timpul mediu de oprire în stație; configurația traseului din punctul de vedere al intensității traficului general și al numărului de intersecții semaforizate; frecvența de sosire în stații a autobuzelor în diverse intervale orare pe durata celor 7 zile ale săptămânii considerând vârfuri de capacitate ce trebuie asigurate în perioadele de deplasare către / de la serviciu sau determinate de activități cu caracter social.

Beneficiarul serviciului de transport este municipalitatea orașului, iar furnizorul serviciului este o companie de transport. Pentru acest serviciu de transport sunt formulate cerințele:

- lungimea totală a traseului: 12 km;
- numărul de stații (opriri) pe traseu: 15;
- timpul mediu de staționare a autobuzelor în stații: 1.2 min.;
- numărul de intersecții semaforizate pe traseu: 22
- timpul mediu de oprire intersecțiile semaforizate este de 30 sec;
- viteză limită superioară de circulație a autobuzelor pe traseu: 50 km/h;
- vârfuri de cerere de transport al călătorilor:
 - luni – vineri (în zilele lucrătoare): între 6:00 h – 10:00 h și 14:00 h – 18:00 h;
 - sâmbătă: între 18:00 h – 22:00 h
 - duminică: între 18:00 h – 22:00 h
- frecvența de sosire în stații a autobuzelor în intervalele orare ale zilelor săptămânii este redată în Tabelul 1.

Tabel 1 Intervalele impuse pentru sosirea autobuzelor în stații

Ziua săptămânii	Intervalul orar	Intervalul de timp între sosiri consecutive
Luni - Vineri	22:00 h – 6:00 h	12 min.
	10:00 h – 14:00 h și 18:00 h – 22:00 h	6 min.
	6:00 h – 10:00 h și 14:00 h – 18:00 h	4 min.
Sâmbătă	22:00 h – 6:00 h	12 min.
	6:00 h - 18:00 h	6 min.
	18:00 h – 22:00 h	4 min.
Duminică	22:00 h – 18:00 h	12 min.
	18:00 h – 22:00 h	6 min.

2.2 Alegerea soluției de management al serviciului de transport public

Se consideră că furnizorul de servicii de transport (compania de transport) are capacitatea de a planifica și de a livra acest serviciu de transport, pentru care asigură următoarele capacități:

- autobuze;
- depou și atelier de mentenanță;
- utilaje, scule și materiale consumabile pentru întreținere periodică și mentenanță;
- autorizație pentru realizarea serviciului de transport în comun, inspecții tehnice periodice ale autobuzelor;
- atestarea medicală periodică a șoferilor angajați pentru serviciul de transport (șoferi),

pe care trebuie să le dimensioneze, să le organizeze și să le configureze, și apoi să le realizeze 24 de ore pe zi, 7 zile din 7.

□ Planificarea serviciului de transport

Pentru planificarea serviciului de transport se calculează mai întâi, ca dată globală, durata de acoperire a traseului impus de către un autobuz, plecând de la caracteristicile traseului, timpul de staționare a autobuzelor în stații, limita de viteză impusă și caracteristicile tehnice ale autobuzelor (acelerație, timpi de frânare).

Astfel, timpul total de staționare a unui autobuz în stațiile de pe traseu este $t_{ss} = 15 \cdot 1.2 \text{ min} = 18 \text{ min}$, iar timpul total de staționare a unui autobuz la intersecțiile semaforizate de pe traseu, presupunând cazul cel mai defavorabil în care trebuie să oprească 30 sec. la toate intersecțiile este:

$$t_{si} = 22 \cdot 30 \text{ sec} = 660 \text{ sec} = 11 \text{ min} .$$

Rezultă timpul total de staționare pe traseu a unui autobuz: $t_s = t_{ss} + t_{si} = 29 \text{ min}$, pe care îl mărim la 30 min, pentru asigurarea unei rezerve suplimentare.

Considerând viteză medie de circulație a unui autobuz (fără considerarea opririlor pe durata t_s de 30 min., ci doar a accelerărilor / frânărilor și a altor opriri determinate de condițiile de trafic) este de 24 km/h, și notând cu T timpul total necesar parcurgerii, în aceste condiții, a întregului traseu de 12 km, rezultă T [min] din relația de calcul:

$$T[\text{min}] - 30 = \frac{12 \text{ km} \cdot 60 \text{ min}}{24 \text{ km}} = 30 \text{ min} ,$$

ceea ce conduce la o durată de timp $T = 60 \text{ min}$ pentru parcurgerea întregului traseu. Estimarea acestei durate a fost validată experimental, simulând în totalitate realizarea traseului în diferite intervale orare ale zilelor săptămânii.

Acum, ținând cont de intervalele de sosire cele mai reduse – 4 min, impuse în perioadele de vârf de cerere de transport de călători, rezultă necesitatea unui parc auto de minim 15 autobuze pentru a satisface cerințele de frecvența de sosire în stații în intervalele orare cu vârf de cerere de transport.

Pentru satisfacerea cerințelor de siguranță a transportului de călători ce impun întrețineri periodice, mentenanță și inspecții tehnice periodice a autobuzelor, parcul auto este suplimentat cu un număr de 5 autobuze, ajungând astfel la de unități.

Tabelul 2, derivat din Tabelul 1 de cerințe de intervale de sosire a autobuzelor în diferite intervale orare ale zilelor săptămânii, conține planificarea serviciului de transport în termeni de necesar de autobuze pentru acoperirea tuturor intervalelor orare:

Tabel 2 Necesarul de autobuze pentru intervalele impuse de sosire în stații

Ziua saptamanii	Intervalul orar	Intervalul de timp între sosiri consecutive	Necesar de autobuze
Luni - Vineri	22:00 h – 6:00 h	12 min.	5
	10:00 h – 14:00 h și 18:00 h – 22:00 h	6 min.	10
	6:00 h – 10:00 h și 14:00 h – 18:00 h	4 min.	15
Sâmbătă	22:00 h – 6:00 h	12 min.	5
	6:00 h - 18:00 h	6 min.	10
	18:00 h – 22:00 h	4 min.	15
Duminică	22:00 h – 18:00 h	12 min.	5
	18:00 h – 22:00 h	6 min.	10

□ Secvențierea activităților serviciului de transport

Secvențierea activităților de bază pentru asigurarea serviciului de transport călători (public) se referă pe de o parte la cele care implică resursă materială de bază – *parcul de autobuze (PA)*, și pe de altă parte la resursă umană care utilizează resursă materială de bază – *personalul angajat ca șoferi de autobuze (SA)*.

Astfel, secvențierea activităților constă în:

1. Definirea tipurilor de sarcini sau îndatoriri (*duties*) care trebuie realizate de / pentru PA, respectiv care revin PA (prin crearea de seturi PoW că alipiri de sarcini succesive, fără pauze);
2. Dimensionarea acestor sarcini: număr / (unitate PA respectiv persoană SA), regim de exploatare pentru PA, regim de muncă pentru SA, durata;
3. Definirea turelor zilnice (*feasible duties*) prin concatenarea de sarcini definite la punctul 1 și dimensionate la punctul 2;
4. Definirea programului săptămânal de exploatare a PA respectiv a programului săptămânal de muncă a SA, cu considerarea zilelor de odihnă
5. Definirea programului lunar de exploatare a PA respectiv a programului lunar de muncă a SA, cu considerarea cerințelor de exploatare uniformă a componentelor PA respectiv a principiului echității în acordarea zilelor libere.

Pentru realizarea secvențierii activităților de bază ale serviciului de transport conform etapelor 1-5, furnizorul de servicii de transport va trebui să aloce atât capacitățile de care dispune (în PA), cât și șoferii (în SA), în așa fel încât să satisfacă cererea pentru transportul public, ținând cont de următoarele trei **regimuri de lucru**:

- regim normal de circulație în timpul zilei;
- regim de circulație noaptea;
- regim de vârf de cerere de transport al călătorilor.

În acest context, se definesc două **roluri** pentru șoferi:

- *categoria A*: un șofer conduce un autobuz pe timp de zi;
- *categoria B*: un șofer conduce un autobuz pe timp de noapte,

și două **tipuri de sarcini**: (1) conducerea autobuzului; (2) verificarea și întreținerea în depou a autobuzului, că două tipuri de PoW.

