

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

Cu titlu de manuscris

C.Z.U.: 519.8; 004.4

**ISTRATI DANIELA**

**METODE DE OPTIMIZARE ȘI INTERFEȚE ÎN  
ORGANIZAREA SISTEMELOR DE PRODUCȚIE**

**122.03 “MODELARE, METODE MATEMATICE, PRODUSE PROGRAM”**

Teză de doctor în informatică

Conducător științific: \_\_\_\_\_ MORARU Vasile,  
dr. în șt. fizico-matematice, prof. univ.

Conducător științific: \_\_\_\_\_ ZAPOROJAN Sergiu,  
dr. în șt. tehnice, conf. univ.

Autor: \_\_\_\_\_ ISTRATI Daniela

**CHIȘINĂU, 2023**

**©ISTRATI DANIELA, 2023**

## CUPRINS

ADNOTARE.....	5
LISTA ABREVIERILOR.....	8
INTRODUCERE.....	9
1. STAREA ACTUALĂ A CERCETĂRILOR PRIVIND ORGANIZAREA SISTEMELOR DE PRODUCȚIE.....	16
1.1. Cadrul conceptual al sistemelor de producție .....	16
1.2. Modelarea matematică a problemei de planificare a resurselor umane .....	24
1.3. Locul și rolul interfețelor HMI în sistemele de producție .....	29
1.4. Formularea problemei de cercetare .....	38
1.5. Concluzii la capitolul 1.....	40
2. METODE ȘI MODELE DE OPTIMIZARE PENTRU PLANIFICAREA RESURSELOR UMANE.....	41
2.1. Clasificarea și modelarea problemelor de programare a personalului .....	42
2.1.1. Scurtă trecere în revistă a literaturii .....	42
2.1.2. Clasificarea modelelor .....	43
2.2. Modele și tehnici de optimizare .....	45
2.2.1. Metoda celor mai mici pătrate pentru problema de optimizare pătratică .....	46
2.2.2. O metodă pentru programarea pătratică binară cu matrice circulantă .....	50
2.2.3. Reformularea continuă pentru problema de optimizare pătratică binară .....	54
2.3. Problema de planificare a zilelor libere consecutive.....	59
2.3.1. Definirea problemei de planificare a zilelor libere consecutive .....	60
2.3.2. Modelul de programare binară pătratică .....	60
2.3.3. Valorile proprii și vectorii proprii ale matricei circulante .....	63
2.3.4. Reformulare în termeni de problemă de programare separabilă .....	66
2.3.5. Algoritmul de rezolvare .....	69
2.4. Cu privire la simbioza om-mașină în procesele de producție moderne .....	71
2.5. Concluzii la capitolul 2.....	73

3. INTERFEȚE ÎN ORGANIZAREA SISTEMELOR DE PRODUCȚIE .....	75
3.1. Problematika interfeței în organizarea sistemelor de producție .....	75
3.2. Analiza elementelor de bază a componentei interacțiune .....	79
3.3. Abordare conceptuală a unei interfețe HMI .....	83
3.4 Aplicație web de management a resursei umane .....	87
3.5. Concluzii la capitolul 3.....	92
4. MONITORIZAREA ȘI VALIDAREA FLUXULUI RESURSEI UMANE ÎN ÎNTREPRINDERE .....	93
4.1 Locul și importanța sistemului elaborat .....	93
4.2 Importanța gestionării fluxului resurselor umane .....	95
4.3 Concluzii la capitolul 4.....	110
CONCLUZII GENERALE .....	111
BIBLIOGRAFIA.....	113
ANEXE .....	129
Anexa1. Planificarea zilelor libere consecutive: Studiu de caz.....	129
Anexa 2. Descrierea aplicației web de management a resursei umane .....	131
A2.1 Fragment cod sursă .....	131
A2.2 Pagina de profil a angajatului .....	142
A2.3. Pagina de profil a managerului .....	142
A2.4. Pagina de gestionare a angajaților.....	143
A2.5 Pagina de profil ce afișează calendarul zilelor libere generat de model .....	143
Anexa 3. Descrierea aplicației de monitorizare a accesului resursei umane .....	144
A3.1 Componenta recunoaștere facială - cod sursă.....	144
A 3.2 Componenta măsurarea temperaturii - cod sursă.....	146
Anexa 4. Acte de implementare.....	149

## ADNOTARE

**la teza ”Metode de optimizare și interfețe în organizarea sistemelor de producție”  
prezentată de către Istrati Daniela pentru conferirea titlului de doctor în informatică,  
Chișinău, 2023**

**Structura tezei.** Teza de doctor cuprinde introducerea, patru capitole, concluzii, bibliografia cu 169 titluri, 4 anexe, 103 pagini text de bază, inclusiv 28 figuri. Rezultatele obținute sunt publicate în 12 lucrări, inclusiv unic autor la trei lucrări și trei ca prim autor.

**Cuvinte-cheie:** programare pătratică, optimizare binară pătratică, matrice circulantă, interfață, recunoaștere facială, resursă umană, planificare zile libere consecutive.

**Scopul lucrării** constă în elaborarea unor noi modele și metode de planificare-optimizare a resurselor umane necesare organizării și funcționării sistemelor de producție moderne.

**Obiectivele cercetării** includ analiza și cercetarea abordărilor moderne de construire a interfețelor om-mașină, a modelelor și metodelor de organizare a sistemelor de producție și planificare a resurselor, elaborarea și dezvoltarea unor metode de optimizare și de planificare a resurselor umane.

**Noutatea și originalitatea științifică** constă în elaborarea de noi metode de optimizare și planificare a fluxului resursei umane în sistemele de producție, iar soluția propusă este rezolvarea problemelor de optimizare pătratică binară neconvexă cu matrice circulante, structura căreia permite diagonalizarea ei.

**Problema științifică soluționată** constă în cercetarea și propunerea unei metode originale de rezolvare a problemei de planificare a zilelor libere consecutive, care este formulată ca o problemă binară de programare pătratică neconvexă. Tratarea se bazează pe proprietățile matricei simetrice circulante care formează funcția obiectiv. Problema de programare pătratică se transformă într-o problemă echivalentă de programare pătratică separabilă.

**Semnificația teoretică** o reprezintă elaborarea și dezvoltarea unei metode originale de rezolvare a problemei de planificare a resursei umane, care este formulată ca o problemă binară de programare pătratică. Caracteristica transformării problemei într-o problemă de optimizare separabilă este că problema rămâne bine condiționată independent de numărul variabilelor de decizie. Astfel de abordări cu matrice circulante nu sunt studiate pe larg în literatură.

**Valoarea aplicativă** - modelul și metoda de planificare-optimizare a resurselor umane reprezintă o bază teoretică și practică în organizarea sistemelor de producție moderne.

**Implementarea rezultatelor științifice** constă în utilizarea modelelor și sistemelor elaborate în spațiile companiei ”Pentalog Chișinău” și a FCIM, UTM și în procesul de studiu.

## ANNOTATION

for the thesis "Optimization methods and interfaces in production systems organization ",  
presented by Istrati Daniela for conferring a Ph.D. title in computer science,  
Chişinău, 2023

**Thesis structure.** The Ph.D. thesis comprises the introduction, four chapters, conclusions and bibliography (169 titles), 4 appendixes, 103 pages of main text, 28 figures. The obtained results are published in 12 scientific papers, including sole author on three papers and three as first author.

**Keywords:** quadratic programming, binary quadratic optimization, circulant matrix, interface, facial recognition, human resource, consecutive days off planning.

**The purpose of research** is to develop new models and methods of planning and optimization of necessary human resources for the modern production systems organization and operation.

**The research objectives** include the analysis and research of modern approaches to building man-machine interfaces, models and methods of production systems organization and resource planning, the elaboration and development of optimization and human resource planning methods.

**The scientific novelty and originality** consist in the development of new methods of optimization and planning of the human resource flow in production systems. The proposed solution is the solution of non-convex binary quadratic optimization problems with circulant matrix, the structure of which allows its diagonalization.

**The solved scientific problem** is to research and propose an original method for solving the consecutive days off scheduling problem, which is formulated as a nonconvex binary quadratic programming problem. The problem approach is based on the properties of the circulant symmetric matrix that forms the objective function. The quadratic programming problem turns into an equivalent separable quadratic programming problem.

**The theoretical significance** is the elaboration and development of an original method for solving the human resource planning problem, which is formulated as a binary quadratic programming problem. The characteristic of transforming the problem into a separable optimization problem is that the problem remains well-conditioned independent of the number of decision variables. Such circulant matrix approaches are not widely studied in the literature.

**The applied value** - the model and method of human resources planning and optimization represent a theoretical and practical basis in the organization of modern production systems.

**The implementation of the scientific results** consists in the use of the models and systems developed in "Pentalog Chişinău" company and FCIM, UTM spaces and in the study process.

**ANNOTATION**  
**pour la thèse « Méthodes d'optimisation et interfaces dans l'organisation des systèmes de production », présentée par Istrati Daniela pour obtenir le titre de docteur en informatique, Chisinau, 2023**

**Structure de la thèse.** La thèse comprend l'introduction, 4 chapitres, les conclusions et la bibliographie (169 titres), 4 annexes, 103 pages de texte principal, 28 figures. Les résultats sont publiés dans 12 travaux, dont auteur unique de 3 articles et 3 comme premier auteur.

**Mots-clés :** programmation quadratique, optimisation quadratique binaire, matrice circulante, interface, reconnaissance faciale, ressource humaine, planifier jours repos consécutifs.

**Le but de la recherche** est de développer de nouveaux modèles et méthodes de planification et d'optimisation des ressources humaines requis à l'ordre des systèmes de production.

**Les objectifs de la recherche** englobent l'analyse et la recherche d'approches modernes de construction d'interfaces homme-machine, de modèles et de méthodes d'organisation des systèmes de production et de planification des ressources, l'élaboration et le développement de méthodes d'optimisation et de planification des ressources humaines.

**La nouveauté et l'originalité scientifiques** consistent dans le développement de nouvelles méthodes d'optimisation et de planification du flux de ressources humaines dans les systèmes de production. La solution proposée est la solution de problèmes d'optimisation quadratique binaire non convexe à matrice circulante dont la structure permet sa diagonalisation.

**Le problème scientifique résolu** est de rechercher et de proposer une méthode originale à résoudre le problème de planification des jours de repos consécutifs, qui est formulé comme un problème de programmation quadratique binaire non convexe. Le traitement est basé sur les propriétés de la matrice symétrique circulante qui forme la fonction objective. Le problème de programmation quadratique se transforme en un problème de programmation quadratique séparable équivalent.

**La signification théorique** est l'élaboration et le développement d'une méthode originale de résolution du problème de planification des ressources humaines, qui est formulé comme un problème de programmation quadratique binaire. La particularité de le transformer en un problème d'optimisation séparable est qu'il reste bien conditionné indépendamment du nombre de variables de décision. De telles approches de matrices circulantes sont peu étudiées dans la littérature.

**Valeur applicative** - le modèle et la méthode de planification-optimisation des ressources humaines est une base théorique et pratique dans l'ordre des systèmes de production modernes.

**La mise en œuvre des résultats scientifiques** consiste en l'utilisation des modèles et systèmes développés à « Pentalog » et à FCIM, UTM et dans le processus d'étude.

## LISTA ABREVIERILOR

- CPPS - Cyber-Physical Production Systems (Sisteme de Producție Ciber-Fizice)
- DCA – Difference of Convex Functions Algorithm (Algoritmul Diferența de Funcții Convexe)
- DFT - Discret Fourier Transform (Transformata Fourier Discretă)
- ERP - Enterprise Resource Planning (Planificarea Resurselor Întreprinderii)
- H2M - Human-to-Machine (De la Om la Mașină)
- HMI – Human Machine Interaction (Interacțiunea Om-Mașină)
- HR - Human Resources (Resurse Umane)
- I4.0 – Industry 4.0 (Industria 4.0)
- IoT - Internet of Things (Internetul Lucrurilor)
- KPI- Key Performance Indicator (Indicator de Performanță)
- M2H - Machine-to-Human (De la Mașină la Om)
- MES - Manufacturing Execution System (Sistemul de Execuție al Producției)
- MRP - Material Requirements Planning (Planificarea Cerințelor Materiale)
- PLM - Product Lifecycle Management (Managementul Ciclului de Viață al Produselor)
- QP - Quadratic Programming (Programare Pătratică)
- RLT-Reformulation - Linearization Technique (Tehnica Reformulării Liniare)
- SMS - Smart Manufacturing Systems (Sisteme Inteligente de Producție)
- UI - User Interface (Interfața Utilizator)
- IMM - Întreprinderi Mici și Mijlocii
- PL - Programare Liniară



## INTRODUCERE

**Actualitatea temei de cercetare.** Planificarea producției implică multe decizii, care trebuie luate în considerare. Mai ales că, în ultimii ani, piața se schimbă dinamic și producătorii încearcă să finalizeze comenzile în cel mai scurt timp. Problema apare atunci, când noi planuri de producție sunt generate și implementate într-o perioadă scurtă de timp. De aceea, sunt necesare analize și cercetări legate nu doar de mediul întreprinderii, ci și de planificarea resurselor, sistemele de suport decizional și fluxul datelor. Planificarea resurselor reprezintă o componentă de bază în organizarea și funcționarea întreprinderii, problema de planificare și optimizare a resursei umane fiind una centrală.

Un caz aparte ține de întreprinderile mici și mijlocii (IMM), în special IMM-urile de producere, cercetare și inovare, care se caracterizează, spre exemplu, prin dimensiunea lor redusă și particularități specifice în planul organizării și operaționalizării activităților. Printre trăsăturile definitorii ale întreprinderilor mici se evidențiază următoarele două: realizarea de produse și servicii inovative pentru cerere diferențiată, respectiv, suprapunerea frecventă a rolurilor de manager, întreprinzător și proprietar. La acestea se adaugă flexibilitatea firmelor mici, caracteristică absolut necesară în condițiile unui climat organizațional puternic influențat de schimbare și inovare. Există mai mulți factori de context ce influențează activitățile IMM-urilor de producere, cercetare și inovare, schimbările operative în comanda de producție fiind adesea în prim plan. Asemenea schimbări implică o organizare specifică producției de unicat și serie mică, caracterizată printr-o nomenclatură de fabricație inconstantă. La rândul lor, schimbările operative în comanda de producție implică activități operative de pregătire a producției, între care activitățile de adaptare și (re)planificare a resursei umane se impun în mod aproape obligatoriu.

În acest context, sunt importante soluțiile care vin să sprijine problemele emergente legate de situații de planificare și luare a deciziilor, în special atunci când apar comenzi noi sau când este necesară reorganizarea sarcinilor și resurselor. De asemenea, din punctul de vedere al unui decident, este important ca informațiile și datele din procesele de producție să fie adecvate, pentru a lua decizii optime.

Suportul decizional în organizarea optimă a activității unei întreprinderi nu este întotdeauna posibil fără produse informatice care au la bază modelele matematice de optimizare. Este și cazul problemei de planificare a resurselor umane. Planificarea și optimizarea zilelor libere pentru personalul din sectorul public, cât și din companiile private este o parte importantă a procesului de planificare a resurselor umane. O planificare bună (optimă) are multe beneficii, cum ar fi costuri mai mici, utilizarea eficientă a resurselor și sarcini de lucru și schimburi mai echitabile. Astfel, se

obține o problemă de optimizare cu variabile binare. În caz general, aceste probleme de optimizare sunt NP- dificile și greu de a fi rezolvate eficient. Timpul de rezolvare crește, în general, dramatic odată cu creșterea dimensiunii problemei și adesea doar problemele în dimensiuni mici sau în dimensiuni moderate pot fi practic rezolvate eficient. Aceste considerente și progresul în modelarea matematică impune cercetarea, analiza, elaborarea și implementarea modelelor moderne în termenii programării matematice și a metodelor efective noi, ceea ce constituie o problemă actuală de importanță majoră. Actualitatea și importanța acestei probleme a devenit și mai stringentă în perioada pandemiei Covid-19, perioadă în care a devenit imperativ necesară o adaptabilitate mai mare în planificarea și optimizarea zilelor libere pentru personalul implicat în activități de producere/servicii.

Acceptând clasificarea predominantă a Industriei 4.0 ca o dezvoltare revoluționantă, relevanța și semnificația sa pentru economiile avansate sunt evidente. O abordare sistemică la nivel de planificare, control și monitorizare a sistemului de producție presupune în mod obligatoriu luarea în considerare a interfeței cu mediul de firmă implicat. Prin mediu de firmă se subînțelege totalitatea elementelor aferente organizării și funcționării întreprinderii. În contextul conceptului Industria 4.0, un aspect esențial în interacțiunea om - mașină se referă la dimensiunea interacțiunii, interfețele de utilizator folosite fiind definiții în acest sens. Astfel, o atenție deosebită în cercetările legate de interacțiunea om - mașină în Industria 4.0 este acordată interfețelor de utilizator, care prezintă interes științifico-practic în ceea ce privește caracteristicile, tipurile, funcționalitatea și scenariile de aplicație, acestea din urmă fiind diverse și implementate pentru procesele de planificare, monitorizare și control, precum și în activitățile de întreținere. În consecință, dimensiunea interacțiunii fiind esențială în organizarea și managementul întreprinderii, abordarea unor noi arhitecturi conceptuale a interfețelor de utilizator reprezintă o problemă actuală.

Indiferent de tipul întreprinderii, în condiții reale mediul acesteia este supus diverselor turbulențe, adică numeroase și neașteptate schimbări, care au un impact economic, social și managerial. Turbulențele în mare parte sunt de amploare redusă, însă unele dintre ele nu pot fi anticipate și cuantificate suficient de precis, recenta pandemie Covid-19 prezentând un caz elocvent în acest sens. Deci, este absolut evident că turbulențele trebuie luate în considerare prin prisma faptului că pot genera perturbații puternice, inclusiv asupra resursei umane implicate în producere, și amplifică incertitudinile de ordin divers. În acest context este actuală construirea și dezvoltarea sistemelor de monitorizare și validare a personalului întreprinderii. Sub aspect tehnico-științific asemenea sisteme ar trebui privite ca parte integrantă a modelelor conceptuale a interfețelor de utilizator, fiind interconectate cu sistemele de suport decizional aferente.

**Domeniul de cercetare.** Teza de doctorat are ca domeniu de cercetare modele și metode de planificare-optimizare a resurselor necesare organizării și funcționării sistemelor de producție moderne, în special a fluxului resursei umane.

**Ipoteza de cercetare.** Problema de planificare a personalului este modelată ca o problemă de programare pătratică binară. Metodele și modelele de programare matematică sunt capabile să ofere soluțiile optime (locale sau globale), garantând în același timp satisfacerea preferințelor angajaților ceea ce duce la creșterea calității serviciilor.

**Scopul lucrării (sau obiectivul general):** Elaborarea și dezvoltarea unor noi modele și metode de planificare-optimizare a resurselor umane necesare organizării și funcționării sistemelor de producție moderne.

**Obiectivele cercetării:** Din scopul propus rezultă următoarele **obiective ale cercetării:**

1. Analiza modelelor și metodelor de organizare a sistemelor de producție și planificarea resurselor;
2. Elaborarea și dezvoltarea unor metode de optimizare și de planificare a fluxului resurselor umane în cadrul sistemelor de producție moderne;
3. Analiza abordărilor moderne de construire a interfețelor om-mașină;
4. Abordarea unei arhitecturi conceptuale a interfeței om-mașină;
5. Elaborarea și implementarea unui prototip de monitorizare a fluxului resursei umane în cadrul instituțiilor publice / sistemelor de producție.

**Suportul metodologic și teoretico-științific al cercetărilor.** Cercetările elaborate sunt bazate pe modele matematice și metode de optimizare, cum ar fi programare binară pătratică, programare separabilă, algebră liniară, concepte arhitecturale în proiectarea interacțiunii om-mașină.

Pe parcursul lucrărilor de cercetare a fost utilizată metodologia ipotetico-deductivă. Argumentarea utilizării acestei metode reiese din natura sistemelor și proceselor studiate și din posibilitatea verificării corectitudinii ipotezelor formulate pe parcursul procesului de cercetare.

**Noutatea și originalitatea științifică.** Au fost elaborate noi metode de optimizare și planificare a fluxului resurselor umane în cadrul sistemelor de producție. Originalitatea soluțiilor propuse constă în rezolvarea problemelor de optimizare pătratică binară neconvexă cu matrice circulante. Structura matricei circulante din funcția scop permite diagonalizarea ei. Principala provocare practică este calcularea rapidă a matricelor din cadrul modelului.

**Problema științifică soluționată** constă în cercetarea și propunerea unei metode originale de rezolvare a problemei de planificare a zilelor libere consecutive, care este formulată ca o problemă binară de programare pătratică neconvexă. Tratarea se bazează pe proprietățile matricei

simetrice circulante care formează funcția obiectiv. Problema de programare pătratică se transformă într-o problemă echivalentă de programare pătratică separabilă.

**Semnificația teoretică a lucrării** o reprezintă elaborarea și dezvoltarea unei metode originale de rezolvare a problemei de planificare a fluxului resurselor umane, care este formulată ca o problemă binară de programare pătratică. Caracteristica transformării problemei într-o problemă de optimizare separabilă este că problema rămâne bine condiționată independent de numărul variabilelor de decizie din formularea problemei. Astfel de abordări cu matrice circulante nu sunt studiate în literatură.

**Valoarea aplicativă a lucrării.** Modelul și metoda de planificare-optimizare a resurselor umane, propuse în teză, reprezintă o bază teoretică și practică indispensabilă în organizarea și funcționarea sistemelor de producție moderne, inclusiv pot fi utilizate cu succes în procesul de studiu universitar. De asemenea, sistemul de monitorizare a accesului persoanelor în spațiile publice, poate fi utilizat pentru validarea accesului persoanelor în spațiile întreprinderilor.

**Implementarea rezultatelor științifice.** Modelele și sistemele elaborate au fost implementate în cadrul companiei "Pentalog Chișinău" și a Facultății CIM, UTM.

#### **Rezultatele științifice înaintate spre susținere:**

1. Metodă de optimizare a fluxului resurselor umane în cadrul sistemelor de producție, axată pe rezolvarea problemei de planificare a zilelor libere consecutive.
2. Metode și algoritmi de rezolvare a problemelor de programare pătratică (cu restricții inegalități, reformulări continue în optimizarea binară pătratică neconstrânsă, binară cu matrice circulante).
3. Concept de interfață web pentru managementul resursei umane.
4. Sistem-prototip de monitorizare a fluxului resursei umane în spațiul instituțiilor publice / companiilor de producție.

**Aprobarea rezultatelor lucrării.** Rezultatele principale ale lucrării au fost prezentate la următoarele conferințe științifice internaționale/naționale:

1. 11-th, 12-th International Conference on Electronics, Communications and Computing. October 2021, 2022, Chișinău, Moldova.
2. 6-th International Conference "Telecommunications, Electronics and Informatics", ICTEI-2018, May 24-27, 2018, Chișinău, Moldova.
3. 9-th International Conference of Microelectronics and Computer Science, October 19-21, 2017, Chișinău, Moldova.
4. Conferința Internațională Modelare Matematică, Optimizare și Tehnologii Informaționale (MMOTI 2016), 22-25 martie, 2016. Ediția a V-a.

5. Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 30 martie 2022, Chișinău, Republica Moldova.
6. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 23-25 martie 2021, Chișinău, Republica Moldova.
7. Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, 1-3 aprilie 2020, Chișinău, Republica Moldova.

**Publicații științifice.** La tema tezei au fost publicate 12 lucrări științifice, dintre care două articole în reviste de categoria B+, inclusiv unul ca unic autor, un articol în revistă de categoria B, 6 articole în culegeri științifice internaționale (unul singur autor). Per ansamblu, unic autor la trei lucrări din cele sus-indicate și trei ca prim autor.

**Structura și volumul lucrării.** Teza este compusă din introducere, patru capitole, concluzii finale, bibliografie (169 titluri) și 4 anexe. Conținutul de bază al tezei este expus pe 103 pagini, inserează 28 figuri.

#### **Conținutul de bază a lucrării.**

În **Introducere** este prezentată argumentarea și actualitatea temei de cercetare. Sunt formulate scopul și sarcinile cercetării, sunt prezentate domeniul și obiectivele cercetării, elementele de noutate științifică a rezultatelor obținute. De asemenea este evidențiată semnificația teoretică și valoarea aplicativă a domeniului de studiu.

În capitolul 1, **Starea actuală a cercetărilor privind organizarea sistemelor de producție**, este realizată analiza conceptuală a sistemelor de producție ghidate de genericul Industry 4.0, este efectuată trecerea în revistă a modelelor și metodelor utilizate în organizarea sistemelor de producție, este descris locul și rolul interacțiunii om-mașină în sistemele de producție moderne. Este formulată problema și direcția de cercetare (triada modelare matematică – interacțiune HMI – monitorizarea perturbațiilor la nivel de resursă umană).

În capitolul 2, **Metode și modele de optimizare pentru planificarea resurselor umane**, este realizată o analiză detaliată a problemei de planificare a personalului (resursei umane), fiind trecute în revistă și clasificată literatura de specialitate referitoare problemei programării personalului. Sunt prezentate noi abordări și tendințe, diferite perspective de clasificare în domeniul respectiv. Sunt descrise și analizate modele și tehnici de optimizare existente. Este prezentată rezolvarea problemei de planificare a zilelor libere consecutive.

Structura matricei circulante din funcția scop permite diagonalizarea ei. Principala provocare practică este calcularea rapidă a matricei diagonale  $\Lambda_0$  și a matricei Fourier  $F_0$ , care în abordarea noastră reduce problema considerată la o problemă de programare pătratică separabilă. Caracteristica acestei transformări este că matricea  $F = F_0 \oplus F_0 \oplus \dots \oplus F_0 \oplus F_0$  rămâne bine

condiționată ( $\text{cond}(F)=1$ ) independent de numărul variabilelor de decizie din formularea problemei. Din câte cunoaștem, astfel de abordări cu matrice circulante nu sunt studiate în literatură.

Tot în cadrul acestui capitol se cercetează rezolvarea problemelor de optimizare pătratică. În cazul problemei de programare pătratică binară, ideea principală a fost de a o transforma într-o nouă problemă de optimizare cu doar două constrângeri convexe. Problema de optimizare pătratică cu restricții liniare inegalități ca rezultat al transformărilor condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker este redusă la rezolvarea unui sistem de ecuații, sistem, care poate fi rezolvat cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate.

În capitolul 3, **Interfețe în organizarea sistemelor de producție**, este prezentată o rezolvare a sistemului interfață-utilizator. Sunt analizate elementele principale ale dimensiunii interacțiune, din cadrul unei interfețe HMI, utilizate în dezvoltarea și implementarea lor în organizarea sistemelor de producție moderne. Este prezentată o abordare conceptuală pentru construirea interfețelor utilizator, care permite integrarea modelului de programare pătratică propus în capitolul 2. Acesta oferă posibilitatea adaptării modulului de programare pătratică pentru accesarea resurselor web specializate în realizarea calculului aferent planificării resursei umane.

Unul din obiectivele principale ale abordării conceptului interfeței este de a asigura conexiuni între aplicațiile IoT și modelul de programare pătratică integrat în interfață, cu scopul de a conferi sistemului unele elemente de inteligență. În acest sens, conceptul propus permite conectarea unor posibile sisteme specializate, cum ar fi, de exemplu, un sistem de recunoaștere facială și scanare termică, care ar asigura monitorizarea și validarea resursei umane în cadrul întreprinderii. Totodată, este prezentată descrierea aplicației web de management a resursei umane, ca parte integrantă a arhitecturii conceptuale a interfeței utilizator, accesibilă managerilor și angajaților întreprinderii.

În capitolul 4, **Monitorizarea și validarea fluxului resursei umane în întreprindere**, este descris un sistem de monitorizare și control al fluxului resursei umane în întreprindere, care a fost conceput și elaborat în cadrul unui proiect de cercetare cu participarea nemijlocită în calitate de coordonator a autoarei prezentei teze de doctorat. Soluția tehnică propusă constă în crearea unui sistem, care conține o cameră video cu un senzor termic conectat la o platformă web, ceea ce permite gestionarea și restricționarea accesului persoanelor într-o clădire (care au sau au avut febră). Sunt prezentate și discutate detaliile tehnice, precum: proiectarea sistemului, interfața, planificarea proiectului și aspecte specifice ale soluției propuse.

Sistemul elaborat este capabil să monitorizeze fluxul resursei umane ale unei companii, oferind informații utile în timp real referitor la eventuale perturbații asupra sistemului de producție.

Astfel, se asigură o viziune holistică asupra capacității reale de operare a unei companii și se permite, de asemenea, prognozarea eficientă a cererii (în cazul nostru, a administrației companiei, în dependență de numărul necesar al angajaților în ziua respectivă pentru îndeplinirea unei anumite sarcini). Controlul fluxului resursei umane permite luarea în considerare a perturbațiilor posibile (ca de exemplu în cazul pandemiei COVID-19) și să se obțină o (re)planificare optimă a producției.

În **Concluzii și recomandări** sunt expuse cele mai importante realizări și rezultate ale tezei.

**Anexele**, patru la număr, conțin un studiu de caz în care se consideră un exemplu de planificare a zilelor libere consecutive; descrierea aplicației web de management a resursei umane (fragment cod sursă, paginile de profil ale angajatului, a managerului și care afișează calendarul zilelor libere generat de model, pagina de gestionare a angajaților); descrierea aplicației de monitorizare a accesului resursei umane - cod sursă (componentele recunoaștere facială și măsurarea temperaturii) și actele de implementare.

# 1. STAREA ACTUALĂ A CERCETĂRIILOR PRIVIND ORGANIZAREA SISTEMELOR DE PRODUCȚIE

## 1.1. Cadrul conceptual al sistemelor de producție

Înainte de a defini un sistem de producție, este util să se prezinte noțiuni generale cu privire la sistem. Conform surselor cercetate, un sistem este un grup de elemente independente, care interacționează, sau, care formează un tot întreg, pentru a atinge un scop comun [1], [2]. Sistemul este o colecție de părți legate ca o unitate, unde componentele sale interacționează. În calitate de exemplu pot fi prezentate diferite sisteme cu care se interacționează în viața de zi cu zi: sistemul de aprovizionare cu apă este constituit din țevi, valve, pompe, echipament care pompează și rezervoare, alături de personalul operațional și management. Plantele și animalele sunt elementele ale sistemului ecologic. Corpul uman este un sistem compus din mai multe părți care funcționează ca un tot întreg. Mediul de afaceri, la fel, este compus din sistemul de fabricație a bunurilor, transferuri de fonduri, evidența lucrurilor care au fost vândute, returnate sau schimbate.

Cercetările științifice în cadrul acestei teze de doctorat se axează pe problematica metodelor de optimizare și interfețe în organizarea sistemelor de producție.

O întreprindere poate fi reprezentată cu următoarele componente principale: *intrări*, *ieșiri*, *proces informațional*, *feedback* și *mediu*, după cum este reprezentat și în figura 1.1 [2].

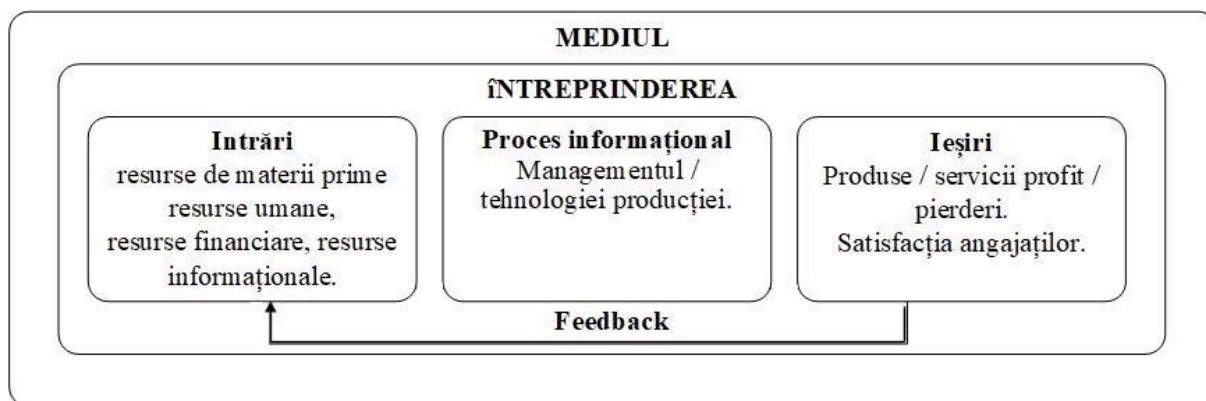


Fig. 1.1. Vederea sistemică a unei întreprinderi

- *Intrările* sunt resursele materiale, umane, financiare sau informaționale, utilizate pentru producerea bunurilor sau a serviciilor;
- *Ieșirile* includ produsele și serviciile organizației;
- *Procesul informațional* este utilizarea tehnologiei producției pentru modificarea intrărilor în ieșiri;
- *Feedback-ul* este cunoașterea rezultatului care influențează selectarea intrărilor în timpul următoarei etape a procesului;

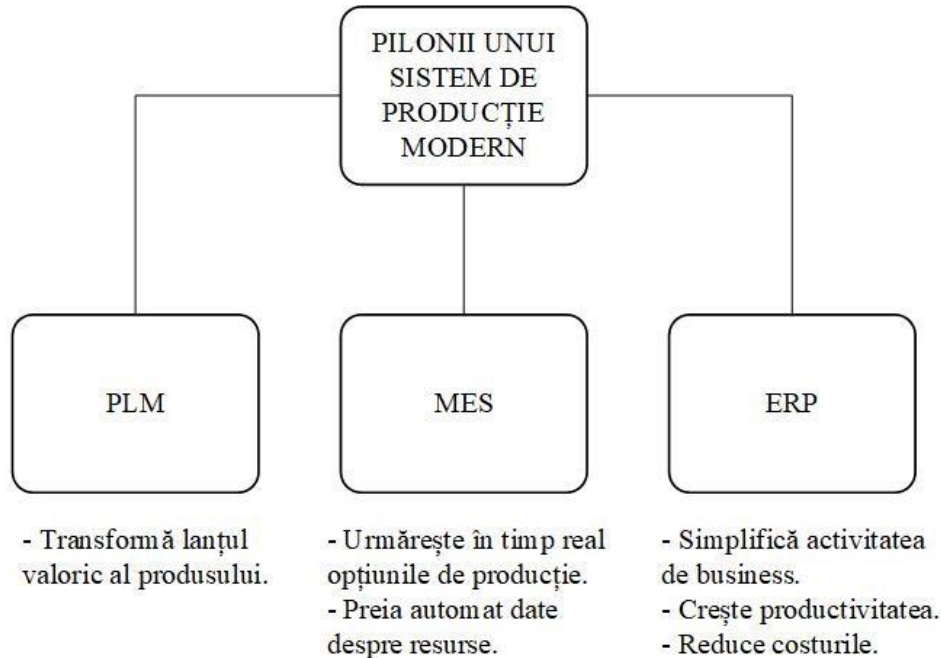


- *Mediul* din jurul organizației include forțele sociale, politice și economice.

Cyber Physical Systems (CPS) sunt definite ca sisteme cooperante, având un control descentralizat, rezultat din fuziunea dintre lumea reală și lumea virtuală, având comportamente autonome și dependente de contextul în care se află, putând constitui parte integrantă în sisteme cu alte CPS și conducând o colaborare profundă cu umanul. Pentru aceasta, software-ul încorporat în CPS utilizează senzori și actuatori, se conectează între ei și la operatorii umani comunicând prin interfețe și au capacități de stocare și procesare a datelor de la senzori sau de la rețea [3].

Sistemul de producție este în interacțiune cu mediul său și este compus din mai multe subsisteme interdependente. Pentru a studia caracteristicile sistemului de producție, este necesar, în primul rând, să se analizeze influența mediului asupra managementului producției și în al doilea rând, să se studieze relațiile dintre diferitele servicii ale sistemului de producție. Astfel, factorii care au un impact decisiv asupra dezvoltării sistemului de producție pot fi [4], [5]:

1. influența pieței;
2. influența direcției administrative;
3. influența departamentului finanțe;
4. influența departamentului Resurse Umane (HR);
5. influența factorului temporal.



**Fig. 1.2. Pilonii unui sistem de producție modern**

În figura 1.2 sunt reprezentați cei trei esențiali piloni ai unui sistem de producție modern: PLM (Product Lifecycle Management), MES (Manufacturing Execution System) și ERP

(Enterprise Resource Planning). PLM, ca parte componentă a sistemului de gestiune a unui sistem de producție, reutilizează date, corelând istoricul informațional cu noi idei. Soluția gestionează tot ceea ce ține de dezvoltarea de produs, concept, design, proiectare, simulare și asamblare virtuală, asigurând soluției ERP structura produselor [4].

La rândul lor, Sistemele ERP concepute inițial ca soluție pentru eliminarea problemelor apărute în practică cu implementarea sistemelor, valorifică integral toate facilitățile oferite de sistemele MRP II (Material Requirements Planning / Planificarea Necesităților Materiale ale organizației), cărora le-au fost aduse îmbunătățiri și facilități suplimentare, care variază de la un sistem la altul. Utilizează datele de produs, determinate în cadrul sistemului PLM, în procesul de planificare a resurselor și a monetarului, ținând cont de o gamă întreagă de factori care ar putea influența programările din centrele de producție.

Planificarea resurselor unei întreprinderi reprezintă un sistem informatic complex, care are la bază arhitectura client/server, cu o serie de module integrate, concepute atât pentru a procesa tranzacțiile cât și pentru a facilita integrarea proceselor totale ale întreprinderii, începând cu momentul de planificare a proceselor, de dezvoltare a producției, până la relațiile cu furnizorii, clienții sau partenerii de business [6]. Rețelele de producție, odată realizate în ERP, sunt transmise către MES, sistem care se ocupa mai departe de execuția și monitorizarea operațiunilor din fabrică.

Un sistem de execuție a fabricației este un sistem care conectează, monitorizează și gestionează sistemele complexe de fabricație și fluxul de date într-un sistem de producție. După MESA - Manufacturing Enterprise Solutions Association [7], scopul principal al unui MES este să asigure executarea efectivă operațiunilor de fabricație și îmbunătățirea producției. Un MES ajută la atingerea acestui obiectiv prin urmărirea și culegerea de date exacte, în timp real, despre ciclul de viață complet al producției, începând cu lansarea comenzii, până la etapa de livrare a produsului pentru bunurile finite. MES acoperă 4 domenii principale ale unei întreprinderi: materiale, producție, calitate, mentenanță.

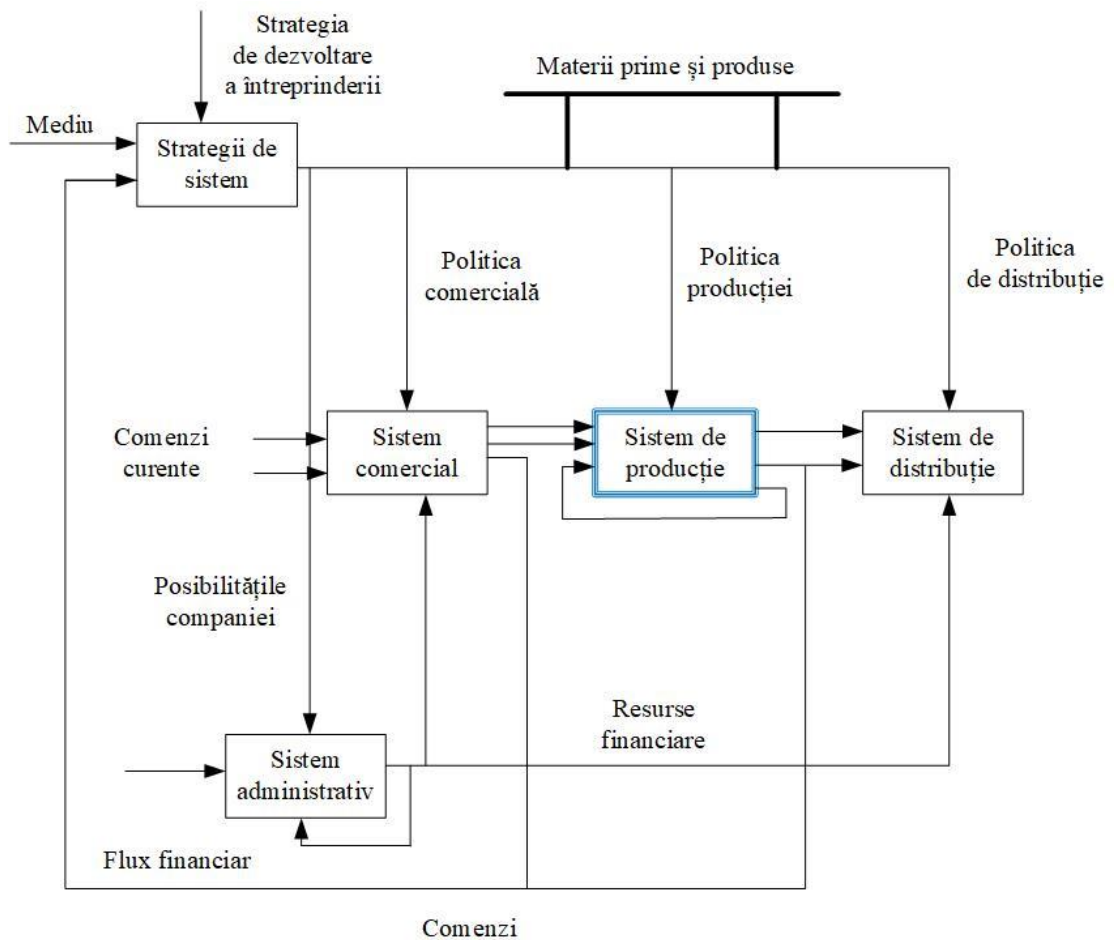
MES colectează date despre genealogia produsului, performanța, trasabilitatea, managementul materialelor și lucrările în curs și alte activități ale fabricii pe măsură ce apar. Aceste date, la rândul lor, permit factorilor de decizie să înțeleagă setările curente ale fabricii și să optimizeze mai bine procesul de producție. Printre avantajele utilizării soluției MES, unul esențial este fiind componenta principală din conceptul Industry 4.0.

Standardul ANSI/ISA-95 (standard internațional pentru sistemele de întreprindere și de control [8]) plasează MES la nivelul intermediat al ierarhiei unui model creat, între controlul proceselor la nivelul zero, unu, și doi și planificarea resurselor întreprinderii (ERP) la nivelul patru.

Un MES este adesea integrat cu ERP, managementul lanțului de aprovizionare, managementul ciclului de viață al produsului și alte sisteme IT cheie.

Beneficiile utilizării unui MES includ:

- Creșterea satisfacției clienților;
- Conformitatea îmbunătățită a reglementărilor;
- Agilitatea mai bună și timp de lansare pe piață;
- Vizibilitatea îmbunătățită a lanțului de aprovizionare;
- Timpul redus al ciclului de fabricație;
- Eliminarea documentelor și a proceselor de introducere manuală a datelor;
- Reducerea timpului de livrare a comenzii;
- Costurile mai mici pentru forța de muncă;
- Utilizarea crescută a mașinilor.



**Fig. 1.3. Locul sistemului de producție în întreprindere**

La nivelul întreprinderii industriale un sistem de producție se încadrează și interacționează cu alte componente. Sistemul de producție este un subsistem al companiei. Figura 1.3. arată locul sistemului de producție în companie și interacțiunile acestuia cu diferitele departamente [9].

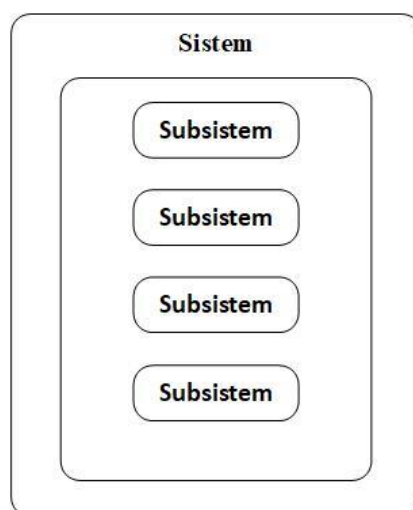
Pentru a studia un sistem de producție, este necesar să se stabilească o clasificare a diferitelor tipuri de producție existente în țesutul industrial.

O clasificare, în funcție de natura sistemului fizic de producție, definește patru categorii de sisteme de producție:

1. **Sistem de management:** în acest caz nu există un proces de fabricație;
2. **Sistem de producție continuă:** fluxul de producție este continuu. Acest lucru se poate explica prin nivelul ridicat de autonomie al membrilor organizației și prin automatizarea procesului de producție (exemplu: producția de Gaz, Electricitate);
3. **Sistem de producție discontinuu:** fluxul de producție este discontinuu. În acest caz, sistemul întâmpină probleme majore de management al producției. Complexitatea sistemului de producție și incertitudinea pieței necesită un efort major în managementul producției (exemplu: fabricarea autoturismelor etc.).
4. **Sistem de producție centrat pe proiect:** producția în acest caz este sub forma unui proiect nerepetitiv. Se caracterizează, pe de o parte, prin nestandardizarea activităților și produselor sale; iar pe de altă parte, de o organizare tehnologică unitară. În acest caz, conducerea are o orientare mai strategică și o acțiune orientată către mediu (exemplu: proiect de construire a unui pod etc.).

Conform surselor studiate, un sistem de producție poate fi definit ca oricare dintre metodele utilizate în industrie pentru a crea bunuri și servicii din diverse resurse [10].

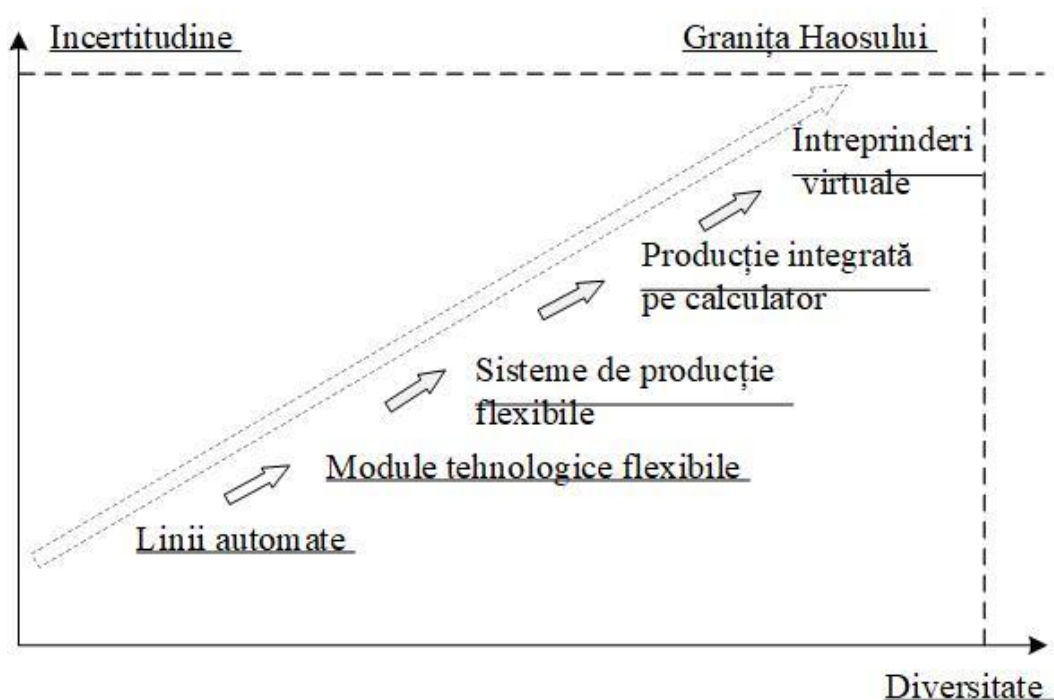
Un sistem poate fi compus din mai multe **subsisteme**, cum este reprezentat în figura 1.4.



**Fig. 1.4. Reprezentarea sistemului**

Un subsistem efectuează o sarcină specifică, compatibilă cu obiectivele sistemului, din care acesta face parte. De exemplu, sistemul informațional a unei companii poate fi compus din rețeaua de comunicații, telefoane, calculatoare și personalul care operează cu acesta [1].

Procesul de evoluție a sistemelor de producție cuprinde mai multe etapele ale dezvoltării acestora. În ciuda existenței diferitelor concepte de sisteme complexe și a lipsei unei definiții general acceptate a acestui concept, analiza indică prezența unor trăsături comune în sistemele complexe de natură diferită. Mai mult, fenomenul de complexitate în toate cazurile este asociat cu evoluția sistemului. În figura 1.5. este reprezentată evoluția sistemelor de producție, de la simplu la complex [11].



**Fig. 1.5. Evoluția sistemelor de producție**

Figura 1.5. prezintă doar o parte din etapele dezvoltării sistemelor moderne de producție. În colțul din stânga jos există linii automate, care sunt destul de omogene în elementele lor constitutive și funcționează în condiții bine definite. Mai complexe și mai eficiente sunt modulele tehnologice flexibile, a căror compoziție este destul de eterogenă - mașini-unelte, roboți, sisteme de control numeric. În plus, avem sisteme de producție flexibile, care, pe lângă echipamentele principale, includ sisteme de depozitare, transport, planificare și control, o rețea locală de calculatoare etc. Funcționarea lor este mult mai stohastică decât cea a sistemelor care le precedă și se desfășoară în absența unor informații complete și corecte, atât despre mediul extern, cât și despre procesele care au loc în acesta. Astfel, producția evoluează ca un sistem complex [11].

Dezvoltarea societății moderne se caracterizează printr-o accelerare constantă a proceselor evolutive legate de timp. Totodată, schimbarea etapelor se produce într-un ritm din ce în ce mai rapid. Aceste procese sunt tipice pentru toate sferile activității umane, inclusiv sfera producției materiale. Sistemul modern de producție se caracterizează prin extinderea și complicarea legăturilor economice și un grad ridicat de volatilitate a pieței [12].

O clasificare realizată de Grünberg în 1977, ne oferă o clasificare a sistemelor după mai mulți factori: mulțimea elementelor și relațiile cu mediul, timp, complexitate, relațiile între datele de intrare și ieșire. Astfel, identificăm sisteme: finite, infinite, închise, deschise, statice, dinamice, simple, complexe, determinate, probabilistice, liniare, neliniare etc. Fiecare sistem poate fi un subsistem, iar fiecare subsistem poate face parte din mai multe sisteme [2]. Astfel, este necesară o abordare mult mai largă, deci, una interdisciplinară [13].

Întreprinderea, privită ca sistem, pentru a realiza obiectivul final de producere, adică transformarea materiei prime în produs finit, are necesitatea de resursele următoare pentru realizarea acestuia [14]:

1. resurse umane (personalul);
2. mijloace materiale (utilaje, echipamente de producție);
3. mijloace financiare;
4. materii prime;
5. informații.

Un **model de sistem** este reprezentarea unui sistem existent sau propus, care descrie fluxul de date în întreaga structură. Modelul descrie punctele în care datele sau informațiile intră într-un sistem, locurile în care acestea vor fi procesate, precum și acțiunile întreprinse și punctele în care vor fi scoase datele.

Un model de sistem poate fi documentat printr-o varietate de diagrame de proiectare. O diagramă de proiectare este o reprezentare grafică sau vizuală a unei structuri și include în sine diagrame de flux de date, diagrame structurate, arbori de decizie și alte elemente. Avantajele diagramelor de proiectare este că acestea servesc ca instrument de comunicare și ca instrument de planificare, oferă o privire de ansamblu asupra unui sistem, definește roluri, demonstrează relații, promovează proceduri logice, facilitează remedierea problemelor și documentează un sistem [15].

Utilizarea modelelor permite, pe de o parte, înțelegerea sistemului și, pe de altă parte, comunicarea reflecțiilor și deciziilor luate. Modelele grafice fac posibilă depășirea anumitor neajunsuri ale limbajului natural, deoarece sunt mai lizibile și mai ușor de înțeles decât un raport scris în mod convențional.

Abordarea matematică, sau abordarea similară, face posibilă modelarea unei viziuni înguste a sistemului de producție, restrânsă de exemplu la planificare și programare. Dar piața actuală impune managerilor companiilor o viziune globală în care metodele matematice sunt neputincioase în fața complexității producției [11].

În literatură sunt descrise diverse abordări în modelarea și analiza sistemelor de producție.

Abordare ierarhică. Un sistem de producție poate fi împărțit în trei părți:

1. Partea fizică: toate resursele umane și materiale;
2. Partea informațională: ansamblu de fluxuri informaționale care circulă într-un sistem de producție;
3. Partea de decizie: seturi de reguli, procese de fabricație și mecanisme de luare a deciziilor.

Este practic imposibil, în prezent, să luăm în considerare toate datele și informațiile unui sistem de producție pentru a lua o decizie. Acest lucru se datorează complexității sistemului de producție. Acesta este motivul pentru care este acceptată natura ierarhică a managementului într-o companie. Astfel, abordarea ierarhică definește trei niveluri decizionale:

- nivelul superior, care definește deciziile strategice pe termen lung;
- nivelul mediu, care definește deciziile tactice pe termen mediu;
- nivelul inferior, care definește deciziile operaționale pe termen scurt.

Nivelul superior își impune deciziile la nivelul inferior. Acesta evaluează consecințele acestor decizii și printr-o buclă de întoarcere transmite un raport. Fluxul de informații este diferit de la un nivel la altul. La nivel operațional (inferior) cantitatea de informații prelucrate este foarte importantă, în timp ce la nivel superior sunt luate în considerare doar informațiile care au o consecință asupra planificării pe termen lung.

Din sursele studiate, există diverse metode de modelare a sistemelor de producție, dar se poate stabili o tipologie de familii de metode precum:

- Abordări orientate pe date. Aceste modele sunt metode conceptuale, care explică nivelurile de abstractizare în cadrul reprezentării și definesc o structură generală de date, independentă de programele pe care le manipulează. Această abordare este inclusă și în principiile de bază ale bazelor de date. Limitările acestei abordări se datorează faptului că nu integrează aspecte dinamice, modelul fiind prin definiție static; condițiile de declanșare, programarea în timp a constrângerilor de funcționare sunt greu de reprezentat.
- Abordare operațională: această abordare motivează din punct de vedere al aplicației, pleacă de la nevoile sau rezultatele așteptate, pentru a deduce datele de intrare necesare

acestei aplicații. Limitele acestei abordări sunt legate de faptul că duce la o redundanță de date identice pentru diferite operațiuni de prelucrare, deci un risc de inconsecvență a acelorași date cunoscute în moduri diferite în mai multe locuri din sistem. Se mai remarcă faptul că modelul obținut nu este foarte scalabil, deoarece este specificat pentru nevoile momentului. Aceste abordări nu pot defini o schemă de bază de date.

- Abordări orientate pe comportament: au avantajul de a reprezenta constrângerile dinamicii și evoluției în timp. Cu toate acestea, aceste abordări favorizează apoi fie aspectul dat, fie aspectul procesării și întâmpină aceleași dificultăți ca și abordările orientate pe date.
- Abordare orientată pe obiect: ideea majoră a conceptului de obiect constă în păstrarea aceleiași abordări de la analiza nevoilor până la realizarea sistemului. Un obiect poate fi considerat ca fiind o entitate cu care sunt asociate atribute precum și un anumit număr de acțiuni, numite și metode. Metodele folosesc valoarea acestor atribute pentru a continua cu executarea unui comportament.

Acest concept deosebit de simplu face posibilă formarea unor clase de obiecte, din care pot fi generate instanțe. Conceptele asociate obiectelor, precum cele de moștenire (o clasă moștenește caracteristicile super-clasei sale) sau de încapsulare (funcționarea internă a unui obiect este ascunsă de alte obiecte) promovează crearea și întreținerea sistemelor informatice.

## **1.2. Modelarea matematică a problemei de planificare a resurselor umane**

În contextul creșterii rapide a economiei din ultimele decenii, este imperativ să folosim eficient resursele umane, care sunt în general, cea mai de preț resursă pentru majoritatea organizațiilor. Planificarea eficientă a forței de muncă poate reduce costul resurselor umane și, de asemenea, poate îmbunătăți serviciile pentru clienți și crește satisfacției acestora. Numeroase abordări au fost publicate în literatură pentru a trata diferite versiuni ale problemelor de planificare a forței de muncă. În ultimele decenii, problemele de programare a personalului au fost studiate pe scară largă. Creșterea atenției cercetării ar putea fi motivată de considerente economice. Pentru multe companii, costul forței de muncă este componenta majoră a costurilor directe. Prin urmare, reducerea acestor costuri cu doar câteva procente prin implementarea unui nou program de personal s-ar putea dovedi foarte benefică.

Conceptul de management al resurselor umane poate fi definit ca ansamblul de funcții și măsuri care vizează reunirea și dezvoltarea resurselor personalului pentru o mai mare eficacitate și eficiență și în același timp în beneficiul strategiei unei organizații.



Ceea ce ține de mediul intern al organizației, în cazul managementului resurselor umane, ne gândim la mai multe domenii precum personalul, mișcările personalului, calificările și aptitudinile personalului sau comportamentul acestora.

Studiul procedurilor de planificare a generat contribuții importante la îmbunătățirea productivității în diferite ramuri industriale. În ultimii ani, încorporarea înaltei tehnologii în sistemele de producție a adus apariția la a patra revoluție industrială, Industria 4.0. Programarea sau planificarea programului de lucru se ocupă cu determinarea succesiunii în timp a lucrărilor sau comenzilor cu alocarea resurselor necesare (resursă umană, mașini, unelte etc.) pentru realizarea setului aferent de operațiuni [16].

Programarea timpului de lucru a resursei umane depinde în mare măsură de cantitățile de producție calculate la nivelul de planificare a producției. Ignorarea constrângerilor de programare a timpului de lucru a angajaților în etapa de planificare duce la decizii inconsecvente. Prin urmare, acest lucru generează soluții imposibil de realizat. Mai mult, rezolvarea acestor probleme în sistemele de producție reprezintă o mare provocare pentru managementul sistemului de producție. De aceea, întreprinderile caută să-și îmbunătățească sistemele de producție pentru a le face mai flexibile, competitive și reactive, prin abordări de management mai bune [17].

Mediul sistemelor de producție este unul dinamic și datorită acestui fapt, evenimente neprevăzute pot să se producă în orice moment. Aceste turbulențe pot influența programul curent de lucru planificat per întreprindere. Reacțiile la aceste turbulențe au ca rezultat replanificarea programului de lucru [18]. La ora actuală companiile se confruntă cu numeroase turbulențe, fie ele economice (criză economică, presiune concurențială, volatilitatea pieței etc.), sociale (concedierea angajaților, nivel crescut al exigențelor crescute de la tinerii angajați, autoritate managerială slabă, reprezentare slabă a sindicatelor), de reglementare (responsabilitate socială corporativă, siguranță, datoria de a consilia, modificările reglementărilor muncii etc.) și tehnologice (robotizarea, apariția tehnologiei digitale, inteligență artificială etc.) [19]. În acest context destabilizator, companiile trebuie să își adapteze și să își ajusteze strategia, organizarea și managementul personalului pentru a rămâne profitabile și să-și satisfacă clienții [20].

O așteptare tot mai mare a angajaților este ca administrația să fixeze un control bine punctat asupra organizării timpului de lucru a angajaților, de a avea posibilitatea de a alege, de a putea arbitra între venituri și timpul de lucru. Pentru companii, îmbunătățirea organizării timpului de lucru ar trebui să permită dezvoltarea utilizării echipamentelor, creșterea flexibilității și luarea în cont a particularităților fiecărui angajat pentru o competitivitate mai ridicată și a ocupării forței de muncă.

Organizarea timpului de lucru este acum un domeniu al resurselor umane cu atât mai important cu cât digitalizarea influențează profund raportul dintre timpul de lucru și viața personală pentru mulți angajați, iar turbulențele din ultimii ani implică posibilitatea alegerii muncii la distanță. Noțiunea de timp este deci de o importanță majoră atât pentru angajați, cât și pentru angajatori, deoarece reprezintă principala lor constrângere pe lângă faptul că este și un atu considerabil pentru cei care știu să o optimizeze. În [21] autorul prezintă legile și principiile timpului precum și diverse sfaturi menționate în literatura de specialitate despre acestea. Aceste legi și principii ale vremii, care poartă adesea numele autorului lor principal, trebuie apoi cunoscute și respectate (Principiul alternanței (legea Ecclesiastului), Legea lui Pareto (legea 80/20), Legea lui Murphy, Legea lui Carlson, Principiul Parkinson Principiul căpșunilor, Principiul Ilich, Principiul muncii, Legea lui Mackenzie, Perioade de 90 de minute, Principiul timpului controlabil). Cunoașterea și implementarea acestor tehnici simple duc spre o mai bună organizare, planificare, îmbunătățirea eficientă a gestiunii timpului.

Monitorizarea corectă a timpului și programului de muncă a angajaților aduce următoarele avantaje [22]:

1. Creșterea eficienței și rentabilității desfășurării muncii aduce la reducerea costului resursei umane și creșterea volumului de lucru realizat în timpul acordat unei anumite sarcini.
2. Perpetuarea productivității și organizarea eficace a volumului de lucru duc la respectarea termenilor alocați pentru realizarea anumitor activități.
3. În urma stabilirii corecte a sarcinilor necesare de a fi executate într-un anumit timp duce la prioritizarea acestor sarcini.
4. Raportarea corectă între timpul de muncă și odihnă.
5. Managementul eficient al schimburilor de lucru în cadrul întreprinderilor cu program de lucru 24/7.
6. Respectarea raportului dintre viața personală și de muncă (în special în cazul lucrului de la distanță) [21].

Programul de muncă a unui angajat poate varia în funcție de poziția în întreprindere, domeniul întreprinderii în care activează, perioadă a anului. Astfel, putem distinge programe de lucru: flexibil sau fix, cu normă parțială sau întreagă, sezonier sau permanent, pe ture sau de gardă, în schimburi.

Conform Codului Muncii al Republicii Moldova, “Durata zilnică normală a timpului de muncă constituie 8 ore”, dar “nu poate depăși 10 ore în limitele duratei normale a timpului de

muncă de 40 de ore pe săptămână”. Iar „Repartizarea timpului de muncă în cadrul săptămânii este, de regulă, uniformă și constituie 8 ore pe zi, timp de 5 zile, cu două zile de repaus” [23].

Deoarece există o diversitate de tipuri de program de muncă al angajaților, survin un șir de dificultăți în realizarea planificării eficiente a resursei umane. Această a stimulat interesul și motivarea în acest domeniu de cercetare și respectiv crearea a modelelor matematice pentru rezolvarea și optimizarea acestor probleme matematice.

Un model matematic de optimizare conține următoarele trei elemente principale:

- Obiective (pot fi și cuantificabile), care se doresc de obicei a fi maximizate sau minimizate, ca de exemplu: maximizarea profitului, minimizarea costurilor, minimizarea numărului lucrătorilor sau maximizarea zilelor libere a acestora.
- Variabile de decizie, care sunt opțiunile de alegere și care răspund la întrebările de bază: unde, cum, când, pentru careva acțiuni din sistemul de producție.
- Constrângeri, care reprezintă cerințe sau restricții, ca de exemplu, timpul necesar sau numărul de persoane și nivelul de calificarea a acestora pentru realizarea unei anumite sarcini .

În urma cercetării literaturii de specialitate, au fost identificate următoarele modele, care au ca scop atât minimizarea forței de muncă, cât și a costului total al acesteia. Mai mult de atât, s-a remarcat că majoritatea din ele se reduc la programarea liniară în numere întregi. În lucrarea [24] este cercetat modelul de programare cu numere întregi bazat pe constrângerea minimizării dimensiunii forței de muncă, astfel încât din cele trei zile libere pe săptămână pentru fiecare angajat, fie două, fie trei zile trebuie să fie consecutive. Este prezentat un algoritm de optimizare care începe prin utilizarea structurii speciale a problemei pentru a determina dimensiunea minimă a forței de muncă. Ulterior, lucrătorii sunt alocați diferitelor modele de lucru cu zile libere pentru a minimiza fie numărul total, fie costul total al forței de muncă.

În lucrarea [25] se prezintă un algoritm de programare dinamică pentru rezolvarea unei probleme de planificare a muncii cu mai multe constrângeri realiste de programare a zilelor libere (cel mult trei zile lucrătoare cu cel puțin două zile libere consecutive și nu mai mult de patru zile lucrătoare consecutive pe săptămână) și o structură a costurilor care depinde de secvența de lucru pentru fiecare angajat ( ziua de lucru dată este de weekend sau obișnuită, același tipar de lucru în zile consecutive). De altfel, problema în sistemele secvențiale, una dintre principalele teorii ale planificării programului de muncă a angajaților a fost tratată în lucrarea [26].

În lucrarea [27] este prezentat un algoritm optim pentru programarea în schimburi multiple a categoriilor ierarhice de angajați în săptămâni de lucru de patru sau trei zile. Modelul este astfel,

încât cererea în zilele lucrătoare este mai mare sau egală cu cererea de weekend pentru fiecare categorie și schimb.

Autorii lucrării [28] au dezvoltat un model de programare cu numere întregi pentru problema forței de muncă ierarhică în săptămânile de lucru comprimate. Modelul se bazează pe formularea de programare cu numere întregi dezvoltată de Billionnet pentru problema forței de muncă ierarhică. În modelul propus în lucrare, lucrătorii pot fi alocați în schimburi alternative într-o zi pe parcursul unei săptămâni, comparativ cu modelul Billionnet, în care toți lucrătorii sunt alocați unui singur tip de schimb.

Pentru o problemă reală de programare a programului de lucru a operatorului la un call-centru, lucrarea [29] prezintă un model de programare cu numere întregi, care este formulat și utilizat pentru a determina programele optime ale operatorilor, pentru a minimiza costul total săptămânal al forței de muncă. Programul propus reduce timpul de așteptare, minimizând în același timp costul și numărul de operatori.

Într-o altă lucrare [30] este descris și prezentat un model de programare cu numere întregi și o metodă de soluție în două etape pentru problema de programare a zilelor libere de 4 zile în săptămâna de lucru cu constrângeri de frecvență de lucru în weekend.

Principalele criterii de diferențiere ale planificării forței de muncă sunt [31]:

1. Perioada de timp pentru care se realizează planificarea programului de lucru al resursei umane: săptămânal, pentru câteva săptămâni sau luni.
2. Tipul de grafic de muncă al întreprinderii: câteva ore pe zi, (zi deplină / timp parțial de muncă), sau de 24 de ore.
3. Munca în schimburi: ture fixe sau variabile.
4. Numărul de persoane în tură: flexibil sau fix.
5. Numărul de persoane necesare pentru a îndeplini o oarecare sarcină (în dependență de abilități, nivel de productivitate, disponibilitate a angajaților).

Aceste criterii sunt necesare să fie luate în calcul în procesul de modelare a acestui tip de problemă. De regulă, o problemă de programare a resursei umane are un singur obiectiv spre care tinde pe parcursul rezolvării acesteia. Acesta poate ține de maximizarea productivității, satisfacției clienților sau a angajaților, sau minimizarea costurilor producției, a numărului de muncitori. Orice problemă de acest gen are ca scop final realizarea unei planificări a programului eficiente din punct de vedere al echilibrului față de echitatea pentru angajați.

### 1.3. Locul și rolul interfețelor HMI în sistemele de producție

După cum a fost relatat mai sus, un element indispensabil și extrem de important în organizarea sistemelor de producție ține de sistemele informatice, în special de elaborarea proiectelor și utilizarea interfețelor.

O interfață oferă un mijloc de comunicare între două sau mai multe entități [15]. Interfețe similare există între un utilizator și un program. Mai exact, o interfață om-calculator este partea unui sistem de calculator cu care o persoană interacționează pentru a îndeplini o sarcină. Acest proces include atât metodele pentru a permite utilizatorului să efectueze acțiuni, cât și mijloacele prin care computerul raportează informațiile utilizatorului [32].

Sistemul om-mașină-mediul se concretizează într-un sistem om-TIC-mediul, unde interfața om-calculator devine evoluată și inteligentă, asigurând o ergonomie cognitivă optimă utilizatorului [33]. Interfața evoluată, om-calculator, conlucrează într-un sistem bazat pe prelucrarea cunoștințelor, cât mai apropiat de inteligența umană, cu o largă versatilitate. Interfațarea om-calculator se definește ca fiind procesul de comunicare cognitivă, interactivă între om și un calculator sau o rețea de calculatoare, cu respectarea principiilor ergonomiei cognitive. Interfața om-calculator este totalitatea elementelor fizice reale (dispozitive digitale, periferice) sau virtuale (butoane, ferestre) și a programelor de calculator implicate în realizarea interfațării om-calculator [34].

Interfață inteligentă este utilizarea inteligenței mașinilor în serviciul activității intelectuale umane [34]. Pentru realizarea interfețelor inteligente, sunt considerate 3 paradigme importante:

1. Interfețe inteligente *ca instrumente cognitive*, utilizate de specialist pentru rezolvarea problemelor și realizarea scopurilor;
2. Interfețe inteligente *ca parte integrantă din sistemul cooperativ om-mașină*;
3. Interfețe inteligente *ca suport* – ajutor reprezentativ, care structurează dinamic prezentarea informației, astfel încât informațiile cheie sunt permanent evidențiate.

Un lucru comun pe care îl au aceste paradigme de construire a interfețelor inteligente, este faptul că în centrul tuturor se află utilizatorul, iar interfața inteligentă este un mijloc de suport a utilizatorului în procesul cognitiv.

Natura multidisciplinară a tematicii este legată inevitabil de aspectele tehnice și umane ce țin de proiectarea și evaluarea interfețelor om-mașină:

- informatică, pentru inginerie software și inteligență artificială
- automatică, referitor la cele legate de supravegherea sistemelor de producție complexe,
- științe cognitive, pentru aspecte legate de identificarea și formalizarea cunoștințelor ergonomice și procesul de comunicare om-mașină [35].

Accentul pus pe interacțiunea om-calculator este enorm în zilele noastre. S-a stabilit că direcția cercetărilor și a industriei care acoperă acest domeniu este multidisciplinară [35].

Acest domeniu de cercetare se află la intersecția dintre ingineria software, inteligența artificială și știința cognitivă.

Cu toate acestea, ar trebui subliniat faptul că problemele, modelele, instrumentele și metodele utilizate depind în mare măsură de domeniul de aplicare (de exemplu, birotica, sisteme de informații, sisteme pentru consumatori, sisteme industriale complexe, jocuri video, proiectare asistată de calculator, instruire asistată) etc. Domeniul interfețelor grafice om-mașină oferă o gamă largă de domenii de cercetare: camere de supraveghere, monitorizarea și controlul sistemelor complexe (chimie, nucleare, rețele energetice, transport etc.), complexitatea sarcinilor încredințate omului și diversitatea standardelor (legate de producție, siguranță, economie, calitate, ecologie etc.) necesare pentru îndeplinirea acestor sarcini.

Interacțiunea om - calculator este studiul modului în care oamenii proiectează, implementează și utilizează sistemele interactive computaționale și modul în care computerele afectează persoanele, organizațiile și societatea. Domeniul cuprinde nu doar modul de facilitare a utilizării, ci și noi tehnici de interacțiune pentru suportul în îndeplinire a sarcinilor utilizatorilor, oferind un acces mai bun la informații și crearea unor forme mai puternice de comunicare. Interacțiunea om – calculator cuprinde dispozitivele de intrare și ieșire și tehnicile de interacțiune care sunt utilizate; modul în care sunt prezentate și solicitate informațiile; cum sunt controlate și monitorizate acțiunile calculatorului; toate formele de ajutor, documentare, și antrenament; instrumentele utilizate pentru proiectarea, construirea, testarea și evaluează interfețelor cu utilizatorul; și procesele pe care le urmează dezvoltatorii atunci când creează interfețele [36].

Utilizarea calculatoarelor în mod interactiv nu este una nouă, dar omniprezentă de câteva decenii și a devenit o parte dominantă din viața profesională. Conform statisticilor, construirea interfețelor consumă 50-70% din efortul de dezvoltarea a unui sistem [37]. Importanța calității unei interfețe este accentuată prin faptul că utilizatorul nu doar percepe sistemul prin interfață. Cu alte cuvinte, pentru utilizator, interfața este sistemul însăși. Cele mai sofisticate mașini sunt fără valoare dacă nu pot fi utilizate în mod corespunzător de către utilizator, fără o bună funcționalitate și utilizare. Funcționalitatea unui sistem este definită de setul de acțiuni sau serviciile pe care le oferă utilizatorilor săi. Cu toate acestea, valoarea funcționalității este vizibilă numai atunci când devine posibil să fie eficient utilizată de utilizator. Utilizarea unui sistem cu un anumite funcționalități sunt gama și gradul de pe care sistemul poate fi utilizat eficient și pentru a atinge în mod adecvat anumite obiective pentru anumiți utilizatori. Eficacitatea reală a sistemului este realizat atunci când există un echilibru între funcționalitate și utilizare a unui sistem [38].

Întru îmbunătățirea interacțiunii om-mașină, direcții progresive ale cercetării subliniază interfețe adaptive inteligente și informatice. Aceste interfețe implică diferite niveluri de activitate a utilizatorului: nivel fizic, cognitiv și afectiv [129].

Dezvoltarea sistemelor interactive care susțin oamenii în lucru sau conducerea afacerilor, în special sublinierea necesității studiului și practicii în dezvoltarea interacțiunii om – mașină pentru întreprinderi într-un context oarecare, în cazul dat pentru sisteme de producție.

Dezvoltarea unui sistem efectiv înseamnă realizarea unei potriviri bune printre utilizatori, sarcinile lor și tehnologiile în contextul organizațional, social și global. Pentru atingerea acestor obiective, este necesară o bună înțelegere a modului de interacțiune a utilizatorilor cu calculatorul [39].

În literatura științifică au fost surprinse diferitele fațete și sub-aspecte, structurate sistematic și descrise în termeni de taxonomie cuprinzătoare ale conceptului holistic de HMI în Industria 4.0. Această taxonomie, prezentată în figura 1.6, reflectă punctele esențiale și abordările analitice ale subiectului desfășurat în cercetările conexe [41].

După cum se poate deduce din Figura 1.6, taxonomia este subdivizată în trei categorii de nivel superior corespunzătoare principalelor caracteristici ale subiectului reprezentat de *Om*, *Mașină* și *Interacțiune* (Human, Machine, Interaction).

Această clasificare permite evidențierea distincției dintre cele două tipuri majore de agenți intrinsec diferiți în scenariile Industriei 4.0, mai exact utilizatorul uman și entitatea mașină. În cadrul proceselor interacțiunii om - mașină (HMI), aceste două ar trebui să interacționeze și să colaboreze cu succes ca parte integrantă a activităților Industriei 4.0. Această interacțiune sofisticată potențial complexă implică o varietate de fațete diferite de analizat și luat în considerare, astfel încât HMI într-un mediu Industriei 4.0. să funcționeze corespunzător. Iată de ce a treia categorie pe lângă entitatea umană și mașină este dedicată interacțiunii lor.

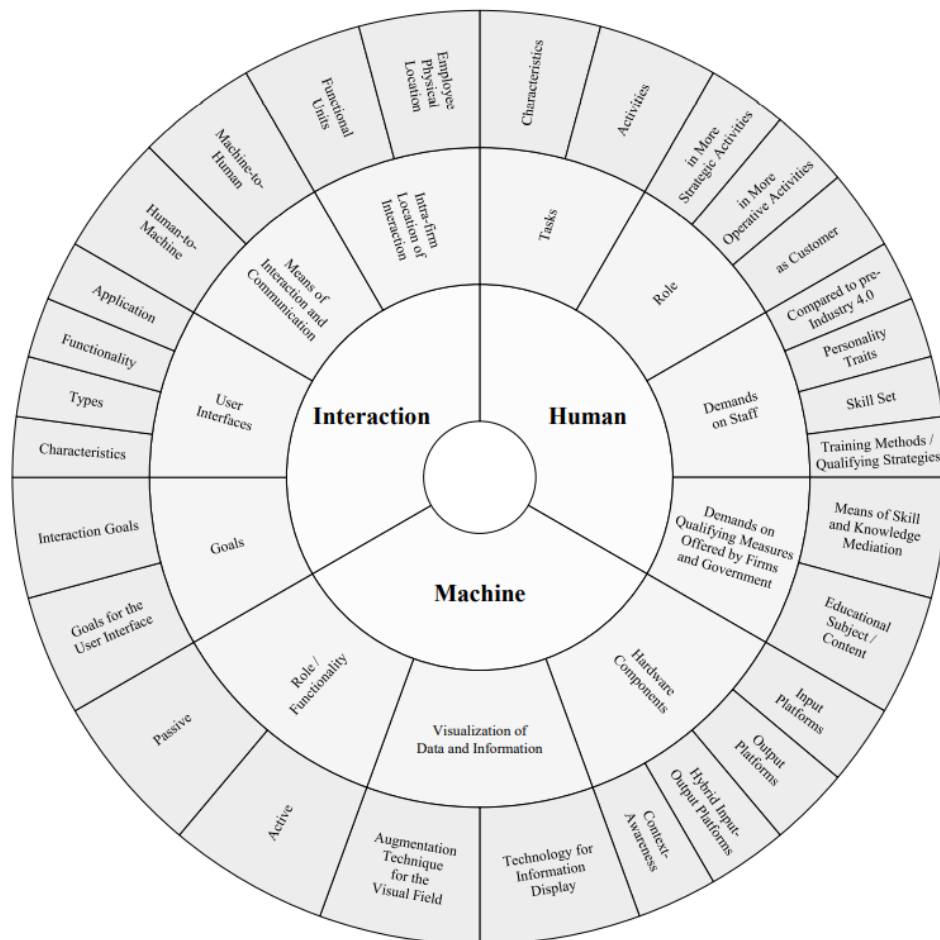
La al doilea nivel de ierarhie al figurii 1.6, atât categoria umană (Om), cât și categoria de interacțiune cuprind, respectiv, patru subcategorii, în timp ce partea mașină este detaliată în trei sfere pe nivel intermediar. La nivelul cel mai de jos al categoriilor care constituie taxonomia, sectorul uman cuprinde unsprezece elemente distincte, partea de interacțiune presupune zece subcategorii, iar subsecțiunea mașină adaugă alte opt categorii detaliate taxonomiei.

Subsecțiunea Dimensiunea umană a taxonomiei prezentate în figura 1.6 este împărțită în patru aspecte majore identificate și distinse, având în vedere entitatea umană în procesele de HMI din Industria 4.0, și anume:

1. Sarcinile, care trebuie îndeplinite de operatorii umani în activitățile viitoare de producție. Aceste sarcini pot fi descrise în funcție de caracteristicile lor și de tipurile

reale de activități pe care le cuprind. Din perspectiva Industriei 4.0 sarcinile umane vor fi diverse, noi și vor continua să evolueze rapid. Pe de o parte, se așteaptă ca sarcinile umane să fie foarte orientate spre proces, pe de altă parte, operatorii umani vor fi așteptați să efectueze activitățile spontane care sunt greu de prevăzut și planificat în avans. Respectiv, un important tip de sarcini în Industria 4.0 va fi intervenția operatorului uman în caz de eșec. Un domeniu important de activitate umană este munca mentală în domeniile de planificare și inginerie. Mai specific, operatorii umani monitorizează și verifică implementarea și rezultatele consecutive a proceselor și planurilor de producție.

Pe de altă parte, activitățile Industriei 4.0 ar putea implica sarcini practice pentru operatorii umani cum ar fi: asamblarea manuală și operarea mașinii. Ceea ce combină majoritatea acestor activități în Industria 4.0 este că marea majoritate ar putea implica, într-o anumită măsură, interpretarea datelor și informațiilor furnizate pentru executarea unei sarcini specifice.



**Fig. 1.6. Taxonomia HMI în Industry 4.0 [40]**



2. Rolul pe care trebuie să și-l asume oamenii în sistemele complexe de producție în Industria 4.0. În îndeplinirea sarcinilor descrise, operatorii umani își vor asuma roluri specifice în cadrul proceselor Industriei 4.0, în special în ceea ce privește o diferențiere de rolul entităților mașină în procedurile HMI. Angajații trebuie să acționeze ca factori de decizie și coordonatori în ceea ce privește alinierea proceselor de creare a valorii. În plus, agenții umani sunt văzuți ca o sursă și potențiali producători de cunoștințe în organizație. Se așteaptă ca operatorii umani să își asume rolul de rezolvator de probleme flexibil și de instanță de control și supervisor al activităților în desfășurare. În total, acest lucru implică o creștere a gradului de responsabilitate pe care angajații din întreaga structură organizațională, până la operatorii din atelier, sunt presupuși și îndreptățiți să își asume. În cele din urmă, câțiva autori își schimbă, de asemenea, atenția asupra rolului uman de la luarea în considerare exclusiv a angajaților și către rolul de client într-un mediu al Industriei 4.0 în care soluțiile digitale și online inovatoare permit clientului să participe activ la proiectarea sau configurarea produsului.
3. Cerințele impuse personalului, pentru a putea îndeplini acele sarcini și roluri desemnate. În comparație cu activitățile industriale înainte de lansarea Industriei 4.0 cerințele față de angajați sunt considerate parțial noi și extinse, ceea ce, în consecință, impune angajaților să urmeze o pregătire suplimentară, obținând competențe mai generaliste și mai specializate. Setul de abilități necesare ar putea cuprinde:
  - capacitatea de abstractizare și gândire procesuală cuprinzătoare,
  - abilități sociale și abilități interdisciplinare,
  - abilități cantitative și IT, media și tehnologice.Ca personalul să dobândească abilități și cunoștințe cruciale, angajații vor trebui să fie dispuși să se supună unor măsuri de calificare, cum ar fi învățarea pe tot parcursul vieții pe parcursul întregii cariere profesionale, ceea ce oferă transferului de cunoștințe între angajați și reprezintă oportunități vitale.
4. Cerințele privind măsurile educaționale și calificative disponibile care urmează să fie asigurate de entitățile guvernamentale și corporative pentru a asigura viitoarea forță de muncă a Industriei 4.0. În general, se solicită noi forme de pregătire și o ajustare a sistemului educațional cum ar fi formarea personalizată pentru a transmite efectiv cunoștințele necesare cursanților. În plus, forme de instruire virtuală asistată de computer sau conceptul de antrenament bazat pe runde, care încorporează elemente de gamification, sunt considerate a fi potențial adecvate și utile.

După cum s-a indicat mai sus, subsecțiunea Dimensiunea Mașină a taxonomiei este împărțită în doar trei categorii de nivel intermediar, care descriu și definesc rolul și funcționalitatea entităților mașinii pe care le asumă și oferă în procesele HMI (Interacțiunea Om-mașină), spre deosebire de rolul și sarcinile actorilor umani, tipul și mijloacele de vizualizare a datelor și informațiilor, precum și componentele hardware utilizate în aceste scopuri.

Rol/Funcționalitate. Entitatea mașină își poate asuma atât un rol pasiv, cât și un rol activ în procedurile HMI sub aspectul Industriei 4.0, oferind funcționalitate fie pasiv (de exemplu: colectarea, agregarea, pregătirea și vizualizarea datelor și informațiilor; monitorizarea fluxului manual de lucru, etc.), fie proactiv, în timp ce o definiție exactă a limitelor depinde pentru fiecare caz individual.

Entitatea mașină, asumându-și un rol pasiv, poate oferi o funcționalitate de monitorizare a fluxurilor de lucru manuale sau de diagnosticare a rădăcinilor problemelor emergente, atât interne cât și externe ale mașinii. O funcționalitate pasivă deosebit de crucială este colectarea continuă, agregarea, pregătirea și vizualizarea datelor și informațiilor, pentru a facilita îndeplinirea de către operatorii umani a rolului de factor de decizie.

Sistemul automat susține și asistă în mod activ actorul uman, oferind o funcționalitate mai activă, cuprinzând și sprijin fizic activ ca mijloc de compensare, de ex. pentru scăderea capacităților umane odată cu creșterea vârstei angajaților. Pe lângă faptul că acționează ca un simplu asistent pentru operatorii umani, entitățile mașină își pot asuma rolul de colaborator activ și egal al oamenilor la activități comune, împărțind și divizând sarcinile în funcție de punctele forte respective.

Vizualizarea informațiilor. În ceea ce privește vizualizarea datelor și informațiilor, literatura științifică diferențiază între diferite tehnici pentru a spori vederea percepută a destinatarului informațiilor, în timp ce există diferite tehnologii disponibile pentru a afișa aceste informații ochiului uman.

Literatura diferențiază între trei tehnici de modificare și îmbunătățire a percepției vizuale a unui utilizator uman, care sunt examinate și implementate în diferite combinații în diferite articole.

Câmpul vizual poate fi îmbunătățit prin:

- adăugarea de obiecte virtuale 3D realiste la vizualizarea lumii reale;
- adăugarea de elemente grafice comune din ilustrația tradițională, de ex. săgeți, care sunt clar distincte de viziunea de bază a realității;
- vederea generală a mediului poate fi modificată prin schimbarea contrastului sau a saturației culorii.

Ca mijloc de implementare a acestor creșteri vizuale, sunt disponibile diferite tehnologii pentru a afișa informații ochiului uman. Printre ele pot fi menționate următoarele:

- utilizarea tehnologiei video transparente care afișează imagini îmbunătățite digital ale camerei din lumea reală pe un ecran;
- transparența optică, permițând utilizatorului să păstreze o vedere a mediului real printr-un mediu transparent precum sticla și afișând doar obiectele virtuale adăugate digital. Prin urmare, spre deosebire de soluțiile video transparente, vizualizarea utilizatorului asupra lumii reale va rămâne intactă în cazul închiderii afișajului digital.
- proiecția in-situ, care desfășoară obiecte fizice din mediu ca o suprafață a ecranului pe care un proiector proiectează informații și imagini digitale.

Componente hardware. Pentru a completa descrierea entității mașinii în procesele HMI sub aspectul Industriei 4.0, taxonomia include o specificație a componentelor hardware utilizate pentru a implementa funcționalitatea mașinii și vizualizarea informațiilor. Se cunosc diferite modalități de a obține cunoașterea contextului sistemului automat și diferite platforme hardware pentru intrarea utilizatorului și ieșirea vizuală, precum și platformele hibride de intrare-ieșire. Ca mijloc de a obține conștientizarea contextului CPS-urilor, o multitudine de senzori cum ar fi contoarele de putere, accelerometrele, termometrele sau altele, precum și cipurile de identificare prin radiofrecvență (RFID) și sistemele de poziționare precum Sistemul de poziționare globală (GPS) și Sunt disponibile soluții de interior. În plus, un aspect important al proiectării procesului HMI în Industria 4.0 este alegerea platformelor de intrare și ieșire respective. În acest sens, dispozitivele portabile obișnuite de pe piața de consum, adică în principal tabletele și smartphone-urile, reprezintă o soluție hibridă potențial potrivită și pentru aplicații industriale. În ceea ce privește platformele dedicate de ieșire utilizate în scopuri de vizualizare, diferite studii se adresează fie ecranelor și monitoarelor staționare, fie diferitelor tipuri de HMD, cum ar fi ochelarii inteligenți, deși autorii definesc doar rareori dacă studiul respectiv se concentrează pe HMD stereoscopice sau monoscopice. În cele din urmă, platformele de intrare desemnate care servesc ca mijloc pentru introducerea utilizatorului uman pot fi reprezentate de dispozitive mecanice, cum ar fi controlerele manuale sau alte dispozitive de control, cum ar fi tastaturi și pedale. În plus, intrarea utilizatorului poate fi înregistrată de camere sub formă de captură de imagine a utilizatorului și de senzori portabili care captează direct mișcarea utilizatorului.

Subsecțiunea taxonomiei dimensiunea interacțiunii descrie caracterul interacțiunii dintre entitatea umană și mașină în Industria 4.0 este împărțită în patru categorii:

- Locația interacțiunii. Partea de interacțiune a acestei taxonomii analizează locația intra-firmă a HMI în raport cu structura organizațională, adică unitățile funcționale, și locația

fizică a interacțiunii. Acesta din urmă poate fi fie fixat la un anumit loc de muncă în care apare HMI, fie tehnologiile moderne care oferă conectivitate omniprezentă și disponibilitatea informațiilor permit posibilități arbitrare de interacțiune pentru operatorul uman. Procesele HMI sunt analizate atât într-un mediu de producție sau manufactură, cât și sau de producție în mediul legat de operațiunile logistice interne și externe ale unei companii;

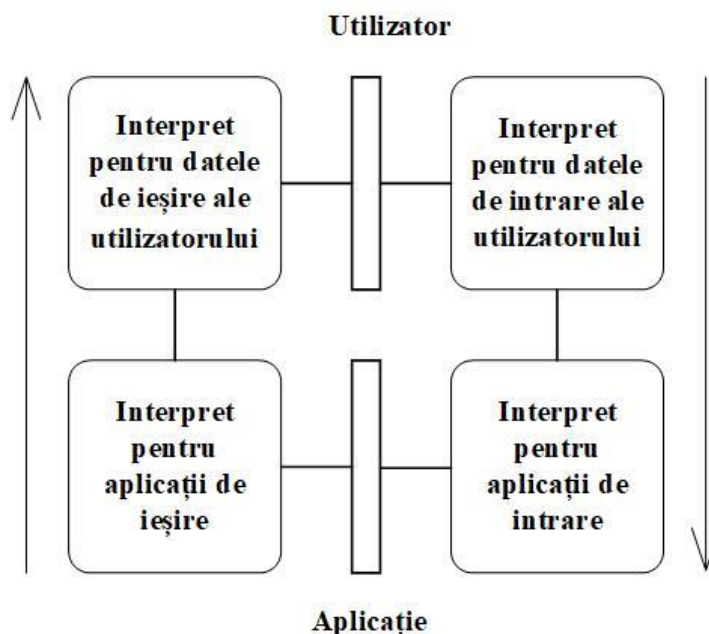
- Mijloacele de interacțiune. Sunt analizate mijloacele de interacțiune și de comunicare bidirecționale, mai exact interacțiunea om-mașină și mașină-om prin intermediul dispozitivelor utilizatorului.
- Interfețele utilizator. Această parte analizează caracteristicile, tipurile, funcționalitatea și scenariile de aplicare ale interfețelor utilizator, care sunt largi și diverse. Interfețele sunt implementate pentru procesele HMI în planificare, proiectare și simulare a scenariilor în timpul dezvoltării produsului, în instruire, monitorizare și controlul calității.
- Obiectivele interacțiunii. Această subsecțiune constă în obiectivele pentru interfețele utilizator și obiectivele care trebuie atinse prin implementarea de succes a HMI în general. În ceea ce privește obiectivele pentru interfețele utilizator, cel mai important pentru orice interfață de utilizare, în special în context industrial, este nivelul ușurinței în utilizare, intuitivitatea în manipulare, experiența de utilizator și acceptarea rezultată.

Este necesar de luat în considerare, în procesul de realizare a unui model conceptual a interfeței cu utilizatorul, care și de ce va fi tipul de interacțiune care va fi utilizat ulterior. Conform rezultatelor cercetărilor, există următoarele moduri principale ale interacțiunii [37]:

1. *instrucțaj*,
2. *conversație*,
3. *manipulare*,
4. *explorare*.