Pentru PoW de tip "conducere autobuz" se definesc două durate:

- PoW de 8 ore, fezabil în regimul normal de circulație în timpul zilei și în regimul de circulație de noapte;
- PoW de 4 ore, fezabil doar în regim de vârf de cerere de transport; acest tip de sarcina de șofat este continuat întotdeauna de un PoW de 4 ore de tip "verificare și întreținere autobuze"

PoW de tip "verificare și întreținere autobuze" are întotdeauna durata de 4 ore.

O **tură zilnică** a unui angajat din SA este de 8 ore; ea poate fi compusă fie dintr-un PoW de 8 ore de tip "conducere autobuz", fie dintr-un set de 2 PoW succesive (fără pauză): un PoW "conducere autobuz" de 4 ore urmat de un PoW "verificare și întreținere autobuze" de 4 ore. Sunt definite zilnic 3 ture de câte 8 ore:

- A1: *tură 1 de zi*, categoria A, intervalul orar 6:00 h-14:00 h;
- A2: *tură 2 de zi*, categoria A, intervalul orar 14:00 h-22:00 h;
- B: *tură de noapte*, categoria B, intervalul orar 22:00 h - 6:00 h.

În raport cu secvențierea turelor, se impune restricția că, după efectuarea unei ture B, un șofer să nu între imediat în tură A1 a zilei următoare.

În ceea ce privește secvențierea activităților ce implică componentele PĂ, se impune utilizarea uniformă a autobuzelor la nivelul fiecărei luni, ceea ce implică utilizarea în fiecare săptămână în PoW tip "circulație pe traseu" a altor 15 autobuze din cele 20 ale PA (în fiecare săptămână a unei luni alte 5 autobuze nu sunt puse în circulație).

Deasemenea, se impune că pentru fiecare dintre autobuzele care sunt puse în circulație pe traseu într-o săptămână să fie realizat de 3 ori PoW de tip "verificare și întreținere" în zilele luni – vineri (sâmbătă și duminică nu se efectuează astfel de activități).

□ **Alocarea resursei umane pentru acoperirea necesarului de autobuze**

Alocarea șoferilor pentru acoperirea cerințelor de transport reflectate în necesarul de autobuze pe intervale orare, conform Tabelului 2, presupune parcurgerea următoarelor etape:

1. Determinarea numărului de șoferi ce trebuie alocați la fiecare oră de început de tură zilnică (*feasible duty*) pentru a acoperi cererea de transport corespunzătoare intervalului orar asociat (*Daily Workshift Scheduling*).
2. Planificarea turelor săptămânale cu 2 zile libere consecutive ale șoferilor (*Weekly Workshift Scheduling*).
3. Determinarea necesarului de șoferi care va constitui personalul angajat (SA).
4. Determinarea costurilor de personal la nivel săptămânal și lunar pentru personalul angajat cu considerarea rolurilor atribuite șoferilor pe categorii de PoW de tip "conducere autobuz".
5. Planificarea orară, zilnică, săptămânală și lunară a autobuzelor din PA scoase pe traseu pentru satisfacerea cerințelor de transport.
6. Asignarea la nivel de tură zilnică și săptămânală a șoferilor pe autobuzele planificate în etapă 5.
7. Planificarea orară, zilnică, săptămânală și lunară a autobuzelor din PA supuse operațiilor de verificare și întreținere în depou.

Pentru determinarea numărului de șoferi ce trebuie alocați la fiecare oră de început de tură zilnică, se consideră orele de început de sarcini (componente ale PoW de tip "conducere autobuz" și "verificare și întreținere autobuz"): 22, 2, 6, 10, 14, 18.

Vor fi tratate în mod diferențiat, conform cerințelor de capacitate de transport stabilite în Tabelul 6.2, zilele de: (1) luni – vineri; (2) sâmbătă; (3) duminică. Pentru fiecare din aceste 3 categorii de zile, problema de alocare a numărului de șoferi pe orele turei zilnice este formulată ca un model de programare liniară cu numere numere întregi (ILP).

□ **Planificarea turelor zilnice de șoferi în zilele luni - vineri**

Necesarul de autobuze pe perioada de 24 de ore în aceste zile este reprezentat în Fig. 1.

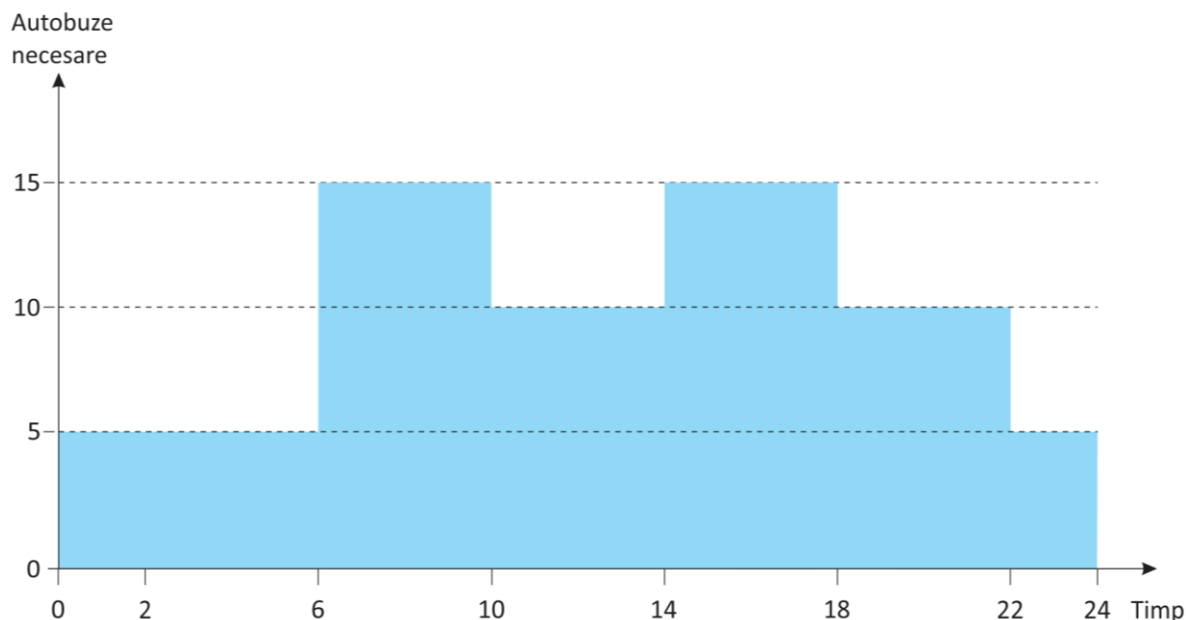


Fig. 1 Necesarul de autobuze pentru serviciul de transport public (luni-vineri)

Se definesc variabilele:

- $x(t)$ = număr de șoferi alocati la timpul $t, t = \{22, 2, 6, 10, 14, 18\}$
- $b(t)$ = număr de șoferi necesari la timpul $t, t = \{22, 2, 6, 10, 14, 18\}$

Se introduc restricții care să asigure că șoferii alocati la timpii care acoperă cerințele unui interval orar particular asigură prin însumare numărul necesar. De exemplu, pentru intervalul de la ora 2 la ora 6, numărul de șoferi care încep la ora 22 a zilei anterioare plus numărul celor care încep la ora 2 trebuie să acopere cerințele de personal în intervalul orar 2 – 6. Restricțiile se pot scrie că:

$$x(t_{i-1}) + x(t_i) \geq b(t_i), t_i \in \{22, 2, 6, 10, 14, 18\}$$

Rezultă setul de restricții:

- $x(22) + x(2) \geq 5$
- $x(2) + x(6) \geq 15$
- $x(6) + x(10) \geq 10$
- $x(10) + x(14) \geq 15$
- $x(14) + x(18) \geq 10$
- $x(18) + x(22) \geq 5$

Obiectivul este minimizarea sumei:

$$\min S = x(2) + x(6) + x(10) + x(14) + x(18) + x(22)$$

Se obține $S \geq 30$. Soluția obținută prin algoritmul de programare liniară cu numere întregi (ILP), indicată în Tabelul 3, alocă numărul minim de 35 de șoferi conform valorilor obținute pentru variabilele $x(t_i), t_i \in \{22, 2, 6, 10, 14, 18\}$ pentru a satisface planificarea autobuzelor pe intervalele orare ale unei zile (luni-vineri):

Tabel 3 Soluția optimă de alocare șoferi pe ture zilnice (luni-vineri)

$x(22)$	$x(2)$	$x(6)$	$x(10)$	$x(14)$	$x(18)$
5	0	10	0	15	0
Tura B		Tura A1		Tura A2	

Din moment ce funcția obiectiv nu admite variația coeficienților săi, o analiză a sensibilității nu are semnificație în acest context. O analiză a restricțiilor identifică două perioade, 10 și 18 cu exces de șoferi. Până la 5 unități suplimentare de cerere de autobuze pot fi tratate în aceste perioade.

Pentru această problemă de planificare a turelor zilnice de șoferi (în zilele de luni – vineri) a fost elaborat și un model mai general, scris în formă matricială, în care sunt definite variabile reprezentând **modele de lucru** – PAToW (*patterns of work*).

Un PAToW alocă șoferi din cadrul personalului angajat SA, pentru una sau mai multe perioade de timp în care aceștia realizează unul sau mai multe PoW, care pot fi sau nu adiacente. Perioadele PAToW pot fi identificate ca intervale orare în cadrul unei zile, însumând deci un număr de ore care nu sunt neapărat adiacente.

Modelul de alocare a șoferilor în ture zilnice, constituite ca PAToW, este formulat în mod concis în format matricial, astfel:

- Parametri:

t : numărul perioadelor de timp;

n : numărul de modele de lucru PAToW pentru personalul angajat;

\mathbf{r} : matrice coloană al cerințelor de forța de muncă – șoferi (r_i);

\mathbf{c} : matrice linie a modelelor de cost (c_i), unde

$$c_i = \begin{cases} 1 \text{ unitate de cost, PAToW este de categorie A1 sau A2 (tura de zi)} \\ 1.5 \text{ unitati de cost, PAToW este de categorie B (tura de noapte)} \end{cases}$$

\mathbf{A} : matrice cu t linii și n coloane care conține modelele de lucru PAToW, cu

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{daca modelul } j \text{ acopera perioada } i \\ 0, \text{daca modelul } j \text{ nu acopera perioada } i \end{cases}$$

- Variabile:

\mathbf{x} : matrice coloană care conține numărul de șoferi în fiecare model de lucru (x_i)

- Model:

Minimizeaza costul $\mathbf{z} = \mathbf{c} \cdot \mathbf{x}$,

cu restricțiile:

- Cerere de capacitate de transport $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} \geq \mathbf{r}$

- Marginire: $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$

Pentru exemplul de alocare de șoferi / ture zilnice, au fost atribuite valori numerice matricilor:

$$t = 6, n = 6$$

$$\mathbf{c} = [1.5 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1.5]$$

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} 5 \\ 15 \\ 10 \\ 15 \\ 10 \\ 5 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Deși am introdus acest model în secțiunea de metode de planificare a bibliotecii OCS care utilizează programarea liniară cu numere întregi, am preferat plasarea cerinței de integralitate asupra variabilelor \mathbf{x} , adică constituirea turelor zilnice din sarcini adiacente PoW, și nu dintr-un număr de PAToW – deși este mai dificil de rezolvat o problema liniară cu includerea de restricții de integralitate.

□ Planificarea turelor zilnice de șoferi în zilele de sâmbătă

Necesarul de autobuze pe perioada de 24 de ore în zilele de sâmbătă este redat în Fig. 2.

Pentru planificarea soferilor în cele 3 ture ale zilei de sâmbătă se definesc aceleași variabilele ca în cazul zilelor luni-vineri, $x(t)$ și $b(t)$. Cu același tip de restricții:

$$x(t_{i-1}) + x(t_i) \geq b(t_i), t_i \in \{2, 6, 10, 14, 18, 22\}, \text{ rezultă:}$$

- $x(22) + x(2) \geq 5$
- $x(2) + x(6) \geq 10$
- $x(6) + x(10) \geq 10$
- $x(10) + x(14) \geq 10$
- $x(14) + x(18) \geq 15$
- $x(18) + x(22) \geq 5$

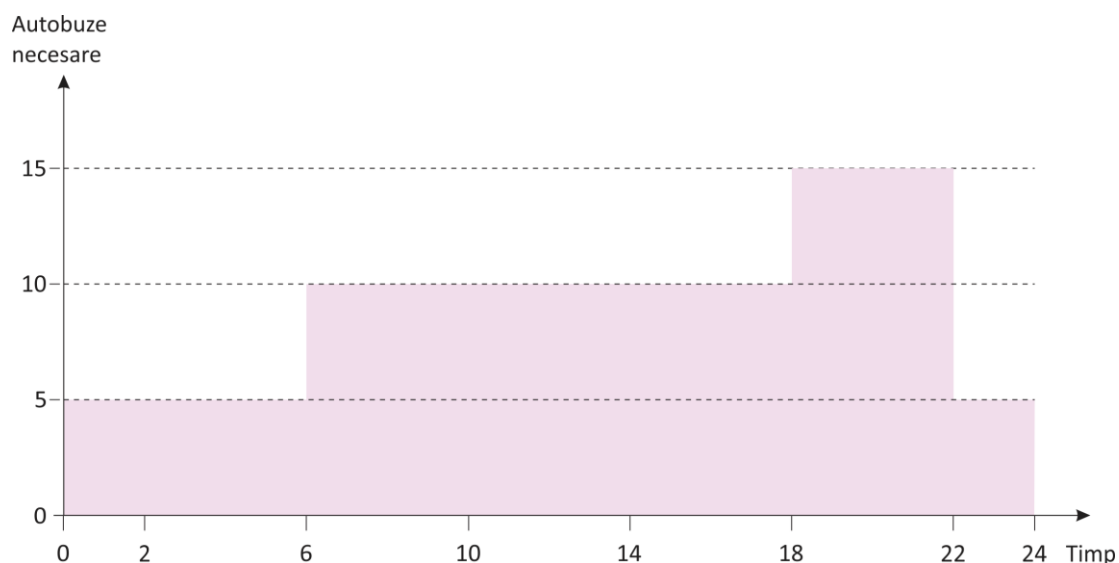


Fig. 2 Necesarul de autobuze pentru serviciul de transport public (sâmbăta)

Se impune același obiectiv – minimizarea sumei:

$$\min S = x(2) + x(6) + x(10) + x(14) + x(18) + x(22)$$

Se obține $S \geq 28$. Soluția obținută prin algoritmul de programare liniară cu numere întregi (ILP), indicată în Tabelul 4, utilizează un număr de 30 de șoferi, alocați conform valorilor obținute pentru variabilele $x(t_i), t_i \in \{2, 6, 10, 14, 18, 22\}$ pentru a satisface planificarea autobuzelor pe intervalele orare ale zilei de sâmbătă:

Tabel 4 Soluția optimă de alocare șoferi pe ture zilnice (sâmbăta)

$x(22)$	$x(2)$	$x(6)$	$x(10)$	$x(14)$	$x(18)$
5	0	10	0	10	5
Tura B		Tura A1		Tura A2	

Se remarcă intervalul de 4 ore care începe la ora 18:00, și în care cei 5 șoferi chemați lucrează un PoW de doar 4 ore de tip "conducere de autobuz". În funcție de strategia firmei furnizoare de servicii de transport, fie cei 5 șoferi realizează sâmbăta o tură zilnică redusă la 4 ore (prin rotație, odată la 9 săptămâni, pentru a implica tot personalul angajat), fie acest PoW este completat cu un altul de 4 ore de tip "sarcini administrative".

□ Planificarea turelor zilnice de șoferi în zilele de duminică

Necesarul de autobuze pe perioada de 24 de ore în zilele de duminică este redat în Fig. 6.3.