Printre cele mai des cunoscute și aplicate tipuri de stil ale interacțiunii om-mașină, putem enumera interacțiunea grafică, limbajul natural, meniuri, utilizarea unei formulări interactive, în linie de comandă, meniuri, foi de calcul. Augmentarea conexiunii a adus cu sine apariția noilor clase de dispozitive pentru accesul la informație. Astfel, a devenit posibilă explorarea stilurilor de interacțiune noi, cum ar fi: realitate virtuală sau mixtă (mixed reality), interacțiunea tridimensională, interfețele-utilizator tangibile (tangible user interface), interfețe conștiente de context (context-aware interfaces) și interfețe bazate pe recunoaștere (recognition based interfaces) [38].

Chiar dacă sunt o varietate largă în descrierea interfațării inteligente, o diagramă generală poate fi reprezentată ca în figura 1.7 [15].

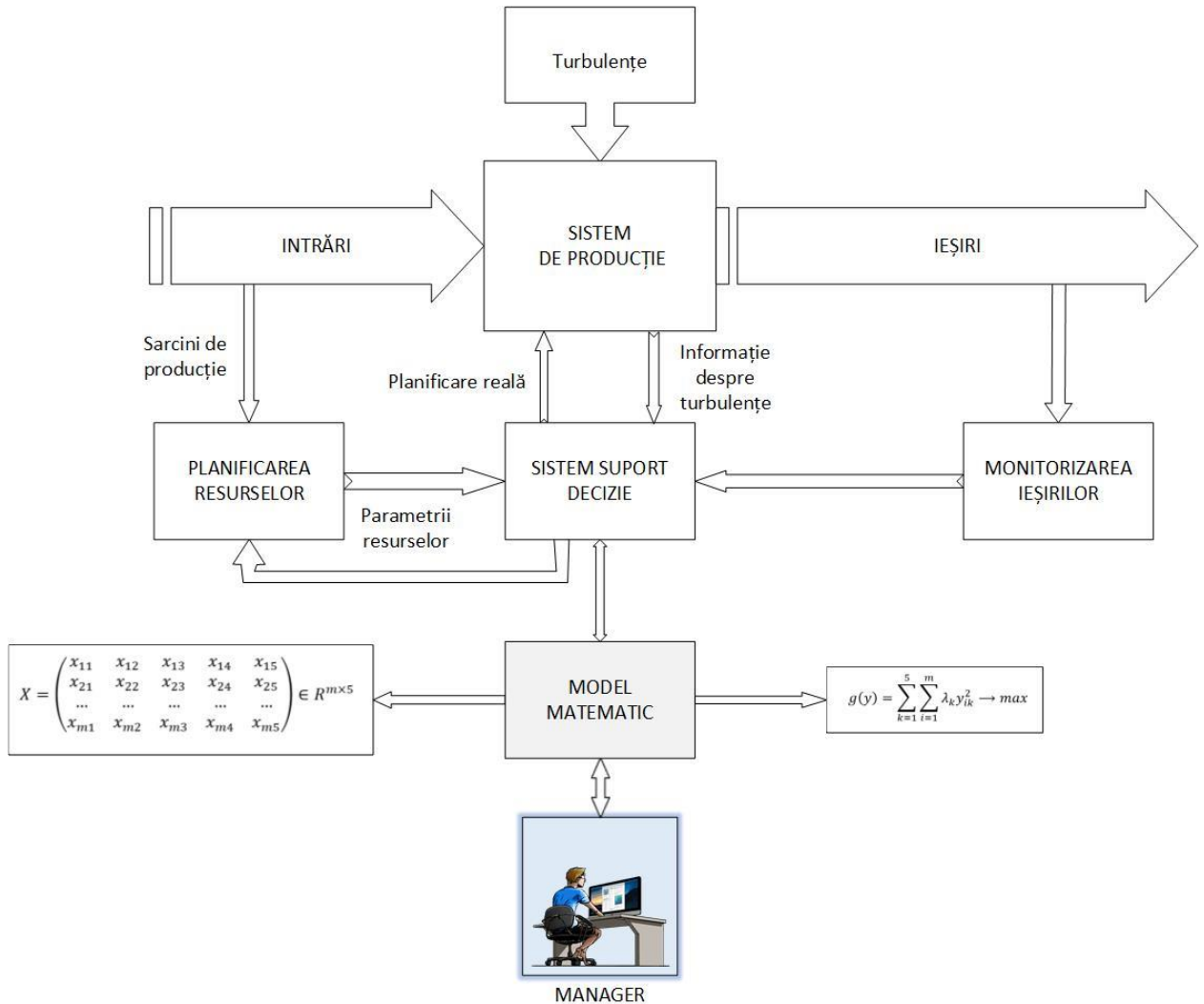


**Fig. 1.7. Model interfață inteligentă**

1. Interpret pentru datele de intrare ale utilizatorului. Această parte a sistemului include funcții care facilitează introducerea datelor de către utilizator. Exemple de funcții care ar putea fi aici ar fi: completarea fișelor, verificarea ortografică, interpretarea abrevierilor, detectarea clicurilor mouse-ului, etc..
2. Interpret pentru aplicații de intrare. Aici programul preia datele de intrare și le convertește într-o formă mai înțeleasă. De exemplu, dacă utilizatorul a introdus o comandă, această parte a sistemului va intercepta acea comandă. Recunoașterea planului (plan recognition) poate avea loc și aici.
3. În interiorul programului. Aici are loc funcționarea internă a programului: crearea datelor, realizarea acțiunilor specificate de către comenzi, pregătirea datelor de ieșire, etc.
4. Interpret pentru aplicații de ieșire. Această parte a sistemului este responsabilă de transformarea datelor generate de program într-o formă care este cea mai eficientă atunci când este transmisă utilizatorului.
5. Interpret pentru datele de ieșire ale utilizatorului. Odată ce sistemul stabilește ce date să afișeze și cum să le afișeze, această parte a sistemului afișează informațiile.

### 1.4. Formularea problemei de cercetare

Generalizând materialul expus în cadrul acestui capitol, se poate constata că sub aspect organizațional un sistem de producție întotdeauna trebuie văzut ca o structură ierarhică complexă. Locul și interconexiunile unui sistem de producție pot fi arătate ca în Figura 1.8, în care se prezintă un model general de planificare și control a producției.



**Fig. 1.8. Model general de planificare a producției**

În cadrul acestui model planificarea resurselor necesare reprezintă o componentă de bază în organizarea și funcționarea sistemului de producție, problema de planificare și optimizare a resursei umane fiind una centrală. În acest context este bine cunoscut că atât în organizațiile de producție (întreprinderi, fabrici), cât și în companiile de servicii (companii IT, companii aeriene, servicii de securitate, spitale, etc.) o preocupare constantă și specifică este planificarea zilelor libere și a zilelor de lucru pentru o săptămână de muncă sau multiple a acesteia. O cerință esențială

în procesul de generare a programelor de lucru ține de impunerea angajaților a prezenței la locul de muncă în diferite zile pentru a asigura și menține calitatea tuturor activităților la un nivel admisibil. Totodată angajații trebuie să beneficieze de numărul dorit de zile libere consecutive pe parcursul săptămânii.

Pe de altă parte, întreprinderile mici și mijlocii (IMM), în special IMM-urile de producere, cercetare și inovare, prezintă o serie de trăsături care reflectă dimensiunea lor redusă și particularitățile în planul organizării și operaționalizării activităților. Printre trăsăturile definiției ale firmelor mici se evidențiază următoarele două: realizarea de produse și servicii inovative pentru cerere diferențiată, respectiv, suprapunerea frecventă a rolurilor de manager, întreprinzător și proprietar.

La acestea se adaugă flexibilitatea firmelor mici, caracteristică predominantă și absolut necesară în condițiile unui climat organizațional puternic influențat de schimbare și inovare. Astfel, există diverși factori de context ce influențează activitățile unui IMM de producere, cercetare și inovare, între care putem menționa:

- producerea inovației tehnologice;
- dezvoltarea intensă a activităților de cercetare-dezvoltare;
- utilizarea resursei umane cu calificare ridicată, adesea unică și pronunțat specializată;
- schimbările/solicitările operative în comanda de producție, fapt ce implică o organizare specifică producției de unicat și serie mică, caracterizată printr-o nomenclatură de fabricație inconstantă;
- schimbările/solicitările operative în comanda de producție implică activități operative de pregătire a producției, inclusiv activități de adaptare și replanificare pe segmentul resursei umane.

Din cele expuse rezultă importanța (re)planificării operative a activităților resursei umane în cadrul anumitor întreprinderi și companii. De menționat, că această problemă a devenit mult mai serioasă și sensibilă în ultimii ani, în perioada pandemiei de Covid-19, perioadă în care a devenit imperativ necesară o adaptabilitate mai mare în planificarea zilelor libere. Companiile se confruntă cu necesitatea de a genera un program de lucru flexibil între angajați, având întotdeauna în vedere satisfacerea sarcinilor de lucru cât și garantarea zilelor libere consecutive. La toate acestea, în anumite domenii, se poate adăuga și criza forței de muncă.

Datorită complexității sale, caracteristicilor sale provocatoare și relevanței sale practice, programarea personalului a fost investigată intens în ultimele câteva decenii cu ajutorul modelelor liniare în numere întregi. Cu toate acestea, există un nivel foarte scăzut de studiu asupra modelelor utilizând programarea pătratică pentru rezolvarea acestor probleme importante. În cazul convex

au fost propuși algoritmi efectivi (polinomiali) de rezolvare. Dar dacă problema de programare pătratică este neconvexă sau include variabile întregi, problema este NP-dificilă, astfel încât nici un algoritm cunoscut nu poate rezolva astfel de probleme într-un mod eficient.

O abordare sistemică la nivel de planificare, control și monitorizare a producției presupune în mod obligatoriu luarea în considerare a interfeței cu mediul de firmă. Prin mediu de firmă implicat trebuie să subînțelegem totalitatea elementelor aferente organizării și funcționării producției. În contextul conceptului Industria 4.0 un aspect esențial în interacțiunea om - mașină se referă la dimensiunea interacțiunii, care la rândul ei poate fi împărțită în mai multe categorii, interfețele de utilizator (User Interface) folosite fiind definitorii. Dimensiunea User Interface fiind esențială în organizarea și managementul sistemului de producție, abordarea unor noi arhitecturi conceptuale a interfeței de utilizator reprezintă o problemă actuală. Mai mult ca atât, este important de analizat posibilitatea includerii anumitor elemente de inteligență care să ia în considerare analiza online a necesităților de personal și a posibilităților existente la moment în conexiune cu modelele de planificare disponibile.

Indiferent de tipul mediului întreprinderii, o cercetare complexă trebuie să ia în considerare nu doar interfața cu mediul de firmă implicat, ci și diversele turbulențe, adică numeroase și neașteptate schimbări, care au un impact economic, social, managerial. Turbulențele în mare parte sunt de amploare redusă, însă unele dintre ele nu pot fi anticipate și cuantificate suficient de precis (recenta pandemie Covid-19 prezintă un caz elocvent în acest sens), fapt care generează perturbații puternice, inclusiv asupra resursei umane implicate în producere, și amplifică incertitudinile de ordin divers. În acest context a devenit extrem de actuală și necesară construirea și dezvoltarea unor sisteme de monitorizare și validare a personalului întreprinderii/companiei. Sub aspect tehnico-științific un astfel de sistem trebuie privit ca parte integrantă a unei arhitecturii conceptuale a interfeței de utilizator cu implicațiile și interconexiunile de rigoare.

### **1.5. Concluzii la capitolul 1**

În acest capitol este realizată analiza conceptuală a sistemelor de producție ghidate de genericul Industry 4.0, este efectuată trecerea în revistă a modelelor și metodelor utilizate în organizarea sistemelor de producție, este descris locul și rolul interacțiunii om-mașină în sistemele de producție moderne. Este formulată problema și direcția de cercetare.



## 2. METODE ȘI MODELE DE OPTIMIZARE PENTRU PLANIFICAREA RESURSELOR UMANE

Diferite domenii de activitate implică și diverse cerințe de muncă, din acest motiv, este frecvent întâlnită problema de programare a forței de muncă cu distincte caracteristici. Programarea forței de muncă devine o sarcină delicată, și anume:

- multilaterală - repartizarea persoanelor potrivite la locul de muncă potrivit la momentul potrivit, satisfacerea preferințelor angajaților;
- consumatoare de timp - este o sarcină periodică și este încă efectuată manual în majoritatea organizațiilor;
- consumatoare de resurse - toți angajații sunt lucrători cu normă întreagă, fiecare angajat este capabil să îndeplinească fiecare sarcină în cadrul echipei.

Suportul decizional în organizarea optimă a activității unei întreprinderi nu este întotdeauna posibil fără produse informatice care au la bază modelele matematice de optimizare combinatorială. Este și cazul problemei planificarea resurselor umane. Planificarea și optimizarea zilelor libere pentru personalul din sectorul public, cât și din companiile private este o parte importantă a procesului de planificare a resurselor umane. O planificare bună (optimă) are multe beneficii, cum ar fi costuri mai mici, utilizarea eficientă a resurselor și sarcini de lucru și schimburi mai echitabile.

În prima parte a acestui capitol va fi discutată modelarea matematică a planificării a resurselor umane și vor fi analizate cele mai relevante lucrări conexe publicate în literatura de specialitate în care modelele matematice servesc drept soluții pentru aceasta. Sunt propuse și cercetate câteva metode de rezolvare a problemelor de programare pătratică [66], [67], [68].

În partea a doua a capitolului este dezvoltat modelul matematic propus în [103], în care problema de planificare a zilelor libere este reformulată ca o problemă binară de programare pătratică neconvexă. Este propusă și cercetată o modalitate de planificare a zilelor libere pentru personalul unei organizații. Lucrătorilor li se alocă cel puțin două zile libere consecutive pe săptămână. Necesitatea unor astfel de decizii apare atunci când durata săptămânii de funcționare a angajatorului și durata săptămânii de lucru a angajatului sunt diferite. Modelul matematic studiat este o problemă de programare pătratică binară neconvexă [71], [69], [70]. Problema de programare pătratică este reformulată și redusă la o problemă de programare separabilă, care la rândul său este relaxată și apoi rezolvată. Software-ul generat de modelul propus este în prezent testat și utilizat în compania "Pentalog" Chișinău.

## **2.1. Clasificarea și modelarea problemelor de programare a personalului**

### **2.1.1. Scurtă trecere în revistă a literaturii**

Problema alocării resurselor – alocarea angajaților (pe schimburi sau pe o perioadă concretă de timp) – este cunoscută în literatură sub denumirea de programarea (planificarea) personalului și vizează reducerea la minimum a costurilor angajării.

Problema planificării personalului pe parcursul anilor a fost și este studiată pe larg (intens) în literatura de specialitate. Au fost propuse numeroase abordări pentru modelarea și rezolvarea acestei probleme. Vom trece în revistă și clasifica literatura de specialitate referitoare problemei programării personalului.

Primele lucrări despre programarea forțelor de muncă datează din anii 1950 și minimizează numărul total de angajați care încep activitatea în timpul perioadei de planificare [42], [43]. Perioada de planificare este intervalul de timp în care se realizează programarea angajaților.

În ziua de azi, problema programării personalului este foarte diferită de cea introdusă în [42] și [43] și a câștigat un impuls mai mare odată cu progresele în puterea de calcul. Au fost propuse numeroase abordări pentru modelarea și rezolvarea acestei probleme. Există o literatură vastă dedicată problemelor de planificare a resurselor umane.

În lucrarea [44] se prezintă o analiză, se face o trecere în revistă a literaturii anterioare anului 2013, se discută schemele de clasificare și se evaluează bibliografia (care conține 293 de titluri) legată de programarea specifică a personalului în diferite domenii.

Alte referințe pot fi consultate în [45], [46], [48] în care sunt investigate lucrări cu studii detaliate în domeniul considerat. Studiul [46] este unul dintre cel mai cuprinzător, conține peste 700 de publicații clasificate pe categorii.

Lucrarea [47] conține un studiu asupra modelelor și complexității și sunt identificate cazurile speciale de probleme care sunt NP-dificile sau care pot fi rezolvate într-un timp polinomial.

Studiul [49] trece în revistă problemele de planificare a zilelor libere, probleme formulate în termenii programării matematice.

În lucrarea recentă [50] sunt prezentate noi abordări și tendințe, diferite perspective de clasificare în domeniul programării personalului.

Fiecare domeniu de activitate concret are specificul său. Pentru companiile aeriene și căile ferate programarea personalului este specifică [51], [52], [53]. Un alt domeniu important este cel medical în care apare problema programării rezidenților medicali [54], [55].

Noi provocări în programarea personalului a introdus și Pandemia de COVID-19; este necesar să se ia în considerație riscul de contaminare, precum și numărul maxim de lucrători pentru a menține distanța socială la locul de muncă [56], [57].

### ***2.1.2. Clasificarea modelelor***

Programarea angajaților este una dintre cele mai importante activități din multe organizații. Există mai multe posibilități de a rezolva problemele de planificare a zilelor libere. Toate aceste modele ar putea fi clasificate în două categorii. Cele din prima categorie utilizează cererea de muncă ca date și încearcă să optimizeze modelele și procedurile necesare pentru a satisface cerințele, pe când modelele din a doua categorie încearcă să analizeze valorile și caracteristicile cererii de muncă, cum ar fi relația neliniară dintre valoarea și nivelul de personal în fiecare perioadă sau dependența și suprapunerea personalului [41]. Iar grupând modele după anumite criterii s-au stabilit câteva metode prin care se poate rezolva problema de programare a zilelor libere consecutive. În studiul său, Alfares [41] recomandă zece categorii pentru tratarea problemei de programare a personalului: Soluție manuală, Programare în numere întregi, Modelare implicită, Descompunere, Programare scop (obiectivelor) – goal programming, Generare a setului de lucru, Soluții bazate pe Programarea Liniară (PL), Construcție/îmbunătățire, Metaeuristică și alte metode.

#### ***2.1.2.1. Abordări manuale***

Deși majoritatea programelor de programare a forței de muncă sunt rezolvate cu ajutorul calculatorului, deoarece acestea cuprind eșantioane mari de date și numeroase calcule, totuși încă există și soluții de rezolvare manuală a acestora. Cu toate acestea, soluțiile manuale optime și euristice au fost concepute pentru versiunile extrem de simplificate ale acestei probleme. Astfel, problemele se rezumă la niște eșantioane de date mini ce permit efectuarea manuală a tuturor calculelor [41]. Abordări manuale au fost dezvoltate în lucrările [58], [59], [60]. Elaborarea manuală a unui program lasă responsabilului de planificare mai puțin timp pentru gestionarea angajaților și interacțiunea cu angajații. Soluțiile manuale exacte sunt posibile numai în cazul problemelor foarte simple.

#### ***2.1.2.2. Abordări de programare matematică (optimizări)***

În abordările de programare matematică, problema de planificare a personalului este modelată ca o problemă de programare liniară în numere întregi sau mixtă, introdusă de Dantzig în anii 50 ai secolului trecut [42]. Această abordare este foarte populară printre cercetători [44],

[48]. Metodele de programare matematică sunt capabile să găsească soluțiile optime (locale sau globale), garantând în același timp optimalitatea acestora [117]. Într-o planificare bazată pe modelele de programare matematică, munca este repartizată în cel mai eficient mod, ceea ce duce la satisfacerea preferințelor angajaților, la creșterea calității serviciilor, la reducerea costurilor și la creșterea profitabilității.

Formulările în termenii programării matematice permite cercetătorilor să adauge o serie de constrângeri pe baza propriilor nevoi specifice. Multe dintre aceste adăugări tind să creeze probleme de optimizare cu un număr mare de variabile. Timpul de rezolvare crește, în general, dramatic odată cu creșterea dimensiunii problemei și adesea doar problemele în dimensiuni mici sau în dimensiuni moderate pot fi practic rezolvate eficient. Resursele de calcul devin frecvent o problemă, mai ales atunci când se calculează soluția exactă. Pentru depășirea provocărilor legate de dimensiunea mare și timpii de calcul la scară largă se utilizează abordări de descompunere și algoritmi euristici atunci când structura problemei permite acest lucru.

#### ***2.1.2.3. Abordări de descompunere***

În metodele de descompunere, problema de programare matematică în dimensiuni mari și dificilă de rezolvat este împărțită în subprobleme mai mici, care sunt mai ușor de rezolvat, iar soluția pentru problema inițială se obține prin combinarea soluțiilor din aceste subprobleme.

Multe probleme la scară largă beneficiază de o metodă de descompunere. Abordările de descompunere se bazează pe utilizarea structurilor specifice ale problemei generale care permit descompunerea ei într-o mulțime de subprobleme [118], [44].

Descompunerea problemelor de programare a forței de muncă (a zilelor libere a angajaților) a primit o atenție considerabilă în foarte multe lucrări [119], [46], [120]. Cea mai des întâlnită abordare este de a descompune problema generală în alte două subprobleme. Pentru rezolvarea celei dintâi probleme, de regulă, se realizează un program bazat pe programarea liniară, iar cea de-a doua problemă, folosește drept date de intrare soluțiile obținute din prima problemă.

#### ***2.1.2.4. Abordări de programare a obiectivelor***

O situație de decizie este, în general, caracterizată de obiective multiple. În cazul când se cere ca mai multe obiective să fie urmărite simultan, se poate acorda funcțiilor obiective ponderi care reflectă importanța lor relativă și să le combine astfel într-o singură funcție obiectivă. O altă abordare este așa numita programarea obiectivelor.

Programarea obiectivelor (în engleză *goal programming*) este una dintre tehnicile populare pentru rezolvarea problemelor de luare a deciziilor cu multiple obiective (cu mai multe criterii) în

contextul Teoriei Optimizării Multicriteriale. Unele dintre aceste obiective pot fi de natură conflictuală. În programarea obiectivelor factorii de decizie trebuie să specifice un scop (o țintă) pentru fiecare funcție obiectiv. O soluție preferată este apoi definită ca fiind cea care minimizează suma abaterilor de la setul prescris de valori țintă. Soluția obținută prin metoda ponderii este rezolvarea unei probleme de programare liniară, în timp ce metoda bazată pe programarea obiectivelor atrage o cercetare algoritmică suplimentară [123].

În lucrarea [123] se revizuiesc lucrări în care se aplică această abordare, se prezintă o listă impresionantă de articole, o listă de peste 280 de referințe în care este analizată atât literatura cât și progresele cu privire la aplicațiile acestei teorii.

#### ***2.1.2.5. Abordări de metaeuristică***

Metaeuristica este recunoscută pe scară largă ca abordări eficiente pentru rezolvarea problemelor dificile de optimizare. Metaeuristica sunt proceduri care impune puține ipoteze cu privire la natura specifică a problemei și, deci, pot fi aplicate în varii domenii [124].

De-a lungul anilor au fost propuși numeroși algoritmi metaeuristici. Lucrarea [121] oferă o listă istorică a unor algoritmi metaeuristici care au fost utilizați între anii 1961 și 2019.

Într-un studiu al literaturii [122] sunt prezentați cei mai remarcabili algoritmi de nouă generație (alții decât cei clasici: algoritmi genetici, roiul de particule și căutarea tabu) care au fost propuși recent, între anii 2000-2020.

Trebuie de menționat că abordările de mai sus sunt decizii importante, dar care pot duce la soluții complet diferite. Abordările optime includ soluția manuală, programarea matematică în numere întregi și modelarea implicită. Abordările euristice includ descompunerea, programarea obiectivelor, metodele bazate pe programarea liniară, metaeuristica și alte metode. În general, combinarea metodelor bazate pe aceste abordări în procedura de soluționare este tipică pentru problemele de programare a personalului.

## **2.2. Modele și tehnici de optimizare**

Prin optimizare se înțelege totalitatea de metode și tehnici care determină aflarea soluției celei mai bune (soluție optimă) pentru problema considerată. Modelul de optimizare nu ne spune ce se va întâmpla într-o anumită situație, ci ne arată ce să facem pentru a obține cea mai bună situație Modelul matematic al oricărei probleme de optimizare presupune minimizarea sau maximizarea unei funcții supusă unor constrângeri.

Într-o formă generală, un model de optimizare se prezintă sub forma [61].:

$$\left. \begin{array}{l} f(x) \rightarrow \min \\ \text{referitor la} \\ h(x) = 0, \\ g(x) \geq 0, \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

unde  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  este funcția obiectiv (scop), iar funcțiile  $h: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$  și  $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^k$  exprimă constrângerile modelului. Un astfel de model de optimizare se mai numește și *problemă de programare matematică* sau o *problemă de optimizare matematică*.

Funcțiile problemei pot fi liniare sau neliniare. O clasă aparte este aceea a *programării liniare*: toate funcțiile din modelul de optimizare sunt funcții liniare. Dacă cel puțin una din funcțiile modelul este neliniară – obținem o *problemă de programare neliniară* [63]. Distincția între cele două clase de modele matematice este importantă deoarece, pe de-o parte, fundamental, acestea au scopuri diferite și apoi, pe de altă parte, fiecare se bazează pe alte concepte matematice. Pentru modelele de programare liniară se poate da o tratare numerică globală foarte într-o formă ușor de manipulat algebric ( metoda simplex, metoda punctului interior) [62].

Dacă funcția scop este o funcție pătratică iar constrângerile reprezintă funcții liniare avem o *problemă de programare pătratică* [63]. Astfel de probleme de optimizare pătratică sunt frecvent întâlnite în multe aplicații reale, cum ar fi teoria grafurilor, VLSI design, suportul mașinilor vectoriale, analiza structurală, etc. în lucrarea [72] poate fi găsită o bibliografie bogată ce ține de problemele de optimizare pătratică, unde pot fi consultate mai mul de 1000 (o mie) de referințe! În cazul când unele sau toate variabilele sunt limitate să fie numere întregi, modelul se numește *programarea cu numere întregi* [64].

Cazul special al programării liniare cu numere întregi 0-1, adică în care necunoscutele sunt binare, este NP- completă [65]. Pentru modelele de programare pătratică binară situația este mult mai dificilă.

În cele ce urmează, în continuarea acestui capitol ne vom opri la cercetarea modelelor de optimizare și a metodelor de rezolvare ale problemelor de programare binară pătratică, propuse pe parcursul realizării acestei teze [66], [67], [68], [69], [70].

### 2.2.1. Metoda celor mai mici pătrate pentru problema de optimizare pătratică

Fie dată problema de optimizare pătratică

$$\left. \begin{array}{l} f(x) = \frac{1}{2} x^T Q x + c^T x \rightarrow \min \\ \text{referitor la:} \\ Ax \geq b \end{array} \right\} \quad (2.2)$$

unde  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in \mathbb{R}^n$ ,  $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T \in \mathbb{R}^n$ ,  $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T \in \mathbb{R}^m$ ,

$Q = (q_{ij})_{i,j=1}^n \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $Q^T = Q$ ,  $A = (a_{ij})_{i=1,m}^{j=1,n} \in \mathbb{R}^{m \times n}$ . Simbolul "T" reprezintă operația de transpunere. Aici  $\mathbb{R}^n$  este spațiul euclidian al vectorilor  $n$ -dimensionali (vectorilor coloane) cu produsul scalar

$$x^T y = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

iar  $\mathbb{R}^{m \times n}$  notează mulțimea matricelor reale de dimensiune  $m \times n$ .

Problema de optimizare pătratică cu restricții inegalități liniare (2.2), în urma unor transformări potrivite a condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker este redusă la rezolvarea unui sistem de ecuații. Sistemul astfel obținut poate fi rezolvat aplicând metoda celor mai mici pătrate [68].

Asociem problemei (2.1) funcția Lagrange:

$$L(x, \lambda) = f(x) + \lambda^T (Ax - b)$$

Fie  $x^* \in \mathbb{R}^n$  un punct de minim (local). Atunci, cum este bine cunoscut (vezi de exemplu [73]), există multiplicatorii Lagrange

$$\lambda^* = (\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_m^*)^T$$

astfel încât

$$\nabla_x L(x^*, \lambda^*) = \nabla f(x^*) - A^T \lambda^* = 0, \quad (2.3)$$

$$D(x^*) \lambda^* = 0, \quad (2.4)$$

$$\lambda^* \geq 0, Ax^* - b \geq 0. \quad (2.5)$$

În (2.4)  $D(x^*)$  este o matrice diagonală cu următoarele elemente:

$$d_{ii} = \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j^* - b_i), i = 1, 2, \dots, n.$$

Notăm

$$I(x^*) = \left\{ i: \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j^* - b_i) = 0 \right\}.$$

Vom presupune că soluția optimă  $(x^*, \lambda^*)^T$  satisface următoarelor relații:

pentru  $\forall i \in I(x^*)$ ,  $\lambda_i^* > 0$ , și  $z^T \nabla_x L(x^*, \lambda^*) z > 0$ , pentru orice

$$z \in T(x^*) = \{z \in \mathbb{R}^n : z^T \left( \sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j^* - b_i) \right) = 0, i \in I(x^*)\}.$$

Condițiile de complementaritate (2.4) și (2.5) ridică dificultăți mari în rezolvarea directă a sistemului de ecuații și inecuații (2.3)-(2.5) [125].

Utilizând funcțiile de complementaritate [74], [75] condițiile (2.4) și (2.5) sunt reduse la un sistem alcătuit doar din ecuații. Sistemul de ecuații astfel obținut poate fi rezolvat aplicând metodele clasice de rezolvare. Din păcate, o bună parte a funcțiilor de complementaritate cunoscute conduc la sisteme de ecuații cu proprietate vădită de singularitate.

Pentru a rezolva problema considerată, se aplică transformarea relațiilor (2.4) și (2.5), cu ajutorul funcțiilor de complementaritate, propuse în [76],[77].

### 2.2.1.1. Reformularea condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker

Se definesc funcțiile [77]:

$$u(y) = \frac{1}{2}(y^3 + y^2|y|), v(y) = y^2|y| - u(y).$$

Se constată cu ușurință că

$$u(y) \geq 0, v(y) \geq 0, \forall y \in \mathbb{R},$$

$$u(y) = 0, v(y) = 0, \forall y \geq 0,$$

$$u(y) \times v(y) = 0, \forall y \in \mathbb{R}.$$

Relațiile (2.4) și (2.5) se transformă în ecuații prin introducerea variabilelor auxiliare  $y_1, y_2, \dots, y_m$  astfel încât

$$u(y_i) - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + b_i = 0,$$

$$v(y_i) - \lambda_i = 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

Obținem că condițiile de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker (2.3) - (2.5) sunt rescrise în forma echivalentă

$$F(x, \lambda, y) = 0, \tag{2.6}$$

unde



$$F(x, \lambda, y) = \begin{pmatrix} \nabla_x L(x, \lambda) \\ U(y) - Ax + b \\ V(y) - \lambda \end{pmatrix},$$

iar

$$U(y) = \begin{pmatrix} u(y_1) \\ u(y_2) \\ \vdots \\ u(y_m) \end{pmatrix}, \quad V(y) = \begin{pmatrix} v(y_1) \\ v(y_2) \\ \vdots \\ v(y_m) \end{pmatrix}.$$

Astfel, rezolvarea problemei de optimizare pătratică (2.2) poate fi redusă la rezolvarea sistemului de ecuații (2.6).

### 2.2.1.2. Metoda celor mai mici pătrate

Sistemul de ecuații (2.6) poate fi rezolvat, minimizând funcția [68]

$$\varphi(x, \lambda, y) = \frac{1}{2} \|F(x, \lambda, y)\|^2. \quad (2.7)$$

Matricea Jacobiană pentru  $F(x, \lambda, y)$  este:

$$F'(x, \lambda, y) = \begin{pmatrix} Q & -A^T & O_{n \times m} \\ -A^T & O_{m \times m} & U'(y) \\ O_{m \times n} & -I_m & V'(y) \end{pmatrix}.$$

Aici s-a notat  $O_{n \times m}$ ,  $O_{m \times m}$  și  $O_{m \times n}$  matricele nule de dimensiuni  $n \times m$ ,  $m \times m$  și respectiv  $m \times n$ ,  $I_m$ - matricea unitate de dimensiune  $m \times m$ , iar prin  $U'(y)$  și  $V'(y)$  matricele diagonale de dimensiune  $m \times m$ :

$$U'(y) = \begin{pmatrix} u'(y_1) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & u'(y_2) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & u'(y_m) \end{pmatrix}, \quad V'(y) = \begin{pmatrix} v'(y_1) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & v'(y_2) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & v'(y_m) \end{pmatrix}$$

cu elementele

$$u'(y_i) = \frac{1}{2} y_i^2 \text{sign}(y_i) + y_i |y_i| + \frac{3}{2} y_i^2, \quad v'(y) = \frac{1}{2} y_i^2 \text{sign}(y_i) + y_i |y_i| - \frac{3}{2} y_i^2.$$

Putem menționa că avem garantată relația  $\lambda_i^* > 0$  pentru  $\forall i \in I(x^*)$ . Într-adevăr, dacă

$$\sum_{j=1}^n (a_{ij} x_j^* - b_i) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

atunci  $u(y_i^*) = 0$ , de unde  $\lambda_i^* = v(y_i^*) > 0$ .

Dacă se ia în considerație acest fapt și presupunerile anterioare se demonstrează că matricea Jacobiană  $F'(x, \lambda, y)$  este nesară în vecinătatea soluției optime [68].

Gradientul funcției considerate (2.7) este dat de formula  $\nabla\varphi(x, \lambda, y) = F'(x, \lambda, y)F((x, \lambda, y))$ . Deoarece  $\det(F'(x, \lambda, y)) \neq 0$ , avem că în vecinătatea soluției optime, gradientul  $\nabla\varphi(x, \lambda, y) = 0$  dacă și numai dacă  $F((x, \lambda, y)) = 0$ .

Astfel, rezolvarea problemei (2.1) poate fi redusă la minimizarea funcției (2.7).

Derivatele funcțiilor  $u$  și  $v$  nu mai sunt funcții continue. În lucrările [74], [75] s-au propus utilizarea funcțiilor de complementaritate  $u$  și  $v$ , care sunt funcții continue împreună cu derivatele sale. Acest lucru permite minimizarea funcției (2.7), utilizând metodele de gradient [73], [78].

### 2.2.2. O metodă pentru programarea pătratică binară cu matrice circulantă

Considerăm următoarea problemă de programare pătratică binară cu constrângeri liniare-egalități [70]:

$$\left. \begin{array}{l} f(x) = x^T Q x \rightarrow \max \\ \text{referitor la} \\ Ax = b, \\ x \in \{0,1\}^n \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

unde  $Q$  este o matrice simetrică reală de dimensiune  $n \times n$ ,  $A$  – matrice reală de dimensiune  $m \times n$  și  $b$  – un vector real cu  $m$  componente.

Problema considerată (2.8) apare în diferite aplicații [79], [80], [81]. Există mai multe probleme de decizie a căror modelare se reduce la optimizarea binară pătratică. Astfel de probleme sunt frecvent întâlnite în *Cercetarea operațională*, în *Teoria grafurilor*, în *Știința economică* și în alte domenii [82], [83]. Problema (2.8) este o problemă de optimizare combinatorială și este bine cunoscută ca *NP – dificilă* [65] și, prin urmare, este dificil de rezolvat.

De-a lungul anilor au fost dezvoltate și propuse diferite metode de rezolvare și diverse tehnici de relaxare a problemei considerate: Relaxări semidefinite și relaxări lagrangiene [84], Tehnici de liniarizare [85], [86], Reformulări convexe [87], [88], [89], [90], Metode euristice [82], [91].

Vom considera că matricea  $Q$  este o matrice simetrică circulantă [92]:

$$Q = \begin{pmatrix} q_0 & q_1 & q_2 & \cdots & q_{n-2} & q_{n-1} \\ q_1 & q_2 & q_3 & \cdots & q_{n-1} & q_0 \\ q_2 & q_3 & q_4 & \cdots & q_0 & q_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{n-1} & q_0 & q_1 & \cdots & q_{n-3} & q_{n-2} \end{pmatrix}.$$

Matricele circulante apar într-o varietate de aplicații matematice și ingineresti cum ar fi procesarea semnalului și corectarea erorilor codurilor [93],[94].

Prezentăm o metodă de rezolvare a problemei de programare pătratică cu matrice circulante  $Q$  [70]. Problema este convertită într-o problemă de programare separabilă, care la rândul ei este relaxată la o problemă cu funcția scop reprezentată ca diferența a două funcții convexe, problemă denumită în literatură *DC programming* (*DC-Difference of Convex functions*).

### 2.2.2.1. Valorile proprii și vectorii proprii ai matricei circulante

Primul rând  $q_0, q_1, q_2, \dots, q_{n-2}, q_{n-1}$  se numește generatorul lui  $Q$ . Valorile proprii ale matricei simetrice  $Q$  sunt numere reale și sunt date de

$$\lambda_j = q_0 + q_1 \omega_j + q_2 \omega_j^2 + \cdots + q_{n-1} \omega_j^{n-1}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.9)$$

unde  $\omega_j = \exp\left(\frac{2\pi(j-1)}{n}\right)$ .

Observație: pentru  $n$  par ( $n = 2k$ ) avem  $\lambda_j = \lambda_{n-j}$ .

Pentru  $j = 1, 2, \dots, n$ , vectori proprii corespunzător valorilor proprii  $\lambda_j$  sunt [93]:

$$p_j = (\omega^0, \omega^{j-1}, \omega^{2(j-1)}, \dots, \omega^{(j-1)(j-1)})^T. \quad (2.10)$$

Aici  $\omega$  este rădăcina primitivă a unității:  $\omega = \exp\left(\frac{2\pi i}{n}\right)$ ,  $i = \sqrt{-1}$ .

Toate matricele circulante pot fi diagonalizate cu una și aceeași matrice  $F$  cu coloanele  $p_j, j = 1, 2, \dots, n$  [92]:

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}}(p_1 \quad p_2 \quad \cdots \quad p_n) = \frac{1}{\sqrt{n}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & \omega & \omega^2 & \cdots & \omega^{n-1} \\ 1 & \omega^2 & \omega^4 & \cdots & \omega^{2(n-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \omega^{n-1} & \omega^{2(n-1)} & \cdots & \omega^{(n-1)(n-1)} \end{pmatrix}.$$

Matricea  $F$  este matricea Fourier (transformata Fourier discretă – the Discret Fourier Transform DFT) [92].  $F$  este o matrice ortogonală bine condiționată. Acest lucru este important

din punct de vedere al calculului numeric: perturbații mici în datele de intrare nu vor produce variații mari în calcule [95].

Matricele circulante sunt diagonalizate de matricea  $F$ , adică putem scrie

$$Q = F\Lambda F \quad (2.11)$$

unde  $\Lambda$  este matricea diagonală [96]:

$$\Lambda = \text{Diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \lambda_n \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Astfel matricea simetrică  $Q$  este exprimată în termenii de matrici care conțin valorile sale proprii (2.9) și componentele vectorilor proprii (2.10). Cu ajutorul matricei Fourier  $F$ , reieșind din (2.11) și (2.12), poate fi realizată diagonalizarea matricei circulante  $Q$ :  $FQF = \Lambda$ .

#### 2.2.2.2. Reformularea problemei pătratică ca o problemă de programare separabilă

Funcția scop  $f(x)$  poate fi rescrisă astfel:

$$f(x) = x^T Q x = x^T F \Lambda F x = (F x)^T \Lambda F x.$$

Notăm

$$y = F x = (y_1 \quad y_2 \quad \dots \quad y_n)^T.$$

Matricea  $F$  este ortogonală ( $F^{-1} = F$ ), deci  $x = F y$ . Atunci problema (2.8) devine o problemă de programare separabilă:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi(y) = y^T \Lambda y = \sum_{k=1}^n \lambda_k y_k^2 \rightarrow \max \\ \text{referitor la} \\ \quad A F y = b, \\ \quad F y \in \{0, 1\}^n \end{array} \right\} \quad (2.13)$$

Dacă nu se ia în considerație ultima constrângere ( $F y \in \{0, 1\}^n$ ), atunci problema (2.13) este o problemă de programare pătratică separabilă neconvexă.

Printre valorile proprii ale matricei  $Q$  sunt numere atât pozitive cât și negative. Funcția  $\varphi(y)$  poate fi rescrisă ca diferența a două funcții convexe:  $\varphi(y) = \varphi_1(y) - \varphi_2(y)$ , unde

$$\varphi_1(y) = \sum_{\lambda_k > 0} \lambda_k y_k^2, \varphi_2(y) = \sum_{\lambda_k < 0} (-\lambda_k) y_k^2.$$

O abordare practică ar fi relaxarea condițiilor  $Fy \in \{0, 1\}^n$ , înlocuindu-le cu  $0 \leq Fy \leq 1$ .

Astfel problema relaxată

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_1(y) - \varphi_2(y) \rightarrow \max \\ \text{referitor la} \\ AFy = b, \\ 0 \leq Fy \leq 1 \end{array} \right\} \quad (2.14)$$

este o problemă, numită în literatură problemă de programare DC [97].

### 2.2.2.3. Algoritmul DCA

Pentru rezolvarea problemei relaxate (2.14) se poate utiliza algoritmul DCA [98].

Notăm mulțimea indicilor  $i_s$  pentru care valorile proprii  $\lambda_{i_s} > 0$ :

$$I = \{i | \lambda_i > 0\} = \{i_1, i_2, \dots, i_s\}.$$

Metoda DCA este de tipul primal - duală și se bazează pe construirea a două șiruri  $\{y^{(k)}\}, \{v^{(k)}\}$  care sunt calculate la fiecare iterație după cum urmează:

Pasul 1.  $y^{(0)}$  - aproximația inițială de start,  $k=0$ .

Pasul 2. Se determină

$$u^{(k)} = \nabla \varphi_1(y^{(k)}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varphi_1(y^{(k)})}{\partial y_{i_1}} \\ \frac{\partial \varphi_1(y^{(k)})}{\partial y_{i_2}} \\ \vdots \\ \frac{\partial \varphi_1(y^{(k)})}{\partial y_{i_s}} \end{pmatrix}.$$

Pasul 3. Se stabilește  $y^{(k+1)}$  – soluția problemei de programare separabilă convexă:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_2(y) - \varphi_1(u^{(k)}) \rightarrow \min \\ \text{referitor la} \\ AFy = b, \\ 0 \leq p_j^T y_j \leq 1, \\ j = 1, 2, \dots, n. \end{array} \right\}$$

Pasul 4. Dacă se verifică criteriul de oprire, atunci STOP. În caz contrar se va lua  $k = k + 1$  și se trece la Pasul 2.

Astfel diagonalizarea matricei circulante cu ajutorul matricei Fourier permite reducerea problemei de programare neconvexă pătratică cu matrice circulante la o problemă de programare separabilă. Pentru rezolvarea problemei relaxante se propune algoritmul DCA pentru a calcula soluțiile suboptimale locale.

### 2.2.3. Reformularea continuă pentru problema de optimizare pătratică binară

Considerăm problema de optimizare binară pătratică neconstrânsă:

$$\left. \begin{array}{l} f(x) = x^T Q x + c^T x = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \min \\ \text{referitor la:} \\ x_i \in \{0,1\}, \forall i = 1,2, \dots, n, \end{array} \right\} \quad (2.15)$$

unde  $Q = (q_{ij})_{i,j=1}^n \in \mathbb{R}^{n \times n}$  este o matrice simetrică reală de dimensiune  $n \times n$ , dar nu neapărat pozitiv semidefinită,  $c$  este un vector constant:  $c = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T \in \mathbb{R}^n$  iar  $x$  este un  $n$ -vector de variabile binare:  $x \in \{0, 1\}^n$ .

Folosind o funcție adecvată și un parametru de penalizare, putem reformula problema (2.15) ca o problemă cu variabile continue.. Se arată că problema dimensiunilor mari poate fi redusă la două constrângeri. Se propune apoi o nouă formulare convexă [66]

Cea mai simplă tehnică de relaxare este relaxarea continuă care constă în înlocuirea condițiilor discrete  $x_i \in \{0, 1\}, i = 1,2, \dots, n$  cu constrângeri continue:

$$0 \leq x_i \leq 1, \forall i = 1,2, \dots, n. \quad (2.16)$$

În lucrarea [66] sunt considerate câteva reprezentări ale mulțimii binare  $\{0,1\}^n$  prin intermediul cărora se pot obține reformulări continue pentru problema (2.15). Se arată cum se poate reduce considerabil un număr mare de constrângeri simple (2.16) la doar două constrângeri convexe.

#### 2.2.3.1. Reformularea continuă

Problema (2.15) poate fi transformată într-o problema de optimizare continuă, reprezentând mulțimea binară  $\{0,1\}^n$  prin sistemul de inecuații :

$$\left. \begin{array}{l} p(x) \leq 0, \\ 0 \leq x \leq e, \end{array} \right\} \quad (2.17)$$

unde  $e = (1, 1, \dots, 1)^T$  este vectorul, ale cărui toate componentele sunt egale cu unu și  $p(x): \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$  este o funcție continuă care verifică inegalitatea și egalitatea:

$$\left. \begin{aligned} p(x) &\geq 0, \forall x \in [0,1]^n, \\ p(x) &= 0 \text{ dac\u0103 \u015fi numai dac\u0103 } x \in \{0,1\}^n. \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Func\u021bii  $p(x)$  cu propriet\u0103\u021bile de mai sus (2.18) au fost propuse \u015fi utilizate func\u021biile concave [99], [100]:

$$p(x) = \sum_{i=1}^n x_i(1 - x_i) = x^T(e - x)$$

sau

$$p(x) = \sum_{i=1}^n \min(x_i, 1 - x_i)$$

Exist\u0103 o infinitate de astfel de func\u021bii. \u00c0n cele ce urmeaz\u0103, vom propune alte trei func\u021bii continue cu caracteristici similar [66].