Pentru planificarea șoferilor în cele 3 ture ale zilei de duminică se definesc aceleași variabilele ca în cazul zilelor luni-vineri și sâmbătă, $x(t)$ și $b(t)$. Cu același tip de restricții:

$$x(t_{i-1}) + x(t_i) \geq b(t_i), t_i \in \{2, 6, 10, 14, 18, 22\}$$

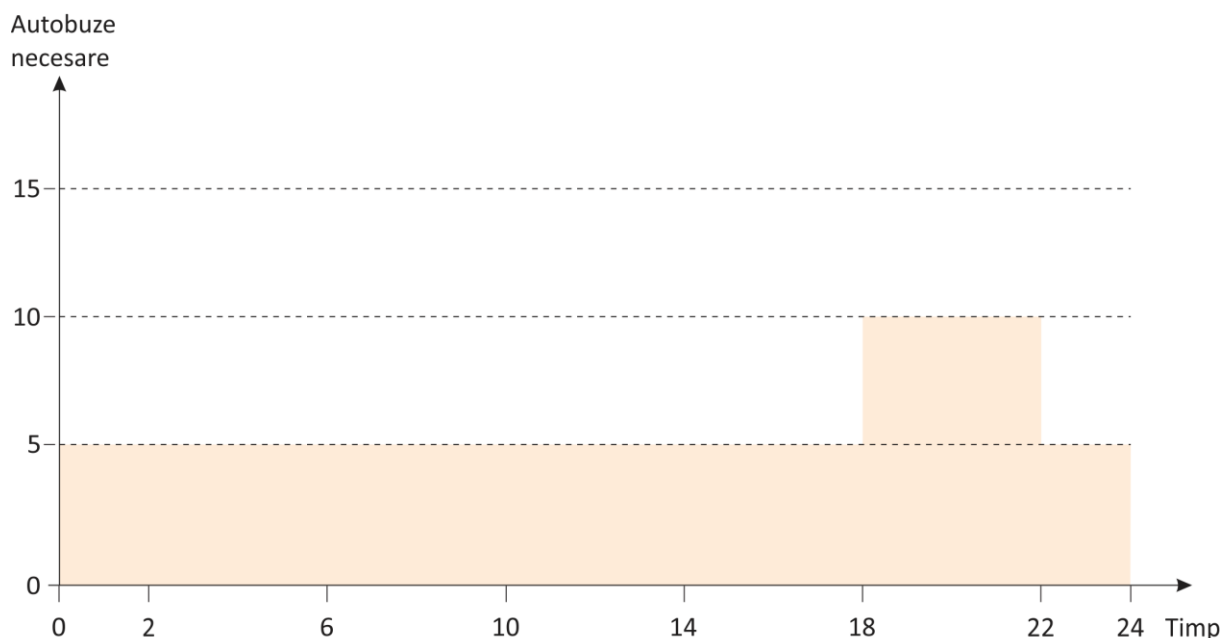


Fig. 3 Necesarul de autobuze pentru serviciul de transport public (duminica)

Rezultă:

- $x(22) + x(2) \geq 5$
- $x(2) + x(6) \geq 5$
- $x(6) + x(10) \geq 5$

- $x(10) + x(14) \geq 5$
- $x(14) + x(18) \geq 10$
- $x(18) + x(22) \geq 5$

Se impune același obiectiv – minimizarea sumei:

$$\min S = x(2) + x(6) + x(10) + x(14) + x(18) + x(22)$$

care conduce la soluția $S \geq 18$.

Soluția obținută prin algoritmul de programare liniară cu numere întregi (ILP), indicată în Tabelul 5, utilizează un număr de 20 de șoferi, alocați conform valorilor obținute pentru variabilele $x(t_i), t_i \in \{2, 6, 10, 14, 18, 22\}$ pentru a satisface planificarea autobuzelor pe intervalele orare ale zilei de duminică:

Tabel 5 Soluția optimă de alocare șoferi pe ture zilnice (duminică)

$x(22)$	$x(2)$	$x(6)$	$x(10)$	$x(14)$	$x(18)$
5	0	5	0	5	5
Tura B		Tura A1		Tura A2	

La fel că în cazul zilei de sâmbătă, în intervalul de timp care începe la ora 18:00 cei 5 șoferi chemați lucrează un PoW de doar 4 ore de tip "conducere de autobuz", ce poate fi tratat la fel că pentru ziua de sâmbătă, sau în care personalului angajat i se pot oferi ore suplimentare.

□ Planificarea turelor săptămânale și calculul personalului angajat necesar (SA)

Turele săptămânale (*weekly workshift*) ale fiecărui șofer sunt definite ca 5 zile consecutive de lucru urmate de 2 zile libere, dar nu în mod necesar sâmbătă și duminică. Problema este formulată ca un model de programare liniară cu numere întregi, care utilizează cifrele de personal necesar în fiecare din zilele unei săptămâni: (a) luni-vineri; (b) sâmbătă; (c) duminică respectiv 35; 30; 20.

Problema de planificare a turelor săptămânale constă în determinarea numărului minim de personal necesar să fie alocat pentru fiecare din cele 7 ture săptămânale posibile. Fiecare tură săptămânală constă din 5 zile de lucru și 2 zile consecutive libere; fiecare tură va începe într-o zi diferită a săptămânii și va dura 5 zile de lucru consecutive.

Formularea generală a acestei probleme de alocare de personal ca model ILP (*Integer Linear Programming*) din biblioteca OCS este următoarea:

Definirea variabilelor:

- x_i = număr de șoferi alocați turei i , unde ziua i începe cu 2 zile libere consecutive (de exemplu șoferii asigurați turei 1 au liber duminică și luni)
- b_j = cifra de personal necesar pentru ziua j

Funcția obiectiv: $\min \sum_{i=1}^7 x_i, x_i \geq 0$ și întreg

Restricții:

Duminică $x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \geq b_1 = 20$

Luni $x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq b_2 = 35$

Marți $x_1 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \geq b_3 = 35$

Miercuri $x_1 + x_2 + x_5 + x_6 + x_7 \geq b_4 = 35$

Joi $x_1 + x_2 + x_3 + x_6 + x_7 \geq b_5 = 35$

Vineri $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_7 \geq b_6 = 35$

Sambătă $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \geq b_7 = 30$

care conduce la soluția $\sum x_i \geq 45$.

Soluția obținută prin algoritmul de programare liniară cu numere întregi (ILP), indicată în Tabelul 6, utilizează numărul minim de 45 de șoferi, alocați conform valorilor obținute pentru variabilele $x(i), 1 \leq i \leq 7$ cu respectarea restricțiilor de tură săptămânală formulate.

Tabel 6 Soluția optimă de alocare șoferi pe ture săptămânale

Ziua	Luni	Marți	Miercuri	Joi	Vineri	Sâmbătă	Duminică
Șoferi	15	10	0	10	0	10	0

De aici rezultă necesarul de personal angajat (șoferi), care satisface cerințele de necesar zilnic de personal, cu respectarea cerințelor orare de transport pentru zilele de lucru (luni-vineri) al săptămânii și zilele de sfârșit de săptămâna (sâmbătă, duminică).

În Fig. 4 este prezentată planificarea celor 45 de șoferi pe turele zilnice ale unei săptămâni.

Sofer	x1[Lu]	x2[Ma]	x3[Mi]	x4[Jo]	x5[Vi]	x6[Sa]	x7[Du]
S1	B	A2	A1	A1	A1	x	x
S2	B	A2	A1	A1	A1	x	x
S3	B	A2	A1	A1	A1	x	x
S4	B	A2	A1	A1	A1	x	x
S5	B	A2	A1	A1	A1	x	x
S6	A2	B	A2	A1	A1	x	x
S7	A2	B	A2	A1	A1	x	x
S8	A2	B	A2	A1	A1	x	x
S9	A2	B	A2	A1	A1	x	x
S10	A2	B	A2	A1	A1	x	x
S11	A2	A2	B	A2	A1	x	x
S12	A2	A2	B	A2	A1	x	x
S13	A2	A2	B	A2	A1	x	x
S14	A2	A2	B	A2	A1	x	x
S15	A2	A2	B	A2	A1	x	x
S16	x	A2	A2	B	A2	A1	x
S17	x	A2	A2	B	A2	A1	x
S18	x	A2	A2	B	A2	A1	x
S19	x	A2	A2	B	A2	A1	x
S20	x	A2	A2	B	A2	A1	x
S21	x	A1	A2	A2	B	A2	x
S22	x	A1	A2	A2	B	A2	x
S23	x	A1	A2	A2	B	A2	x
S24	x	A1	A2	A2	B	A2	x
S25	x	A1	A2	A2	B	A2	x
S26	A2	x	x	A2	A2	B	A2
S27	A2	x	x	A2	A2	B	A2
S28	A2	x	x	A2	A2	B	A2
S29	A2	x	x	A2	A2	B	A2
S30	A2	x	x	A2	A2	B	A2
S31	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S32	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S33	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S34	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S35	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S36	A1	A1	A1	x	x	A2	A2
S37	A1	A1	A1	x	x	A2	A2
S38	A1	A1	A1	x	x	A2	A2
S39	A1	A1	A1	x	x	A2	A2
S40	A1	A1	A1	x	x	A2	A2
S41	A1	A1	A1	x	x	A1	A1
S42	A1	A1	A1	x	x	A1	A1
S43	A1	A1	A1	x	x	A1	A1
S44	A1	A1	A1	x	x	A1	A1
S45	A1	A1	A1	x	x	A1	A1

A1 = Categoria A [6-14]

A2 = Categoria A [14-22]

B = Categoria B [22-6]

x = Liber

Fig. 4 Asignarea șoferilor în ture zilnice într-o săptămână

Odata realizata planificarea șoferilor în turele zilnice ale saptamanii, pot fi calculate costurile saptamanale pentru personalul angajat cu considerarea rolurilor atribuite șoferilor pe categorii de PoW de tip "conducere autobuz" A (A1 și A2) – conducere în timpul zilei și B – conducere noaptea (Fig. 5).