Fie func\u021bia

$$p(u) = (1 - u)|1 - u| + u|u| - (1 - 2u)^2 = \begin{cases} 2u(1 - 2u), & \text{dac\u0103 } u \leq 0, \\ 2u(1 - u), & \text{dac\u0103 } 0 \leq u \leq 1, \\ 2u(3 - 2u) - 2, & \text{dac\u0103 } u \geq 1. \end{cases} \quad (2.19)$$

Func\u021bia  $p(u)$  este o func\u021bie concav\u0103, diferen\u021biabil\u0103 cu derivata continu\u0103:

$$p'(u) = \begin{cases} 2(1 - 4u), & \text{dac\u0103 } u \leq 0, \\ 2(1 - 2u), & \text{dac\u0103 } 0 \leq u \leq 1, \\ 2(3 - 3u) - 2, & \text{dac\u0103 } u \geq 1. \end{cases}$$

Se constata\u021b\u0103 cu u\u015furin\u021b\u0103 c\u0103 func\u021bia

$$p_1(x) = \sum_{i=1}^n [(1 - x_i)|1 - x_i| + x_i|x_i| - (1 - 2x_i)^2] \quad (2.20)$$

satisface (2.18).

O alt\u0103 func\u021bie ar fi

$$p(u) = 1 - |2u - 1| = \begin{cases} 2u, & \text{dac\u0103 } u \leq \frac{1}{2}, \\ 2(1 - u), & \text{dac\u0103 } u \geq \frac{1}{2}, \end{cases} \quad (2.21)$$

care generează funcția

$$p_2(x) = \sum_{i=1}^n [(1 - |2x_i - 1|)] \quad (2.22)$$

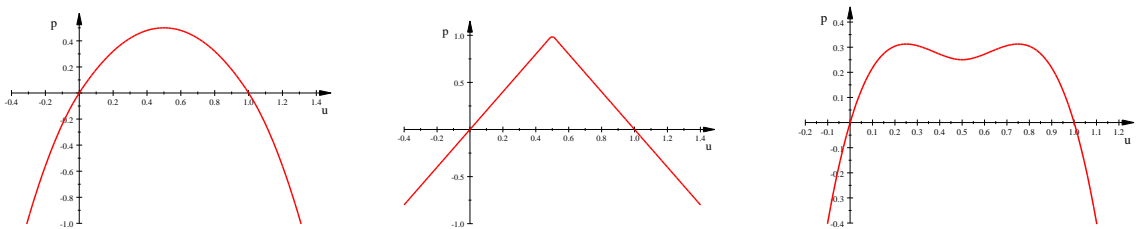
Aducem un alt exemplu de funcție  $p(u)$  care este de două ori diferentiabilă continuă, dar nu este concavă pe intervalul  $[0,1]$ :

$$p(u) = -|2u - 1|^3 + 3u^2 - 3u + 1 = \begin{cases} u(8u^2 - 9u), & \text{dacă } u \leq \frac{1}{2}, \\ -8u^3 + 15u^2 - 9u + 2, & \text{dacă } u \geq \frac{1}{2}. \end{cases} \quad (2.23)$$

care generează funcția

$$p_3(x) = \sum_{i=1}^n [-|2x_i - 1|^3 + 3x_i^2 - 3x_i + 1] \quad (2.24)$$

Funcțiile grafice (2.19), (2.21) și (2.23) sunt prezentate mai jos (Fig. 2.1):



$$p_1(u) = (1 - u)|1 - u| + u|u| - (1 - 2u)^2$$

$$p_2(u) = 1 - |2u - 1|$$

$$p_3(u) = -|2u - 1|^3 + 3u^2 - 3u + 1$$

**Fig. 2.1. Graficele funcțiilor  $p_1(u)$ ,  $p_2(u)$  și  $p_3(u)$ .**

Folosind funcțiile (2.20), (2.22) sau (2.24), problema de programare pătratică (2.15) poate fi reprezentată în forma echivalentă:

$$\left. \begin{array}{l} f(x) = x^T Qx + c^T x \rightarrow \min \\ \text{referitor la} \\ p_1(x) \leq 0, \\ \text{sau} \\ p_2(x) \leq 0, \\ \text{sau} \\ p_3(x) \leq 0, \\ \text{și} \\ 0 \leq x \leq e. \end{array} \right\} \quad (2.25)$$

Menționăm că  $p_s(x) = 0$ ,  $s = 1, s = 2$  sau  $s = 3$  pentru orice  $0 \leq x_i \leq 1$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .



### 2.2.3.2. Reducerea numărului de constrângeri

Problema (2.25) include  $2n$  constrângeri simple:  $0 \leq x_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n$ . Pentru  $n$  suficient de mare, există unele probleme majore în rezolvarea problemei (2.25).

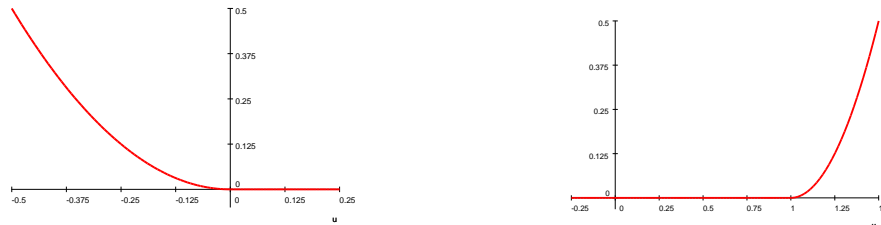
În cele ce urmează vom arăta cum putem reduce aceste  $2n$  restricții simple la doar două constrângeri convexe. Constrângerea  $u \geq 0$  este echivalent cu inecuația  $\gamma_1(u) \leq 0$  sau cu inecuația  $\gamma_2(u) \leq 0$ , iar constrângerea  $u \leq 1$  este echivalentă cu  $\gamma_3(u) \leq 0$  sau cu inecuația  $\gamma_4(u) \leq 0$ , unde

$$\gamma_1(u) = u^2 - u|u| = \begin{cases} 2u^2, & \text{dacă } u \leq 0, \\ 0, & \text{dacă } u \geq 0. \end{cases}, \quad \gamma_2(u) = -u + |u| = \begin{cases} -2u, & \text{dacă } u \leq 0, \\ 0, & \text{dacă } u \geq 0. \end{cases},$$

$$\gamma_3(u) = (1-u)^2 - (1-u)|1-u| = \begin{cases} 0, & \text{dacă } u \leq 1, \\ 2(1-u)^2, & \text{dacă } u \geq 1. \end{cases},$$

$$\gamma_4(u) = -1 + u + |1-u| = \begin{cases} 0, & \text{dacă } u \leq 1, \\ 2(-1+u), & \text{dacă } u \geq 1. \end{cases}$$

Funcțiile  $\gamma_1(u)$ ,  $\gamma_2(u)$ ,  $\gamma_3(u)$  și  $\gamma_4(u)$  sunt funcții convexe pentru  $\forall u \in \mathbb{R}$ , de exemplu,  $\gamma_1(u)$  și  $\gamma_3(u)$  arată așa (Fig. 2.2.) :



$$\gamma_1(u) = u^2 - u|u|$$

$$\gamma_3(u) = (1-u)^2 - (1-u)|1-u|$$

**Fig. 2.2. Graficele funcțiilor  $\gamma_1(u)$  și  $\gamma_3(u)$**

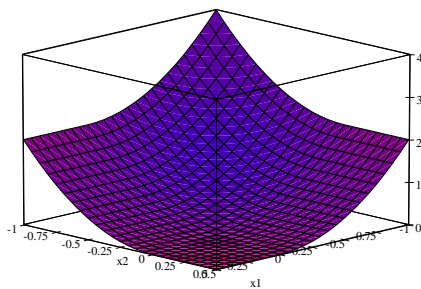
Așa cum  $x_i^2 - x_i|x_i| \geq 0$  și  $-x_i + |x_i| \geq 0$  pentru  $\forall x_i \in \mathbb{R}$  restricțiile  $x_i \geq 0$ , sunt echivalente cu constrângerile  $\varphi_1(x) \leq 0$  sau  $\varphi_2(x) \leq 0$ , unde

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1(x) &= \sum_{i=1}^n [x_i^2 - x_i|x_i|] \\ \varphi_2(x) &= \sum_{i=1}^n [-x_i + |x_i|] \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

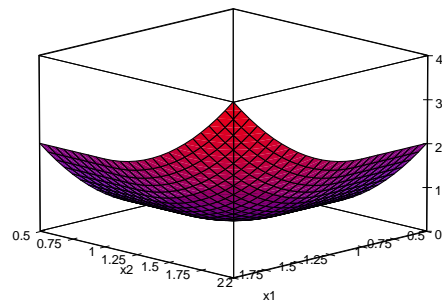
În mod similar, se stabilește că condițiile  $x_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, n$  sunt echivalente cu constrângerea convexă  $g_1(x) \leq 0$  sau  $g_2(x) \leq 0$ , unde

$$\left. \begin{aligned} g_1(x) &= \sum_{i=1}^n [(1-x_i)^2 - (1-x_i)|1-x_i|] \\ g_2(x) &= \sum_{i=1}^n [-1+x_i+|1-x_i|] \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

Funcțiile  $\varphi_1(x)$ ,  $\varphi_2(x)$ ,  $g_1(x)$  și  $g_2(x)$  sunt convexe și determină mulțimi convexe. De exemplu, pentru  $n = 2$  graficele funcțiilor  $\varphi_1(x)$  și  $g_1(x)$  sunt după cum urmează (vezi Fig. 2.3a, 2.3b. ):



**Fig. 2.3a. Graficul funcției  $\varphi_1(x)$**



**Fig. 2.3b. Graficul funcției  $g_1(x)$**

Deci problema (2.25) care are  $(2n + 1)$  constrângeri poate fi redusă la o problemă de optimizare doar cu trei constrângeri:

$$\left. \begin{aligned} f(x) &= x^T Qx + c^T x \rightarrow \min \\ \text{referitor la} \\ p_1(x) &\leq 0, \\ \varphi_1(x) &\leq 0, \\ g_1(x) &\leq 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

sau

$$\left. \begin{aligned} f(x) &= x^T Qx + c^T x \rightarrow \min \\ \text{referitor la} \\ p_2(x) &\leq 0, \\ \varphi_2(x) &\leq 0, \\ g_2(x) &\leq 0, \end{aligned} \right\}, \quad (2.29)$$

unde funcțiile convexe  $\varphi_1(x)$ ,  $\varphi_2(x)$ ,  $g_1(x)$ ,  $g_2(x)$  sunt determinate de formulele (2.26) și (2.27), în timp ce funcțiile concave  $p_1(x)$  și  $p_2(x)$  de formulele (2.20) și respectiv (2.22).

### 2.2.3.2. Reducerea la o problemă DC

În problemele (2.28) și (2.29) constrângerile  $p_1(x) \leq 0$  sau  $p_2(x) \leq 0$  sunt dificile deoarece reprezintă mulțimi neconvexe. O modalitate de a ușura rezolvarea problemelor (2.28) și (2.29) este de a penaliza aceste constrângeri. Acest lucru poate fi realizat după cum urmează. Fie problema de optimizare obținută din problema (2.28), atunci obținem următoarea problemă:

$$\left. \begin{array}{l} \tilde{f}(x) = x^T Qx + c^T x - \tau p_1(x) \rightarrow \min \\ \text{referitor la} \\ \varphi_1(x) \leq 0, \\ g_1(x) \leq 0, \end{array} \right\} \quad (2.30)$$

unde  $\tau > 0$  este un număr pozitiv suficient de mare (parametrul de penalizare). Dacă matricea  $Q$  este pozitiv semidefinită atunci funcția  $\tilde{f}(x)$  este reprezentată ca diferența a două funcții convexe și astfel problema (2.30) devine o problemă programare DC (*Diferența Funcțiilor Convexe*) [101], [102]. S-ar putea găsi un  $\tau_0$  astfel încât pentru  $\forall \tau \geq \tau_0$  cele două probleme (2.28) și (2.30) au aceleași soluții optime. Pentru a rezolva astfel de probleme (2.30) poate fi folosit cu succes algoritmul DC [98].

### 2.3. Problema de planificare a zilelor libere consecutive

Atât în organizațiile de producție, cât și în companiile de servicii (companii de IT, companii aeriene, servicii de securitate, stații de pompieri, restaurante, spitale, etc.) o preocupare specifică este planificarea zilelor libere și a zilelor de lucru pentru o săptămână de muncă (sau multiple a acesteia). Programele de lucru ar trebui să impună angajaților prezența la locul de muncă în diferite zile pentru a menține calitatea admisibilă a serviciilor. Totodată angajații trebuie să beneficieze de numărul dorit de zile libere consecutive pe parcursul săptămânii.

O adaptabilitate mai mare în planificarea zilelor libere în companii prezintă o problemă serioasă, mai ales acum în ultimii ani, în perioada pandemiei de Covid-19. Companiile trebuie să găsească un program de lucru flexibil între angajați, având întotdeauna în vedere satisfacerea sarcinilor de lucru cât și garantarea zilelor libere consecutive. Un studiu cuprinzător al literaturii despre acest subiect poate fi găsit în [56], [57].

Datorită complexității sale, caracteristicilor sale provocatoare și relevanței sale practice, programarea personalului a fost investigată intens în ultimele câteva decenii cu ajutorul modelelor liniare în numere întregi. Cu toate acestea, există un nivel foarte scăzut de studiu asupra modelelor

utilizând programarea pătratică pentru rezolvarea acestor probleme importante. În cazul convex au fost propuși algoritmi efectivi (polinomiali) de rezolvare [104]. Dar dacă problema de programare pătratică este neconvexă sau include variabile întregi, problema este NP-dificilă [105], [106]. Nici un algoritm cunoscut nu poate rezolva astfel de probleme într-un mod eficient.

În cele ce urmează problema planificării a zilelor libere consecutive este formulată ca o problemă binară de programare pătratică [103], [71]. Tratarea se bazează pe proprietățile matricii simetrice circulante care formează funcția obiectiv. Problema de programare pătratică se transformă într-o problemă echivalentă de programare separabilă.

### **2.3.1. Definirea problemei de planificare a zilelor libere consecutive**

Vom considera că săptămână de lucru este de 5 zile, adică compania sau instituția are un program de lucru comprimat și flexibil. Zilele sunt notate astfel, încât să fie 1,2,3,4,5. Planificarea zilelor libere și a zilelor de lucru pe săptămână sau ciclul de lucru de mai multe săptămâni presupune că sunt satisfăcute următoarele ipoteze și constrângeri [103], [107]:

1. Fiecare angajat are același set de abilități, aceeași productivitate, aceleași ore posibile de lucru permise de contract etc. – angajații sunt similari în toate dimensiunile care sunt relevante pentru model;
2. Se cunoaște numărul total de angajați  $m$  și numărul de lucrători  $n_k$  necesar în ziua  $k \in \{1,2,3,4,5\}$ ;
3. Fiecare angajat  $i \in \{1,2, \dots, m\}$  are un număr fix  $d_i$  de zile libere pe săptămână;
4. Fiecare angajat are cel puțin 2 zile libere consecutive pe săptămână;
5. Unele sarcini specifice trebuie atribuite celor angajați care au abilități pentru executarea lor. În cazul când apar unele sarcini specifice și avem doar câțiva angajați care le pot realiza, atunci din numărul total de angajați îi excludem, fixându-i în zilele respective doar pe aceștia.

### **2.3.2. Modelul de programare binară pătratică**

Pentru fiecare lucrător introducem variabilele binare  $x_{ik}$  astfel încât:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{dacă ziua } k \in \{1,2,3,4,5\} \text{ este liberă pentru lucrătorul } i \in \{1,2, \dots, m\} \\ 0, & \text{în caz contrar} \end{cases} .$$

Avem matricea

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & x_{m4} & x_{m5} \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{m \times 5} \quad (2.31)$$

Această matrice o convertim într-un vector coloană format din liniile sale:

$$x = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{15}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{25}, \dots, x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{m5})^T \in \mathbb{R}^{5m} \quad (2.32)$$

Pentru fiecare zi,  $k \in \{1,2,3,4,5\}$ , numărul lucrătorilor care iau această zi liberă este  $m - n_k$ . Această ipoteză poate fi scrisă astfel:

$$\left. \begin{aligned} x_{11} + x_{21} + \dots + x_{m1} &= m - n_1 \\ x_{12} + x_{22} + \dots + x_{m2} &= m - n_2 \\ \dots & \\ x_{15} + x_{25} + \dots + x_{m5} &= m - n_5 \end{aligned} \right\}$$

sau în forma matricială:

$$Ax = b,$$

unde

$$b = (m - n_1 \quad m - n_2 \quad m - n_3 \quad m - n_4 \quad m - n_5)^T \in \mathbb{R}^5,$$

iar

$$A = (I \quad I \quad \dots \quad I) \in \mathbb{R}^{5 \times (5m)}.$$

Aici  $I$  este matricea unitate de dimensiune  $5 \times 5$ .

Ipoteza că fiecare lucrător (angajat)  $i \in \{1,2, \dots, m\}$  are  $d_i$  zile libere în săptămână poate fi scrisă astfel:

$$\left. \begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} &= d_1 \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} &= d_2 \\ \dots & \\ x_{m1} + x_{m2} + x_{m3} + x_{m4} + x_{m5} &= d_m \end{aligned} \right\}$$

sau  $Ex=d$ , unde

$$d = (d_1 \quad d_2 \quad \dots \quad d_m)^T \in \mathbb{R}^m,$$

$$E = (E_1 \ E_2 \ \dots \ E_m) \in \mathbb{R}^{m \times (5m)}.$$

Matricele  $E_i \in \mathbb{R}^{m \times 5}$  sunt de forma

$$E_i = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \leftarrow \text{rândul } i \in \{1, 2, \dots, m\}$$

Ipoteza că unele sarcini specifice trebuie realizate de un lucrător care are abilitatea corespunzătoare, poate fi scrisă după cum urmează:

Notăm

$$c_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{dacă prezența lucrătorului } i \in \{1, 2, \dots, m\} \text{ este necesară în ziua } k \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \\ 0, & \text{în caz contrar} \end{cases}$$

Atunci  $Cx = 0$ , unde  $0 = (0 \ 0 \ \dots \ 0)^T \in \mathbb{R}^m$  – vectorul coloană cu elementele egale cu zero, iar  $C = \{0, 1\}^{m \times (5m)}$  este matricea cu elementele  $c_{ik}$  definite mai sus.

Avem nevoie de o funcție care să permită de a putea maximiza numărul de zile libere consecutive pe săptămână [103]:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \left( \sum_{k=1}^4 x_{ik} x_{i,k+1} + x_{i5} x_{i1} \right)$$

Funcția obiectiv  $f(x)$  poate fi scrisă astfel:  $f(x) = x^T Q x$ . Aici matricea simetrică  $Q$  este o matrice bloc-diagonală

$$Q = \begin{pmatrix} Q_0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Q_0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & Q_0 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{(5m) \times (5m)}$$

unde matricea nulă  $0 \in \mathbb{R}^{5 \times 5}$  este o matrice în care toate elementele sale sunt egale cu 0, și matricea  $Q_0$  :

$$Q_0 = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{5 \times 5}$$

Astfel maximizarea numărului de zile libere consecutive este de a rezolva următoarea problemă de programare pătratică cu variabile binare:

$$\left. \begin{array}{l} f(x) = x^T Q x \rightarrow \max \\ \text{referitor la} \\ Ax = b, \\ Ex = d, \\ Cx = 0, \\ x \in \{0,1\}^n \end{array} \right\} \quad (\text{QP})$$

La rezolvarea problemei (QP) ne întâlnim cu mari dificultăți legate de faptul că funcția este neconvexă și că variabilele sunt întregi (booleene). Problema (QP) în caz general este NP-dificilă [105], [108] și este foarte greu de rezolvat. Interesul față de astfel de probleme face obiectul unei literaturi bogate ( a se vedea lucrările de sinteză [80] ) și a dat naștere la dezvoltarea la numeroase metode: Relaxării lagrangiene și relaxării semidefinite [109], [110]; Relaxării conice [111], [112]; Reformulării continue [113], [114], [115]; Reformulării liniare (*reformulation - linearization technique RLT*) [85]; Metode euristice și metode genetice [115], [116].

În lucrarea [71] se propune o metodă de rezolvare a problemei (QP), utilizând reformularea separabilă. Această metodă se bazează pe diagonalizarea matricei  $Q$ .

### 2.3.3. Valorile proprii și vectorii proprii ale matricei circulante

Matricea  $Q_0$  este o matrice simetrică circulantă [92]. Se verifică imediat că vectorul

$$x_p^{(1)} = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$$

este un vector propriu. Într-adevăr

$$Q_0 x_p^{(1)} = \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) x_p^{(1)} = x_p^{(1)}$$

Astfel  $\lambda_1 = 1$  este o valoare proprie a matricei  $Q_0$ . Ceilalți vectori proprii pot fi găsiți ușor, utilizând rădăcina primitivă din unitate:  $\omega_5 = \exp(2\pi i/5)$ ,  $i = \sqrt{-1}$ .

În termenii  $\omega_5$ , valorile proprii ai matricei  $Q_0$  sunt [93]:

$$\lambda_k = \frac{1}{2}\omega_5^{k-1} - \frac{1}{2}\omega_5^{4(k-1)}, k = 1,2,3,4,5$$

Astfel avem

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= 1, \lambda_2 = \frac{1}{4}\sqrt{5} - \frac{1}{4}, \lambda_3 = -\frac{1}{4}\sqrt{5} - \frac{1}{4} \\ \lambda_4 &= -\frac{1}{4}\sqrt{5} - \frac{1}{4} = \lambda_3, \lambda_5 = \frac{1}{4}\sqrt{5} - \frac{1}{4} = \lambda_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.33)$$

Vectorii proprii se determină, utilizând aceeași rădăcină primitivă a unității  $\omega_5$ :

$$v_p^k = (w_5^{0 \times (k-1)} \quad w_5^{1 \times (k-1)} \quad w_5^{2 \times (k-1)} \quad w_5^{3 \times (k-1)} \quad w_5^{4 \times (k-1)})^T, k = 1,2,3,4,5$$

Notăm

$$\mu_2 = \frac{1}{4}\sqrt{2}\sqrt{5 + \sqrt{5}}, \quad \mu_3 = \frac{1}{4}\sqrt{2}\sqrt{5 - \sqrt{5}} \quad (2.34)$$

Efectuând calculele respective și luând în considerație (2.33) și (2.34), obținem vectorii proprii a matricei  $Q_0$ :

$$v_p^{(1)} = (1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1)^T = (\lambda_1 \quad \lambda_1 \quad \lambda_1 \quad \lambda_1 \quad \lambda_1)^T \in \mathbb{R}^5,$$

$$v_p^{(2)} = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 + i\mu_2 \\ \lambda_3 + i\mu_3 \\ \lambda_3 - i\mu_3 \\ \lambda_2 + i\mu_2 \end{pmatrix}, v_p^{(3)} = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_3 + i\mu_3 \\ \lambda_2 - i\mu_2 \\ \lambda_2 + i\mu_2 \\ \lambda_3 - i\mu_3 \end{pmatrix}, v_p^{(4)} = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_3 + i\mu_3 \\ \lambda_2 + i\mu_2 \\ \lambda_2 - i\mu_2 \\ \lambda_3 + i\mu_3 \end{pmatrix}, v_p^{(5)} = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 - i\mu_2 \\ \lambda_3 - i\mu_3 \\ \lambda_3 + i\mu_3 \\ \lambda_2 + i\mu_2 \end{pmatrix}.$$

Deoarece  $Q_0$  este o matrice simetrică cu elemente reale și cu valorile proprii reale, atunci putem alege întotdeauna vectorii proprii corespunzător cu intrări reale. Într-adevăr, dacă

$$v = a + ib, \quad ab \neq 0, \quad i = \sqrt{-1},$$

este un vector propriu al matricei  $M$  cu valoarea proprie  $\lambda$ , atunci

$$M(a + ib) = \lambda(a + ib).$$



De aici rezultă  $Ma = \lambda a, Mb = \lambda b, M(a + b) = \lambda(a + b)$ , adică vectorii  $a, b$  și  $a + b$  tot sunt vectori proprii asociați valorii proprii  $\lambda$ .

Așadar părțile reale, părțile imaginare și suma acestora vor fi la rândul lor vectori proprii. Astfel avem vectorii proprii ai matricei  $Q_0$  cu elementele reale:

$$p_k = \operatorname{Re}(v_p^k) + \operatorname{Im}(v_p^k), k = 1, 2, 3, 4, 5$$

Pentru a stabili alte proprietăți ale matricei  $Q_0$  considerăm matricea coloanelor careia sunt vectorii proprii  $p_k$ :

$$F_0 = \frac{1}{\sqrt{5}}(p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_5) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_1 & \lambda_1 & \lambda_1 & \lambda_1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 + \mu_2 & \lambda_3 + \mu_3 & \lambda_2 - \mu_3 & \lambda_2 - \mu_2 \\ \lambda_1 & \lambda_3 + \mu_3 & \lambda_2 - \mu_2 & \lambda_2 + \mu_2 & \lambda_3 - \mu_3 \\ \lambda_1 & \lambda_3 - \mu_3 & \lambda_2 + \mu_2 & \lambda_2 - \mu_2 & \lambda_3 + \mu_3 \\ \lambda_1 & \lambda_2 - \mu_2 & \lambda_3 - \mu_3 & \lambda_3 + \mu_3 & \lambda_2 + \mu_2 \end{pmatrix}.$$

Matricea  $F_0$  este transformata Fourier discretă, coloanele sale sunt ortogonale (ortonormate).

Vom remarca următoarele proprietăți ale matricei  $F_0$ , proprietăți care se verifică prin calculul direct:

1.  $F_0 = F_0^T$
2.  $F_0^2 = I$
3.  $F_0^{-1} = F_0$
4.  $S_p(F_0) \in (-1, 1)$
5.  $\det(F_0) = 1$
6.  $\operatorname{cond}(F_0) = 1$

Astfel  $F_0$  este o matrice simetrică specială, ortogonală și bine condiționată. Acest lucru este important din punct de vedere al calculului numeric: perturbații mici în datele de intrare nu vor produce variații mari în calcule [95]. Cu ajutorul matricei ortogonale  $F_0$  poate fi realizată diagonalizarea matricei circulante  $Q_0$  [95].

$$F_0 Q_0 F_0 = \Lambda_0 \tag{2.35}$$

unde

$$\Lambda_0 = \text{Diag}(\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \lambda_5) = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_5 \end{pmatrix},$$

adică

$$Q_0 = F_0 \Lambda_0 F_0 \tag{2.36}$$

### 2.3.4. Reformulare în termeni de problemă de programare separabilă

Considerăm acum suma directă de  $m$  matrice  $Q_0$ :

$$Q_0 \oplus Q_0 \oplus \dots \oplus Q_0$$

care în rezultat ne dă matricea  $Q$ .

Matricea  $Q$  este o matrice circulantă de blocuri. Valorile proprii și vectorii proprii ale matricei  $Q$  sunt reuniunea celor  $m$  mulțimi de 5 valori proprii  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$  și respectiv celor 5 vectori proprii  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ .

Notăm matricele bloc-diagonale:

$$F = F_0 \oplus F_0 \oplus \dots \oplus F_0 \oplus F_0 = \begin{pmatrix} F_0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & F_0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & F_0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & F_0 \end{pmatrix},$$

$$\Lambda = \Lambda_0 \oplus \Lambda_0 \oplus \dots \oplus \Lambda_0 \oplus \Lambda_0 = \begin{pmatrix} \Lambda_0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \Lambda_0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \Lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \Lambda_0 \end{pmatrix}.$$

Atunci matricea  $Q$  este diagonalizată:  $Q = F \Lambda F$ .

Fie vectorul coloană  $\bar{x}_i = (x_{i1} \ x_{i2} \ x_{i3} \ x_{i4} \ x_{i5})^T, i=1,2, \dots, m$ . Atunci vectorul  $x$  definit în (2.32) poate fi scris:

$$x = (\bar{x}_1^T \ \bar{x}_2^T \ \dots \ \bar{x}_m^T)^T \in \mathbb{R}^{5m}.$$

Cu aceste notații rescriem funcția obiectiv după cum urmează:

$$f(x) = x^T Q x = (\bar{x}_1^T \quad \bar{x}_2^T \quad \cdots \quad \bar{x}_{m-1}^T \quad \bar{x}_m^T) \begin{pmatrix} Q_0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & Q_0 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & Q_0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & Q_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_{m-1} \\ \bar{x}_m \end{pmatrix} =$$

$$= \bar{x}_1^T Q_0 \bar{x}_1 + \bar{x}_2^T Q_0 \bar{x}_2 + \cdots + \bar{x}_{m-1}^T Q_0 \bar{x}_{m-1} + \bar{x}_m^T Q_0 \bar{x}_m,$$

sau, luând în considerație (2.36):

$$f(x) = (F_0 \bar{x}_1)^T \Lambda_0 F_0 \bar{x}_1 + (F_0 \bar{x}_2)^T \Lambda_0 F_0 \bar{x}_2 + \cdots + (F_0 \bar{x}_m)^T \Lambda_0 F_0 \bar{x}_m.$$

Determinăm vectorul coloană

$$\bar{y}_i = F_0 \bar{x}_i = (y_{i1} \quad y_{i2} \quad y_{i3} \quad y_{i4} \quad y_{i5})^T, \quad i=1, 2, 3, \dots, m,$$

cu elementele

$$y_{ij} = \frac{\sqrt{5}}{5} p_j^T \bar{x}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, 3, 4, 5,$$

unde  $\frac{\sqrt{5}}{5} p_j$  este coloana  $j$  din matricea  $F_0$ .

Notăm

$$y = (\bar{y}_1^T \quad \bar{y}_2^T \quad \cdots \quad \bar{y}_m^T)^T \in \mathbb{R}^{5m}.$$

Avem

$$y = F x = \begin{pmatrix} F_0 \bar{x}_1 \\ F_0 \bar{x}_2 \\ \vdots \\ F_0 \bar{x}_m \end{pmatrix} \tag{2.37}$$

Atunci în variabilele  $y_{ij}$  funcția scop devine o funcție separabilă:

$$g(y) = \bar{y}_1^T \Lambda_0 \bar{y}_1 + \bar{y}_2^T \Lambda_0 \bar{y}_2 + \cdots + \bar{y}_m^T \Lambda_0 \bar{y}_m =$$

$$= \lambda_1 \sum_{i=1}^m y_{i1}^2 + \lambda_2 \sum_{i=1}^m y_{i2}^2 + \lambda_3 \sum_{i=1}^m y_{i3}^2 + \lambda_4 \sum_{i=1}^m y_{i4}^2 + \lambda_5 \sum_{i=1}^m y_{i5}^2 = \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^m \lambda_k y_{ik}^2.$$

Așa cum  $F^{-1} = F$ ,  $F_0^{-1} = F_0$ , din (2.37), avem

$$x = F y, \quad \bar{x}_i = F_0 \bar{y}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$x_{ik} = \frac{\sqrt{5}}{5} p_k^T \bar{y}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad k = 1, 2, 3, 4, 5.$$

Atunci constrângerile

$$x_{1k} + x_{2k} + \dots + x_{mk} = m - n_k, \quad k = 1, 2, 3, 4, 5,$$

$$x_{i1} + x_{i2} + x_{i3} + x_{i4} + x_{i5} = d_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

devin

$$p_k^T (\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \dots + \bar{y}_m) = \sqrt{5}(m - n_k), \quad k = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (2.38)$$

$$(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)^T \bar{y}_i = \sqrt{5}d_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.39)$$

Luând în considerație că

$$(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)^T = (5 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)^T,$$

din (2.39) obținem

$$y_{i1} = \frac{\sqrt{5}}{5} d_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.40)$$

Deci

$$\bar{y}_i = \left( \frac{\sqrt{5}}{5} d_i \quad y_{i2} \quad y_{i3} \quad y_{i4} \quad y_{i5} \right)^T, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Astfel problema (QP) a fost transformată în următoarea:

$$g(y) = \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^m \lambda_k y_{ik}^2 \rightarrow \max \quad (2.41. a)$$

în constrângerile

$$p_k^T \left( \sum_{i=1}^m \bar{y}_i \right) = \sqrt{5}(m - n_k), \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, \quad (2.41. b)$$

$$\sum_{k=1}^5 p_k^T \bar{y}_i = \sqrt{5}d_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.41. c)$$

$$CFy = 0, \quad (2.41. d)$$

$$p_k^T \bar{y}_i \in \{0, \sqrt{5}\} \quad k = 1, 2, 3, 4, 5; \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.41.e)$$

Problema (2.41) este o problemă de programare pătratică separabilă neconvexă, cu excepția constrângerilor (2.41.e).

Funcția scop (2.41.a) este o funcție pătratică neconvexă în care

$$\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0, \lambda_3 = \lambda_4 < 0, \lambda_5 = \lambda_2 > 0.$$

Această funcție poate fi rescrisă ca diferența a două funcții convexe:  $g(y) = \varphi_1(y) - \varphi_2(y)$ , unde

$$\varphi_1(y) = \sum_{i=1}^m \lambda_1 y_{i1}^2 + \sum_{i=1}^m \lambda_2 y_{i2}^2 + \sum_{i=1}^m \lambda_5 y_{i5}^2,$$

$$\varphi_2(y) = \sum_{i=1}^m (-\lambda_3 y_{i3}^2) + \sum_{i=1}^m (-\lambda_4 y_{i4}^2).$$

La ziua de azi există o teorie originală pentru problemele cu funcții reprezentate ca diferența a două funcții convexe, probleme numite probleme de programare DC (*DC-Difference of Convex Functions*). Pentru astfel de probleme au fost dezvoltati algoritmi efectivi de rezolvare, care poartă denumirea de DCA (DC Algorithm) [98], [99].

Constrângerile (2.41.b), (2.41.c), și (2.41.d) sunt liniare față de variabilele de decizie  $y_{ik}$ . Ultimele constrângeri (2.41.e) forțează ca mărimile  $\frac{\sqrt{5}}{5} p_k^T \bar{y}_i$  să ia valoarea 0 sau 1 (zero sau unu). Acest lucru îngreunează foarte mult rezolvarea problemei. O abordare practică ar fi relaxarea acestor condiții, înlocuind (2.41.e) cu:

$$0 \leq p_k^T \bar{y}_i \leq \sqrt{5}, \quad k = 1, 2, \dots, 5; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.41.f)$$

Pentru rezolvarea problemei relaxate poate fi utilizată metode DCA [99], [101], [128].

### 2.3.5. Algoritm de rezolvare

Se consideră următoarea modificare a algoritmului DCA, care se bazează pe construirea a două șiruri  $\{y^{(s)}\}, \{u^{(s)}\}$  calculate la fiecare iterație după cum urmează:

**Pasul 1.** Se dă  $\varepsilon > 0$  (precizia cu care se identifică soluția optimă). Se aleg  $5m$  valori reale (aproximația inițială de start  $y^{(0)}$ ):  $y_{ik}^{(0)}, i = 1, 2, \dots, m, k = 1, 2, 3, 4, 5$ , și se ia  $s = 0$ .

**Pasul 2.** Pentru orice  $i = 1, 2, \dots, m$  se determină

$$u_{ik}^{(s)} = \frac{\partial \varphi_1(y^{(s)})}{\partial y_{ik}} = \begin{cases} 2\lambda_k y_{ik}^{(s)}, & \text{dacă } k = 1, 2, 5 \\ 0, & \text{dacă } k = 3, 4 \end{cases}$$

**Pasul 3.** Se stabilește  $y^{(s+1)}$  soluția problemei de programare pătratică separabilă convexă:

$$\varphi_2(y) - \varphi_1(u^{(k)}) - (y - y^{(k)})^T u^{(k)} \rightarrow \min$$

$$\left. \begin{aligned} & \lambda_3 \sum_{i=1}^m y_{i3}^2 + \lambda_4 \sum_{i=1}^m y_{i4}^2 + \lambda_1 \sum_{i=1}^m (u_{i1}^{(s)})^2 + \lambda_2 \sum_{i=1}^m (u_{i2}^{(s)})^2 + \\ & \lambda_5 \sum_{i=1}^m (u_{i5}^{(s)})^2 + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^5 (y_{ik} - y_{ik}^{(s)}) u_{ik}^{(s)} \rightarrow \max \end{aligned} \right\}$$

referitor la

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^m y_{ik} = \sqrt{5} (m - n_1), \\ & \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^m \lambda_k y_{ik} + \mu_2 \sum_{i=1}^m (y_{i2} - y_{i5}) + \mu_3 \sum_{i=1}^m (y_{i3} - y_{i4}) = \sqrt{5} (m - n_2), \\ & \sum_{i=1}^m y_{i1} + \lambda_2 \sum_{i=1}^m (y_{i3} + y_{i4}) + \lambda_3 \sum_{i=1}^m (y_{i2} + y_{i5}) + \\ & + \mu_2 \sum_{i=1}^m (y_{i4} - y_{i3}) + \mu_3 \sum_{i=1}^m (y_{i2} - y_{i5}) = \sqrt{5} (m - n_3), \\ & \sum_{i=1}^m y_{i1} + \lambda_2 \sum_{i=1}^m (y_{i3} + y_{i4}) + \lambda_3 \sum_{i=1}^m (y_{i2} + y_{i5}) + \\ & + \mu_2 \sum_{i=1}^m (y_{i3} - y_{i4}) + \mu_3 \sum_{i=1}^m (y_{i5} - y_{i2}) = \sqrt{5} (m - n_4), \\ & \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^m \lambda_k y_{ik} + \mu_2 \sum_{i=1}^m (y_{i1} - y_{i2}) + \mu_3 \sum_{i=1}^m (y_{i4} - y_{i3}) = \sqrt{5} (m - n_5), \\ & 0 \leq \sum_{k=1}^5 y_{ik} \leq \sqrt{5}, y_{i1} = \frac{\sqrt{5}}{5} d_i, i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \right\}$$

**Pasul 4.** Dacă se verifică criteriul de oprire:

$$\max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq k \leq 5} |y_{ik}^{(s+1)} - y_{ik}^{(s)}| < \varepsilon,$$

atunci STOP. În caz contrar, se ia  $s = s + 1$  și se revine la **Pasul 2**.

Tehnica propusă permite utilizarea algoritmului DCA pentru a calcula soluții suboptimale locale a problemei inițiate, dar este posibil și să găsească și optimul global cu ajutorul, de exemplu,

a metodelor de ramificare și mărginire (*a branch and bound method*)[126], sau în combinație cu rezultatele clasice de aproximare a problemei de programare separabilă cu un model de programare liniară. Problema (2.41) poate fi reformulată și ca o problemă de programare conică de ordinul doi (SOCP-Second-order cone programming) prin reformularea funcției obiective ca o constrângere [69]. Există software specializate pentru rezolvarea problemelor de optimizare conică [127].

În Anexa 1 sunt prezentate rezultatele numerice a unui studiu de caz în care este utilizat algoritmul propus. S-a considerat problema de planificare a zilelor libere consecutive cu săptămâna de lucru de 5 zile, numărul de angajați este  $m = 6$ , numărul  $d_i$  de zile libere pe săptămână pentru fiecare din cei 6 angajați și numărul  $n_k$  de angajați necesari în cele 5 zile  $k$ . În urma calculelor, este obținută soluția optimă locală a modelului cu valorile pentru variabilele  $\bar{y}_i = (y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}, y_{i4}, y_{i5})^T, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  și  $\bar{x}_i$ , luând în considerație că  $\bar{x}_i = F_0 \bar{y}_i$ .

Rezultatul planificării zilelor libere consecutive, generat de modelul elaborat în cadrul tezei (rotunjind  $x_{ij}$  la numere întregi), este după cum urmează: angajații 1, 2 și 3 vor avea un program de lucru de 2 zile lucrătoare, angajații 4 și 5 – câte 3 zile lucrătoare, angajatul 6 respectiv 4 zile lucrătoare. Numărul de lucrători necesari pentru cele 5 zile de lucru în săptămâna respectivă sunt după cum urmează: în prima zi vor fi necesari 4 angajați, a 2a și a 3a zi – 3 angajați, a 4a și a 5a zi – câte 2 angajați.

Astfel, pentru administratorul companiei, cât și pentru angajați, este afișat programul de lucru săptămânal în formă tabelară.

#### **2.4. Cu privire la simbioza om-mașină în procesele de producție moderne**

Organizarea unui sistem de producție este un proces prin care factorii de producție, printre care se regăsește și forța de muncă sau resursa umană, sunt parte componentă a diverselor activități de planificare în cadrul unei organizații pentru a produce bunuri și/sau servicii. După cum a fost arătat în acest capitol, programarea personalului este o activitate esențială și permanentă în procesul de planificare și coordonare în cadrul organizației (firmei), care ține de ordonarea sarcinilor de lucru și alocarea resurselor pe termen scurt. Totodată, o abordare sistemică la nivel de planificare, programare și monitorizare a procesului de producție presupune luarea în considerare a interfeței cu mediul de firmă, prin care se subînțelege totalitatea resurselor și elementelor aferente organizării unui sistem de producție.

La ora actuală conceptul Industria 4.0 este considerat o dezvoltare revoluționară în economiile avansate, relevanța și semnificația sa fiind evidente. În contextul acestui concept un aspect esențial ține de interacțiunea om – mașină, în particular de dimensiunea interacțiunii,

interfețele utilizator folosite fiind definitorii în acest sens. Astfel, o atenție deosebită în cercetările legate de interacțiunea om - mașină în cadrul conceptului Industria 4.0 este acordată interfețelor de utilizator, care prezintă interes științifico-practic în ceea ce privește caracteristicile, funcționalitatea și scenariile de aplicație, acestea din urmă fiind diverse pentru procesele de planificare, monitorizare, precum și în activitățile de mentenanță. În consecință, dimensiunea interacțiunii este esențială în organizarea și funcționarea organizației/întreprinderii, iar abordarea unor noi arhitecturi conceptuale a interfețelor de utilizator, care să reflecte oportunitățile și necesitățile în domeniu, reprezintă un aspect important al cercetărilor.

În condițiile unei influențe majore a tehnologiilor avansate de informare și comunicații, care în mod constant se impun în organizarea sistemelor de producție, rolul subiectului în procesul de planificare este de așteptat să fie în schimbare datorită mediului aleatoriu și dinamic. Modalitățile de lucru ale unui manager și rolul său devin din ce în ce mai importante și sensibile. În consecință, o astfel de schimbare necesită noi abordări bazate pe tehnologia modernă de informare-comunicații, internet și conexiuni de rețea, în care resursa umană să fie privită din perspectiva componentelor sociale ale sistemelor avansate de producție.

În particular, o abordare centrală a activităților în cadrul Industriei 4.0 se referă la integrarea operatorilor umani în procesele de producție moderne și avansate, privite prin prisma automatizării centrate pe om în producție [40]. Aceasta înseamnă că competitivitatea nu ar trebui să fie asigurată doar prin superioritatea în productivitatea bazată pe automatizare, ci mai degrabă prin oferirea de valoare sporită clienților prin furnizarea de personalizare individuală a produsului. În acest scop, integrarea semnificativă a punctelor forte atât ale resursei umane, cât și ale mașinii trebuie să permită o creștere a flexibilității de producție. Astfel, colaborarea și interacțiunea de succes a personalului uman cu diverse componente hardware și software, în scopul realizării unei simbioze eficiente om-mașină, devine primordială în diverse fațete ale proceselor de producție.

Deci, resursa umană trebuie să fie integrată plenar în sistemul de producție și procesele acestuia. Datorită creșterii importanței și ponderii produselor și serviciilor specializate / personalizate, se conturează tot mai clar rolul sistemelor de fabricație flexibile și reconfigurabile [20]. Flexibilitatea poate fi considerată ca o abordare multidimensională care integrează activitățile de planificare, marketing și producție. Ca urmare, rolul și cerințele pentru personalul uman se schimbă fundamental, creând necesitatea ca noi interfețe să interacționeze cu mașinile în cadrul procesului de fabricație reconfigurabil. Acest lucru are ca rezultat cererea de noi HMI, care sunt mobile și pot fi utilizate în diferite locații ale sistemului de producție/organizației, fiind decuplate de mașini specifice.



Rezumând cele expuse mai sus, se poate concluziona că pentru organizarea și gestionarea cu succes a sistemelor de producție moderne este necesară dezvoltarea, descrierea și implementarea unor interfețe inteligente care să lege componentele umane și fizice ale sistemului în așa fel încât să faciliteze înțelegerea reciprocă între părțile componente ale procesului de producție. Odată cu implementarea cu succes a interfețelor inteligente, va fi posibil de a stăpâni în mod mai eficient activitățile de organizare a sistemelor de producție, în particular activitățile de planificare, programare și monitorizare.

În contextul cercetării prezentate în acest capitol, planificarea este tratată în sensul programării personalului, adică se referă la procesul de alocare a resurselor umane în sensul de stabilire a zilelor la care se vor desfășura activitățile de lucru pe baza unei durate definite și a solicitărilor de zile de odihnă. Așadar, în baza algoritmilor propuși se poate stabili cine va efectua operațiunile de lucru și când vor fi efectuate operațiunile respective, în funcție de resursele disponibile și solicitările zilelor libere consecutive, pentru o perioadă determinată de timp. În continuare este firească și logică necesitatea de a aborda problematica interfețelor în organizarea sistemelor de producție și de a propune noi arhitecturi conceptuale a interfețelor utilizator prin integrarea metodelor și algoritmilor de rezolvare a problemelor de programare pătratică, elaborate și dezvoltate în prezentul capitol.

Totodată, având în vedere necesitatea dezvoltării și implementării interfețelor inteligente în domeniul cercetat, dar și impactul perturbațiilor majore gen Covid-19 asupra diverselor activități în procesul de producție, se impune necesitatea de a lua în considerare monitorizarea personalului întreprinderii/organizației în sensul recunoașterii expresiilor faciale și monitorizării temperaturii personalului uman. Recunoașterea automată a fețelor și monitorizarea online a temperaturii ar permite în principal obținerea unor informații specifice despre resursele umane implicate în procesul de producție și ar trebui privită ca parte integrantă a unei posibile arhitecturi conceptuale a interfeței utilizator. O asemenea abordare ar oferi posibilitatea înglobării în interfață a anumitor elemente de inteligență care să ia în considerare analiza online a necesităților de personal și a disponibilităților existente la moment, în conexiune inclusiv cu informațiile specifice obținute prin intermediul recunoașterii automate a fețelor și monitorizării online a temperaturii.