În acest calcul, au fost considerate costuri de personal duble pentru categoria B în raport de cele doua categorii A1 și A2.

Sofer	x1[Lu]	x2[Ma]	x3[Mi]	x4[Jo]	x5[Vi]	x6[Sa]	x7[Du]	A1	A2	B	A1+A2+B	A1+A2+2xB
								Ture zi	Ture noapte	Total ture	Pontaj	
S1	B	A2	A1	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S2	B	A2	A1	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S3	B	A2	A1	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S4	B	A2	A1	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S5	B	A2	A1	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S6	A2	B	A2	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S7	A2	B	A2	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S8	A2	B	A2	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S9	A2	B	A2	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S10	A2	B	A2	A1	A1	x	x	4	1	5	6	
S11	A2	A2	B	A2	A1	x	x	4	1	5	6	
S12	A2	A2	B	A2	A1	x	x	4	1	5	6	
S13	A2	A2	B	A2	A1	x	x	4	1	5	6	
S14	A2	A2	B	A2	A1	x	x	4	1	5	6	
S15	A2	A2	B	A2	A1	x	x	4	1	5	6	
S16	x	A2	A2	B	A2	A1	x	4	1	5	6	
S17	x	A2	A2	B	A2	A1	x	4	1	5	6	
S18	x	A2	A2	B	A2	A1	x	4	1	5	6	
S19	x	A2	A2	B	A2	A1	x	4	1	5	6	
S20	x	A2	A2	B	A2	A1	x	4	1	5	6	
S21	x	A1	A2	A2	B	A2	x	4	1	5	6	
S22	x	A1	A2	A2	B	A2	x	4	1	5	6	
S23	x	A1	A2	A2	B	A2	x	4	1	5	6	
S24	x	A1	A2	A2	B	A2	x	4	1	5	6	
S25	x	A1	A2	A2	B	A2	x	4	1	5	6	
S26	A2	x	x	A2	A2	B	A2	4	1	5	6	
S27	A2	x	x	A2	A2	B	A2	4	1	5	6	
S28	A2	x	x	A2	A2	B	A2	4	1	5	6	
S29	A2	x	x	A2	A2	B	A2	4	1	5	6	
S30	A2	x	x	A2	A2	B	A2	4	1	5	6	
S31	A1	x	x	A1	A2	A2	B	4	1	5	6	
S32	A1	x	x	A1	A2	A2	B	4	1	5	6	
S33	A1	x	x	A1	A2	A2	B	4	1	5	6	
S34	A1	x	x	A1	A2	A2	B	4	1	5	6	
S35	A1	x	x	A1	A2	A2	B	4	1	5	6	
S36	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	5	0	5	5	
S37	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	5	0	5	5	
S38	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	5	0	5	5	
S39	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	5	0	5	5	
S40	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	5	0	5	5	
S41	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	5	0	5	5	
S42	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	5	0	5	5	
S43	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	5	0	5	5	
S44	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	5	0	5	5	
S45	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	5	0	5	5	

A1 = Categoria A [Pontaj = 1]
A2 = Categoria A [Pontaj = 1]
B = Categoria B [Pontaj = 2]
x = Liber

Fig. 5 Calculul costurilor săptămânale de personal

Asignarea șoferilor în ture zilnice pe durata unei luni este redată în Fig. 6, iar Fig. 7 redă calculul costurilor de personal pe o luna. Pentru asigurarea echității acordării zilelor libere sâmbătă și duminică întregului personal angajat, în lunile 2, 3, și 4 ce urmează lunii 1 cei 45 de șoferi sunt permutați în cadrul celor 4 grupe respectiv de câte 15, 10, 10, 10 șoferi, astfel încât fiecare grupă are zile libere sâmbătă și duminică o luna întreagă.

Planificarea realizată a mai vizat îndeplinirea următoarelor condiții:

- Fiecare șofer poate fi alocat în schimbul de noapte o singură zi pe săptămâna.
- După o tură de noapte, un șofer este alocat întotdeauna unei ture A2 (după-amiază)

Sofer/Zi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S1	B	A2	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A2	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A1	x	x	A1	A2
S2	B	A2	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A2	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A1	x	x	A1	A2
S3	B	A2	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A2	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A1	x	x	A1	A2
S4	B	A2	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A2	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A1	x	x	A1	A2
S5	B	A2	A1	A1	A1	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A2	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A1	x	x	A1	A2
S6	A2	B	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A2	A2	A2	A2	x	x	A1	B	A2	A2	A2	x	x	A1	A2
S7	A2	B	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A2	A2	A2	A2	x	x	A1	B	A2	A2	A2	x	x	A1	A2
S8	A2	B	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A2	A2	A2	A2	x	x	A1	B	A2	A2	A2	x	x	A1	A2
S9	A2	B	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A2	A2	A2	A2	x	x	A1	B	A2	A2	A2	x	x	A1	A2
S10	A2	B	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A2	A2	A2	A2	x	x	A1	B	A2	A2	A2	x	x	A1	A2
S11	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	A2	B	A2	A2	x	x	A1	A2
S12	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	A2	B	A2	A2	x	x	A1	A2
S13	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	A2	B	A2	A2	x	x	A1	A2
S14	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	A2	B	A2	A2	x	x	A1	A2
S15	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	A2	B	A2	A2	x	x	A1	A2
S16	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A1	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A2	x	x	A1
S17	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A1	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A2	x	x	A1
S18	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A1	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A2	x	x	A1
S19	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A1	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A2	x	x	A1
S20	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A1	A1	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A2	x	x	A1
S21	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	B	A1	A1	A2	x	x	A2	A1	A1	B	A2	x	x	A1
S22	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	B	A1	A1	A2	x	x	A2	A1	A1	B	A2	x	x	A1
S23	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	B	A1	A1	A2	x	x	A2	A1	A1	B	A2	x	x	A1
S24	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	B	A1	A1	A2	x	x	A2	A1	A1	B	A2	x	x	A1
S25	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	A1	B	A1	A1	A2	x	x	A2	A1	A1	B	A2	x	x	A1
S26	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x
S27	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x
S28	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x
S29	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x
S30	A2	x	x	A2	A2	B	A2	A1	x	x	A1	A1	A2	A2	B	x	x	A1	A1	A2	A2	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x
S31	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	B	A2	A1	A1	B	x	x	A1	A1	A1	A1	B	x
S32	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	B	A2	A1	A1	B	x	x	A1	A1	A1	A1	B	x
S33	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	B	A2	A1	A1	B	x	x	A1	A1	A1	A1	B	x
S34	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	B	A2	A1	A1	B	x	x	A1	A1	A1	A1	B	x
S35	A1	x	x	A1	A2	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A1	A2	A2	x	x	B	A2	A1	A1	B	x	x	A1	A1	A1	A1	B	x
S36	A1	A1	A1	x	x	A1	A2	B	A2	A1	x	x	A1	B	A2	A2	A1	x	x	B	A2	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S37	A1	A1	A1	x	x	A1	A2	B	A2	A1	x	x	A1	B	A2	A2	A1	x	x	B	A2	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S38	A1	A1	A1	x	x	A1	A2	B	A2	A1	x	x	A1	B	A2	A2	A1	x	x	B	A2	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S39	A1	A1	A1	x	x	A1	A2	B	A2	A1	x	x	A1	B	A2	A2	A1	x	x	B	A2	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S40	A1	A1	A1	x	x	A1	A2	B	A2	A1	x	x	A1	B	A2	A2	A1	x	x	B	A2	A2	A1	A1	x	x	A1	A2	A2	B
S41	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	B	A2	A1	A1	x	x	B	A2	A2	A1
S42	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	B	A2	A1	A1	x	x	B	A2	A2	A1
S43	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	B	A2	A1	A1	x	x	B	A2	A2	A1
S44	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	B	A2	A1	A1	x	x	B	A2	A2	A1
S45	A1	A1	A1	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	A1	A2	B	A2	x	x	A1	B	A2	A1	A1	x	x	B	A2	A2	A1