## **2.5. Concluzii la capitolul 2**

Problema de planificare a zilelor libere consecutive a fost formulată ca o problemă de programare pătratică neconvexă binară, care se știe că este NP-dificilă.

Structura matricei circulante din funcția scop permite diagonalizarea ei. Principala provocare practică este calcularea rapidă a matricei diagonale  $\Lambda_0$  și a matricei Fourier  $F_0$ , care în

abordarea noastră reduce problema considerată la o problemă de programare pătratică separabilă. Caracteristica acestei transformări este că matricea  $F = F_0 \oplus F_0 \oplus \dots \oplus F_0 \oplus F_0$  rămâne bine condiționată ( $\text{cond}(F)=1$ ) independent de numărul variabilelor de decizie din formularea problemei. Din câte cunoaștem, astfel de abordări cu matrice circulante nu sunt studiate în literatură.

Tot în cadrul acestui capitol ne-am interesat de rezolvarea problemelor de optimizare pătratică. În cazul problemei de programare pătratică binară, ideea principală a fost de a o transforma într-o nouă problemă de optimizare cu doar două constrângeri convexe.

Problema de optimizare pătratică cu restricții inegalități liniare în urma transformărilor condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker a fost redusă la rezolvarea unui sistem de ecuații, neliniare, care poate fi rezolvat utilizând metoda celor mai mici pătrate.

### **3. INTERFEȚE ÎN ORGANIZAREA SISTEMELOR DE PRODUCȚIE**

#### **3.1. Problematika interfeței în organizarea sistemelor de producție**

O abordare sistemică la nivel de planificare, control și monitorizare a sistemului de producție presupune în mod obligatoriu luarea în considerare a interfeței cu mediul de firmă, prin care subînțelegem totalitatea elementelor aferente organizării și funcționării sistemului de producție.

Comunicarea dintre oameni și calculatoare este un domeniu care a fost studiat pentru o perioadă considerabilă. Subiectul interfețelor a avut o schimbare progresivă spre cea mai naturală, cognitivă și adaptivă interacțiune cu utilizatorul. Astfel, a fost conceput termenul de interfețe inteligente, ca rezultat al unei combinații de tehnici, care derivă din amalgamul dintre inteligența artificială și interacțiunea om-calculator [129].

Interfețele inteligente încearcă să rezolve problemele interacțiunii om-calculator prin furnizarea de noi metode de comunicare și adaptarea la utilizator și prin folosirea sistemului în modul cel mai adecvat, intuitiv și inteligent [130], [131]. În ceea ce privește termenul de inteligență, în acest caz, este aplicat sensul capacității de a folosi informațiile în mod corespunzător și nu aspectul cognitiv al acestei definiții [132]. În procesul de proiectare și exploatare a sistemelor de producție, un factor important este receptivitatea acestuia și capacitatea de a se schimba în timp și funcțional. Pentru a atinge un nivel ridicat de configurare structurală și de fezabilitate, un sistem de producție trebuie să aibă o interfață compatibilă [134]. Interfețele inteligente cu utilizatorul fac parte din sistemele de producție și sistemele socio-tehnice de producție, care ar uni cu succes oamenii cu lumea virtuală și fizică pentru înțelegere reciprocă [132], [133], [134]. Cercetarea noilor metode de comunicare se concentrează pe sistemele în limbaj natural, recunoașterea gesturilor, recunoașterea imaginilor și interfețele multimodale [130], [135], [136], [137].

Un exemplu de interfață inteligentă cu utilizatorul care atrage atenția cercetătorilor este tastatura telefonului mobil, ca un amalgam de inteligență a mașinii și interacțiunea om-calculator. Cercetările privind introducerea textului, corectarea și prevenirea erorilor, sunt descrise în lucrările [138], [139], îndeosebi cazurile utilizării telefonului mobil, comportamentul utilizatorilor și inovațiile de învățare, care reprezintă provocările întâlnite atunci, când este realizată proiectarea sau crearea interfețelor inteligente pentru utilizator. Aspectul cultural al interfețelor inteligente pentru utilizator este tratat în lucrarea [140], ca un factor important al mediului utilizatorilor finali, datorită achiziției nelimitate de dispozitive de comunicații mobile.

Principalul obiectiv al interfețelor inteligente cu utilizatorul ce necesită să fie atins este interacțiunea om-mașină în cel mai eficient, natural și afectiv mod [141]. Ca produs

interdisciplinar, proiectarea interfețelor utilizator este tratată în lucrarea [142]. În [143] au fost analizate cerințele de interfață pentru o instalație de producție modulară, unde au fost definite standardele mecanice și electrice pentru a garanta o fluiditate tehnică și interacțiunea dintre toate sistemele specifice sistemului.

Importanța impunerii standardelor care definesc interfața dintre producători duce spre succes la colaborarea strictă a hardware-ului și software-ului specific furnizorului, precum și funcționalitatea lor implementată. Astfel, interfața de comunicare este menționată în [144], [145].

Printre principalele funcții ale interfețelor inteligente enumerate în [146], pot fi descrise următoarele:

1. Funcția de comunicare. Se presupune că un utilizator non-programator va comunica cu un computer într-un limbaj natural limitat, care se datorează scopului specific - formularea problemelor, pe care calculatorul trebuie să le rezolve. Gama de sarcini în introducerea în masă a calculatoarelor în diverse tipuri de activitate umană poate fi foarte largă. Cu ajutorul calculatoarelor se rezolvă problemele de calcul, precum și problemele legate de controlul raționamentului logic, regăsirea informațiilor, munca de birou și alte tipuri de activitate umană. Prin urmare, limbajul natural, care este valabil la intrarea unei interfețe inteligente, nu poate fi nesatisfăcător. Limitările sale se manifestă nu în volumul dicționarului, ci mai degrabă în organizarea textelor introduse de utilizator în calculator. Este important ca textul introdus să fie înțeles de calculator. Termenul înțelegere poate fi perceput la nivelul intuiției. La implementarea funcției de comunicare, un rol important îl joacă mijloacele de afișare grafică a informațiilor și posibilitatea înlocuirii textelor cu un set de acțiuni (obiectivizarea textului). Prin urmare, sistemul de comunicare inclus în interfața inteligentă nu este doar un sistem de comunicare bazat pe mesaje text, ci și diverse sisteme de intrare-ieșire, pentru mesaje vocale și instrumente de interacțiune grafică.
2. Funcția de sinteză automată. Mesajul utilizatorului trebuie convertit într-un program executabil pentru calculator. Acest lucru necesită resurse pentru implementarea procedurilor într-un calculator ca parte a unei interfețe inteligente, care este de obicei realizată de un programator uman. Pentru a face acest lucru posibil, este necesar să se facă admisibilă traducerea mesajului original al utilizatorului într-un limbaj de specificație precis și apoi generarea unui program de lucru din această înregistrare. O astfel de transformare necesită cunoștințe speciale care trebuie să fie disponibile în memoria calculatorului.

3. Funcția de justificare. Un utilizator, care nu înțelege sau înțelege prost modul în care un calculator își transformă sarcina într-un program de lucru și ce metode folosește pentru a obține o soluție, are dreptul să ceară de la calculator să fundamenteze soluția obținută. El poate întreba calculatorul cum și-a convertit problema într-un program, ce metodă a folosit pentru a găsi soluția, cum a fost obținută această soluție și cum a fost interpretată la ieșire. Astfel, funcția de justificare include atât funcția de explicație, care este caracteristică sistemelor expert moderne, cât și funcția de încredere, al cărei scop este creșterea gradului de încredere a utilizatorului în calculator.
4. Funcția de învățare. Când un utilizator se apropie de un calculator pentru prima dată, are dreptul să se aștepte că va putea obține destul de ușor informații despre lucrul cu acesta. Pentru aparatele de uz casnic întâlnite în activitatea cotidiană, este suficient să fie citite instrucțiunile simple și scurte pentru a înțelege imediat cum să se manipuleze acest aparat. Un calculator este mai dificil în utilizare decât orice alt dispozitiv întâlnit de un utilizator în activitatea cotidiană a acestuia. O instrucțiune care ar permite utilizatorului să stăpânească toate capacitățile unui calculator, să înțeleagă principiile de bază ale lucrului cu acesta, s-ar dovedi a fi prea voluminoasă și incomodă pentru el. Prin urmare, calculatoarele de nouă generație sunt înzestrate cu instrumente speciale (tutori), cu ajutorul cărora utilizatorul înțelege treptat cum să lucreze cu un calculator și subtilitățile unei comunicări de succes cu acesta.

În realizarea proceselor cheie ale întreprinderii, după cum a fost menționat în capitolul I, un sistem de execuție a fabricației este unul din cei trei piloni ai unui sistem de producție modern. Un sistem de comunicație a fabricației este un sistem software destinat întreprinderilor, care ajută la procesul de administrare și supraveghează procesul integral de producție, de la plasarea comenzii, până la realizarea produsului finit, cu țelul de a optimiza toate activitățile și resursele din procesul de producție. Acest sistem dă posibilitatea de a fi aplicat prin intermediul unei interfețe web intuitive și poate fi accesată online, direct din browser-ul internet de pe orice dispozitiv, după cazul necesității utilizatorului final: tabletă, laptop sau mobil. MES permite vizualizarea în timp real a întregii întreprinderi, astfel încât utilizatorul să poată urmări oricând atât progresul producției, cât și statusul, productivitatea și eficiența resurselor implicate [131].

Există mai multe beneficii pentru un sistem de producție modern a implementării unei soluții de management al producției.

- Prin conectivitate, sistemul de execuție a fabricației conectează principalele resurse și face rost de date prin legătură directă cu dispozitivele și utilajele din fabrică.

- Prin monitorizare se realizează monitorizarea și supravegherea în timp real a operațiunilor din fabrică, prin tablouri de bord, machete, alerte și notificări.
- Procesul de analiză înglobează o interfață de generare și monitorizare care permite utilizatorului să creeze analizele necesare avansate, care ar fi în același timp gestionate fără dificultăți.
- MES, prin procesul de predicție oferă oportunitate de a prezice abateri, disfuncționalități și anomalii eventuale via tehnologiile de Inteligența Artificială incorporate.

În componentele soluției MES este inclusă o structură modulară, ceea ce permite diversitatea funcționalităților în dependență de necesitățile fiecărei companii. Modulele soluției MES asigură managementul eficient al zonelor esențiale dintr-o fabrică, cum ar fi controlul producției și repartizarea sarcinilor și a documentelor aferente.

În timpul procesului de control al producției are loc gestionarea eficientă a informațiilor cheie din procesul de producție și a comenzilor de lucru. Prin colectarea de date de la utilajele de producție are loc controlul producției cu ajutorul stațiilor de lucru (multi – resource sau single-resource) și vizualizarea în timp real a fabricii, sub forma unei harți interactive. Cu ajutorul repartizării de sarcini și a documentelor aferente se îndeplinește monitorizarea activității din fabrică și se realizează inventarierea în timp real.

Conceptul Digital Factory prioritizează cele mai importante șase zone, în funcție de influența lor asupra fluxului procesului de producție. Orice domeniu acoperă setul de instrumente care integrează întregul proces de producție, de la proiectarea produsului până la producerea acestuia [145]:

1. sisteme de proiectare a produselor (inclusiv modelare și simulare);
2. sisteme de planificare a proceselor (planuri de proces și producție, planuri de asamblare, planuri de sudură, scule, standardizarea lucrărilor, analiza valorii, analiza costurilor, etc.);
3. detalierea procesului de producție și sisteme de validare (simularea unui proces de producție, asamblarea, inspecția, întreținerea, operațiunile de producție etc.). Utilizarea planurilor de proces, a graficelor speciale care oferă o imagine clară despre relațiile dintre procese și resurse aflate deja în faza de proiectare conceptuală;
4. sisteme ingineresti de producție (scenarii complexe de producție, aspect, inginerie industrială, analiza timpului, analiza ergonomiei, proiectarea și analiza sistemelor de producție și asamblarea, încărcarea mașinilor, determinarea și optimizarea încărcării muncitorilor, etc.);

5. sisteme de planificare și control a producției (sisteme de planificare, programare, control de tragere, producție nivelată, producție mixtă, etc.);

6. sisteme de automatizare și control al proceselor (generare automată de programe de control pentru controlul și monitorizarea sistemelor automate de producție, roboți industriali, etc.).

Pentru sistemele de producție pot fi distinse două categorii principale de interfețe: interne și externe [146].

- Interfețele interne sunt utilizate pentru a extinde controlul unui sistem de producție cu funcționalități suplimentare de proces și control.
- Interfețele externe sunt utilizate pentru a conecta sistemul de producție cu locul de producție, în principal cu sisteme de interacțiune cu utilizatorul ca interfețe om-mașină, achiziția datelor de mașină și producție sau managementul producției ca sisteme de execuție a fabricației. Fiecare interfață își definește propriile mecanisme și profiluri de comunicare, chiar dacă unele dintre ele sunt utilizate independent de furnizor, iar altele într-un mod proprietar.

În cadrul sistemului de execuție a fabricației poate fi aplicată interfața flexibilă, unde utilizatorii își pot crea direct din interfață tabele sau câmpuri personalizate.

Progresul calculatoarelor din perioada anilor 1970-1980 au condus la apariția sistemelor pentru gestionarea unei game largi de activități. Datele și procesele din diferite departamente (marketing și vânzări, stocuri, finanțe-contabilitate, resurse umane, producție) pot fi astfel integrate în sistem prin module interdependente.

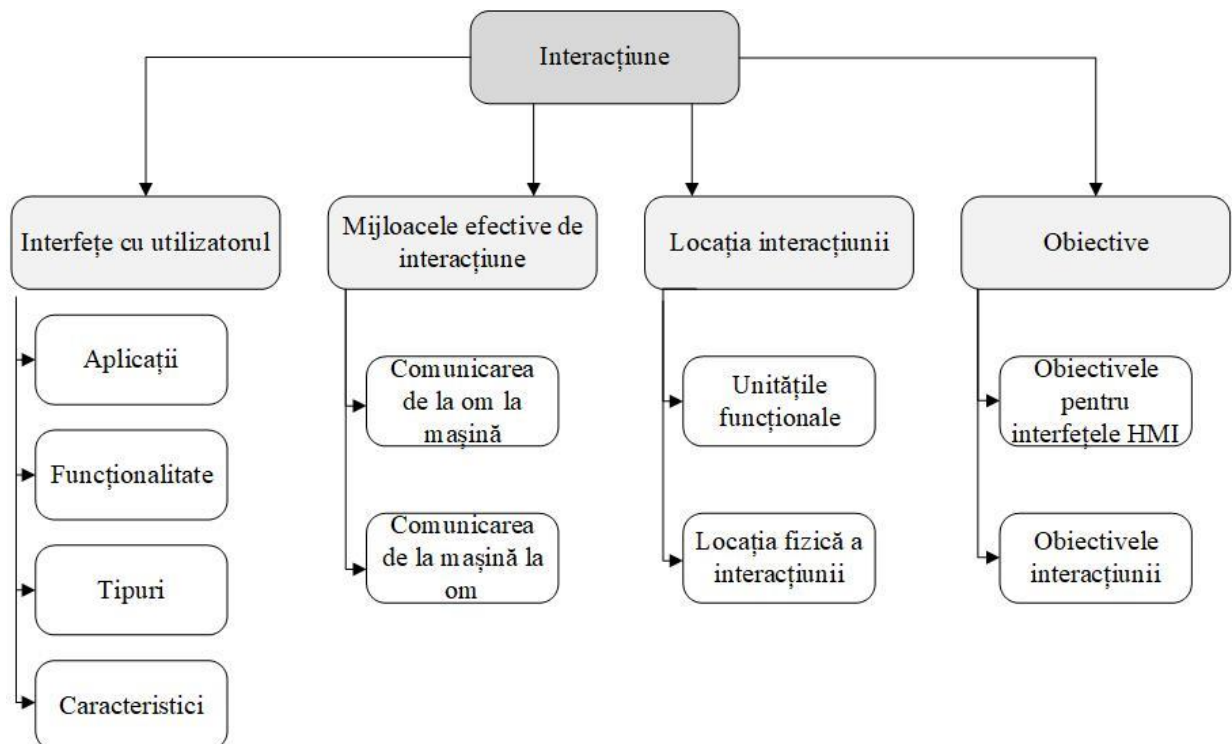
În prezent, viziunea Industriei 4.0 se reflectă în principal în conceptul și dezvoltarea fabricilor inteligente, care reprezintă etalonul sistemelor de producție de următoarea generație, denumite și Smart Manufacturing Systems (SMS) și Cyber-Physical Production Systems (CPPS), unde conlucrează lumea fizică și cea digitală și au loc procesele de afaceri colaborative. Mai mult, au loc interacțiunile dintre oameni și mașini din fabricile inteligente, adesea denumite interacțiuni socio-tehnice [146].

### **3.2. Analiza elementelor de bază a componentei interacțiune**

Caracterul interacțiunii om - mașină în Industria 4.0 este definit în special de dimensiunea interacțiunii, care la rândul ei poate fi împărțită în patru categorii definitorii: locația și mijloacele de interacțiune, interfețele de utilizator folosite și obiectivele interacțiunii [40], [147]. Figura 3.1 oferă o imagine de ansamblu cuprinzătoare asupra componentei interacțiune, inclusiv o enumerare detaliată a atributelor care specifică categoriile de nivelul trei.

Partea de interacțiune ”locația interacțiunii” analizează locația intra-firmă a HMI în raport cu structura organizațională, adică unitățile funcționale, și locația fizică a interacțiunii. Acesta din urmă poate să fie:

- fixat la un anumit loc de muncă în care apare HMI;
- arbitrar, prin conectivitate omniprezentă și astfel, prin tehnologiile moderne, se oferă disponibilitatea informațiilor cu posibilități arbitrare de interacțiune pentru operatorul uman.



**Fig. 3.1. HMI în Industria 4.0 - elementele definitorii pentru componenta Interacțiune**

Din perspectiva HMI într-un mediu de producție, implicațiile Industriei 4.0 pentru procesele HMI sunt, de asemenea, analizate cu privire la operațiunile logistice, atât interne, cât și dincolo de granițele companiei.

Un aspect decisiv la proiectarea modulelor HMI pentru sistemele moderne de producție în Industria 4.0 sunt mijloacele efective de interacțiune sau, mai exact, de comunicare bidirecțională. În acest context, putem face distincția între două tipuri principale de comunicare:

- comunicarea de la om la mașină (human-to-machine H2M), ca de exemplu mesaje către dispozitivul utilizat de om, sau dispozitive cu posibilitatea de a le utiliza tactil;



- comunicarea de la mașină la om (machine-to-human M2H), printre care am putea da exemplu: ecran multi-touch / touch; control vocal; recunoașterea gesturilor / mimicii; eye gaze (eye tracking).

O modalitate prin care sistemul poate comunica cu utilizatorul, în acest sens, este să transmită mesaje operatorilor prin intermediul dispozitivelor lor finale sau să le controleze atenția fizic prin impulsuri tactile și feedback.

Au fost stabilite și modalități mai intuitive de comunicare și interacțiune pentru comunicarea industrială HMI sub formă de interfețe tactile, interfețe în limbaj natural, adică control vocal, control prin gesturi, inclusiv mașini care imită mișcarea umană sau chiar interacțiune prin intermediul privirii umane, implementat de mașina care urmărește și interpretează în raza de vizibilitate a utilizatorului.

Obiectivele pot fi identificate în: obiectivele pentru interfețele HMI și obiectivele care trebuie atinse prin implementarea cu succes HMI în general.

În ceea ce privește implementarea HMI, la nivelul individual al unui angajat, capacitățile umane ar trebui să fie îmbunătățite prin interacțiunea cu mașinile în rolul lor de asistență, care, ulterior, va conduce la o creștere a productivității umane și a calității muncii și la o reducere a numărului de erori ale operatorilor. În plus, furnizarea de date și informații specifice contextului în HMI are ca scop îmbunătățirea calității deciziilor umane.

Dintr-o perspectivă organizațională globală, HMI urmărește o creștere generală a productivității prin intermediul intervenției umane îmbunătățite în procesele automatizate. În plus, combinarea punctelor forte ale oamenilor și ale mașinilor în procese HMI semnificative vizează creșterea flexibilității a producției pentru a atinge un nivel maxim de personalizare a produsului.

În ceea ce privește beneficiile pentru utilizatori, procesele HMI din Industria 4.0 vizează îmbunătățirea condițiilor umane de muncă și reducerea excluziunii profesionale și, prin urmare, a excluziunii sociale, de exemplu, compensând scăderea capacităților cognitive și fizice ale angajaților mai în vârstă, asigurând capacitatea de angajare în diferite generații ale forței de muncă. Condițiile de muncă, în acest sens, includ diverși factori, cum ar fi sănătatea în muncă, ergonomia și nivelul de siguranță la locul de muncă. În plus, în ceea ce privește dezvoltarea și atitudinea angajaților, bazându-ne pe mijloace adecvate și eficiente de HMI ar trebui să stimuleze eficiența formării și motivația și implicarea operatorilor la locul de muncă.

Reducerea atenției asupra obiectivelor pentru interfețele utilizator, cel mai important obiectiv pentru orice interfață, în special în contexte industriale, este utilizarea sa, care cuprinde, de exemplu, ușurința de utilizare, intuitivitatea în manipulare și experiența și acceptarea rezultată a utilizatorului. În plus, interfețele ar trebui să ofere utilizatorului transparența comportamentului

sistemului și să dirijeze distribuția dinamică optimă a sarcinilor între entitățile participante în interacțiune: umanul și mașina.

Prin urmare, dezvoltarea interfeței utilizator vizează interfețe care prezintă capacități de adaptare și de învățare, astfel încât, în cele din urmă, interfețele de utilizator să se adapteze cu acuratețe contextului situațional actual în timpul execuției. În sfârșit, în ceea ce privește aplicarea în scopul monitorizării sau furnizării de instrucțiuni operatorilor, o interfață va fi capabilă să identifice etapele curente ale procesului, efectuate de lucrători, pentru a evalua acuratețea acestora și a interveni în cazul abaterilor de la procedura ideală sau planificată.

O mare atenție în cercetările legate de HMI în Industria 4.0 este necesar de acordat interfețelor cu utilizatorul, în ceea ce privește caracteristicile, tipurile, funcționalitatea și scenariile de aplicare, acestea din urmă fiind largi și diverse. Interfețele sunt implementate pentru procesele HMI în planificare, proiectare și simulare a scenariilor în timpul dezvoltării produsului, în instruire, monitorizare și control al calității, precum și în activitățile de întreținere. Mai precis, interfețele sunt aplicate pentru a transmite instrucțiuni operatorilor, pentru a furniza servicii de navigație, adică îndrumare, sau pentru a permite operatorilor să controleze roboții industriali, chiar și de la distanță. În plus, interfețele cu utilizatorul avansate pot fi folosite pentru a oferi servicii cu o valoare sporită furnizorilor și clienților, de exemplu, prin furnizarea de manuale digitale pentru instalarea și/sau întreținerea produselor livrate.

Pentru a fi potrivite pentru aceste scenarii de aplicații, interfețele de utilizator oferă diverse funcționalități. Ca mijloc de a evita copleșirea utilizatorului cu o abundență de informații și opțiuni de selecție, interfețele ar trebui să implementeze reducerea complexității și furnizarea de informații specifice contextului și problemei. Pentru a permite navigarea și instrucțiuni precise, sunt necesare urmărirea componentelor relevante din mediu și urmărirea utilizatorului real. Având în vedere dimensiunea organizațiilor industriale obișnuite și numărul de operatori umani, o interfață ar trebui să permită adăugarea de componente de cunoștințe de către utilizator pentru a le face disponibile și accesibile pentru alți utilizatori prin intermediul interfețelor. În același timp, furnizarea de feedback individual al lucrătorului este importantă în multe aplicații, cum ar fi instrucțiunile precise de asamblare. În cele din urmă, referitor la rolul uman al unui client implicat în proiectarea produsului, o potențială interfață oferită online clienților ar trebui să implementeze un instrument interactiv 3D pentru configurarea individuală a produsului.

În ceea ce privește posibilele tipuri de interfețe-utilizator, una tipică încă folosită sau studiată ocazional în scopuri ale Industriei 4.0, este interfața grafică de utilizator tradițională. Cu toate acestea, forme mai inovatoare și intuitive de interfețe de utilizare sunt în creștere. În general, interfețele cu utilizator numite interfețe de utilizator naturale, sunt abordate pentru a facilita și

promova procesele HMI în Industria 4.0. În special, interfețele care implementează realitatea virtuală sau realitatea augmentată au primit o atenție semnificativă în rândul cercetărilor legate de Industria 4.0.

### **3.3. Abordare conceptuală a unei interfețe HMI**

În decursul dezvoltării în contextul Industriei 4.0, producția s-a caracterizat în ultimul deceniu în primul rând prin conectarea în rețea și integrarea diverselor entități industriale precum senzori, mașini-unelte, roboți sau sisteme de transport. Ca și rezultat, sistemele de producție permit, mai nou, monitorizarea și controlul proceselor și componentelor fizice, menținând în același timp o flexibilitate ridicată a sistemelor de producție. Datorită acestei abilități, sistemele de producție moderne interacționează atât cu lumea fizică, cât și cu cea digitală.

Cu toate acestea, această eră, bazată pe tehnologie, s-a concentrat în principal pe digitizare, automatizare și tehnologii bazate pe inteligență artificială, pentru a oferi sisteme de producție puternice. În cercetare, cât și în industrie, tendințele moderne încep să se concentreze pe obiective bazate pe valoare, cum ar fi reziliența, sustenabilitatea și centrarea pe oameni. Cu toate acestea, individualizarea puternică a produselor și, prin urmare, a proceselor de fabricație și mediul de producție în continuă schimbare, duce la o complexitate în creșterea activităților umane în sistemul de producție. Un astfel de sistem de producție volatil, cu procese flexibile, elemente reconfigurabile și cerințe ridicate pentru munca umană, duce la necesitatea unor interfețe umane-mașină scalabile, flexibile și astfel mobile pentru a interacționa și a opera simultan diferite mașini.

Modelul interfeței pentru monitorizarea fluxului resursei umane este potrivit pentru a fi aplicat într-un mediu de IMM sau întreprinderi mici sau mijlocii și se concentrează pe diverse servicii. Deși pare atât de simplu, aplicația poate ajuta utilizatorul și dezvoltatorul să monitorizeze fluxul resursei umane în întreprindere, fără a seta o mulțime de configurații care ar putea să nu fie necesare pentru etapa incipientă a implementării.

Interfața web este concepută și realizată în temeiul descrierii problemei cercetate și cerințelor pentru o eventuală soluție, în baza principiilor de proiectare a interfețelor. Astfel, etapele de identificare a elementelor necesare ale interfeței includ:

- Designul interfeței a fost realizat sub formă de program cu facilități suficiente pentru combinarea diferitelor surse de date, preluarea și vizualizarea datelor într-un mod familiar pentru utilizatori.
- Calitatea interacțiunilor cu fiecare utilizator cu scopul
  - (a) de a determina dacă utilizatorii înțeleg conținutul interfeței;
  - (b) pentru a identifica oportunitățile de îmbunătățire a interfeței.

- Intervențiile determinate de utilizatori pe baza aplicației: utilizate cu scopul de a înțelege dacă utilizatorii ar putea folosi interfața pentru a finaliza sarcinile.

În procesul de proiectare a interfeței, înainte de toate, se ia în considerare că proiectarea acesteia este una din metodele de a determina cerințele utilizatorilor. În al doilea rând, interfața reprezintă o metodă optimă de prezentare a informațiilor în cadrul luării deciziilor în sistemele de producție.

Ne vom opri în continuare la detaliile despre utilizarea interfețelor ca mijloc de prezentare a informațiilor în procesul de luare a deciziilor, după care vom trece la determinarea cerințelor față de prezentare a informațiilor în cadrul unui interfețe.

De-a lungul timpului, interfețele au evoluat de la afișarea autonomă a KPI-urilor (Key Performance Indicator), la sistemele interactive de sprijin pentru decizii la nivel de întreprindere. În unele cazuri, interfețele sunt prezentate ca instrumente pentru luarea deciziilor operaționale, iar în alte cazuri, acestea chiar reprezintă instrumente pentru luarea deciziilor strategice, în timp ce alții definesc o interfață ca un instrument care trebuie adaptat unui anumit tip de decizie sau obiectiv.

În procesul de design al interfețelor, sunt urmărite principii pentru proiectarea (designul) acestora. Designul interfețelor este realizat în baza domeniului care va fi aplicat ulterior acesta: fie în automatizarea clădirilor, sistemelor IoT sau managementul informațiilor. Există mai multe cerințe pentru interfețe:

- O interfață trebuie să afișeze doar informațiile necesare și nu informațiile în totalitate.
- Informațiile afișate sunt colectate din mai multe surse.
- Informațiile sunt raportate utilizatorului în mod succint și semnificativ.

Pentru ca o interfață să poată să fie utilizată cu scopul gestionării în cadrul unui sistem de producție, sunt trasate mai multe principii. Aceste principii dictează alegerile referitor la tipul de indicatori necesari să fie luați în considerare și care să fie omiși.

- Interfața este utilizată ca instrument pentru raportare.
- Perspectivele părților interesate (utilizatorilor) trebuie să fie prezente în interfață. Dacă aceasta este adaptată unui anumit grup, aceasta ar trebui să includă informații despre celelalte aspecte.
- Indicatorii din interfață sunt personalizați în funcție caz.
- Aspectele părților interesate sunt aplicabile pe mai multe niveluri de abstractizare: de exemplu, la nivelul organizațional al întreprinderii (administratorul).
- Datele în timp real furnizate de sistemul ce includ sisteme IoT permit o mai bună gestionare a repartizării sarcinilor per angajați de către administrator în fiecare zi.

După ce a fost determinat ce informații să se afișeze, următoarea problemă este cum aceste informații să fie afișate. Un detaliu important la care merită să fie luat în considerație este utilizarea graficelor cu marcatori pentru o comunicare vizuală clară între sistem și utilizator.

Obiectivul principal al vizualizării datelor este de a permite utilizatorului să obțină o analiză relevantă și comprehensibilă. Reprezentarea vizuală nu redă doar o cantitate semnificativă de date în mod coerent, dar ajută și la extragerea de noi cunoștințe și/sau pentru a permite utilizatorului să fie un factor de decizie în acest context particular.

- Forma de vizualizare ajută la determinarea tipurilor de prezentare. Aceasta poate fi un tabel, diagramă, text sau imagine.
- Numărul dimensiunii include specificații despre cantitatea de informații pe care o poate reprezenta o singură formă vizuală.
- Cantitatea datelor disponibile vizualizării în dependență de elementele care ar putea fi afișate pentru fiecare dimensiune. Acestea pot fi de la câteva la multe.

Modelul utilizatorului în interfață este o componentă fundamentală a unui sistem adaptiv. Scopul principal este de a oferi utilizatorului, ca și produs final, interfețe adaptabile, satisfăcând în același timp cerințele acestuia, realizate în funcție de contextul lor de utilizare.

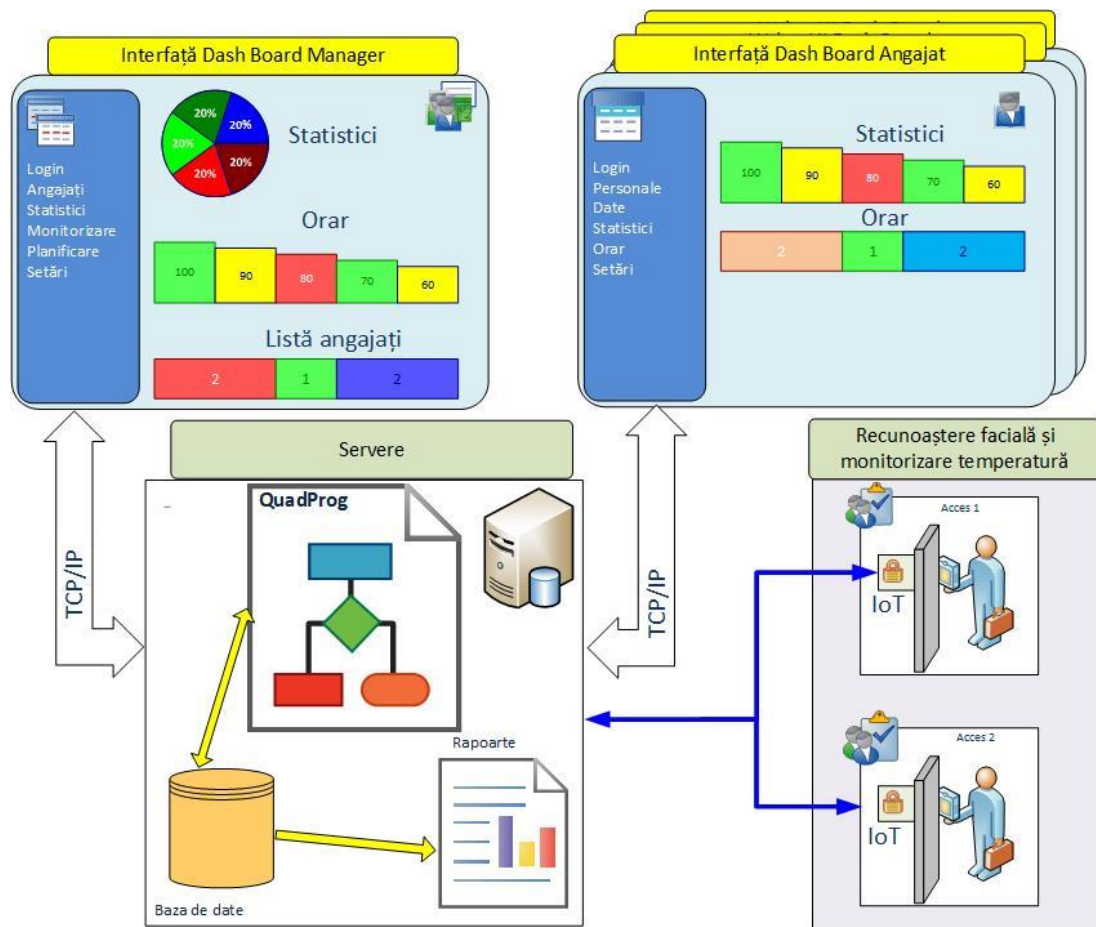
Interfața, prezentată în teză, poate oferi vizualizare și preluare de date împreună cu instrumente care sprijină interpretarea datelor în luarea deciziilor. Acest model de interfață încorporează trei componente de bază:

1. Anteturile – prima componentă de bază, care oferă identitatea tabloului de bord sau logo-urile și încorporează setul de funcționalități, care pot face tabloul de bord mai util. Poate facilita colaborarea între un grup de utilizatori adăugând, de exemplu, instrumente de partajare sau chat. Structura tabloului de bord poate fi reorganizată în baza altor funcționalități de vizualizare solicitate. Tabloul de bord poate încorpora și alte funcționalități, cum ar fi notificările de avertizare de alertă, cu scopul de a oferi un indiciu despre evenimente neobișnuite și de a evidenția cele mai interesante modificări din tabloul de bord.
2. Alegerea metodelor de navigare și a nivelurilor de organizare a conținutului. Poate permite reprezentarea setului de indicatori prezentați fie pe o singură pagină, fie folosind un meniu sau file cu scopul de a facilita navigarea pe tabloul de bord și, de asemenea, va servi pentru a pune în comun indicatorii cu același obiectiv împreună pentru a maximiza eficiența.
3. Nucleul tabloului de bord sau zona de conținut care se concentrează pe indicatori, este format din două elemente principale:

- a. Indicatori de sinteză, care constau în reprezentarea indicatorilor textuali care asigură afișarea unei descrieri textuale despre cei mai relevanți indicatori.
- b. Vizualizarea unui set de indicatori organizați și regrupați. Această parte ia în considerare importanța alegerii formelor de vizualizare și alegerea indicatorilor care vor fi grupați într-un mod care să faciliteze înțelegerea și să arate relația dintre ele.

Ținta monitorizării este limitată de mărimea mică sau medie a unei întreprinderi, astfel încât modelul conceptual al interfeței pentru monitorizarea fluxului resurselor umane în întreprindere, prezentat în teză, va fi potrivit pentru organizațiile care se află în stadiul incipient de implementare. Acest model de proiectare a interfeței include componenta care ar trebui să apară pe ecran, pe baza cerințelor de monitorizare a fluxului resursei umane.

În figura 3.2 este reprezentată arhitectura conceptuală a interfeței. Abordarea conceptuală propusă [148] asigură integrarea modelului de planificare a zilelor libere consecutive elaborat în capitolul precedent al tezei și, de asemenea, oferă, în plus, un avantaj esențial prin posibilitatea preluării datelor de la dispozitive IoT, încorporate într-un sistem de monitorizare și validare a accesului resursei umane în încăpere, prin recunoașterea facială.



**Fig. 3.2. Arhitectura conceptuală a interfeței**

Pentru cele două tipuri de utilizator sunt accesibile informații personale (care ajută la clasificarea utilizatorilor, în funcție de caracteristicile lor personale), roluri, care au ca scop identificarea utilizatorului – angajat/ administrator. Atunci când utilizatorii se conectează, aceștia vor fi direcționați către interfață, în funcție de preferințele lor.

Pentru a identifica utilizatorul și pentru a-l conecta la sesiune, este folosit un identificator al acestuia. Secțiunea cu informații personale își propune să clasifice utilizatorii după rolurile lor, obiectivele lor de vizualizare sau chiar după aptitudinile și abilitățile lor. Secțiunea, ce ține de rolul utilizatorului, are ca scop clasificarea utilizatorilor, în funcție de rolurile lor (aplicația fiind accesibilă managerilor și angajaților întreprinderii, cu drepturi de acces diferite).

Astfel, fiecare lucrător poate programa, pentru a-și personaliza săptămâna de lucru viitoare, prin indicarea zilelor libere pe care le dorește și vizualiza zilele de lucru pe care i le-a indicat angajatorul, în funcție de necesitate (după cum se poate vedea în anexa 2, A2.1).

### 3.4 Aplicație web de management a resursei umane

Unul din obiectivele principale ale conceptului interfeței este de a asigura conexiuni între aplicațiile IoT, de exemplu, după cum va fi descris în capitolul 4, preluarea datelor de ieșire de la acestea în calitate de date de intrare pentru modelul de programare pătratică integrat în interfață, cu scopul de a conferi sistemului elemente de inteligență (a se vedea figura 3.3).

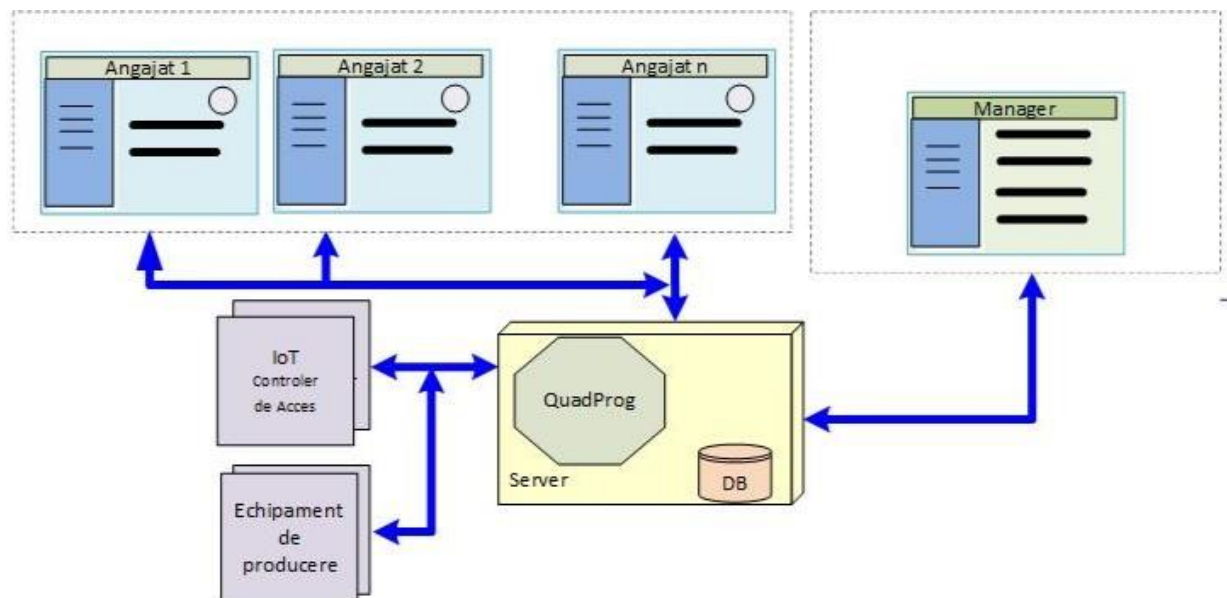


Fig. 3.3. Integrarea modului de programare pătratică în conceptul interfeței

Designul interfeței, prezentat în această teză, a fost determinat de doi indicatori necesari, care trebuie să fie luați în considerare:

1. stabilirea potrivirii dintre numărul necesar de angajați într-o anumită zi (cerere) și numărul de angajați disponibili în acea zi (ofertă).
2. identificarea tendințelor care pot afecta numărul necesar de angajați într-o anumită zi din perioada ulterioară.

Întrucât obiectivul acestei cercetări a fost de a propune un model simplu de interfață pentru monitorizarea fluxului resursei umane, am definit cerințele după cum urmează:

- Oferirea posibilității utilizatorului de a personaliza perioada de raportare în zona de afișare.
- Aplicația să poată realiza un raport, bazat pe solicitările utilizatorului.
- Interfața să poată afișa angajații disponibili pentru ziua curentă, pentru realizarea unei sarcini anumite, în funcție de prezența/absența acestora în întreprindere.
- Interfața să poată afișa starea fiecărui parametru monitorizat pentru fiecare punct final.
- Aplicația să poată trimite alerte la o anumită adresă (administrator de sub-unitate a întreprinderii) pentru un anumit parametru (turbulențe), așa cum este definit de utilizator.

Aplicația pentru monitorizarea fluxului resursei umane, constă în oferirea următoarelor servicii:

- Afișarea meniului principal al interfeței;
- Accesarea print-un ecran principal al interfeței pentru monitorizarea fluxului resursei umane;
- Afișarea categoriile angajaților și o listă a acestora, inclusiv recapitularea stării fiecărui angajat.

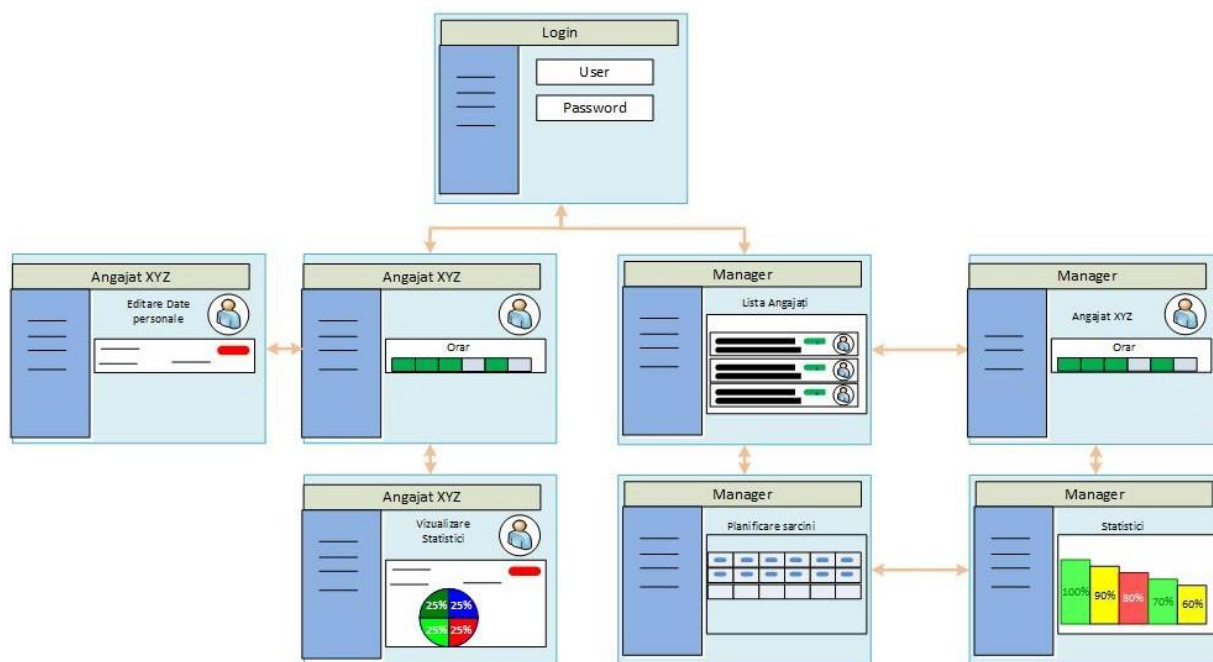
Interfața de planificare a zilelor libere este implementată cu suportul tehnologiilor web, ce o face accesibilă de pe orice dispozitiv (telefon/PC) conectat la internet. Acest fapt definește accesibilitatea și portabilitatea aplicației, aducând un esențial avantaj pentru managerii și angajații companiei, unde ar putea fi utilizată.

Aplicația poate fi ușor adaptabilă cerințelor companiei, deoarece interfața este realizată în JavaScript folosind ca cadru NextJS, care permite realizarea nu doar interfeței propriu zise, dar și a funcțiilor de calcul – modulului de programare pătratică pentru realizarea calculului aferent planificării resursei umane, funcțiile de acces a datelor din baza de date.

În figura 3.4 este prezentată structura aplicației web de management a resursei umane, care a fost realizată în cadrul prezentei teze.