A1 = Categoria A [6-14]
A2 = Categoria A [14-22]
B = Categoria B [22-6]
x = Liber

Fig. 6 Alocarea șoferilor în ture zilnice într-o lună (șoferii 1-15 au zile libere sâmbătă și duminică)

Sofer/Zi	Ture zi		Ture noapte		Total ture	Penal
	A1	A2	B	A1+A2+B		
S1	B	A2	A1	A1	30	
S2	B	A2	A1	A1	30	
S3	B	A2	A1	A1	30	
S4	B	A2	A1	A1	30	
S5	B	A2	A1	A1	30	
S6	A2	B	A2	A1	30	
S7	A2	B	A2	A1	30	
S8	A2	B	A2	A1	30	
S9	A2	B	A2	A1	30	
S10	A2	B	A2	A1	30	
S11	A2	B	A2	A1	30	
S12	A2	B	A2	A1	30	
S13	A2	B	A2	A1	30	
S14	A2	B	A2	A1	30	
S15	A2	B	A2	A1	30	
S16	x	A2	A2	B	30	
S17	x	A2	A2	B	30	
S18	x	A2	A2	B	30	
S19	x	A2	A2	B	30	
S20	x	A2	A2	B	30	
S21	x	A1	A2	B	30	
S22	x	A1	A2	B	30	
S23	x	A1	A2	B	30	
S24	x	A1	A2	B	30	
S25	x	A1	A2	B	30	
S26	A2	x	A2	A2	30	
S27	A2	x	A2	A2	30	
S28	A2	x	A2	A2	30	
S29	A2	x	A2	A2	30	
S30	A2	x	A2	A2	30	
S31	A1	x	A1	A2	30	
S32	A1	x	A1	A2	30	
S33	A1	x	A1	A2	30	
S34	A1	x	A1	A2	30	
S35	A1	x	A1	A2	30	
S36	A1	x	A1	A2	30	
S37	A1	A1	x	A2	30	
S38	A1	A1	x	A2	30	
S39	A1	A1	x	A2	30	
S40	A1	A1	x	A2	30	
S41	A1	A1	x	A2	30	
S42	A1	A1	x	A2	30	
S43	A1	A1	x	A2	30	
S44	A1	A1	x	A2	30	
S45	A1	A1	x	A2	30	

Fig. 7 Calculul costurilor de personal lunar (tarif de noapte dublu față de cel de zi)

2.3 Gestiunea mijloacelor de transport public

Cele 20 de autobuze ce compun parcul auto (PA) al firmei furnizoare de servicii de transport public vor fi gestionate astfel încât să se realizeze cerințele de calitate impuse acestui serviciu:

- Utilizarea uniformă a componentelor întregului parc auto;
- Asigurarea unei rezerve de mijloace de transport în cazul defectării celor aflate pe traseu sau necesității suplimentării excepționale, pe anumite durate, a numărului celor care circulă.

Aceste două cerințe sunt realizate prin utilizarea în fiecare săptămână în PoW tip "circulație pe traseu" a altor 15 autobuze din cele 20 ale PA (în fiecare săptămâna a unei luni câte 5 autobuze, diferite de la o săptămâna la altă, nu sunt puse în circulație), vezi Fig. 6.8. Parcul auto a fost împărțit în 4 grupe: $G_i, 1 \leq i \leq 4$ fiecare de câte 5 autobuze, notate $M_j, 5i - 4 \leq j \leq 5i, G_i = \{M_j\}, 1 \leq i \leq 4$ (Fig. 8).

	TRASEU			NU CIRCULĂ
Săptămâna 1	G1	G2	G3	G4
Săptămâna 2	G2	G3	G4	G1
Săptămâna 3	G3	G4	G1	G2
Săptămâna 4	G4	G1	G2	G3

G1 = {M1, M2, M3, M4, M5}
G2 = {M6, M7, M8, M9, M10}
G3 = {M11, M12, M13, M14, M15}
G4 = {M16, M17, M18, M19, M20}

Fig. 6.8 Planificarea săptămânală pentru circulație pe traseu a grupelor de autobuze din PA

Pentru fiecare autobuz care este puse în circulație pe traseu într-o săptămână se realizează de 3 ori PoW de tip "verificare și întreținere" în zilele luni – vineri; tot vinerea se realizează și verificarea de întreținere a grupei de autobuze care nu circulă în acea săptămână, dar care va intra în circulație săptămâna următoare. În fiecare zi luni-vineri a unei săptămâni sunt realizate 2 PoW de verificare și întreținere: Verificare 1 (VT1) în intervalul orar 10:00 h - 14:00 h respectiv Verificare 2 (VT2) în intervalul orar 18:00 h – 22:00 h, Fig. 9.

	Săptămâna 1		Săptămâna 2		Săptămâna 3		Săptămâna 4	
	Verificare 1	Verificare 2	Verificare 1	Verificare 2	Verificare 1	Verificare 2	Verificare 1	Verificare 2
Luni	G1	G2	G2	G3	G3	G4	G4	G1
Marti	G3	G1	G4	G2	G1	G3	G2	G4
Miercuri	G2	G3	G3	G4	G4	G1	G1	G2
Joi	G1	G2	G2	G3	G3	G4	G4	G1
Vineri	G3	G4	G4	G1	G1	G2	G2	G3

G1 = {M1, M2, M3, M4, M5}
G2 = {M6, M7, M8, M9, M10}
G3 = {M11, M12, M13, M14, M15}
G4 = {M16, M17, M18, M19, M20}

Fig. 9 Planificarea săptămânală și lunară a operațiilor de verificare tehnică și de întreținere VT1 și VT2 a autobuzelor care compun parcul auto

În Fig. 10 se prezintă planificarea detaliată, la nivel de o săptămână, a sarcinilor atribuite mijloacelor de transport: "circulație pe traseu", "VT1", "VT2" și staționare în depou.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Luni	G1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT1	VT1	VT1	VT1	T	T	T	T	T	T	T	T	D	D
	G2	D	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT2	VT2	VT2	VT2	D	D
	G3	D	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Marți	G1	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT2	VT2	VT2	VT2	D	D
	G2	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT1	VT1	VT1	VT1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Miercuri	G1	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G2	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT1	VT1	VT1	VT1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G3	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT2	VT2	VT2	VT2	D	D
	G4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Joi	G1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT1	VT1	VT1	VT1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	D
	G2	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT2	VT2	VT2	VT2	D	D
	G3	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Vineri	G1	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G2	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	D	D	D	D	D
	G3	T	T	T	T	T	T	T	T	T	VT1	VT1	VT1	VT1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	VT2	VT2	VT2	VT2	D	D
Sâmbătă	G1	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T
	G2	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	D
	G3	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	D
	G4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Duminică	G1	T	T	T	T	T	T	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
	G2	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	G3	D	D	D	D	D	T	T	T	T	T	T	T	T	D	D	D	D	T	T	T	T	T	D
	G4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D

T = Traseu
D = Depou
VT1 = Verificare Tehnica 1
VT2 = Verificare Tehnica 2

Fig. 10 Planificarea săptămânală a sarcinilor atribuite mijloacelor de transport din PA

Fig. 11 redă planificarea lunară a sarcinilor atribuite autobuzelor cu specificația intervalului de timp, iar Fig. 12 prezintă planificarea circulației pe traseu a autobuzelor pe o lună.

zi/h		0-6		6-10		10-14		14-18		18-22		22-24	
Luni	1	G1	G2, G3, G4	G1, G2, G3	G4	G2, G3	G4	G1, G2, G3	G4	G1, G3	G4	G3	G1, G2, G4
Marți	2	G3	G1, G2, G4	G1, G2, G3	G4	G1, G2	G4	G1, G2, G3	G4	G2, G3	G4	G2	G1, G3, G4
Miercuri	3	G2	G1, G3, G4	G1, G2, G3	G4	G1, G3	G4	G1, G2, G3	G4	G1, G2	G4	G3	G2, G3, G4
Joi	4	G1	G2, G3, G4	G1, G2, G3	G4	G2, G3	G4	G1, G2, G3	G4	G1, G3	G4	G3	G1, G2, G4
Vineri	5	G3	G1, G2, G4	G1, G2, G3	G4	G1, G2	G4	G1, G2, G3	G4	G1, G3	G2	G4	G2, G3, G4
Sâmbătă	6	G1	G2, G3, G4	G1, G3	G2, G4	G1, G3	G2, G4	G2, G3	G1, G4	G1, G2, G3	G4	G1	G2, G3, G4
Duminică	7	G1	G2, G3, G4	G3	G1, G2, G4	G3	G1, G2, G4	G2	G1, G3, G4	G2, G3	G1, G4	G2	G1, G3, G4
Luni	8	G2	G1, G3, G4	G2, G3, G4	G1	G3, G4	G1	G2, G3, G4	G1	G2, G4	G1	G4	G1, G2, G3
Marți	9	G4	G1, G2, G3	G2, G3, G4	G1	G2, G3	G1	G2, G3, G4	G1	G3, G4	G1	G3	G1, G2, G4
Miercuri	10	G3	G1, G2, G4	G2, G3, G4	G1	G2, G4	G1	G2, G3, G4	G1	G2, G3	G1	G4	G1, G3, G4
Joi	11	G2	G1, G3, G4	G2, G3, G4	G1	G3, G4	G1	G2, G3, G4	G1	G2, G3	G1	G3	G1, G2, G3
Vineri	12	G4	G1, G2, G3	G2, G3, G4	G1	G3, G4	G1	G2, G3, G4	G1	G2, G3	G4	G1	G1, G3, G4
Sâmbătă	13	G2	G1, G3, G4	G2, G4	G1, G3	G2, G4	G1, G3	G2, G4	G1, G3	G2, G3, G4	G1	G2	G1, G3, G4
Duminică	14	G2	G1, G3, G4	G4	G1, G2, G3	G4	G1, G2, G3	G3	G1, G2, G4	G3, G4	G1, G2	G3	G1, G2, G4
Luni	15	G3	G1, G2, G4	G1, G3, G4	G2	G1, G4	G2	G1, G3, G4	G2	G1, G3	G2	G4	G2, G3, G4
Marți	16	G1	G2, G3, G4	G1, G3, G4	G2	G3, G4	G2	G1, G3, G4	G2	G1, G4	G2	G3	G1, G2, G3
Miercuri	17	G4	G1, G2, G3	G1, G3, G4	G2	G1, G3	G2	G1, G3, G4	G2	G3, G4	G2	G1	G1, G2, G4
Joi	18	G3	G1, G2, G4	G1, G3, G4	G2	G1, G4	G2	G1, G3, G4	G2	G1, G3	G2	G4	G2, G3, G4
Vineri	19	G1	G2, G3, G4	G1, G3, G4	G2	G3, G4	G2	G1, G3, G4	G2	G1, G3	G4	G2	G1, G2, G4
Sâmbătă	20	G3	G1, G2, G4	G1, G3	G2, G4	G1, G3	G2, G4	G1, G3	G2, G4	G1, G3, G4	G2, G4	G3	G1, G2, G4
Duminică	21	G3	G1, G2, G4	G1	G2, G3, G4	G1	G2, G3, G4	G4	G1, G2, G3	G1, G4	G2, G3, G4	G4	G1, G2, G3
Luni	22	G4	G1, G2, G3	G1, G2, G4	G3	G1, G2	G3	G1, G2, G4	G3	G2, G4	G3	G1	G1, G3, G4
Marți	23	G2	G1, G3, G4	G1, G2, G4	G3	G1, G4	G3	G1, G2, G4	G3	G1, G2	G3	G4	G2, G3, G4
Miercuri	24	G1	G2, G3, G4	G1, G2, G4	G3	G2, G4	G3	G1, G2, G4	G3	G1, G4	G3	G4	G1, G2, G3
Joi	25	G4	G1, G2, G3	G1, G2, G4	G3	G1, G2	G3	G1, G2, G4	G3	G2, G4	G3	G1	G1, G3, G4
Vineri	26	G2	G1, G3, G4	G1, G2, G4	G3	G1, G4	G3	G1, G2, G4	G3	G2, G4	G1	G3	G1, G2, G3
Sâmbătă	27	G4	G1, G2, G3	G2, G4	G1, G3	G2, G4	G1, G3	G2, G4	G1, G3	G1, G2, G4	G1, G3	G4	G1, G2, G3
Duminică	28	G4	G1, G2, G3	G2	G1, G3, G4	G2	G1, G3, G4	G1	G2, G3, G4	G1, G2	G1, G3, G4	G1	G2, G3, G4
Luni	29	G1	G2, G3, G4	G1, G2, G3	G4	G2, G3	G4	G1, G2, G3	G4	G1, G3	G4	G2	G1, G2, G4
Marți	30	G3	G1, G2, G4	G1, G2, G3	G4	G1, G2	G4	G1, G2, G3	G4	G2, G3	G4	G1	G1, G3, G4

T = Traseu

D = Depou

VT1 = Verificare Tehnica 1

VT2 = Verificare Tehnica 2

Fig. 11 Planificarea lunară a sarcinilor atribuite autobuzelor, pe intervale zilnice de timp

zi/h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Luni	1	G1	G1	G1	G1	G1	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G2, G3	G2, G3
Marti	2	G3	G3	G3	G3	G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3
Miercuri	3	G2	G2	G2	G2	G2	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2
Joi	4	G1	G1	G1	G1	G1	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3
Vineri	5	G3	G3	G3	G3	G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3
Sambata	6	G1	G1	G1	G1	G1	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3
Duminica	7	G1	G1	G1	G1	G1	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G2	G2	G2	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3
Luni	8	G2	G2	G2	G2	G2	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4
Marti	9	G4	G4	G4	G4	G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4
Miercuri	10	G3	G3	G3	G3	G3	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3
Joi	11	G2	G2	G2	G2	G2	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3
Vineri	12	G4	G4	G4	G4	G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3
Sambata	13	G2	G2	G2	G2	G2	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4	G2, G3, G4
Duminica	14	G2	G2	G2	G2	G2	G4	G4	G4	G4	G4	G4	G4	G4	G4	G3	G3	G3	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4
Luni	15	G3	G3	G3	G3	G3	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3
Marti	16	G1	G1	G1	G1	G1	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4
Miercuri	17	G4	G4	G4	G4	G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4
Joi	18	G3	G3	G3	G3	G3	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3
Vineri	19	G1	G1	G1	G1	G1	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3
Sambata	20	G3	G3	G3	G3	G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4	G1, G3, G4
Duminica	21	G3	G3	G3	G3	G3	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G1	G4	G4	G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4
Luni	22	G4	G4	G4	G4	G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4
Marti	23	G2	G2	G2	G2	G2	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2
Miercuri	24	G1	G1	G1	G1	G1	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4
Joi	25	G4	G4	G4	G4	G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4
Vineri	26	G2	G2	G2	G2	G2	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4
Sambata	27	G4	G4	G4	G4	G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4	G1, G2, G4
Duminica	28	G4	G4	G4	G4	G4	G2	G2	G2	G2	G2	G2	G2	G2	G2	G1	G1	G1	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2
Luni	29	G1	G1	G1	G1	G1	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3	G1, G3
Marti	30	G3	G3	G3	G3	G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G1, G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3	G2, G3

Fig. 12 Planificarea lunară a circulației autobuzelor pe traseu, pe intervale orare zilnice

În fine, Fig. 13 prezintă asignarea zilnică în interval de o săptămână a celor 45 de șoferi angajați pe cele 20 de autobuze care compun parcul auto.