Interfața este formată din 2 pagini dedicate managerului întreprinderii (cu funcția de administrator) și angajați. Pentru a accesa interfața, utilizatorul trebuie să se conecteze cu un nume și parolă. Reieșind din datele presetate pentru acest utilizator se determină rolul lui, și ulterior pe baza acestui rol se încarcă interfața respectivă ( a se vedea anexa 2, A2.1, A2.2).



**Fig. 3.4. Structura aplicației web de management a resursei umane**

Next.js fiind cunoscut ca un cadru React ce oferă flexibilitate, propune în utilizare elemente de bază și o structură, caracteristice. Acesta oferă inclusiv instrumente suplimentare pentru crearea aplicațiilor web complet interactive, dinamice și performante, într-un mod mai rapid. Astfel, dezvoltatorul și utilizatorul final obțin o experiență îmbunătățită.

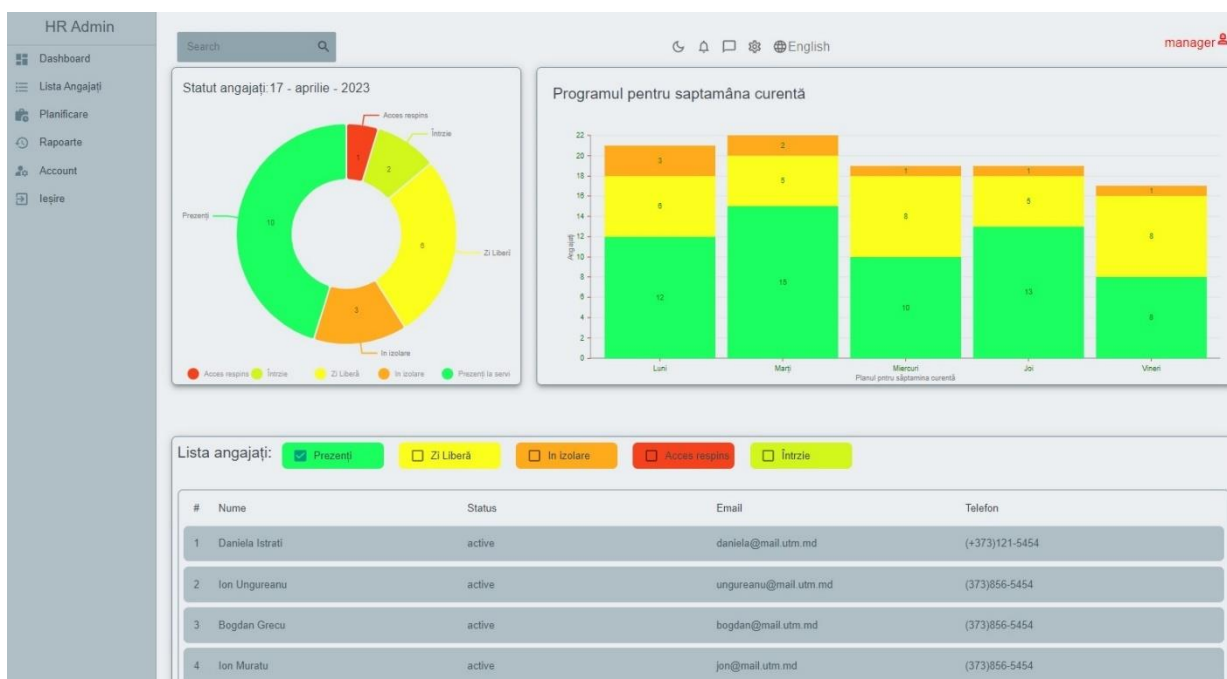
Avantajele utilizării acestui cadru prezintă următoarele:

1. Oferirea unui set bogat de componente pentru realizarea de front-end interfeței.
2. O rutare simplă bazată pe structura (arborele) fișierelor proiectului.
3. Paginile web se generează pe server și se transmit în browser pentru randare (Serverside generation);
4. Folder API în care se pot păstra funcții pentru back-end (ca de exemplu accesul la baze de date, calcularea unor date runtime)

În cazul, în care utilizatorul, care se conectează, este managerul întreprinderii, acesta are acces la lista tuturor angajaților și are posibilitatea de a vizualiza sau de a modifica datele acestora, după cum este prezentat în anexa 2 (A2.3). Totodată, managerul companiei poate planifica

numărul de lucrători necesari pentru fiecare zi din următoarea săptămână. La rândul lor, angajații, după etapa de conectare, pot vizualiza și edita datele personale și seta numărul de zile libere pentru următoarea săptămână ( a se vedea anexa 2, A2.1).

În afară de posibilitatea de planificare, interfața include paginile de vizualizarea a datelor în forma numerică și grafică, sub formă de rapoarte, după cum este reprezentat în figura 3.5. Aici administratorul (în cazul dat, managerul) poate vizualiza pe aceeași pagină pe de o parte lista totală a angajaților și, pe de alta parte, recapitularea stării angajaților sub forma unei diagrame de rezumare la zi (prezența/absența acestora în întreprindere, cei aflați în izolare, cei fără acces, cei în întârziere). La fel, pagina oferă posibilitatea managerul de a vedea programul pentru săptămâna următoare, în concordanță cu datele referitoare la angajații disponibili/în izolare/zi liberă.



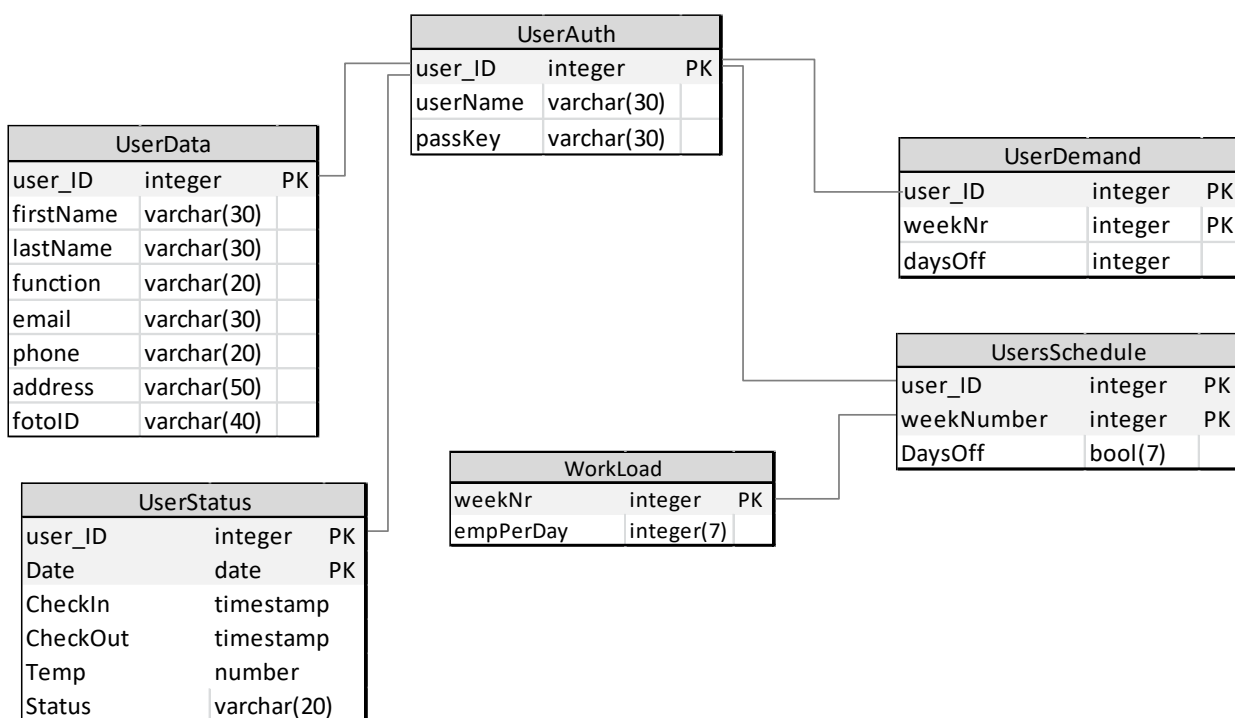
**Fig. 3.5. Pagina tabloului de bord pentru manager**

Optimizarea numărului de zile libere consecutive se realizează conform modelului de programare pătratică propus în capitolul II. Pentru aceasta fiecare angajat alege numărul de zile libere dorite pentru următoare săptămână, iar managerul companiei introduce numărul de lucrători necesari în fiecare zi din săptămâna viitoare. Angajatul poate vedea rezultatul afișat în pagina de profil a sa calendarul zilelor libere generat de model (anexa A2.5). Managerul poate vedea acest rezultat în pagina tabloului de bord de gestionare (figura 3.5).

Una din componentele cheie a aplicației reprezintă baza de date. Pentru păstrarea datelor pot fi utilizate baze de date relaționale sau orientate pe obiecte. Astăzi există mai multe cadre care

permite integrarea bazelor de date in aplicații web. Spre exemplu open source framework *Prisma* ([prisma.io](http://prisma.io)) include instrumentariile necesare pentru integrarea bazelor de date.

Schema tabelelor de date propusă pentru aplicația dată este prezentată în figura 3.6. Bineînțeles, pentru a reflecta cerințele unei întreprinderi reale, această structură poate fi modificată prin adăugarea noilor tabele sau câmpuri de date suplimentare pentru extinderea funcționalității aplicației, spre exemplu prin adăugarea funcției de pontaj pentru angajați, planificarea concediului, sau informațiilor pentru contabilitate.



**Fig. 3.6. Structura tabelor bazei de date**

Structura minimală realizată în această aplicație conține 6 tabele de date, printre care:

*UserAuth* – în care se păstrează datele necesare pentru autentificarea utilizatorilor.

*UserData* – conține toate datele personale despre angajat: numele complet, adresa, funcția.

*UserDemand* – păstrează înregistrări pentru fiecare angajat, identificat prin cheia *user\_ID* și săptămâna cu numărul *weekNr* de la începutul anului, câte zile de odihnă consecutive solicitată angajatul. Datele acestea se introduc de fiecare angajat pentru următoarele săptămâni.

*WorkLoad* – acest tabel este completat cu date de către managerul care planifică pentru viitoarea săptămână de câți lucrători are nevoie în fiecare zi din această săptămână.

În tabelul *UserSchedule* se păstrează rezultate planificării cu ajutorul modulului *QuadProg* și conține calendarul pentru fiecare angajat, unde, pentru fiecare zi din săptămâna cu numărul *weekNr* se indică dacă lucrătorul are zi liberă sau nu.

Tabelul *UserStatus* poate fi utilizat pentru pontaj al angajaților pentru fiecare zi lucrătoare, obținând datele precum ora la care angajatul a venit/plecat la/de la serviciu și temperatura măsurată de camera termică la intrarea în clădire.

### **3.5. Concluzii la capitolul 3**

În acest capitol este prezentată o rezolvare a sistemului interfață-utilizator. Sunt analizate elementele principale ale dimensiunii interacțiune, din cadrul unei interfețe HMI, utilizate în dezvoltarea și implementarea lor în organizarea sistemelor de producție moderne. Este prezentată o abordare conceptuală pentru construirea interfețelor utilizator, care permite integrarea modelului de programare pătratică propus în capitolul II. Acesta oferă posibilitatea adaptării modulului de programare pătratică pentru accesarea resurselor web specializate în realizarea calculului aferent planificării resursei umane.

Unul din obiectivele principale ale abordării conceptului interfeței este de a asigura conexiuni între aplicațiile IoT și modelul de programare pătratică integrat în interfață, cu scopul de a conferi sistemului unele elemente de inteligență. În acest sens, conceptul propus permite conectarea unor posibile sisteme specializate, cum ar fi, de exemplu, un sistem de recunoaștere facială și scanare termică, care ar asigura monitorizarea și validarea resursei umane în cadrul întreprinderii. Totodată, este prezentată descrierea aplicației web de management al resursei umane, ca parte integrantă a arhitecturii conceptuale a interfeței utilizator, accesibilă managerilor și angajaților întreprinderii, cu drepturi de acces diferite.

Interfața de planificare a zilelor de odihnă este low-cost, implementată cu suportul tehnologiilor WEB ce o face accesibilă de pe orice dispozitiv (telefon sau calculator personal) conectat la rețeaua internet. Acest fapt definește accesibilitatea și portabilitatea aplicației, aducând un esențial avantaj pentru managerii și angajații companiei, unde va fi utilizată. Aplicația poate fi ușor adaptabilă cerințelor companiei, deoarece prototipul este realizat în JavaScript folosind ca cadru NextJS care permite realizarea nu doar interfeței propriu zise, dar și a funcțiilor de calcul – modulului de programare pătratică pentru realizarea calculului aferent planificării resursei umane, funcțiile de acces a datelor din baza de date.

## **4. MONITORIZAREA ȘI VALIDAREA FLUXULUI RESURSEI UMANE ÎN ÎNTREPRINDERE**

În contextul Industriei 4.0 companiile sunt nevoite să accepte provocarea integrării noilor modele și instrumente de cooperare pe care o reprezintă automatizarea și colaborarea proceselor industriale în sistemele de producție moderne.

În acest capitol va fi descris un sistem de monitorizare al fluxului resursei umane în întreprindere, care a fost conceput și elaborat în cadrul unui proiect de cercetare cu participarea nemijlocită în calitate de coordonator a autorului prezentei teze de doctorat [161], [162], [163]. Soluția tehnică propusă constă în crearea unui sistem, compus dintr-o cameră video cu senzor termic conectat la o platformă web, care permite gestionarea și validarea accesului persoanelor într-o clădire care au sau au avut febră. Sunt prezentate și discutate detaliile tehnice, precum: proiectarea sistemului, interfața, planificarea proiectului și aspecte specifice ale soluției propuse.

Sistemul de gestionare a accesului persoanelor în întreprindere (spațiile publice) are un impact tehnologic și social și poate fi utilizat pentru monitorizarea accesului persoanelor fizice, conceptual fiind parte componentă în arhitectura interfeței prezentată în figura 3.2 ( a se vedea capitolul 3).

### **4.1 Locul și importanța sistemului elaborat**

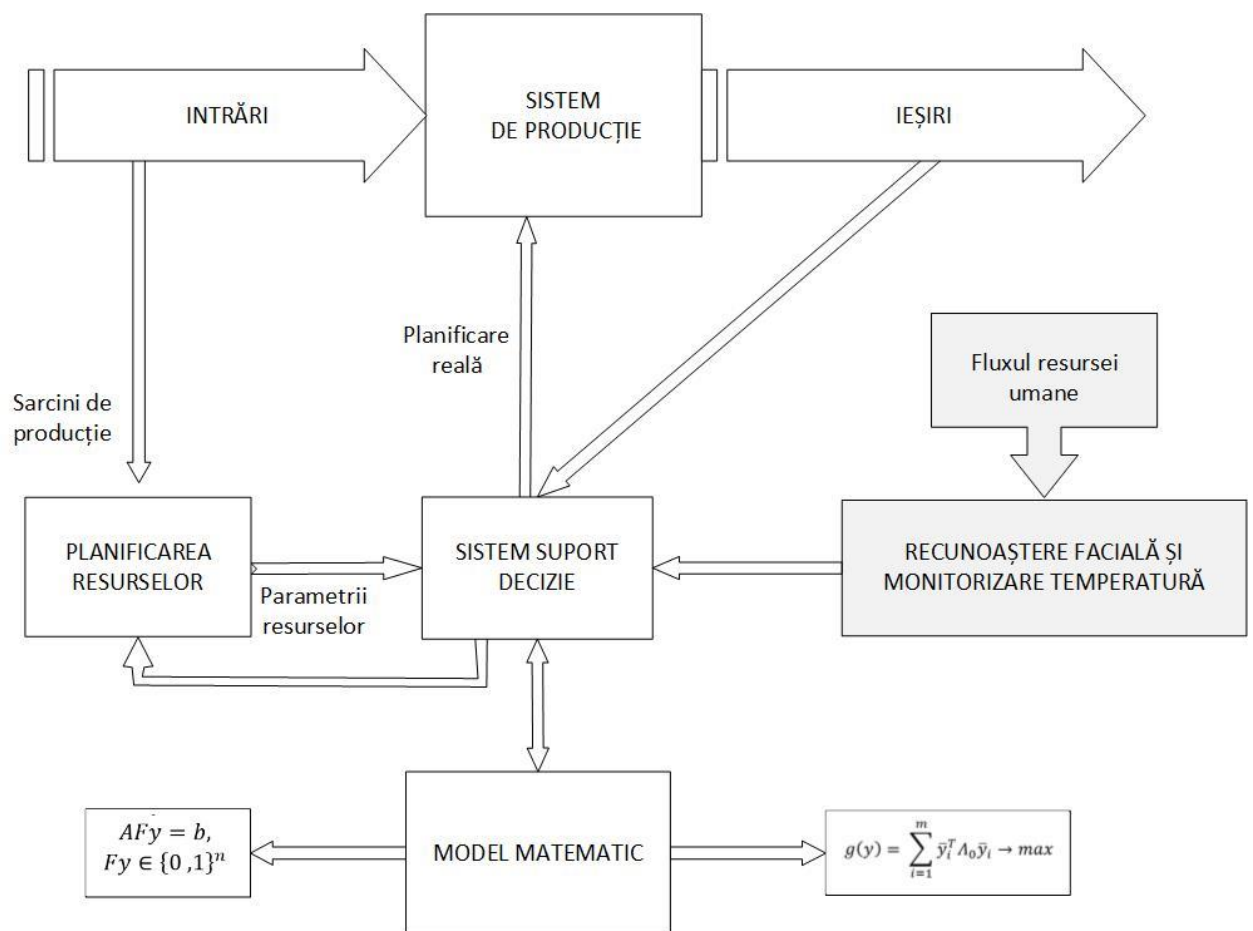
Întreprinderile mici și mijlocii se confruntă în special cu noile schimbări tehnologice și organizaționale și aplică îmbunătățirea productivității și flexibilității prin integrarea sistemelor inteligente. În figura 4.1 este reprezentată structura modificată a modelului de planificare și control a producției (a se vedea paragraful 1.4), în care este evidențiat fluxul resursei umane și monitorizarea acestuia.

Conform conceptului, sistemul propus este dat sub forma unui subsistem, care are rolul de monitorizare și validare a resursei umane, după cum este prezentat în figura 4.1. Presupunem că acest subsistem este capabil să monitorizeze fluxul resursei umane ale unei companii, oferind informații utile în timp real referitor la eventuale perturbații asupra sistemului de producție. Astfel, se asigură o viziune holistică asupra capacității reale de operare a unei companii și se permite, de asemenea, prognozarea eficientă a cererii (în cazul nostru, a administrației companiei, în dependență de numărul necesar al angajaților în ziua respectivă pentru îndeplinirea unei anumite sarcini). De asemenea, permite operatorilor săi (administratorului și angajaților) să introducă date în sistem și să vadă ce variabile vor produce un efect la ieșire. Controlul fluxului resursei umane

permite luarea în considerare a perturbațiilor posibile (ca de exemplu în cazul pandemiei COVID-19) și să se obțină o planificare optimă a producției.

Sistemul elaborat oferă următoarele:

1. interconectare, care se referă la tehnologiile care permit conectarea dispozitivelor, senzorilor IoT și utilizatorilor (inclusiv a administratorilor sistemului);
2. transparență informațională, datorită datelor atât fizice cât și virtuale, care pot fi accesate de către toate părțile interesate;
3. luare a deciziilor descentralizată, deoarece deciziile sunt luate în mod autonom;



**Fig. 4.1. Structura modificată a modelului de planificare a producției**

După cum s-a menționat în capitolele anterioare, un sistem de producție este influențat de mai mulți factori (fig. 4.1), care nu sunt altceva decât intrările utilizate în producția de bunuri sau servicii. Sistemul de gestionare a intrărilor include domenii precum planificarea, achizițiile de materii prime, managementul stocurilor, vânzări, finanțe, marketing, gestionarea și planificarea resursei umane. Obiectivul principal este de a produce ceea ce cere piața în timpul așteptat și cu calitatea așteptată la un cost minim. În cazul nostru, cu optimizarea fluxului resursei umane în

întreprindere. Planificarea resurselor în sistemul de producție se referă la un sistem de informații care este utilizat de întreprinderile implicate în fabricarea de bunuri sau de servicii. Sistemul integrat facilitează procesul de luare a deciziilor pentru management prin centralizarea, integrarea și procesarea informațiilor legate de procesul de fabricație. Acesta permite managementului să realizeze o vizualizare precisă a procesului de planificare reală și inventariere, a ingineriei de proiectare și să utilizeze în mod eficient măsuri de control al ieșirilor.

#### **4.2 Importanța gestionării fluxului resurselor umane**

Importanța gestionării fluxului resursei umane a reprezentat permanent un subiect prioritar în planificarea resurselor unei întreprinderi. Acest aspect a devenit extrem de sensibil și actual în contextul pandemiilor de nivel global, fiind necesară luarea în considerare a perturbațiilor posibile asupra bunei funcționări a unui sistem de producție.

Cazul pandemiei COVID-19 este relevant în acest context. Pentru prima dată persoane cu formă necunoscută de pneumonie au fost diagnosticate în Wuhan, China pe 31 decembrie 2019. Organizația Mondială a Sănătății a anunțat despre existența unui focar de infecție virală, care a dus la o pandemie globală. Infecția cauzată de virusul SARS-CoV-2, numit COVID-19 [149] este contagioasă, cu o rată mare de răspândire de la persoană la persoană, cu predominanța formelor asimptomatice [150]. Febra s-a dovedit a fi principalul simptom al acestei boli infecțioase, provocând început de epidemie, precum sindromul respirator acut sever SARS, urmărit anterior în gripa A H1N1 și boala cu virus Ebola (EVD).

Termometria, sau măsurare a variației de temperatură [151], este o contramăsură medicală utilizată la granițele internaționale, nodurile de transport public și spitalele pentru a reduce răspândirea acestor boli [152].

La nivel global, au fost lansate un număr mare de proiecte care vizează identificarea și furnizarea de soluții, instrumente și metode pentru a opri răspândirea pandemiei [153], [154], [155]. A fost propusă la nivel mondial o diversitate considerabilă de soluții digitale, de la comunicarea în interiorul unei comunități, până la supravegherea populației pentru identificarea de noi cazuri [157]. Au fost create o varietate de aplicații mobile de urmărire a contactelor inclusiv în statele membre ale UE. Majoritatea acestor aplicații (de exemplu Coronalert în Belgia, CovTracer-EN în Cipru, Smittestop în Danemarca etc.) se bazează pe tehnologia Bluetooth, disponibilă pe GooglePlay și Appstore, care, pe baza anonimatului, oferă informații utilizatorilor aplicațiilor despre cei testați pozitiv și locația lor pentru o perioadă de 14 zile [158]. Într-un fel sau altul, utilizatorii sunt rugați să își informeze rudele și apropiații despre o posibilă infecție.

Sistemul de sateliți UE 30+ este implicat în monitorizarea impactului focarului în timpul pandemiei de COVID-19, în cadrul Programului Spațial al UE [159].

Platforme de supercalculatoare din 4 țări (Spania, Italia și Germania), împreună cu companii farmaceutice și centre de cercetare de top în cadrul unui proiect finanțat de UE numit EXSCALATE4CoV sunt implicate în căutarea de cele mai bune tratamente pentru boală [160].

Cercetările desfășurate pe tematica prezentei teze sunt parte integrantă a unui proiect de științific cu participarea nemijlocită în calitate de coordonator a autoarei prezentei teze de doctorat. Tema proiectului a fost *Scanner thermique intelligent – IntelST* lansat de AUF (Agence Universitaire de la Francophonie) în luna mai 2020, în cadrul planului său de acțiune special COVID-19. [156], [163]. Obiectivul special al acestui proiect a fost de a oferi o soluție tehnică pentru monitorizarea resurselor umane în contextul pandemiei de COVID-19.

Scopul principal al sistemului realizat este măsurarea temperaturii corpului, recunoașterea persoanei care a avut febră în ultimele 14 zile, înregistrarea în baza de date atât a febrei, cât și a persoanei și validarea accesului persoanei în clădire dacă are o temperatură sub 37 de grade Celsius. Toate acestea ajută la implementarea măsurilor de sănătate publică pentru a preveni răspândirea rapidă a infecției și pentru a crește gradul de pregătire a sistemului de sănătate și înlocuiește persoana care măsoară febra la intrarea în clădire, pentru a oferi acces resurselor umane. Ca rezultat al implementării sistemului, este facilitată revenirea studenților și angajaților la activitățile în format fizic. Sistemul necesită alte măsuri de securitate decât cele recomandate pentru sistemul de operare.

În urma tuturor acestor evenimente a fost propusă o soluție care ar putea permite persoanelor să revină în clădiri. Una dintre soluțiile pentru atingerea acestui obiectiv este un sistem de captare a temperaturii și procesare a imaginilor, care să permită persoanelor din mediul academic să se întoarcă la activități în format fizic, după cum este descris și în lucrarea [164].

Astfel, sistemul oferă măsuri de prevenire, pregătire și intervenție pentru situații de urgență de sănătate publică, evaluarea riscurilor, declararea/anularea situației de urgență de sănătate publică, împuterniciri speciale pentru încăperi, inclusiv măsuri de izolare și/sau carantină, stabilirea intrării, reguli de ieșire pentru zona supusă izolării sau carantinei, prin informarea populației cu privire la situația de urgență de sănătate publică, a mecanismelor de coordonare și mobilizare a fondurilor de urgență.

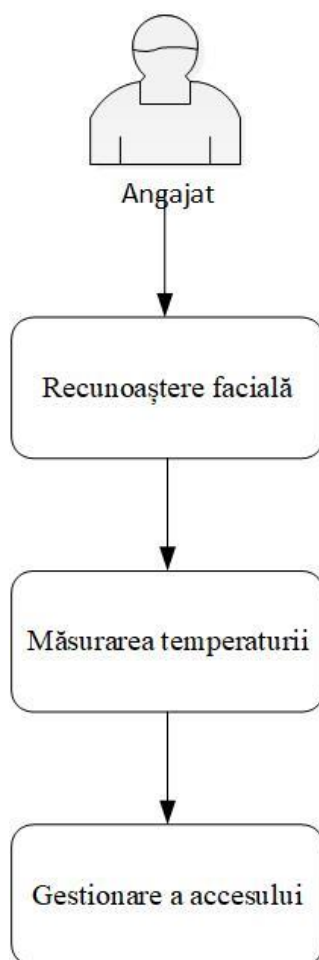
Scanerile termice cu infraroșu sunt utilizate pe scară largă în aeroporturi, facilități publice și spitale, deoarece natura lor neinvazivă permite termometria în număr mare a persoanelor. În situația creată, este nevoie de un instrument modern și confortabil pentru utilizare cu scopul de a



detecta persoanele potențial bolnave și pentru a monitoriza numărul și frecvența îmbolnăvirilor în fiecare clădire închisă sau loc public separat.

Este imperativ să fie verificată temperatura corpului pentru a contracara transmiterea virusului COVID-19. Principala armă eficientă aplicată în combaterea infecției, așa cum o cer profesioniștii, este restrângerea contactului cu persoanele infectate [160], [165].

Pentru a descrie formularea cerințelor și obiectivelor generale, aplicația este o inovație pentru persoanele care ar vizita orice spațiu public și înlocuiește persoana care identifică temperatura persoanelor care intră în clădire. Acest sistem este împărțit în trei module, după cum se vede în figura 4.2, care ne oferă reprezentarea sistemelor componente prin care trec informațiile preluate asupra persoanei identificate de camera termală.



**Fig. 4.2. Monitorizarea și validarea personalului: module distincte**

- Modulul de recunoaștere facială și măsurare a febrei datorită camerei termale, care utilizează biblioteca OpenCV și transmiterea informației asupra persoanelor detectate în baza de date timp de 14 zile.

- Modulul front-end, care va permite setarea camerei, parametrii interfeței, vizualizarea statisticilor și cazurilor identificate, autorizarea accesului persoanelor identificate cu febră în limita permisă, vizualizarea informațiilor covid etc.
- Modulul de backend, ce va crea baza de date cu persoanele detectate, care vor fi în carantină și crearea de funcționalități precum statistica persoanelor depistate cu febră, crearea de notificări, posibilitatea de a defini zilele și temperatura în interfața etc.

În figura 4.3 sunt afișate progresul, logica operațiunii de identificare și înregistrare a cazurilor în baza de date și direcția de acces în clădire.

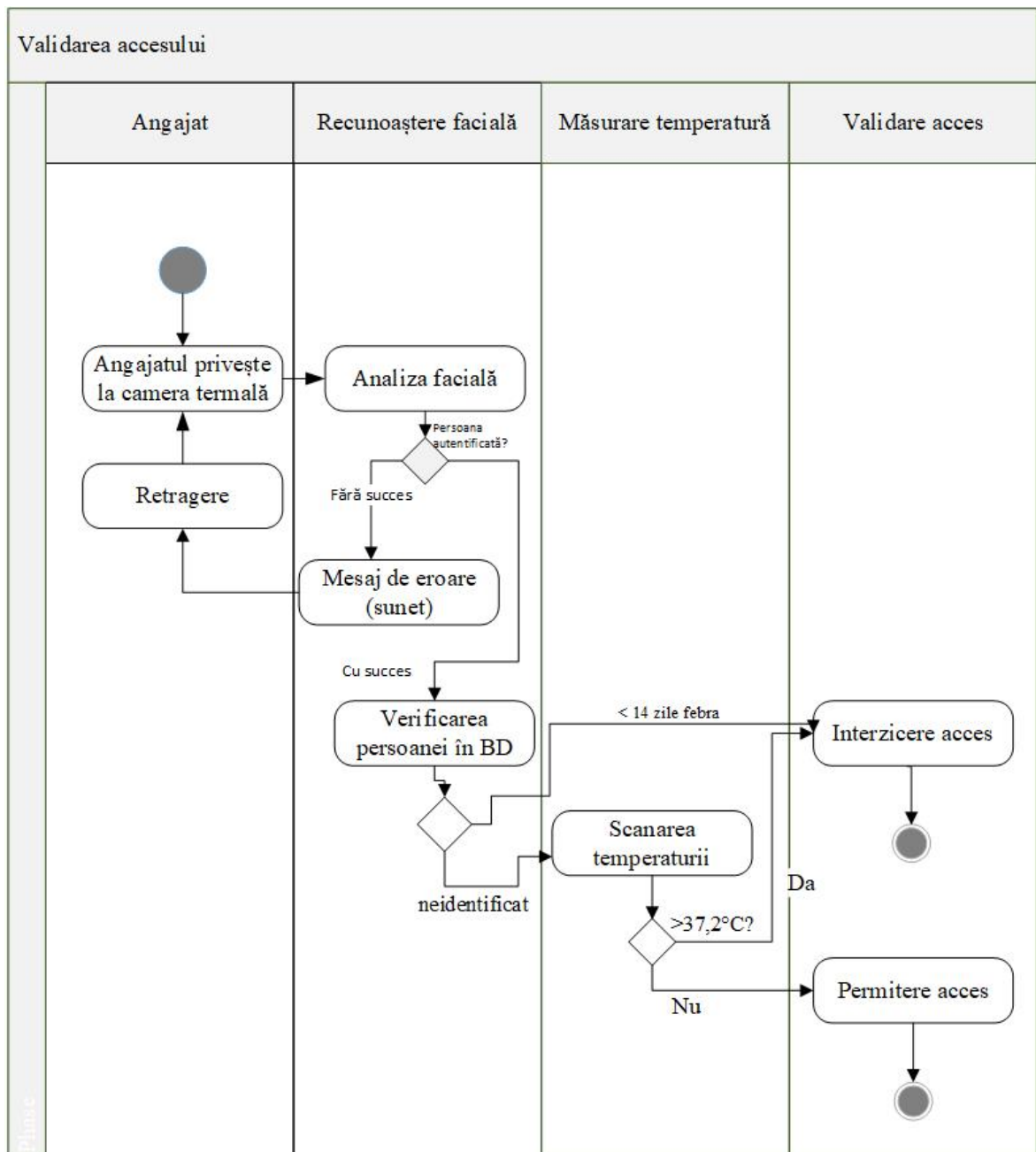


Fig. 4.3. Diagrama de validare a accesului

Obiectivul general al sistemului: dezvoltarea unei soluții cu impact tehnologic și social imediat pentru:

- a ajuta sistemul de sănătate să nu atingă un nivel critic de saturație. Soluția propusă are ca scop identificarea persoanelor bolnave sau infectate și interzicerea accesului acestora în zonele comune, reducându-le astfel contactul cu multe persoane.
- a ajuta populația să facă față dificultăților cauzate de pandemia COVID-19, în special teama de a merge în zonele comune de acces, prin înființarea unui sistem care să reducă riscul de infectare.
- înlocuirea persoanei care efectuează măsurarea temperaturii și este expusă riscului de a fi infectată cu dispozitivul de captare a temperaturii.

Beneficiarii direcți ai acestui sistem ar putea fi actorii economici (magazine, farmacii, companii), angajatori, spitale, universități (inclusiv Universitatea Tehnică a Moldovei) – toate acestea având ca scop asigurarea unui mediu sigur pentru clienți/angajați/studenti și reducerea posibilității de infecție în spațiile lor. În acest fel populația care va fi expusă unui risc mai mic de a fi infectată.

Beneficiarii indirecti ai aplicației este sistemul de sănătate, deoarece soluția urmărește reducerea posibilității de răspândire a virusului, evitând astfel saturarea sistemului medical.

Din punct de vedere al dezvoltării design – ului sistemului, au fost folosite tehnologii precum:

- *Vue.js* pentru front-end cu care va interacționa utilizatorul, adică administratorul instituției care va permite accesul persoanelor;
- *Symphony* pentru backend-ul funcțional în care vor fi stocate datele;
- *OpenCV* pentru recunoașterea facială și măsurarea febrei persoanelor care intră în clădire [164].

Soluția propusă vine cu posibilitatea de a găzdui noi experiențe precum:

- inovație: implementarea unei soluții mai puțin costisitoare în comparație cu soluțiile existente, accesibilă pentru universități, teatre, magazine;
- inginerie: construcția dispozitivului de captare a temperaturii;
- algoritmic: definirea algoritmului decizional pe baza datelor colectate.

Cerințele funcționale definesc funcțiile unui sistem sau ale componentelor sale printr-o multitudine de intrări, comportamente și ieșiri. În această categorie, putem include calcule, detalii tehnice, informații despre prelucrarea și manipularea datelor și alte caracteristici care arată, de exemplu, cum ar trebui realizat un caz de utilizare [165]. De exemplu, pentru sistemul nostru există astfel de manipulări precum calculele din algoritmul pentru generarea unui identificator unic

universal pentru fiecare persoană identificată cu febră, procesul de criptare a parolei care datorită acestui lucru este bine asigurat și nu poate să nu fie piratat, de asemenea, manipularea creării statisticilor prin intermediul listei de cazuri sortate după data intrării, procesul de identificare a persoanei care este deja plasată pe baza datei, acesta este cazul când, de exemplu, în urmă cu câteva zile o persoană a fost identificată cu febră și încearcă din nou să intre în clădire înainte de încheierea perioadei de restricție stabilite de administrație.

Soluția sistemului îndeplinește următoarele cerințe funcționale și organizaționale:

- Aplicația trebuie să conțină un sistem de configurare care să permită accesul intern doar pentru administrarea instituției specifice la resurse, fiind confortabil de utilizat pentru administrator.
- Aplicația va asigura capacitatea de a lucra într-o structură deschisă, pe mai multe niveluri, folosind sisteme de gestionare a bazelor de date relaționale sau non-relaționale.
- Securitatea aplicației trebuie să fie asigurată de drepturile oferite de administratorul aplicației, care oferă acces la înregistrare pentru utilizatori și grupuri de utilizatori.
- Aplicația trebuie să aibă o interfață ergonomică în care utilizatorul să poată vizualiza toate informațiile referitoare la statisticile cazurilor, lista persoanelor identificate, notificări, setările aplicației, informații despre COVID și acces la vizualizarea în date live de la cameră.
- Lista activităților automatizate;
- Timpul de execuție al fiecărei funcții; -
- Aplicația trebuie să ofere permisiuni de vizionare persoanelor cu febră peste 37 de grade Celsius și va interzice intrarea în clădire.
- Aplicația va oferi o vizualizare a listei de persoane, fiecare dintre acestea va avea un cod de identificare personal unic, datorită temperaturii corporale transmise din cameră, din cauza căreia persoana identificată va fi autorizată sau nu să intre în clădire, în cazul refuzului intrării. sau este plasată în carantină și datele sale sunt păstrate în baza de date pentru o perioadă de restricție respectată de administrație, iar persoana nu va avea acces la intrare înainte de sfârșitul perioadei.

Dacă să enumerăm configurația totală a sistemului, cerințele privind structura și modul de funcționare a sistemului (lista subsistemelor, nivelurile ierarhice, gradul de centralizare, modul de schimb de informații, moduri de funcționare, interacțiunea cu alte sisteme, perspective de dezvoltare), putem enumera următoarele cerințe pe care le îndeplinește [166]:

- Indicatorii asociați cu destinația sistemului (adaptabilitate la schimbările din sistemul de management și la valorile parametrilor, scalabilitate);
- Cerințe de fiabilitate, siguranță, ergonomie, transportabilitate, operare, întreținere și reparare, protecție împotriva influențelor externe, drepturi de autor, standardizare și unificare.

Ca să enumerăm cerințe pentru planificarea proiectului, putem menționa următoarele: cerințele utilizatorului trebuie să fie clare, verificabile, complete, precise, realizabile. Analiza cerințelor este primul pas în ciclul de dezvoltare a produsului în care se stabilesc cerințele aplicației, din cerințele utilizatorului final, sunt identificate funcțiile viitorului produs software precum și datele implicate. Acest pas răspunde la întrebarea ce se va realiza prin dezvoltarea produsului software [167].

Cerințele față de interfața sistemului elaborat includ următoarele: sistemul trebuie să aibă o interfață grafică prin care să fie comod și ușor de efectuat operațiuni pentru administrarea accesului persoanelor în clădire [168]. Astfel, aplicația trebuie să aibă o interfață ergonomică în care utilizatorul să poată vizualiza toate informațiile legate de statisticile cazurilor:

- lista persoanelor identificate;
- notificări;
- setările aplicației;
- informații Covid;
- acces la vizualizarea live a datelor camerei.

Pentru a descrie sistemul informatic realizat, ne vom opri în primul rând la cerințe de calitate, necesare pentru a fi realizate:

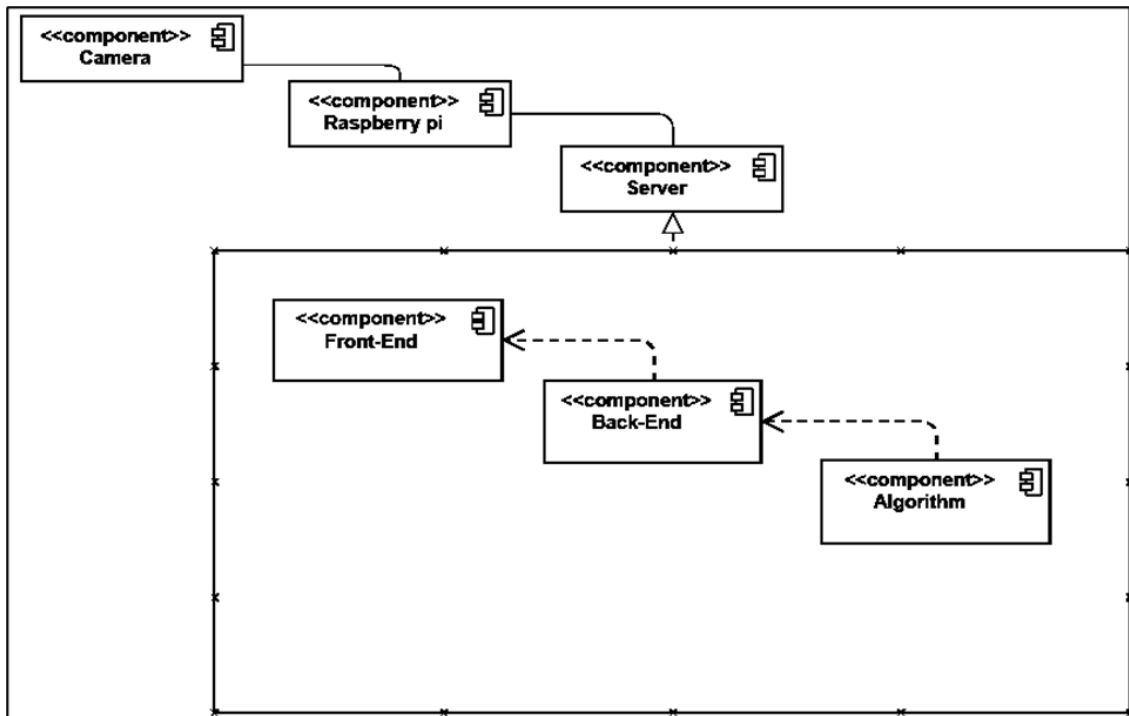
- Sistemul trebuie să aibă stabilitate, securitate și siguranță ridicate, deoarece este pentru a stoca datele unei persoane.
- Aplicația trebuie să conțină un sistem de configurare care să permită accesul intern doar pentru administrarea specifică instituției la resursele SL. Pentru a fi confortabil de utilizat de către un administrator.
- Securitatea aplicației privind inaccesibilitatea către alte pagini ale site-ului prin modificarea manuală a link-ului precum și imposibilitatea urmăririi din browser a introducerii datelor pentru conectare/înregistrare.

Elaborarea Specificațiilor Tehnice necesare realizării sistemului informațional îndeplinește următoarele obiective generale [168]:

- destinația și obiectivele creării/modernizării sistemului informațional;
- descrierea obiectului automatizării;

- cerințe de sistem;
- compoziția și conținutul lucrării de creare a sistemului;
- modul de testare/verificare și predare/primire a sistemului;
- cerințe pentru compunerea și conținutul lucrării pentru pregătire obiectului de automatizare pentru lansarea sistemului informatic.

În diagrama reprezentată în figura 4.4. este descrisă componența fizică a elementelor din sistemul IntelST.



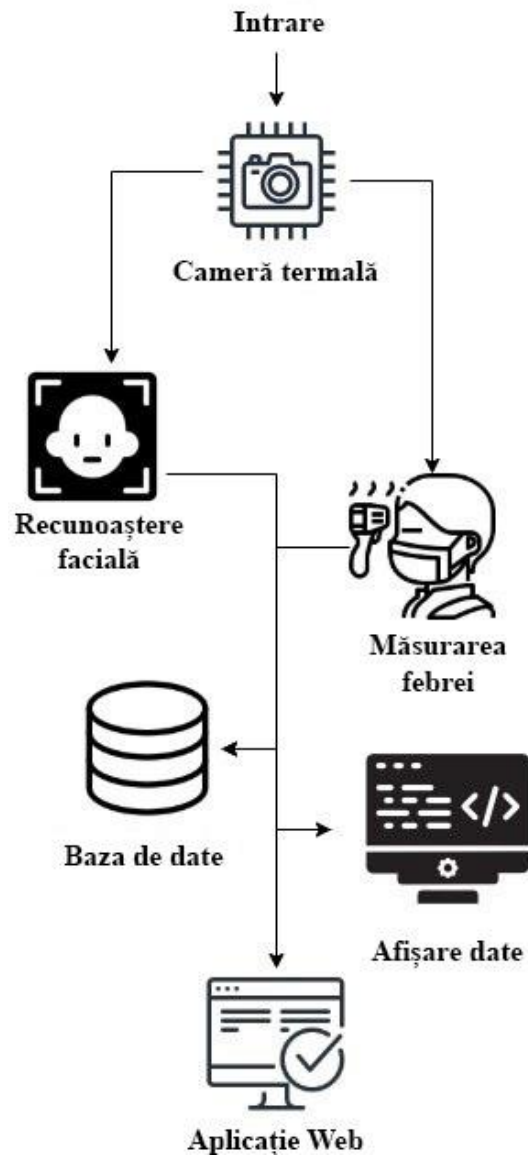
**Fig. 4.4. Diagrama componentelor**

După cum este prezentat în figura 4.5, la intrarea în clădire trebuie instalat un sistem compus din cameră termală, televizor și un calculator. Camera termală îndeplinește funcția de măsurare a temperaturii persoanelor care intră în clădire. Camera trimite date care sunt adăugate automat în baza de date și șterse după o anumită perioadă de timp, în dependență de caz. În timpul procesului de măsurare a temperaturii, persoana care tradițional măsoară manual temperatura este înlocuită de camera termală, ceea ce facilitează procesarea și salvarea datelor. Ulterior, persoanei i se oferă accesul de a intra în clădire. După acordarea permisiunii, se poate vedea dacă persoana dată se află sau nu în clădire. Sistemul va afișa o listă cu persoanele care nu au acces la clădire.

După partea cu identificarea persoanei, măsurarea temperaturii și atribuirea acesteia unui identificator unic universal personal, în cazul în care temperatura este mai mare decât cea

autorizată, persoana este înregistrată în baza de date de date pentru o perioadă de carantină în care nu poate vizita compania în mod repetat.

Cazul este mai întâi înregistrat în baza de date și apoi se decide dacă persoana are sau nu acces la el în funcție de restul cazurilor. Sistemul automat șterge cazurile mai vechi, în funcție de data la care au fost identificate.



**Fig. 4.5. Structura funcțională a aplicației**

Transmiterea datelor prelucrate (temperatura și identificatorul persoanei) are loc prin intermediul ecranului de afișare, printr-o interfață către administratori. Un administrator care face parte din companie are dreptul de a modifica anumite configurații. Astfel, administratorul poate modifica limita de temperatură (după caz) și restricția de intrare în clădire (perioadă de timp). De

asemenea, administratorului i se dă posibilitatea să modifice și setările unei companii. Pentru a edita o companie, trebuie să completeze un formular cu datele firmei pe care o va edita.

În diagrama de activitate prezentată în figura 4.6 se pot observa pașii urmați de datele sistemului, mai exact se poate vedea cum algoritmul prelucrează datele obținute și apoi trimise către back-end și apoi către front-end pentru a fi monitorizate și percepute de utilizatorii noului sistem.

Algoritmul care prelucrează și salvează datele: Dacă o persoană are o temperatură peste 37 de grade Celsius, accesul acesteia este interzis în clădire pentru o perioadă de 14 zile calendaristice [169]. Accesul în clădire este permis numai dacă oamenii prezintă temperatură corporală normală, sub 37 de grade C și nu prezintă febră. În funcție de restricțiile impuse, aceste date pot fi modificate în sistem, conform regulilor momentului.

Temperatura corpului este detectată în colțul interior al ochiului de camera cu infraroșu. Abaterile de la temperatura corporală normală a corpului poate fi afișat și va provoca alarmă sonoră. Efectuarea a astfel de examinări de sănătate, de exemplu prin implementarea punctelor de control al temperaturii, permite achiziționarea de informații importante ca bază pentru luarea deciziilor pentru examinările medicale ulterioare ale persoanelor selectate și servește astfel la securizarea spațiilor publice.

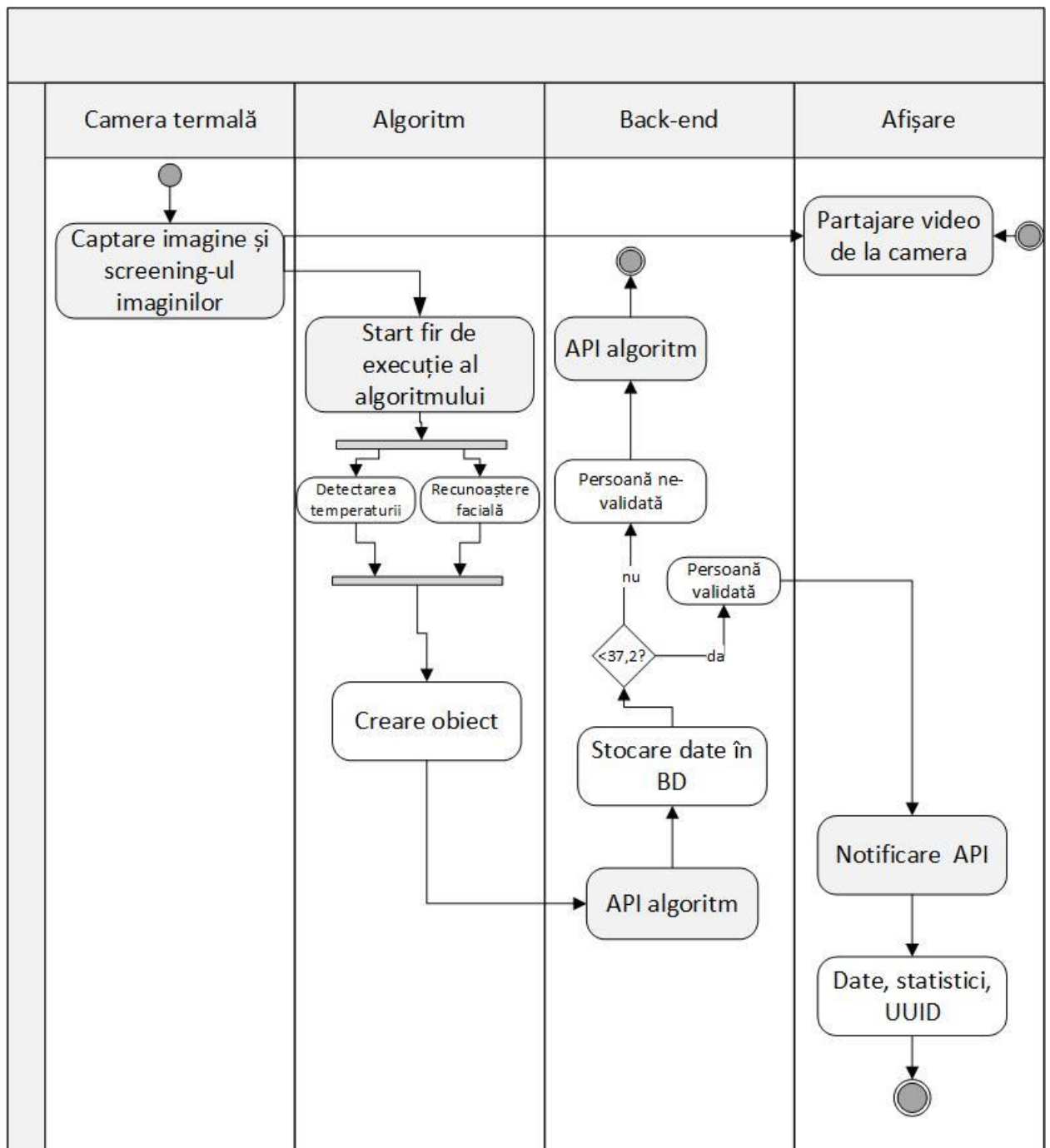
Sistemul permite senzorilor să adauge un caz nou identificat, este necesar ca camera termică să primească o imagine a unei persoane și să înregistreze temperatura acesteia. Odată ce cei doi pași sunt finalizați și totul merge bine, sistemul salvează automat cererea în baza de date. Dacă persoana se află deja în baza de date, datele vor fi adăugate din nou. Pentru a adăuga un caz identificat al unei persoane care are o temperatură peste 37 de grade Celsius, este obligatoriu depistarea persoanei și determinarea temperaturii acesteia. Acesta este momentul în care i se atribuie un identificator unic universal personal, imagini, data, ora și temperatura de intrare. În funcție de temperatură se va preciza dacă persoana are sau nu acces în clădire. Identificatorul personal va fi atribuit în funcție de dacă persoana este pentru prima dată sau a fost identificată anterior.

După partea cu identificarea persoanei, măsurarea temperaturii și atribuirea acesteia unui identificator unic universal personal, în cazul în care temperatura este mai mare decât cea autorizată, persoana este înregistrată în baza de date de date pentru o perioadă de carantină în care nu poate vizita compania în mod repetat.

Cazul este mai întâi înregistrat în baza de date și apoi se decide dacă persoana are sau nu acces la el în funcție de restul cazurilor. Sistemul automat șterge cazurile mai vechi, în funcție de data la care au fost identificate. Un rol important în acest sistem îl joacă partea statistică. Pentru a



menține situația sub control este necesar să se prezinte zilnic și săptămânal grafice care să arate numărul de cazuri înregistrate de persoane care au fost depistate cu febră față de numărul total de persoane care au intrat în clădire. Administratorul poate astfel să compare și să ia o decizie pe baza rezultatului statisticilor. Numărul total de persoane al căror acces a fost restricționat deoarece au fost depistate cu febră poate fi indicat separat (fig. 4.6).



**Fig. 4.6. Diagrama de activitate**

Sistemul constă din mai multe subsisteme:

- Interfață cu utilizatorul, unde se vor face solicitări pentru afișarea statisticilor, parametrilor, cazurilor identificate, introducerea manuală a persoanelor, notificări și stream video live de la cameră.
- Baza de date cu toate cazurile identificate și plasate în perioada de carantină.
- Recunoaștere facială, care va măsura și febra persoanei, va atribui un identificator unic universal personal și va trece datele pentru analiză în baza de date.

Pentru gestionarea fluxului resursei umane în întreprindere, sistemul trebuie să ofere posibilitatea consultării listei tuturor persoanelor identificate, datele atribuite în listă fiind:

1. Identificator unic universal.
2. Temperatura.
3. Data de identificare a persoanei.
4. Prima febră detectată.
5. Butonul pentru a permite intrarea.
6. Link pentru a vedea instrucțiunile.

De asemenea, sistemul va permite să vizualizarea pe pagina principală a graficelor referitoare la statisticile de intrare pentru săptămâna curentă:

1. Numărul de intrări pe zi și numărul de intrări valide pe zi.
2. Numărul de intrări pe zi și numărul de reveniri ale persoanelor cărora le este interzis accesul în întreprindere.

Aplicația poate să ofere posibilitatea de a introduce și gestiona setările pentru restricțiile de temperatură și zilele de carantină. Pagina de prezentare a notificărilor trebuie să conțină următoarele date:

1. Cazuri identificate.
2. Încercările de intra repetat în încăpere.
3. Pagina de prezentare a camerei trebuie să conțină fluxul video live și posibilitatea de a defini conexiunea la cameră.

Prezența unei pagini cu întrebări frecvente are ca și caracteristică performanță și viteză, care se referă la atribute cuantificabile, cum ar fi timpul de răspuns către utilizator. Viteza de reacție a sistemului la acțiunile utilizatorului este caracterizată de rata de reîmprospătare a ecranului, iar viteza de încărcare a datelor se afișează direct în interfața existentă.

Cerințele nefuncționale pot fi mai critice decât cerințele funcționale. Dacă nu sunt mulțumiți, sistemul nu va fi util pentru scopurile pentru care a fost dezvoltat.

Impunerile forțate de către sistem asupra aspectelor funcționale ale aplicației sunt: Utilizabilitatea, care este exprimată prin schema de culori, care este negru-roșu-gri, iar modelele structurale ale site-ului ar trebui să fie moderne, centrate și confortabile pentru percepție, utilizarea pictogramelor să ofere comoditate în acțiunile utilizatorului.

În cadrul acestui sistem funcțiile de control și monitorizare sunt transferate instrumentelor și dispozitivelor IoT. Pentru sistemul nostru localizarea principală este pentru persoana care va măsura temperatura corpului la intrarea în instituție și, de asemenea, înlocuiește procesul de înregistrare a persoanelor identificate.

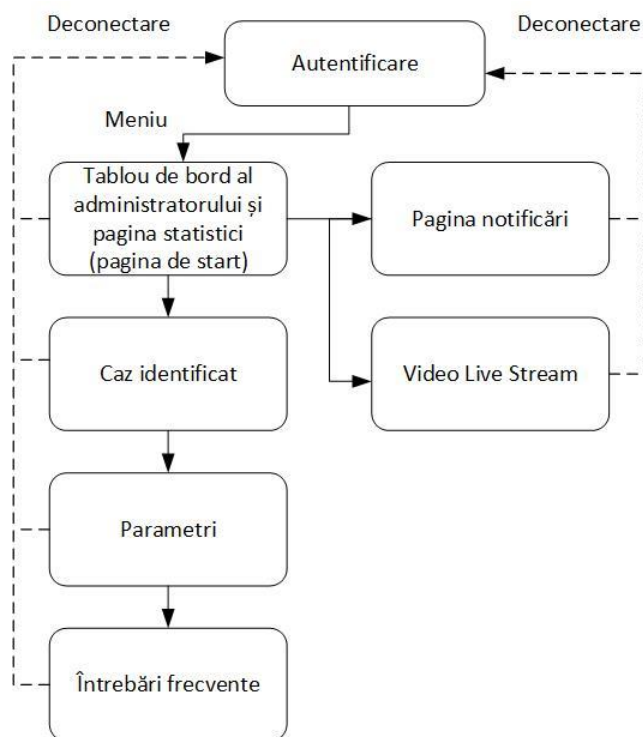
Acest sistem primește, transmite, analizează și afișează date live din aplicație. Toate procesele din subsisteme sunt expuse pentru a fi utilizate de către administrator, care are capacitatea de a modifica restricțiile pentru compania pe care o administrează și de a permite anumitor persoane să intre. Unul din elementele automate a sistemului reprezintă subsistemul de notificări cu tonuri de apel, care apar în cazul identificării unei persoane cu febră.

Monitorizarea resursei umane prin dispozitive IoT este necesară pentru a reduce contactul dintre persoane în timpul procesului de măsurare a febrei. Datorită dispozitivelor IoT încorporate, recunoașterea facială a persoanei, măsurarea temperaturii, validarea accesului în clădire și listarea persoanelor cu acces limitat pe o perioadă de timp sunt rapide, sigure, configurabile în cazul modificărilor regulilor de izolare, aplicabile pentru diferite cazuri, specificul cărora simptomul principal este temperatura ridicată a corpului.

Interfața grafică a fost realizată sub forma unui site web pentru administrarea clădirii unde este instalat punctul de măsurare și recunoaștere facială prin intermediul unei camere termale. Tehnologia aleasă este cadrul javascript numit Vue, care ne oferă posibilitatea de a crea pagini interactive în care să plasăm și să gestionăm toate informațiile primite din partea backend.

Deoarece cadrul Vue funcționează doar la nivel de vizualizare și nu este utilizat pentru middleware și backend, poate fi integrat cu ușurință cu alte proiecte și biblioteci. Vue.js conține funcționalități extinse pentru stratul de vizualizare și poate fi folosit pentru a construi aplicații web puternice cu o singură pagină.

Pentru o bună imagine de ansamblu asupra structurii site-ului îl vom prezenta în figura 4.7, care prezintă un arbore secvențial de pagini.



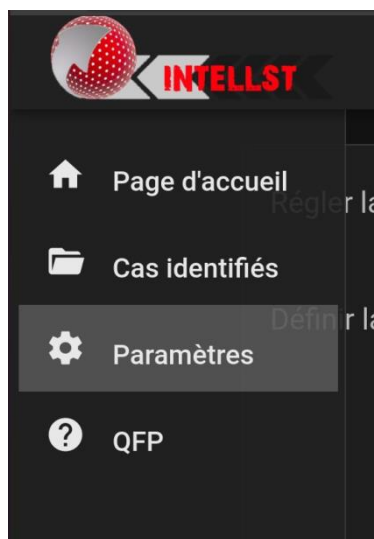
**Fig. 4.7. Structura paginii web**

Pentru a accesa site-ul sistemului, administratorul trebuie să aibă mai întâi o parolă creată doar datorită suportului software-ului, acesta este motivul pentru care nu avem opțiunea de înregistrare simplă datorită acordării accesului doar administratorilor clădirilor care folosesc sistemul IntellST. Deci, după primirea parolei și a utilizatorului creat pentru a monitoriza situația într-un anumit bloc, pagina de autentificare (Fig. 4.8.) este accesată în sistem.



**Fig. 4.8. Tabloul de bord pentru administrare**

Rezultatele reprezentate în grafice se afișează în timp real, și se actualizează în fiecare secundă datorită unei solicitări care ne apelează datele obținute de cameră. Aici sunt incluse diagramele cu statisticile săptămânale pentru numărul de persoane identificate.



**Fig. 4.9. Meniul**

Pentru a accesa celelalte pagini putem folosi meniul derulant, reprezentat în figura 4.9 la fel ca și butoanele care se află în antetul paginii, care pot fi vizualizate în figura 4.10 pentru a accesa celelalte două pagini și pentru manipularea deconectării și revenirea la pagina de autentificare



**Fig. 4.10. Antetul site-ului**

La accesarea link-ului pentru a vedea pictograma cazului din meniu, se deschide accesul la pagina cu cazurile identificate (fig. 4.11.), unde sunt prezente fotografia, temperatura și datele la care persoana a fost identificată. Aici, avem și posibilitatea de a autoriza trecerea unei persoane identificate ca neinfectată.

ID	Person photo	Temperature	Person was identified	First time fever identified	Return attempt	Allow entrance
1		39	04/13/2021 17:04	04/13/2021 17:04	04/13/2021 17:04	← ALLOW ENTRANCE
2		40	04/16/2021 17:04	04/16/2021 17:04	04/16/2021 17:04	← ALLOW ENTRANCE
3		38	04/16/2021 12:04	04/16/2021 12:04	04/16/2021 12:04	← ALLOW ENTRANCE
4		38.5	04/15/2021 12:04	04/15/2021 12:04	04/15/2021 12:04	← ALLOW ENTRANCE
5		41	04/15/2021 12:04	04/15/2021 12:04	04/15/2021 12:04	← ALLOW ENTRANCE
6		38.1	04/12/2021 17:04	04/12/2021 17:04	04/12/2021 17:04	← ALLOW ENTRANCE
7		37.9	04/09/2021 17:04	04/09/2021 17:04	04/09/2021 17:04	← ALLOW ENTRANCE
8		38.2	05/08/2021 00:05	05/08/2021 00:05	05/08/2021 17:05	← ALLOW ENTRANCE

**Fig. 4.11. Lista cazurilor identificate**

Sistemul IntelST este un sistem mai complex, dar fiind o resursă gratuită, poate fi vizualizat și instalat de oricine, dacă are un server personal cu capacitățile fizice necesare lucrului și procesării datelor pentru algoritmi, singura dificultate este serverul și resursele pentru prelucrarea datelor.

Ca etapă de modernizare putem propune îmbunătățirea interfeței cu utilizatorul, interacțiunea cu resursa umană și administratorii, care ar putea fi efectuată prin email-uri de prevenire sau pentru a-i informa cu privire la situația sau nivelul de saturație a cazurilor identificate la intrarea în incinta clădirilor în care și-au desfășurat activitatea zilnică.

### 4.3 Concluzii la capitolul 4

În acest capitol este descris un sistem de monitorizare al fluxului resursei umane în întreprindere, care a fost conceput și elaborat în cadrul unui proiect de cercetare cu participarea nemijlocită în calitate de coordonator a autoarei prezentei teze de doctorat. Soluția tehnică propusă constă în crearea unui sistem, care conține o cameră video cu un senzor termic conectat la o platformă web, ceea ce permite gestionarea și restricționarea accesului persoanelor într-o clădire (care au sau au avut febră). Sunt prezentate și discutate detaliile tehnice, precum: proiectarea sistemului, interfața, planificarea proiectului și aspecte specifice ale soluției propuse.

Sistemul elaborat este capabil să monitorizeze fluxul resursei umane ale unei companii, oferind informații utile în timp real referitor la eventuale perturbații asupra sistemului de producție. Astfel, se asigură o viziune holistică asupra capacității reale de operare a unei companii și se permite, de asemenea, prognozarea eficientă a cererii (în cazul nostru, a administrației companiei, în dependență de numărul necesar al angajaților în ziua respectivă pentru îndeplinirea unei anumite sarcini). Controlul fluxului resursei umane permite luarea în considerare a perturbațiilor posibile (ca de exemplu în cazul pandemiei COVID-19) și să se obțină o (re)planificare optimă a producției.

## CONCLUZII GENERALE

Concluziile generale asupra rezultatelor obținute în teză sunt după cum urmează:

1. A fost dezvoltată o nouă metodă pentru rezolvarea problemelor de optimizare pătratică binară neconstrânsă, care permite transformarea acestora în probleme de optimizare continuă cu doar două constrângeri convexe, în rezultat fiind posibilă reducerea dimensiunii problemei.
2. A fost dezvoltată o metodă de rezolvare a problemei de programare pătratică cu restricții inegalități liniare, care, în urma unor transformărilor condițiilor de optimalitate Karush-Kuhn-Tucker, este redusă la rezolvarea unui sistem de ecuații, care, la rândul său, poate fi soluționat aplicând metoda celor mai mici pătrate.
3. A fost dezvoltată o metodă de rezolvare a problemei de programare pătratică binară cu matrice circulantă, proprietățile căreia permit diagonalizarea matricei din funcția scop și reducerea problemei inițiale la o problemă de programare separabilă continuă.
4. A fost propusă o metodă și elaborat un algoritm de optimizare a fluxului resursei umane, aplicate în rezolvarea problemei de planificare a zilelor libere consecutive, care au la bază transformări originale ale matricei circulante, ceea ce asigură că matricea din funcția scop rămâne bine condiționată, independent de numărul variabilelor de decizie.
5. A fost propusă o abordare conceptuală pentru construirea unei interfețe web, arhitectura căreia înglobează metoda de optimizare a fluxului resurselor umane și permite conectarea unor posibile sisteme specializate, cum ar fi, de exemplu, un sistem de recunoaștere facială și scanare termică, conferind interfeței elemente de inteligență.
6. A fost elaborată o aplicație web de management al resursei umane, care permite realizarea conceptului de interfață web propus.
7. A fost elaborat un sistem prototip de monitorizare și validare a resursei umane în cadrul unei întreprinderi, care permite gestionarea personalului în sensul accesului la locul de muncă.

## RECOMANDĂRI

Ca direcții de cercetare de viitor:

1. Ar fi foarte util de continuat cercetările viitoare pentru rezolvarea problemelor de programare pătratică și cu alte funcții scop și care ar putea fi relaxate la problemele de optimizare semidefinită sau conice de ordinul doi.
2. De perspectivă ar fi extinderea algoritmilor cercetați în evaluarea efectelor pe termen lung ale luării în considerare a rezultatelor obținute în perioadele anterioare.
3. Dezvoltarea în continuare a aplicației web de management al resursei umane cu scopul de a fi implementată la nivelul unor organizații de producere, cercetare și inovare.



## BIBLIOGRAFIA

1. SILVER, G., SILVER, M. L. "Systems analysis and design", 1989 Addison – Wesley Publishing company ISBN 0-201-06615-7. 430 p.
2. BALABANOV, A.A. Математические основы теории систем. Chişinău, 2010. ISBN 978-9975-45-130-7, 303 p.
3. INKERMANN, D., SCHNEIDER, D., MARTIN, N. L., LEMBECK, H., ZHANG, J., THIEDE, S. "A framework to classify Industry 4.0 technologies across production and product development". *Procedia CIRP*, Vol. 84, 2019. Pp. 973-978. ISSN 2212-8271. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.218>.
4. *SeniorERP Enterprise Resource Management* Soluții integrate pentru managementul afacerilor. ©2023. [citat 16.02.2023]. Disponibil: <https://www.seniorerp.ro>.
5. **ISTRATI, D.** "Influența factorilor fundamentali în sistemele de producție". În *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*, 30 martie 2022, Chişinău, Republica Moldova. Volumul I. Pp. 442-445. ISBN 978-9975-45-829-0 (PDF). <https://utm.md/wp-content/uploads/2022/07/Works-Students-Conference-TUM-2022-vol-I.pdf>
6. ZAPOROJAN, S., PLOTNIC, C., MORARU V. "MES - Sistemă de management operativ cu procesele de producere". În *Conferința Jubiliară Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților consacrată celei de-a 50-a Aniversări a U.T.M.* 20 – 21 octombrie, 2014. Volumul I pp. 187-193. ISBN 978-9975-45-381-3
7. Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA) International site ©2023 [citat 10.02.2023]. Disponibil: <https://mesa.org>.
8. International Society of Automation. ©2023. [citat 16.02.2023]. Disponibil: <https://www.isa.org>.
9. BELMAHDI, N. "Contribution à l'organisation du système de production par la modélisation et son évaluation par la simulation". These de doctorat. 13 Décembre 1995. Université de Metz. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01777087/document>
10. HOLSTEIN, W. K. AND TANENBAUM, M. *Production system*. In *Encyclopedia Britannica*, [online]. [Citat 24.10.2021]. Disponibil: <https://www.britannica.com/technology/production-system>.
11. ЕМЕЛЬЯНОВ В. В., КУРЕЙЧИК В. В., КУРЕЙЧИК В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. Москва. Физмат лит, 2003. 432 с. ISBN 5-9221-0337-7.

12. ГОНЧАРОВ, В. И., *Management*. Minsc. Misanta, 2003. 624 p. [online]. [Citat 24.10.2021]. ISBN 985-6080-82-7. Disponibil: [https://www.studmed.ru/goncharov-v-i-menedzhment\\_1cfc72d8006.html](https://www.studmed.ru/goncharov-v-i-menedzhment_1cfc72d8006.html).
13. MIHĂESCU, L., *Sisteme informaționale și aplicații informatice în administrarea afacerilor*. Ed. Universității Lucian Blaga. Sibiu, 2009. 212 p. [online]. [Citat 15.07.2022]. ISBN 978-973-739-778-2. Disponibil: <https://urlis.net/6dgjr>.
14. CHIREV, P., BESLIU, V., CIORBĂ, D., SAVA, N. *Proiectarea sistemelor informaționale*. Note de curs, Chișinău, ed. Tehnica-UTM, 220 p. 2019.
15. BECK, J., BROWN, D. C., et al. *Intelligent User Interfaces*. Artificial Intelligence Research Group, Worcester Polytechnic Institute. [online]. [Citat 24.10.2021]. Disponibil <https://web.cs.wpi.edu/Research/airg/IntInt/intint-paper-intro.html>.
16. GAINDRIC, C. *Luarea deciziilor. Metode și tehnologii*. Chișinău: Editura Știința, 1998, 164 pag.
17. HASSANI, A. I. M, BARKANY, A.E., DARCHERIF, A.M., JABRI, A. ABBASSI, A. I. Planning and scheduling problems of production systems: review, classification and opportunities. 2019. In *International Journal of Productivity and Quality Management* Vol. 28, No. 3 pp. 372-402 [online]. Accesat 15.02.2023. Disponibil: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPQM.2019.103520>
18. ARTIBA, A., ELMAGHRABY, S.E. *The Planning and Scheduling of Production Systems: Methodologies and applications*. Chapman & Hall eds. Springer Science & Business Media, 1997 - 368 p. ISBN 0 412 61020 5. [online]. Accesat 15.02.2023. Disponibil: <https://books.google.md>
19. BERNARD, N. *Bien-être au travail et performance de l'entreprise : une analyse par les paradoxes*. Teză de doctorat în gestiune și management. Université Grenoble Alpes, 2020. [online]. Accesat 15.02.2023. Disponibil: <https://theses.hal.science/tel-02461337/document>
20. GUȚULEAC, E.; ZAPOROJAN, S. Modelarea controlului sistemelor de fabricație reconfigurabile prin rețele Petri colorate membranale. In *Meridian Ingineresc*. 2015, nr. 3, pp. 18-25. ISSN 1683-853X.
21. LACOMBE, V. *Analyse de l'organisation et de la gestion du temps des gestionnaires à travers les tâches et les activités: une étude terrain d'un centre hospitalier*. Université du Québec à Montréal. 2011. Teză. 185 p. [online]. Accesat 15.02.2023. Disponibil: <https://archipel.uqam.ca/4414/1/M12286.pdf>

22. SAYLOR, D. *Why Work Schedules Are Important* [online]. 2017 [citat 10.02.2023]. Disponibil: <https://careertrend.com/control-workload-8068.html>
23. Codul muncii al republicii moldova. Publicat: 29-07-2003 în *Monitorul Oficial al Republicii Moldova* Nr. 159-162 art. 648. MODIFICAT. LP19 din 11.03.19, MO 94-99/15.03.19 art.156; în vigoare 15.03.19. [online]. Accesat 15.02.2023. Disponibil: [https://www.legis.md/cautare/getResults?doc\\_id=113032&lang=ro](https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=113032&lang=ro)
24. ALFARES, H. K. Four-Day Workweek Scheduling with Two or Three Consecutive Days Odd [online]. In *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms* 2: 67–80, 2003. © 2003 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands [citat 31.03.2022]. Disponibil: [https://www.researchgate.net/publication/220121251\\_Four-Day\\_Workweek\\_Scheduling\\_with\\_Two\\_or\\_Three\\_Consecutive\\_Days\\_Off](https://www.researchgate.net/publication/220121251_Four-Day_Workweek_Scheduling_with_Two_or_Three_Consecutive_Days_Off)
25. ELSHAFEI, M. ALFARES, H. K. *A dynamic programming algorithm for days-off scheduling with sequence dependent labor costs* [online]. *Journal of Scheduling*, Vol. 11, pp. 85-93. 2008 [citat 11.04.2022]. Disponibil: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-dynamic-programming-algorithm-for-days-off-with-Elshafei-Alfares/aa4eff16aa1e2b22b6a5026ab13a8286de34b47e>
26. BOLUN, I. Ordering of jobs with three different processing times in the Mxn Bellman-Johnson problem. *Computer Science Journal of Moldova*, v.15, no.1 (43), 2007, pp.88-110. ISSN 1561-4042.
27. NARASIMHAN, R. *An algorithm for single shift scheduling of hierarchical workforce* [online]. Ianuarie 1997 *European Journal of Operational Research* 96 (1) [citat 12.04.2022]. pp. 113-121. Disponibil: <https://ideas.repec.org/a/eee/ejores/v96y1997i1p113-121.html>
28. TOLGA, C. EZIK, O. U., LUSS, H. An Integral Programming Model For the Weekly Tour Scheduling Problem [online]. Octombrie 2001 In *Naval Research Logistics* 48(7). Pp. 607-624 [citat 13.04.2022] Disponibil: [An Integer Programming Model for the Weekly Tour Scheduling Problem | Request PDF \(researchgate.net\)](#)
29. ALFARES, H. K. *Operator Scheduling Using Queuing Theory and Matematical Programming Models* [online]. Iunie 2009 Conference: 7th International Conference of Stochastic Models of Manufacturing & Service Operations, Ia: Ostuni, Italia [citat 15.02.2023]. 7p. Disponibil: [\(PDF\) Operator Scheduling Using Queuing Theory and Mathematical Programming Models \(researchgate.net\)](#)
30. ALFARES, H. *Flexible 4-day workweek scheduling with weekend work frequency constraints* [citat 15.02.2022]. In *Computers & Industrial Engineering* 44(3). Pp. 325-338.

- DOI:10.1016/S0360-8352(02)00192-4 Disponibil: [A set-processing algorithm for scheduling staff on 4-day or 3-day work weeks | Request PDF \(researchgate.net\)](#)
31. FERREIRA, M.S., ROCHA, D.S. *The staff scheduling problem: a general model and applications* [online]. 2013 p.14-16 [citat 15.02.2023]. Disponibil: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72557/2/27214.pdf>
  32. TERVEEN L. *Intelligent User Interfaces: Issues, Approaches, Evaluation*. AT&T Bell Laboratories. In SULLIVAN, J. W., TYLER, S. W. eds. *Intelligent User Interfaces*. 1991. ACM Press [online]. [Citat 24.10.2021]. Disponibil <https://web.cs.wpi.edu/Research/airg/IntInt/intint-bibliog.html#terveen>.
  33. COJOCARU. S. Interfețe inteligente. în monografia F. G. Filip "*Sisteme suport pentru decizii*", Editura tehnică, București, 2007, pp.213-215.
  34. CHIGNELL, M. H., HANCOCK, P. A. *Handbook of Human-Computer Interaction*. 1177 p. Elsevier, Amsterdam, 1997. ISBN 044481862.6.
  35. KOLSKI, CH. *Méthodes et modèles de conception et d'évaluation des interfaces homme-machine*. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 1995. Teza habilitat. [online]. [Citat 24.10.2021]. Disponibil <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01300869/document>.
  36. SAROHA, K., SHARMA, SH., BHATIA, G. *Human Computer Interaction: An intellectual approach*. International Journal of Computer Science and Management Studies. Vol. 11, Issue 02. 2011. p.147 - 154. ISSN: 2231 - 5268. [online]. [Citat 24.10.2021]. Disponibil [https://www.researchgate.net/publication/267714296\\_Human\\_Computer\\_Interaction\\_An\\_intellectual\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/267714296_Human_Computer_Interaction_An_intellectual_approach).
  37. DOVTE'ENY, CAREY, J., ZHANG, P. *Human Computer interaction*. John Wiley & Sons. 2007. ISBN-13 978-0-471-67765-9. 436 p.
  38. SUDUC, A.-M. *Interfețe avansate pentru sisteme suport pentru decizii*. Teza de doctorat, 2010. [online]. [Citat 24.10.2021]. Disponibil: [https://www.racai.ro/media/Suduc\\_Rezumat\\_teza1.pdf](https://www.racai.ro/media/Suduc_Rezumat_teza1.pdf).
  39. TENDJAOUI, M. *Contribution à la conception d'interface "intelligente" pour le contrôle de procédés industriels : application au module décisionnel d'imagerie*. Thèse de doctorat. Spécialité Automatique Industrielle et Humaine. Ecole Polytechnique d'Alger, 1992. 212p. [online]. [Citat 24.10.2021]. Disponibil: <https://hal.science/tel-01421142/document>.
  40. KRUPITZER C., MÜLLER S., LESCH V., ZÜFLE M., EDINGER J., LEMKEN A. ET AL. A Survey on Human Machine Interaction in Industry 4.0. © 2020 Association for

- Computing Machinery. Vol. 1, No. 1. 03 februarie 2020 [online]. [accesat 05.02.2023].  
Disponibil: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.01025>.
41. ALFARES, H. K. *Survey, categorization, and comparison of recent tour scheduling literature*. In *Annals of Operations Research*, vol. 127, no. 1, 2004, pp. 145–175.
  42. DANTZIG, G.B. *Letter to the Editor - A Comment on Edie's „Traffic Delays at Toll Booths”*, *Operations Research* 2, 1954, pp. 339–341. [online]. [Citat 24.08.2021].  
Disponibil: [Letter to the Editor—A Comment on Edie's “Traffic Delays at Toll Booths” \(informs.org\)](https://informs.org/letter-to-the-editor-a-comment-on-edie-s-traffic-delays-at-toll-booths).
  43. EDIE, L.C. *Traffic delays at toll booths*. In *Operations Research* 2, 1954, pp. 107–138. [online]. [Citat 24.08.2021]. Disponibil: [Traffic Delays at Toll Booths | Journal of the Operations Research Society of America \(informs.org\)](https://informs.org/traffic-delays-at-toll-booths).
  44. BERGH, J.V., BELIËN, J., BRUECKER, PH., DEMEULEMEESTER, E., BOECK, L. *Personnel scheduling: A literature review*. In *European journal of operational research*. vol. 226, no. 3, 2013, pp. 367–385.
  45. ERNST, A., JIANG, H., KRISHNAMOORTHY, M., SIER, D. *Staff scheduling and rostering: a review of applications, methods and models*. In *Eur. J. Oper. Res.* 153(1), 3–27, 2004, pp. 3–27.
  46. ERNST, A., JIANG, H., KRISHNAMOORTHY, M., OWENS, B., SIER, D. *An annotated bibliography of personnel scheduling and rostering*. In *Ann. Oper. Res.* 127(1–4), 2004, pp. 21–144.
  47. BRUCKER, P., QU, R., BURKE, E. *Personnel scheduling: models and complexity*. In *Eur. J. Oper. Res.* 210(3), 2011, pp. 467–473.
  48. PAWAR, U. S., HANCHATE, D.B. *Literature Review on Personnel Scheduling*. In *International Journal of Computer Engineering and Technology*, Volume 4, Issue 5, 2013, pp. 312-324.
  49. BAKER, K.R. *Workforce Allocation in Cyclical Scheduling Problems: A Survey*. In *Journal of the Operational Research Society*, 27, 1976, pp. 155-167.
  50. ÖZDER, E. H., ÖZCAN, E., EREN, T. *A Systematic Literature Review for Personnel Scheduling Problems*. In *International Journal of Information Technology and Decision Making*, Volume 19, No 6, 2020, pp. 1695-1735.
  51. KASIRZADEH, A., SADDOUNE, M., SOUMIS, F. *Airline crew scheduling: models, algorithms, and datasets*. In *EURO Journal on Transportation and Logistics*. Volume 6, Issue 2, June 2017, pp. 111-137.

52. DEVECI, M., NIHAN DEMIREL, N.C. *A survey of the literature on airline crew scheduling*. In *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 74, 2018, pp. 54-69.
53. HEIL, J. AND HOFFMANN, K. AND BUSCHER, U. *Railway crew scheduling: Models, methods and applications*. In *European Journal of Operational Research*. Elsevier vol. 283, no. 2, 2020, pp. 405–425.
54. FRANZ, L. S. AND MILLER, J. L. *Scheduling medical residents to rotations: solving the large-scale multiperiod staff assignment problem*. In *Operations Research*, vol. 41, no. 2, pp. 269–279, 1993.
55. LEMAY, B., COHN, A., EPELMAN, M., GORGA, S. *New Methods for Resolving Conflicting Requests with Examples from Medical Residency Scheduling*. In *Production and Operations Management*, Volume 26, Issue 9, 2017, pp. 1778-1793.
56. GUERRIERO, F., GUIDO, R. *Modeling a flexible staff scheduling problem in the Era of Covid-19*. In *Optimization Letters*, Vol. 16(3), 2022, pp. 1259–1279.
57. ZUCCHI, G., MANUEL, J., SUBRAMANIAN, A. *Personnel scheduling during Covid-19 pandemic*. In *Optimization Letters*, vol. 15, no. 4, pp. 1385–1396, 2021.
58. HUNG, R., EMMONS, H. *Multiple-Shift Workforce Scheduling Under the 3-4 Compressed Workweek with a Hierarchical Workforce*. In *IIE Transactions*, Vol. 25, No. 5, 1993, pp. 82-89.
59. BURNS, R., NARASIMHAN, R. *Multiple Shift Scheduling of Workforce on Four-Day Workweeks*. In *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 50, No. 9, 1999, pp. 979-98.
60. LAPORTE, G. *The Art and Science of Designing Rotating Schedules*. In *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 50, No. 10, 1999, pp. 1011-1017.
61. ANDREI, N. *Modele, probleme de test și aplicații de programare matematică*. Editura Tehnică, București, 2003. 479 p.
62. VANDERBEI, R.J. *Linear Programming: Foundations and Extensions*. Third Edition, Springer, 2007, 464 p.
63. NOCEDAL, J., WRIGHT, S. J. *Numerical Optimization*. In *Springer Series in Operations Research*, 2006, 651 p.
64. NEMHAUSER, G. L., WOLSEY, L. A. *Integer and Combinatorial Optimization*. Wiley-Interscience. 2014, 763 p.
65. GAREY, M., JOHNSON, D. *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. W.H. Freeman & Company, 1979, 382 p.

66. MORARU, V., ZAPOROJAN, S., **ISTRATI, D.** *Continuous Reformulation for Zero–One unconstrained quadratic optimization.* In *Materialele Conferinței Internaționale Modelare matematică, optimizare și tehnologii informaționale (MMOTI-5)*, 22-25 martie , 2016. Ediția a V-a, Volumul I, Evrica, Chișinău, pp. 253-262. ISBN 978- 9975-3099-8-1.
67. MORARU, V., ZAPOROJAN, S., **ISTRATI, D.** *A modified SQP algorithm for mathematical programming.* In *The 9th International Conference on Microelectronics and Computer Science.* Chișinău, Republic of Moldova, October 19-21, 2017, UTM, pp.531-532. ISBN 978-9975-4264-8-0. [online]. [Citat 24.08.2022]. Disponibil: [http://www.icmcs.utm.md/icmcs\\_2017/documents/Volume\\_ICMCS\\_2017.pdf](http://www.icmcs.utm.md/icmcs_2017/documents/Volume_ICMCS_2017.pdf).
68. MORARU, V., ZAPOROJAN, S., **ISTRATI, D.** *Metoda celor mai mici pătrate pentru problema de programare pătratică.* In *Conferința științifică internațională ICTEI 2018.* 24-27 mai 2018, p. 283-285. ISBN 978-9975-45-540-4, UTM. [online]. [Citat 24.08.2022]. Disponibil: <https://www.scribd.com/document/398147645/2018Mai24-27ICTEI-UTMd525>.
69. **ISTRATI, D.**, MORARU, V., ZAPOROJAN, S. *A Second Order-Cone Programming Relaxation for Days-Off Scheduling Problem.* In *The 12th International Conference on Electronics, Communications and Computing.* 21-22 October, 2021, Chișinău, Republic of Moldova, pp. 182-186. [online]. [Citat 24.08.2022]. Disponibil: [http://cris.utm.md/bitstream/5014/1215/1/30\\_0\\_CS.05.pdf](http://cris.utm.md/bitstream/5014/1215/1/30_0_CS.05.pdf).
70. **ISTRATI, D.**, MORARU, V., ZAPOROJAN, S. *A Method for Binary Quadratic Programming with Circulant Matrix.* *XIIth Informational Conference on Electronics, Communications and Computing.* 20-21 octombrie 2022, Chișinău, TUM. Pp.154-157. <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CS.01>
71. MORARU, V., **ISTRATI, D.**, ZAPOROJAN, S. *Solving the days-off scheduling problem using quadratic programming with circulant matrix.* In *Journal of Engineering Science.* Vol. XXIX, no. 4 (2022), pp. 97 – 108. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(4\).05](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(4).05). ISSN 2587-3474. eISSN 2587-3482. UDC 519.853.32:004.42
72. GOULD, N. I. M., TOINT, PH. L. *A Quadratic Programming Bibliography.* In *Numerical Analysis Group Internal Report 200-1.* Rutherford Appleton Laboratory, Chilton, England, 2012. [online]. 142 p. [Citat 24.08.2022]. Disponibil: <https://www.numerical.rl.ac.uk/people/nimg/pubs/gtNAGIR001.pdf>.
73. BAZARAA, M.S., SHERALY, H. D., SHETTY, C.M. *Nonlinear programming. Theory and algorithms.* 3 rd. edition, Wiley Interscience. A John Wiley and Sons, Inc. Publication, 872 p. 2006.

74. FERRIS, M.C., KANZOW, CH. *Complementary and related problems: A survey*. 24 p. 1998.
75. KANZOW, CH. *Some equation – based methods for nonlinear complementarity problem*. In *Optimization Method and Software*, 3 (1), (1994), pp. 327-340.
76. STEIN, O. O. *Lifting mathematical programs with complementary constraints*. In *Mathematical Programming*, 29, (2010), DOI:10.1007/s10107-010-0345-y.
77. MORARU, V. *A Smooth Newton Method for Nonlinear Programming Problems with Inequality Constraints*. In *Computer Science Journal of Moldova*, vol. 20, no. 3(57), 2011, pp.333-355. [online]. [Citat 24.08.2022]. Disponibil: [http://www.math.md/files/csjm/v19-n3/v19-n3-\(pp333-355\).pdf](http://www.math.md/files/csjm/v19-n3/v19-n3-(pp333-355).pdf).
78. IZMAILOV, A. F., SOLODOV, M. V. *Numerical Methods of Optimization*. Fizmatlit Nauka, Moscow, Rusia, Ed. 2, 320 p. 2008. ISBN 978-5-9221-0975-8 (În Rusă).
79. WOLSEY, L.A. *Integer Programming*. A Wiley-Interscience Publication, 1998, 286 p.
80. FLOUDAS, C.A., VISWESWARAN, V. *Quadratic Optimization*. In *Handbook of Optimization*. HORST, R., PARDALOS, P. M. (eds), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London, 1995, pp. 217-270.
81. BILLIONNET, A. *Quadratic 0-1 Bibliography*. Technical Report CEDRIC-03-611, CEDRIC Lab/CNAM, 2003. 9 p. [online]. [Citat 24.08.2022]. Disponibil: <http://cedric.cnam.fr/fichiers/RC611.pdf>
82. HAMMER, P.L. (IVĂNESCU), RUDEANU, S. *Boolean Methods in Operation Research and Related Areas*. Springer Berlin Heidelberg. 2014. 331 p. (reprint of the 1st edition 1968).
83. BOROS, A., HAMMER, P.L. *Pseudo-Boolean Optimization*. In *Discrete Applied Mathematics*. Vol. 123, 155-225, 2002.
84. LEMARECHAL, C., QUSTRY, F. *Semidefinite Relaxation and Lagrangian Duality whith Application to Combinatorial Optimization*. In *Research Report N. 3710*, INRIA Rhone-Alpes, France, 1999, 43p.
85. SHERALI, H.D., ADAMS, W.P. *A Reformulation – Linearization Technique for Solving Discrete and Continuous Nonconvex Problems*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1999, 516 p.
86. ADAMS, W.P., FORRESTER, R., GLOVER, F. *Comparisons and Enhancement Strategies for Linearizing Mixed 0-1 Quadratic Programms*. In *Discrete Optimization*. 1(2), 2004, pp.99-120.



87. POLJAK, S., WOLKOWICS, H. *Convex Relaxations of (0,1) Quadratic Programming*. In *Mathematics of Operations Research*, V. 20, 1995, pp. 550-561.
88. HAMMER, P. L., RUBIN, A. A. *Some Remark on Quadratic Programming with 0-1 Variables*. *RAIRO*, 3, 1970, pp. 67-79.
89. BILLIONNET, A., ELLOUMI, S. *Using a Mixed Integer Quadratic Programming Solver for the Unconstrained Quadratic 0-1 Problem*. In *Mathematical Programming* 109, 2007, pp. 55-68.
90. CARTER, M. W. *The Indefinite Zero-One Quadratic Problem*. In *Discrete Applied Mathematics*, 7, 1984, pp. 23-44.
91. BEASLEY, J. E. *Heuristics Algorithms for the Unconstrained Binary Quadratic Programming Problem*. Working Paper, The Management School, Imperial College, London, England. 1998, 36 p. [online]. [Citat 20.08.2022]. Disponibil: <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/bqp.pdf>
92. DAVIS, PH. J. *Circulant matrices*. Wiley, New York, 1979, 2nd ed. Providence (RI): AMS Chelsea Publishing, American Mathematical Society, Providence, Rhode Island, 2012. 250 p. ISBN 0471057711, 9780471057710.
93. RAMAKRISHNA, A. V., PRASANNA, T. V. N. *Symmetric circulant matrices and public key cryptography*. In *Int. J. Contemp. Math. Sciences* 8 (12), 2013, pp. 589–593.
94. PILLAI, DHASHNA, T., CHATHELY, BRIJI, J. *A Study on Circulant Matrices and its Application in Solving Polynomial Equations and Data Smoothing*, In *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, Volume 66, Issue 6, 2020, 275-283.
95. STARNG, G. *Linear algebra and its applications*, 4th Ed., Academic Press, 2022, 487 pp.
96. MORARU, V., **ISTRATI, D.** *Analyse numérique matricielle*. Ed. "Tehnica-UTM", 2020. 6,25 c. t., 95 pp. ISBN 978-9975-45-646-3.
97. OLIVERIA, W. *The ABC of DC Programming*. In *Theory and Applications and Variational Analysis*, Volume 28, Issue 4, 2020, pp. 679-706.
98. LE, THI, HOAI, AN, HUYNH, VAN, NGAI, DINH, TAO, PHAM. *DC Programming and DCA for General DC Programs*. In *book: Advanced Computational Methods for Knowledge Engineering*, 2014, pp. 15-35.
99. LE, THI, HOAI, AN, TAO, PHAM, DINH, T., HUYNH, VAN, NGAI. *Exact Penalty Techniques in DC Programming*. In *SIAM Conference on Optimization*, 2005.
100. LE, THI, HOAI, AN, TAO, PHAM, DINH. *A Continuous Approach for Globally Solving Mixed Integer Programming*. In *Sixth SIAM Conference on Optimization*. Georgia, USA, Atlanta, May 10-12, 1999.