Sofer/Zi	Lu 1	Ma 2	Mi 3	Jo 4	Vi 5	Sa 6	Du 7
S1	M1	M1	M1	M1	M1	x	x
S2	M2	M2	M2	M2	M2	x	x
S3	M3	M3	M3	M3	M3	x	x
S4	M4	M4	M4	M4	M4	x	x
S5	M5	M5	M5	M5	M5	x	x
S6	M1	M11	M1	M6	M6	x	x
S7	M2	M12	M2	M7	M7	x	x
S8	M3	M13	M3	M8	M8	x	x
S9	M4	M14	M4	M9	M9	x	x
S10	M5	M15	M5	M10	M10	x	x
S11	M6	M6	M6	M1	M11	x	x
S12	M7	M7	M7	M2	M12	x	x
S13	M8	M8	M8	M3	M13	x	x
S14	M9	M9	M9	M4	M14	x	x
S15	M10	M10	M10	M5	M15	x	x
S16	x	M11	M6	M1	M1	M1	x
S17	x	M12	M7	M2	M2	M2	x
S18	x	M13	M8	M3	M3	M3	x
S19	x	M14	M9	M4	M4	M4	x
S20	x	M15	M10	M5	M5	M5	x
S21	x	M1	M11	M6	M11	M1	x
S22	x	M2	M12	M7	M12	M2	x
S23	x	M3	M13	M8	M13	M3	x
S24	x	M4	M14	M9	M14	M4	x
S25	x	M5	M15	M10	M15	M5	x
S26	M11	x	x	M11	M6	M6	M6
S27	M12	x	x	M12	M7	M7	M7
S28	M13	x	x	M13	M8	M8	M8
S29	M14	x	x	M14	M9	M9	M9
S30	M15	x	x	M15	M10	M10	M10
S31	M1	x	x	M11	M11	M6	M1
S32	M2	x	x	M12	M12	M7	M2
S33	M3	x	x	M13	M13	M8	M3
S34	M4	x	x	M14	M14	M9	M4
S35	M5	x	x	M15	M15	M10	M5
S36	M6	M6	M6	x	x	M11	M11
S37	M7	M7	M7	x	x	M12	M12
S38	M8	M8	M8	x	x	M13	M13
S39	M9	M9	M9	x	x	M14	M14
S40	M10	M10	M10	x	x	M15	M15
S41	M11	M11	M11	x	x	M11	M11
S42	M12	M12	M12	x	x	M12	M12
S43	M13	M13	M13	x	x	M13	M13
S44	M14	M14	M14	x	x	M14	M14
S45	M15	M15	M15	x	x	M15	M15

A1 = Categoria A [6-14]

A2 = Categoria A [14-22]

B = Categoria B [22-6]

x = Liber

Fig. 13 Asignarea zilnică, într-o săptămână, a șoferilor pe autobuze și în rolurile A1, A2, B

Fig. 14 extinde asignarea zilnică a celor 45 de șoferi angajați pe cele 20 de autobuze care compun parcul auto la nivelul unei luni, cu menționarea rolurilor A1, A2, B în intervale orare.

3 CONCLUZII

Studiul de caz elaborat și prezentat – crearea unui serviciu reprezentativ pentru domeniul transportului public – furnizează rezultate experimentale relativ la problema complexă a modelării sistemelor pentru servicii (SServ) și a transpunerii acestui model generic în sisteme informaționale destinate unor clase tipice de servicii cu cerințe de calitate ridicată (în acest caz servicii de transport public) – punctualitate, siguranța, confort.

Este abordată macro-componenta de Management al Serviciului (MS) ca element de bază în ciclul de viață al unui serviciu; în cadrul acestei componente sunt preluate cerințele clientului formulate în cadrul componentei de Management al Comezilor Clientului (MCC) și transferate componentei de Organizare și Configurare a Serviciului (OCS) din cadrul MS prin intermediul cererii de ofertă.

Scopul OCS este acela de a realiza în mod automat o dimensionare a capacităților (de resurse umane și tehnologice) care să acopere cererea, în condiții de respectare a calității serviciului solicitat. În acest scop, se utilizează metodologia de creare a unui serviciu, care evidențiază trei etape majore de proiectare: (1) planificarea serviciului; (2) definirea și secvențierea activităților ce compun serviciul; (3) alocarea resurselor cu care va fi realizat serviciul. Crearea serviciului permite, în afară de evaluarea posibilităților de realizare conform cerințelor impuse de client (dată de furnizare, condiții tehnice și de calitate), estimarea costurilor necesare realizării. Aceste elemente vor fi confirmate clientului prin intermediul ofertei emise – ca rezultat direct al interpretării rezultatelor procesului OCS.

În cadrul studiului de caz prezentat, se fac referiri la metodele și algoritmiile disponibili în biblioteca OCS (*shared information library*) ce permit calculul unei soluții optime din punctul de vedere al costurilor, cu respectarea restricțiilor impuse nu numai în specificația clientului, dar și de legislație, mediu, concurență.

Rezultatele experimentale obținute validează soluțiile de modelare și implementare software propuse pentru sistemul generic SServ, cu particularizarea pentru clasa serviciilor de transport public. Orientarea către activități (sau operații) a sistemului pentru servicii permite iterări repetate ale secvenței OCS de procese de organizare și configurare, care implică clientul (prin negocieri), și prin care este co-creată valoare. În scopul asigurării unei interactivități adecvate cu clientul, în cadrul macro-componentei de Contractare a Serviciului și definirea ANS sunt asigurate clientului o serie de servicii web oferite în *front-office* pentru: specificarea cerințelor, vizualizarea și analiză ofertei, negociere, taxare și facturare, evaluare și comunicare de către client a percepției asupra calității serviciului livrat.

Implementarea și validarea experimentală a modelului OCS ca o componentă de bază a managementului serviciului de transport public demonstrează conceptul de deschidere (*openness*) conform căruia a fost elaborat modelul de sistem pentru servicii SServ, transpus în arhitectură SOA (Service Oriented Architecture).

CAPITOLUL 6: REZULTATE EXPERIMENTALE. STUDIU DE CAZ PENTRU SERVICII DE TRANSPORT PUBLIC

6.1. MANAGEMENTUL SERVICIULUI DE TRANSPORT PUBLIC. CRITERII DE ORGANIZARE ȘI CONFIGURARE A SERVICIULUI (OCS).....	199
6.2.1. Modele de programare matematică pentru planificarea personalului în servicii de transport public.....	201
6.2.2. Modele de tip acoperire de seturi și partitionare de seturi.....	203
6.2.3. Alți algoritmi de planificare a resursei umane.....	204
6.2. STUDIU DE CAZ PENTRU SERVICII DE TRANSPORT PUBLIC. SOLUȚIONAREA PROBLEMEI DE PLANIFICARE ȘI ALOCARE A RESURSELOR. .	204
6.2.1. Formularea cerințelor pentru serviciul de transport public.....	205
6.2.2. Alegerea soluției de management al serviciului de transport public	205
6.3. CONCLUZII	225

Tabel 6.1 Intervalele impuse pentru sosirea autobuzelor în stații	205
Tabel 6.2 Necesarul de autobuze pentru intervalele impuse de sosire în stații	207
Tabel 6.3 Soluția optimă de alocare șoferi pe ture zilnice (luni-vineri)	210
Tabel 6.4 Soluția optimă de alocare șoferi pe ture zilnice (sâmbăta).....	212
Tabel 6.5 Soluția optimă de alocare șoferi pe ture zilnice (duminica).....	213
Tabel 6.6 Solutia optimă de alocare șoferi pe ture săptămânale	214

Fig. 6.1 Necesarul de autobuze pentru serviciul de transport public (luni-vineri).....	209
Fig. 6.2 Necesarul de autobuze pentru serviciul de transport public (sâmbăta)	211
Fig. 6.3 Necesarul de autobuze pentru serviciul de transport public (duminica).....	212
Fig. 6.4 Asignarea șoferilor în ture zilnice într-o săptămână.....	215
Fig. 6.5 Calculul costurilor săptămânale de personal	216
Fig. 6.6 Alocarea șoferilor în ture zilnice într-o lună (șoferii 1-15 au zile libere sâmbătă și duminică).....	217
Fig. 6.7 Calculul costurilor de personal lunare (tarif de noapte dublu față de cel de zi)	218
Fig. 6.8 Planificarea săptămânală pentru circulație pe traseu a grupelor de autobuze din PA	219
Fig. 6.9 Planificarea săptămânală și lunară a operațiilor de verificare tehnică și de întreținere VT1 și VT2 a autobuzelor care compun parcul auto	219
Fig. 6.10 Planificarea săptămânală a sarcinilor atribuite mijloacelor de transport din PA....	220
Fig. 6.11 Planificarea lunară a sarcinilor atribuite autobuzelor, pe intervale zilnice de timp	221
Fig. 6.12 Planificarea lunară a circulației autobuzelor pe traseu, pe intervale orare zilnice..	222

Fig. 6.13 Asignarea zilnică, într-o săptămână, a șoferilor pe autobuze și în rolurile A1, A2, B 223

Fig. 6.14 Asignarea zilnică, într-o lună, a șoferilor pe autobuze și în rolurile A1, A2, B 224