101. HOST, R., THOAI, N.V. *DC Programming: Overview*. In *Journal of Optimization and Applications*, 105 (1): pp. 1-43, 1999. [online]. [Citat 20.08.2022]. Disponibil: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1021765131316#page-2>
102. LE, THI, HOAI, AN, TAO, PHAM, DINH. *The DC (Difference of Convex Functions) Programming and DCA Revisited with DC Models of Real-World Nonconvex Optimization Problems*. In *Annals of Operations Research*, 133 (1), pp. 23-46, 2005. [online]. [Citat 20.08.2022]. Disponibil: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10479-004-5022-1>.
103. LOQMAN, CH., ET TAOUIL, M., HAMI, Y., HADDOUCH, KH. *Convex Quadratic Reformulations for solving days-off scheduling problem*. In *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 49, No.1, 2013, pp. 23-31. ISSN: 1992-8645. [online]. [Citat 20.08.2022]. Disponibil: <http://www.jatit.org/volumes/Vol49No1/4Vol49No1.pdf>
104. GOULD, N., TOINT, PH. *A Quadratic Programming Page*. ©2000. [Citat 20.08.2022]. Disponibil: <https://www.numerical.rl.ac.uk/people/nimg/qp/qp.html>.
105. PARDALOS, P.M., VAVASIS, S.A., *Quadratic programming with one negative eigenvalue is NP-hard*. In *Journal Global Optimization* 1, 1991, pp. 15-22.
106. FURINI, F., et all. *QPLIB: a library of quadratic programming instances*. In *Mathematical Programming Computation*, Vol. 11 (2), 2019, pp. 237-265.
107. BILLIONNET, A. *Integer programming to schedule a hierarchical workforce with variable demands*. In *European Journal of Operational Research*. Volume 114, Issue 1, 1 April 1999, pp. 105-114.
108. PARDALOS, P. M., JHA S. *Complexity of uniqueness and local search in quadratic 0-1 programming*. In *Operations Research Letters*, Vol.11, nr.2, 1992, pp. 119-123.
109. SHOR, N. Z. *Quadratic Optimization Problems*. In *Soviet Journal of Computer and Systems Sciences*, Vol. 25, 1987, pp. 1-11.
110. POLJAK, S., RENDL, F., WOLKOWICZ, H. *A recipe for semidefinite relaxation for (0,1)-quadratic programming*. In *Journal of Global Optimization*, Volume 7, 1995, pp. 51–73
111. ITO, N., KIM, S., KOJIMA, M., TAKEDA, A., TOH, K.-S. *Equivalences and differences in conic relaxations of combinatorial quadratic optimization problems*. In *Journal of Global Optimization*, Vol. 72, 2018, pp. 619–653.
112. BOMZE, I. M., CHENG, J., DICKINSON, P. J. C., LISSER, A. *A fresh CP look at mixed-binary QPs: new formulations and relaxations*. In *Mathematical Programming*, Volume 166, 2017, pp.159–184.

113. BURER, S. *On the copositive representation of binary and continuous nonconvex quadratic programs*. In *Mathematical Programming*. Volume 120, 2009, pp. 479–495.
114. BILLIONNET, A., ELLOUMI, S., PLATEAU, M.-C. *Improving the performance of standard solvers for quadratic 0-1 programs by a tight convex reformulation: The QCR method*. In *Discrete Applied Mathematics*. Volume 157, Issue 6, 28 March 2009. pp. 1185-1197.
115. GLOVER, F., KOCHENBERGER, G. A., ALIDAEI, B. *Adaptive Memory Tabu Search for Binary Quadratic Program*. In *Management Science*, vol. 44, no. 3, 1998, pp. 336-345.
116. LODI, A., ALLEMAND, K., LIEBLING, T. M. *An Evolutionary Heuristic for Quadratic 0-1 Programming*. In *Tech. Rep.*, Département de Mathématiques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 1998.
117. *Search Methodologies Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. Second Edition, EDMUND, K., BURKE, E.K., KENDALL, G. Editors, Springer Science + Business Media New York, 2014, 716 pp. [online]. [Citat 02.08.2022]. Disponibil: [http://eprints.ukh.ac.id/id/eprint/271/1/2014\\_Book\\_SearchMethodologies.pdf](http://eprints.ukh.ac.id/id/eprint/271/1/2014_Book_SearchMethodologies.pdf)
118. CONEJO, A. J., CASTILLO, E., MINGUEZ, R., GARCIA-BERTRAND, R. *Decomposition techniques in mathematical programming: engineering and science applications*. Springer Berlin, Heidelberg, 2006, 541 p.
119. VELDHOVEN, S., POST, G., EGBERT VAN DER VEEN, E., CURTOIS, T. *An assessment of a days off decomposition approach to personnel shift scheduling*. In *Annals of Operations Research*, Volume 239, 2016, pp. 207–223.
120. CAPRARA, A., MONACI, M., TOTH, P. *Models and algorithms for a staff scheduling problem*. In *Mathematical Programming*, Volume 98, 2003. pp. 445–476.
121. ALMUFTI, S. *Historical survey on metaheuristics algorithms*. In *International Journal of Scientific World*, 7 (1), 2019, pp. 1-12.
122. ORUMIE, U. C., EBONG, D. *A Glorious Literature on Linear Goal Programming Algorithms*. In *American Journal of Operations Research*, 2014, 4, pp. 59-71.
123. JONES, D. F., TAMIZ, M. *Goal Programming in the Period 1990–2000*. In book: *Multiple Criteria Optimization: State of the Art Annotated Bibliographic Surveys*, 2006, pp. 129-170.
124. DOKEROGLUA, T., SEVINCB, E., KUCUKYILMAZA, T., COSARB, A. *A survey on new generation metaheuristic algorithms*. In *Computers & Industrial Engineering* Volume 137, November 2019, Article 106040.

125. MORARU, V. *An algorithm for solving quadratic programming problems*. In *Computer Science Journal of Moldova*, vol. 5, no. 2(14), 1997, pp. 223-235. [online]. [Citat 12.08.2022]. Disponibil: <https://www.math.md/publications/csjm/issues/v5-n2/>
126. ZHU, W. *A provable better Branch and Bound method for a nonconvex integer quadratic programming problem*. In *Journal of Computer and System Sciences* 70, 2005, pp. 107 – 117. [online]. [Citat 12.08.2022]. Disponibil: <https://core.ac.uk/download/pdf/82761976.pdf>.
127. MITTELMANN, H. D. *The State-of-the-Art in Conic Optimization Software*. In *Handbook on Semidefinite, Conic and Polynomial Optimization*, Volume 166, 2012, pp.671-686.
128. HOAI, AN LE THI, TAO, PHAM DINH. *DC programming and DCA: thirty years of developments*. In *Mathematical Programming*, Volume 169, 2018, pp.5–68.
129. GRANIĆ, A. *Intelligent Interfaces for Technology-Enhanced Learning*. In book: *Advances in Human-Computer Interaction*. 2008. Pp. 143-160. DOI:10.5772/5933.
130. KEOLLE, D. *Intelligent User Interfaces*. 2000.
131. SILTALA, N., JÄRVENPÄÄ, E., LANZ, M. *A method to evaluate interface compatibility during production system design and reconfiguration*. In *52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems*. 2019.
132. HOZDIĆ, E., KENDIĆ, S. *Interfaces for Cyber-Physical Production Systems*. Volume 2, Number 32. pp. 135-141. January 2015.
133. ZAPOROJAN, S., CALMÎCOV I., PLOTNIC C., CĂRBUNE V. *Monitoring of the process of microwire casting*. In *National Human-Computer Interaction Conference*, pp. 173-176. At: Cluj-Napoca, Romania 2013.
134. GÓMEZ-SANZ, J. J., PAVÓN, J., GARIJO, F. *Intelligent Interface Agents Behavior Modelling*. In *Proceedings MICAI 2000: Advances in Artificial Intelligence*, Mexican International Conference on Artificial Intelligence, Acapulco, Mexico, April 11-14, 2000, pp. 598-609. 2000. DOI: 10.1007/10720076\_54.
135. ABRAHÃO, S., INSFRAN, E., SLUYTERS, A., VANDERDONCKT, J. *Model-based intelligent user interface adaptation: challenges and future directions*. In *Software and Systems Modeling*, vol. 20, pp. 1335–1349. 16 July 2021. <https://doi.org/10.1007/s10270-021-00909-7>
136. EHLERT, P. *Intelligent User Interfaces: Introduction and Survey*. 2003. TUDelft
137. ZHAI, S. *Modern Touchscreen Keyboards as Intelligent User Interfaces: A Research Review*. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User*

- Interfaces*. 2017. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 1-2.  
DOI: <https://doi.org/10.1145/3025171.3026367>.
138. ZHAI, S., KRISTENSSON, P.O. *The word-gesture keyboard: reimagining keyboard interaction*. In *Communications of the ACM*. Volume 55. Issue 9. September 2012 pp. 91–101. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.1145/2330667.2330689>.
139. MIRAZ, M. H., ALI, M., STUART, P. *Cross-cultural usability evaluation of AI-based adaptive user interface for mobile applications*. In *Acta Scientiarum*. Vol. 44. 28.07.2022. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v44i1.61112>.
140. JALIL, N. *Introduction to Intelligent User Interfaces (IUIs)*. In *Software Usability*. CASTRO, L. M., HEIMGÄRTNER R., CABRERO D. (Eds). 2022. 194 p. DOI: 10.5772/intechopen.97789.
141. ISTRATI, D. *A Brief Overview of Intelligent Interfaces in Production Systems*. In *IC ECCO-2022 Proceedings*. Pp. 158-161. ISSN 2405-8963. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.52326/ic-ecco.2022/CS.02>
142. WEYER, S., SCHMITT, M., OHMER, M., GORECKY, G. *Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems*. 2015. In *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48, nr. 3, 2015, Pp. 579-584, [online]. [Citat 12.08.2022]. ISSN 2405-8963, Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315003821>
143. SCHLECHTENDAHL, J., KEINERT, M., KRETSCHMER, F. *et al.* Making existing production systems Industry 4.0-ready. *Prod. Eng. Res. Devel.* **9**, 143–148 (2015). [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s11740-014-0586-3>
144. CHIN, D. *Intelligent User Interfaces*. JOSEPH W. SULLIVAN and SHERMAN W. TYLER (Eds.), Addison-Wesley, Reading, MA, 1991, pp. 127–206.
145. GREGOR, M., MEDVECKY, S. (2010). *Digital Factory – Theory and Practice*. In *Engineering the Future*. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.5772/10380>
146. WECK, M., & BRECHER, C. *Werkzeugmaschinen 4–Automatisierung von Maschinen und Anlagen* In *Machine tools 4 automation of machines and equipment*. Springer-Verlag, 4 oct. 2006 - 502 pag.
147. ASTAFI, V., ISTRATI, D. "L'interaction L'homme-Machine". În *Conferința tehnico - științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*, 1-3 aprilie 2020, Chișinău,

- Republica Moldova. Volumul I. Pag. 320-323. ISBN 978-9975-45-633-3.  
<https://utm.md/wp-content/uploads/2020/05/UTM-CTS-SMD-2020-Volumul-I.pdf>
148. ISTRATI, D., CALMÎCOV, I., MORARU, V., ZAPOROJAN, S. *Interfaces dans l'organisation des systèmes de production*. In *Intellectus*. No 2 (2023), pp. 145-154.  
<https://agepi.gov.md/ro/intellectus/intellectus-2-2023>.
149. *WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19*. 11 March 2020. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>.
150. *Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it* 11.02.2020 [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: [https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it).
151. KRONBICHLER, A., KRESSE, D., YOON, S., HWA, LEE, K., EFFENBERGER, M. SHIN, JAE IL. *Asymptomatic patients as a source of COVID-19 infections: A systematic review and meta-analysis*. In *International Journal of Infectious Diseases*, Volume 98, 2020, Pages 180-186, ISSN 1201-9712. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.06.052>.
152. *Dicționarul limbii române*. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://dexonline.ro/>.
153. KUTHYAR, S., ANTHONY, C. L., FASHINA, T., YEH, S., & SHANTHA, J. G. (2021). *World Health Organization High Priority Pathogens: Ophthalmic Disease Findings and Vision Health Perspectives*. *Pathogens* (Basel, Switzerland), 10(4), 442. [online]. [citat 10.01.2022]. Available: <https://doi.org/10.3390/pathogens10040442>.
154. *European Commission. Coronavirus response. Digital solutions during the pandemic*. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: [https://ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/coronavirus-response/digital-solutions-during-pandemic\\_en](https://ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/coronavirus-response/digital-solutions-during-pandemic_en).
155. PRESS RELEASE, *World Bank Group's \$157 Billion Pandemic Surge Is Largest Crisis Response in Its History*, 19.07.2021, [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/07/19/world-bank-group-s-157-billion-pandemic-surge-is-largest-crisis-response-in-its-history>.
156. PRESS RELEASE, *Plan d'actions de l'AUF : spécial pandémie covid-19*, [AUF covid-19 pandemic special plan], march 2020. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://www.auf.org/nouvelles/actualites/plan-dactions-de-lauf-special-pandemie-covid-19/>.

157. BUDD, J., MILLER, B. S., MANNING, E. M. et al. *Digital technologies in the public-health response to COVID-19*. In *Nat Med* 26, 1183–1192 (2020). [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1011-4>.
158. *European Commission website. Mobile contact tracing apps in EU Member States*. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: [https://ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/coronavirus-response/travel-during-coronavirus-pandemic/mobile-contact-tracing-apps-eu-member-states\\_en](https://ec.europa.eu/info/live-work-travel-eu/coronavirus-response/travel-during-coronavirus-pandemic/mobile-contact-tracing-apps-eu-member-states_en).
159. BRETON, TH., *EU Space response to Coronavirus*. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: <https://www.copernicus.eu/en/coronavirus>
160. *European Commission website. Supercomputers versus coronavirus*. [online]. [Citat 20.09.2022]. Disponibil: [https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe/recovery-coronavirus-success-stories/digital/supercomputers-versus-coronavirus\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe/recovery-coronavirus-success-stories/digital/supercomputers-versus-coronavirus_en)
161. **ISTRATI, D.** Temperature Capture and Image Processing System: A Case Study. In *Journal of Engineering Science*. Vol. XXIX, no. 2 (2022), pp. 108 – 115. [https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29\(2\).10](https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(2).10). ISSN 2587-3474. eISSN 2587-3482. UDC[621.397.424:772.96+004.93]:616.98:578.834.1
162. *Le scanner thermique intelligent : une solution à l'aide du système de santé moldave, [The intelligent thermal scanner: a solution using the Moldovan health system]*. 30.07.2020. [online]. [Citat 10.01.2022]. Disponibil: <https://www.auf.org/europe-centrale-orientale/nouvelles/actualites/le-scanner-thermique-intelligent-une-solution-laide-du-systeme-de-sante-moldave/>.
163. IGNATIUC, A. BUFTEA, M. **ISTRATI, D.** *Module de traitement et d'affichage des données en temps réel pour le système intellST*. In: *Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor*. Vol.1, 23-25 martie 2021, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Tehnica-UTM, 2021, pp. 386-389. ISBN 978-9975-45-699-9. [online]. [Citat 10.01.2022]. Disponibil: <http://cris.utm.md/handle/5014/935>.
164. GÜNER, R., HASANOĞLU, I., & AKTAŞ, F. *COVID-19: Prevention and control measures in community*. In *Turkish journal of medical sciences*, 50(SI-1), (2020). Pp. 571–577. [online]. [Citat 10.01.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.3906/sag-2004-146>.
165. PRASANNA, D., REDDY, M, GANAPATHY, CH. *Development of Real Time Face Recognition System Using OpenCV*. In *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume: 04, Issue: 12, Dec-2017, e-ISSN: 2395-0056, p-ISSN: 2395-0072, pag. 791-798. [online]. [Citat 10.01.2022]. Disponibil: [shorturl.at/dDJ03](http://shorturl.at/dDJ03).

166. BEȘLIU, V., CHIREV, P., **ISTRATI, D.** *Guide méthodologique pour les travaux pratiques. Discipline Conception de systèmes d'information.* Ed. "Tehnica-UTM", 2021. 5,75 c. t. 92 p. ISBN 978-9975-45-733-0.
167. SUTCLIFFE, A., GULLIKSEN, J. *Chapter 18- User-Centered Requirements Definition.* In *Usability in Government Systems.* BUIE E., AND MURRAY D. (Editors). Morgan Kaufmann, Elsevier 2012, Pag. 285-300. ISBN 9780123910639. [online]. [Citat 10.01.2022]. Disponibil: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391063-9.00050-X>.
168. STONE, D., JARRETT, C., WOODROFFE, M., MINOCHA, S. *User interface design and evaluation.* Morgan Kaufmann 2005, 669 p. ISBN: 0-12-088436-4.
169. *World Health Organization Guidelines PANDEMIC AND EPIDEMIC DISEASES Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory infections in health care.* Geneva, 2014.133 p. ISBN 9789241507134 [online]. [Citat 10.01.2022]. Disponibil: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/112656/9789241507134\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/112656/9789241507134_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



## ANEXE

### Anexa1. Planificarea zilelor libere consecutive: Studiu de caz

Se consideră următoarea problemă de planificare a zilelor libere consecutive cu datele:

- Săptămâna de lucru de 5 zile;
- Numărul de lucrători  $m = 6$  ;
- Numărul  $d_i$  de zile libere pe săptămână pentru lucrătorul

$$d_1 = 2, d_2 = 2, d_3 = 2, d_4 = 3, d_5 = 3, d_6 = 4$$

- Numărul  $n_k$  de lucrători necesari în ziua  $k$ :

$$n_1 = 4, n_2 = 3, n_3 = 3, n_4 = 2, n_5 = 2$$

Soluția optimă locală a modelului

(2.2.4.1a), (2.2.4.1b), (2.2.4.1c), (2.2.4.1f) oferă următoarele valori pentru  $\bar{y}_i = (y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}, y_{i4}, y_{i5})^T, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ :

$$y_{11} = 0.91423, y_{12} = -0.89614, y_{13} = -0.2341, y_{14} = -0.36601, y_{15} = 0.5002,$$

$$y_{21} = 0.91423, y_{22} = 0.95416, y_{23} = 0.4023, y_{24} = -0.20164, y_{25} = 0.20101,$$

$$y_{31} = 0.91423, y_{32} = 0.89614, y_{33} = -0.2341, y_{34} = -0.36601, y_{35} = 0.5002,$$

$$y_{41} = 1.0459, y_{42} = 1.09108, y_{43} = 0.05124, y_{44} = 0.42181, y_{45} = -0.51623,$$

$$y_{51} = 1.0459, y_{52} = -0.9172, y_{53} = -0.4023, y_{54} = 0.20164, y_{55} = -0.20101,$$

$$y_{61} = 1.5989, y_{62} = -0.50201 = y_{63} = y_{64} = y_{65}.$$

Luând în considerație că  $\bar{x}_i = F_0 \bar{y}_i$ , obținem:

$$x_{11} = 5.7632 \cdot 10^{-2}, x_{12} = -8.8091 \cdot 10^{-3}, x_{13} = -1.4474 \cdot 10^{-2}, x_{14} = x_{15} = 1.011,$$

$$x_{21} = 0.99867, x_{22} = 0.95416, x_{23} = -3.6595 \cdot 10^{-2}, x_{24} = 0.10062, x_{25} = 2.7421 \cdot 10^{-2},$$

$$x_{31} = 5.7632 \cdot 10^{-2}, x_{32} = -8.8091 \cdot 10^{-3}, x_{33} = -1.4474 \cdot 10^{-2}, x_{34} = x_{35} = 1.011,$$

$$x_{41} = 1.0459, x_{42} = 0.96225, x_{43} = 0.90525, x_{44} = -0.25499, x_{45} = -0.21019,$$

$$x_{51} = -0.12208, x_{52} = -7.7861 \cdot 10^{-2}, x_{53} = 0.91319, x_{54} = 0.77597, x_{55} = 0.84918,$$

$$x_{61} = -0.18297, x_{62} = 0.93956 = x_{63} = x_{64} = x_{65}.$$

Planificarea zilelor libere consecutive generată de modelul elaborat în cadrul tezei (rotunjind  $x_{ij}$  la numere întregi) este dată în următorul tabel:

Tabelul A1. Programul de lucru

Ziua	1	2	3	4	5	$d_i$
Angajat						
1	$x_{11} = 0$	$x_{12} = 0$	$x_{13} = 0$	$x_{14} = 1$	$x_{15} = 1$	2
2	$x_{21} = 1$	$x_{22} = 1$	$x_{23} = 0$	$x_{24} = 0$	$x_{25} = 0$	2
3	$x_{31} = 0$	$x_{32} = 0$	$x_{33} = 0$	$x_{34} = 1$	$x_{35} = 1$	2
4	$x_{41} = 1$	$x_{42} = 1$	$x_{43} = 1$	$x_{44} = 0$	$x_{45} = 0$	3
5	$x_{51} = 0$	$x_{52} = 0$	$x_{53} = 1$	$x_{54} = 1$	$x_{55} = 1$	3
6	$x_{61} = 0$	$x_{62} = 1$	$x_{63} = 1$	$x_{64} = 1$	$x_{65} = 1$	4
$n_k$	4	3	3	2	2	

## Anexa 2. Descrierea aplicației web de management a resursei umane

### A2.1 Fragment cod sursă

#### Tabloul de bord

```
'use client';

import { Button } from '@mui/material';
import { useRouter } from 'next/navigation';
import { useEffect } from 'react';
import { getCookie, setCookie, deleteCookie } from 'cookies-next';

const isLoggedIn = true;
const ACCESS_TOKEN = 'accessToken';

export default function Home() {
  const router = useRouter();
  const token = getCookie(ACCESS_TOKEN);

  useEffect(() => {
    if (token) {
      router.replace('/manager'); // TODO: change by role
    } else {
      router.replace('/login');
    }
  }, []);

  return <>dashboard</>;
}
```

#### Formular de autentificare

```
'use client';

import LoginForm from '@components/LoginForm';
import { useAuth } from '@context/AuthProvider/AuthProvider';
import { useGetLocalUser } from '@hooks/useGetUser';
import { Box, TextField, Typography } from '@mui/material';
import { useRouter } from 'next/navigation';
import { useEffect } from 'react';

const LoginPage = () => {
  const router = useRouter();
  const { user, isLoading } = useAuth();

  useEffect(() => {
    if (!isLoading && user) {
      console.log('LoginPage.useEffect > isLoading:', isLoading, 'user: ', user);
      if (user.role === 'manager')
        router.replace('/manager');
      else
        router.replace('/worker');
    }
  }, [router, user, isLoading]);
  return (
    <Box
      display='flex'
      flexDirection='column'
      justifyContent='center'
      alignItems='center'
      width={1}
      height={1}
      gap={4}
    >
      <Typography variant='h4'>Welcome to login page!</Typography>
      <LoginForm />
    </Box>
  );
};
```

```
};
export default LoginPage;
```

## Cont personal angajat

```
'use client';

import { useAuth } from '@context/AuthProvider/AuthProvider';
import { useGetUser } from '@hooks/useGetUser';
import { Box, Typography, Button } from '@mui/material';
import { useRouter } from 'next/navigation';
import { useState } from 'react';
import UserDataCard from '@components/UserDataCard';

const AccountPage = () => {
  const router = useRouter();
  //const user = useGetUser();
  const { user, isLoading } = useAuth();
  const [haveChanges, setHaveChanges] = useState(false);

  // if (!user) router.replace('/login');
  // useEffect(() => {
  //   if (!isLoading && user) {
  //     console.log('LoginPage.useEffect > isLoading:', isLoading, 'user: ', user);
  //     if(user.role === 'manager')
  //       router.replace('/manager');
  //     else
  //       router.replace('/worker');
  //   }
  // }, [router, user, isLoading]);

  const handleClickSave = () => {
    setHaveChanges(false);
    // make request to save changes
  };

  if (!user) router.replace('/login');
  return (
    <>
      <Box display='flex' flexDirection='column' width={1} height={1} gap={4}>
        <Typography variant='h4' sx={{ span: { fontWeight: 600 } }}>
          Profilul meu
        </Typography>
        <UserDataCard user={user}/>
        <Button
          disabled={!haveChanges}
          sx={{ maxWidth: 150 }}
          variant='contained'
          color='primary'
          onClick={handleClickSave}
        >
          EDIT
        </Button>
      </Box>
    </>
  );
};

export default AccountPage;
```

## Pagina raportare

```
'use client';

import { useGetUser } from '@hooks/useGetUser';
import { Box, Typography } from '@mui/material';
import { useRouter } from 'next/navigation';
```

```

const AccountPage = () => {
  const router = useRouter();
  const user = useGetUser('Daniela');

  if (!user) router.replace('/login');
  return (
    <Box display='flex' flexDirection='column' width={1} height={1}>
      <Typography variant='h4' sx={{ span: { fontWeight: 600 } }}>
        Account form with data
      </Typography>
      <Typography variant='h5'>name: {user?.name}</Typography>
      <Typography variant='h5'>email: {user?.email}</Typography>
      <Typography variant='h5'>role: {user?.role}</Typography>
    </Box>
  );
};

export default AccountPage;

```

## Pagina Planificare

```

'use client';

import { useGetUser } from '@/hooks/useGetUser';
import { Box, Typography } from '@mui/material';
import { useRouter } from 'next/navigation';

const ManagerSchedulePage = () => {
  const router = useRouter();
  const user = useGetUser('Daniela');

  if (!user) router.replace('/login');
  return (
    <Box display='flex' flexDirection='column' width={1} height={1}>
      <Typography variant='h4' sx={{ span: { fontWeight: 600 } }}>
        Schedule worker count for next week
      </Typography>
      <Typography variant='h5'>name: {user?.name}</Typography>
      <Typography variant='h5'>email: {user?.email}</Typography>
      <Typography variant='h5'>role: {user?.role}</Typography>
    </Box>
  );
};

export default ManagerSchedulePage;

```

## Pagina date angajat

```

import WorkersDataPage from '@/views/Manager/WorkerData/WorkerDataPage';
import workersList from '/data/users'

const getWorkerData = async (workerId) => {
  // const res = await
  fetch(`https://jsonplaceholder.typicode.com/users/${workerId}`);
  // if (!res.ok) return [];
  // const data = workersList.filtered() [workerId-1];
  const data = workersList?.find((worker) => worker.userID === workerId);
  console.log('user Id:', workerId);
  console.log('user data:', data);
  return data;
};

const WorkerData = async ({ params: { workerId } }) => {
  const data = await getWorkerData(workerId);
  return (
    <>
      <WorkersDataPage data={data} />
    </>
  );
};

```

```
};
export default WorkerData;
```

### Pagina Lista angajați

```
import WorkersListPage from 'views/Manager/WorkersList/WorkersListPage';
import workersList from '/data/users'

// const getWorkersList = async () => {
//   const res = await fetch('https://jsonplaceholder.typicode.com/users');
//   const res = await fetch('../data/users.json');
//   if (!res.ok) return [];
//   const data = await res?.json();
//   return data;
// };

const AccountPage = async () => {
//   const workersList = await getWorkersList();
  return (
    <>
      <WorkersListPage list={workersList} />
    </>
  );
};

export default AccountPage;
```

### Pagina calendaristică pentru angajat

```
import CalendarPage from '@views/Worker/Calendar/CalendarPage';

// const getWorkersList = async () => {
//   const res = await fetch('https://jsonplaceholder.typicode.com/users');
//   if (!res.ok) return [];
//   const data = await res?.json();
//   return data;
// };

const AccountPage = async () => {
  // const workersList = await getWorkersList();
  return (
    <>
      <CalendarPage />
    </>
  );
};

export default AccountPage;
```

### Planificare angajat

```
'use client';

import { useAuth } from '@context/AuthProvider/AuthProvider';
import { useGetUser } from '@hooks/useGetUser';
import { Box, Typography } from '@mui/material';
import { useRouter } from 'next/navigation';

const WorkerSchedulePage = () => {
  const router = useRouter();
  //const user = useGetUser('Smith John'); // hard code user name
  const { user, isLoading } = useAuth();

  if (!user) router.replace('/login');
  return (
    <Box display='flex' flexDirection='column' width={1} height={1}>
      <Typography variant='h4' sx={{ span: { fontWeight: 600 } }}>
        Raport
      </Typography>
      <Typography variant='h5'>Nume: {user?.name}</Typography>
    </Box>
  );
};
```

```

        <Typography variant='h5'>e-mail: {user?.email}</Typography>
        <Typography variant='h5'>Funcția: {user?.role}</Typography>
    </Box>
  );
};

export default WorkerSchedulePage;

```

## Înregistrare utilizatori

```

[
  {
    "userID": "1",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "1",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "2",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "2",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "3",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "4",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "4",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "5",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "5",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "6",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "6",
    "date": "",
    "status": "checkIn"
  },
  {
    "userID": "7",
    "date": "",

```

```
        "status": "checkIn"
    }
]
```

## Orarul săptămânal

```
[
  {
    "userId": 1,
    "year": "2023",
    "week": "8",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 2,
    "year": "2023",
    "week": "9",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 3,
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "workDays": [0,0,1,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 4,
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restDays": "2",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 5,
    "year": "2023",
    "week": "12",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 6,
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 7,
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 4,
    "year": "2023",
    "week": "12",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 9,
    "year": "2023",
    "week": "13",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 10,
    "year": "2023",

```



```

    "week": "13",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  },
  {
    "userId": 11,
    "year": "2023",
    "week": "13",
    "workDays": [0,0,0,1,1,1,1]
  }
]

```

### Solicitare zile libere angajat

```

[
  {
    "userID": "2",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "daysOff": 4
  },
  {
    "userID": "3",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "restdays": 3
  },
  {
    "userID": "4",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "restdays": 4
  },
  {
    "userID": "5",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "restdays": 3
  },
  {
    "userID": "6",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "7",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "restdays": 3
  },
  {
    "userID": "8",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "restdays": 3
  },
  {
    "userID": "9",
    "year": "2023",
    "week": "10",

```

```

    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "10",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "11",
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "2",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "3",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "4",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 3
  },
  {
    "userID": "5",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "6",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 3
  },
  {
    "userID": "7",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 4
  },
  {
    "userID": "8",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 3
  },
  {
    "userID": "9",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "10",
    "year": "2023",
    "week": "10",

```

```

    "restdays": 2
  },
  {
    "userID": "11",
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "restdays": 4
  }
]

```

### Datele utilizatorilor (manager și angajați)

```

[
  {
    "userID": "1",
    "username": "daniela",
    "password": "123",
    "name": "Daniela",
    "email": "admin@mail.utm.md",
    "phone": "(373)121-5454",
    "address": "123 Easer Blvd, Wentington, AD 6789",
    "role": "manager",
    "image": "fem2.png",
    "checkinStatus": "true"
  },
  {
    "userID": "2",
    "username": "john",
    "password": "123",
    "name": "Smith John",
    "email": "smith@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "321 Easer Blvd, Wentington, AD 000222",
    "role": "worker",
    "image": "mall.png",
    "checkinStatus": "true"
  },
  {
    "userID": "3",
    "username": "bogdan",
    "password": "123",
    "name": "Bogdan Chguti",
    "email": "bogdan@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "7894 Easer Blvd, Wentington, AD 789546",
    "role": "worker",
    "image": "mal4.png"
  },
  {
    "userID": "4",
    "username": "snow",
    "password": "123",
    "name": "Jon Snow",
    "email": "jon@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "2365 Easer Blvd, Wentington, AD 5896",
    "role": "worker",
    "image": "mal3.png"
  },
  {
    "userID": "5",
    "username": "stark",
    "password": "123",
    "name": "Anya Stark",
    "email": "anya@mail.utm.md",

```

```

    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "4785 Easer Blvd, Wentington, AD 142213",
    "role": "worker",
    "image": "fem2.png"
  },
  {
    "userID": "6",
    "username": "user6",
    "password": "123",
    "name": "Daenerys Targaryen",
    "email": "daenerys@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "0236 Easer Blvd, Wentington, AD 142213",
    "role": "worker",
    "image": "fem3.jpeg"
  },
  {
    "userID": "7",
    "username": "user7",
    "password": "123",
    "name": "Dfgd Taghf",
    "email": "daenerys@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "0236 Easer Blvd, Wentington, AD 142213",
    "role": "worker",
    "image": "mall.png"
  },
  {
    "userID": "8",
    "username": "user8",
    "password": "123",
    "name": "Axcv Tyertutr",
    "email": "sferys@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "0236 Easer Blvd, Wentington, AD 142213",
    "role": "worker",
    "image": "fem5.jpeg"
  },
  {
    "userID": "9",
    "username": "user9",
    "password": "123",
    "name": "Bgdfhty Eawtot",
    "email": "sferys@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "0236 Easer Blvd, Wentington, AD 142213",
    "role": "worker",
    "image": "mal4.png"
  },
  {
    "userID": "10",
    "username": "user10",
    "password": "123",
    "name": "Wsadfdg Artic",
    "email": "sferys@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "0236 Easer Blvd, Wentington, AD 142213",
    "role": "worker",
    "image": "mal4.png"
  },
  {
    "userID": "11",

```

```

    "username": "user11",
    "password": "123",
    "name": "Qwerty Asdfer",
    "email": "sferys@mail.utm.md",
    "phone": "(373)856-5454",
    "address": "0236 Easer Blvd, Wentington, AD 142213",
    "role": "worker",
    "image": "fem4.png"
  }
]

```

### Sarcina de lucru săptămânală

```

[
  {
    "year": "2023",
    "week": "8",
    "workLoads": [3,5,5,4,6,0,0]
  },
  {
    "year": "2023",
    "week": "9",
    "workLoads": [4,3,3,4,5,0,0]
  },
  {
    "year": "2023",
    "week": "10",
    "workLoads": [4,3,3,4,5,0,0]
  },
  {
    "year": "2023",
    "week": "11",
    "workLoads": [4,3,3,4,5,0,0]
  },
  {
    "year": "2023",
    "week": "12",
    "workLoads": [4,3,3,4,5,0,0]
  },
  {
    "year": "2023",
    "week": "13",
    "workLoads": [4,3,3,4,5,0,0]
  }
]

```

## A2.2 Pagina de profil a angajatului

The screenshot shows the 'Editare profil' (Edit profile) page for a worker user. The interface includes a sidebar with 'HR Admin' and navigation options: Account, Calendarul meu, Planificare, and Ieșire. The main content area features a search bar, a profile picture placeholder, and a form with the following details: Nume: Bogdan Grecu, e-mail: bogdan@mail.utm.md, tel.: (373)856-5454, Adresa: str. Calea Moșilor 4/1, mun. Chișinău, MD-2075, and Funcția: worker. A green 'EDIT' button is located below the profile information. The top right corner shows the user's role as 'worker' and the language set to 'English'.

## A2.3. Pagina de profil a managerului

The screenshot shows the 'Profilul meu' (My profile) page for a manager user. The sidebar includes 'HR Admin' and navigation options: Dashboard, Lista Angajați, Planificare, Rapoarte, Account, and Ieșire. The main content area features a search bar, a profile picture placeholder, and a form with the following details: Nume: Daniela, e-mail: admin@mail.utm.md, tel.: (373)121-5454, Adresa: 123 Easer Blvd, Wentington, AD 6789, and Funcția: manager. A grey 'EDIT' button is located below the profile information. The top right corner shows the user's role as 'manager' and the language set to 'English'.

## A2.4. Pagina de gestionare a angajaților

HR Admin

Search

manager

Lista angajați:

#	Nume	Status	Email	Telefon
1	Daniela Istrati	active	daniela@mail.utm.md	(+373)121-5454
2	Ion Ungureanu	active	ungureanu@mail.utm.md	(373)856-5454
3	Bogdan Grecu	active	bogdan@mail.utm.md	(373)856-5454
4	Ion Muratu	active	ion@mail.utm.md	(373)856-5454
5	Ana Stejaru	active	ana.st@mail.utm.md	(373)856-5454
6	Diana Tincovan	active	diana@mail.utm.md	(373)856-5454
7	Dorin Tataru	active	dorin@mail.utm.md	(373)856-5454
8	Xenia Codru	active	xenia@mail.utm.md	(373)856-5454
9	Bogdan Ursu	active	ursu@mail.utm.md	(373)856-5454
10	Vladimir Crețu	active	cretu@mail.utm.md	(373)856-5454

## A2.5 Pagina de profil ce afișează calendarul zilelor libere generat de model

HR Admin

Search

manager

Daniela Istrati

**Nume:** Daniela Istrati  
**e-mail:** daniela@mail.utm.md  
**tel.:** (+373)121-5454  
**Adresa:** Blvd. Moscovei, 10, Chișinău, MD-1068  
**Funcția:** manager

aprilie - 2023

luni	marți	miercuri	joi	vineri	sâmbătă	duminică
17	18 ✓	19 ✓	20	21	22	23

## Anexa 3. Descrierea aplicației de monitorizare a accesului resursei umane

### A3.1 Componenta recunoaștere facială - cod sursă

#### Recunoașterea facială

```
package com.recognition.intellst.recognition.face;
import lombok.SneakyThrows;
import org.opencv.core.Mat;
import org.opencv.core.MatOfRect;
import org.opencv.core.Rect;
import org.opencv.imgcodecs.Imgcodecs;
import org.opencv.imgproc.Imgproc;
import org.opencv.objdetect.CascadeClassifier;

import java.io.File;
import java.io.IOException;
import java.util.UUID;

import static com.recognition.intellst.recognition.face.FaceDisplay.threadImage;
import static
com.recognition.intellst.recognition.face.RecognitionConstants.CAPTURE_IMAGE_TIME;
import static
com.recognition.intellst.recognition.face.RecognitionConstants.HAAR_RESOURCE;

public class CollectData implements Runnable {
    public static String uuid;
    public static String path;
    private static int sample = 0;
    private static int labelSet;

    public static void saveImage(Mat image) throws IOException {
        CascadeClassifier faceCascade = new
CascadeClassifier(HAAR_RESOURCE.getAbsolutePath());
        MatOfRect faces = new MatOfRect();
        Mat grayFrame = new Mat();
        Imgproc.cvtColor(image, grayFrame, Imgproc.COLOR_BGR2GRAY);
        faceCascade.detectMultiScale(grayFrame, faces);

        Rect[] facesArray = faces.toArray();
        if (facesArray.length >= 1) {
            sample++;
            System.out.println("Image:" + sample);
            Imgcodecs.imwrite(path + "/" + labelSet + "-" + uuid + "_" + (sample) +
".png",
                image.submat(facesArray[0]));
        }
    }

    public void imageData() throws IOException {
        uuid = UUID.randomUUID().toString().replace("-", "");
        File file = new File("src/main/resources/training/" + uuid);
        file.mkdir();
        path = file.getCanonicalPath();
        labelSet++;
    }
}
@SneakyThrows
@Override
public void run() {
    while (!Thread.currentThread().isInterrupted()) {
        try {
            Thread.sleep(CAPTURE_IMAGE_TIME);
        } catch (InterruptedException e) {
            e.printStackTrace();
        }
        Thread.currentThread().interrupt();
        if (threadImage.isAlive()) {
            FaceTrainModel faceTrainModel = new FaceTrainModel();
            faceTrainModel.faceTrain();
            sample = 0;
        }
    }
}
```



```

        threadImage = null;
    }
}
}
}

```

### Afişarea imaginilor

```

package com.recognition.intellst.recognition.face;
import lombok.Setter;
import org.opencv.core.Mat;
import org.opencv.core.MatOfRect;
import org.opencv.core.Rect;
import org.opencv.core.Size;
import org.opencv.face.FaceRecognizer;
import org.opencv.face.LBPHFaceRecognizer;
import org.opencv.imgproc.Imgproc;
import org.opencv.objdetect.CascadeClassifier;
import org.opencv.objdetect.Objdetect;

import java.io.IOException;
import static
com.recognition.intellst.recognition.face.RecognitionConstants.HAAR_RESOURCE;
import static
com.recognition.intellst.recognition.face.RecognitionConstants.TRAINED_MODEL;
import static org.opencv.imgproc.Imgproc.equalizeHist;
public class FaceDisplay {
    @Setter
    public static Thread threadImage;
    private static int absoluteFaceSize;

    public static void detectAndDisplay(Mat frame) throws IOException {

        CollectData collectData = new CollectData();
        CascadeClassifier faceCascade = new
CascadeClassifier(HAAR_RESOURCE.getFile().getAbsolutePath());

        FaceRecognizer faceRecognizer = LBPHFaceRecognizer.create();
        faceRecognizer.read(TRAINED_MODEL);

        MatOfRect faces = new MatOfRect();
        Mat grayFrame = new Mat();

        Imgproc.cvtColor(frame, grayFrame, Imgproc.COLOR_BGR2GRAY);
        equalizeHist(grayFrame, grayFrame);

        if (absoluteFaceSize == 0) {
            int height = grayFrame.rows();
            if (Math.round(height * 0.2f) > 0) {
                absoluteFaceSize = Math.round(height * 0.2f);
            }
        }
        faceCascade.detectMultiScale(grayFrame, faces, 1.1, 2,
Objdetect.CASCADE_SCALE_IMAGE, new Size(absoluteFaceSize,
absoluteFaceSize), new Size());

        Rect[] facesArray = faces.toArray();
        for (Rect rect : facesArray) {
            int[] label = new int[1];
            double[] confidence = new double[1];
            faceRecognizer.predict(grayFrame.submat(rect), label, confidence);
            StringBuilder name = new
StringBuilder(faceRecognizer.getLabelInfo(label[0]));

            if (confidence[0] < 50) {
                CollectData.uuid = String.valueOf(name);
            } else {

                Runnable collect = new CollectData();
                threadImage = new Thread(collect);
            }
        }
    }
}

```

```

        threadImage.start();
        setThreadImage(threadImage);

        collectData.imageData();
    }
}
}

package com.recognition.intellst.recognition.face;
import org.opencv.core.CvType;
import org.opencv.core.Mat;
import org.opencv.face.FaceRecognizer;
import org.opencv.face.LBPHFaceRecognizer;
import org.opencv.imgcodecs.Imgcodecs;
import org.opencv.imgproc.Imgproc;

import java.io.File;
import java.io.IOException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
import java.util.Objects;

public class FaceTrainModel {

    public void faceTrain() throws IOException {
        File folder = new File("src/main/resources/training/");
        FaceRecognizer faceRecognizer = LBPHFaceRecognizer.create();

        File[] files = folder.listFiles();

        for (File file : Objects.requireNonNull(files)) {
            File root = new File(file.getCanonicalPath());

            File[] imageFiles = Objects.requireNonNull(root).listFiles();
            List<Mat> images = new ArrayList<>();

            Mat labels = new Mat(Objects.requireNonNull(imageFiles).length, 1,
CvType.CV_32SC1);

            int counter = 0;
            for (File image : imageFiles) {
                Mat img = Imgcodecs.imread(image.getCanonicalPath());

                Imgproc.cvtColor(img, img, Imgproc.COLOR_BGR2GRAY);
                Imgproc.equalizeHist(img, img);

                int label = Integer.parseInt(image.getName().split("-")[0]);

                String labnname = image.getName().split("_")[0];
                String name = labnname.split("-")[1];
                faceRecognizer.setLabelInfo(label, name);

                images.add(img);

                labels.put(counter, 0, label);
                counter++;
            }
            faceRecognizer.update(images, labels);
            faceRecognizer.save("src/main/resources/trainedmodel" + "/train.yml");
        }
    }
}

```

### A 3.2 Componenta măsurarea temperaturii - cod sursă

```

package com.recognition.intellst.recognition.temperature;
import lombok.extern.slf4j.Slf4j;
import org.bytedeco.javacpp.BytePointer;

```

```

import org.bytedeco.leptonica.PIX;
import org.bytedeco.tesseract.TessBaseAPI;

import javax.imageio.ImageIO;
import java.awt.*;
import java.awt.image.BufferedImage;
import java.io.ByteArrayOutputStream;
import java.io.IOException;
import java.nio.ByteBuffer;

import static org.bytedeco.leptonica.global.lept.pixDestroy;
import static org.bytedeco.leptonica.global.lept.pixReadMem;
import static org.bytedeco.tesseract.global.tesseract.PSM_SINGLE_BLOCK;

@Slf4j
public class ImageTemperatureReader {
    public static float temperature;

    public static void readTemperature(BufferedImage imgBuff) throws IOException {
        BufferedImage result = new BufferedImage(
            imgBuff.getWidth(),
            imgBuff.getHeight(),
            BufferedImage.TYPE_BYTE_BINARY);

        Graphics2D graphic = result.createGraphics();
        graphic.drawImage(imgBuff, 0, 0, Color.WHITE, null);
        graphic.dispose();

        ByteArrayOutputStream baos = new ByteArrayOutputStream();
        ImageIO.write(result, "png", baos);
        byte[] imageBytes = baos.toByteArray();

        TessBaseAPI api = new TessBaseAPI();
        String tessData = "src/main/resources/tessdata/";
        api.Init(tessData, "eng");
        ByteBuffer imgBB = ByteBuffer.wrap(imageBytes);

        PIX image = pixReadMem(imgBB, imageBytes.length);
        api.SetPageSegMode(PSM_SINGLE_BLOCK);
        api.SetImage(image);
        api.SetSourceResolution(300);

        BytePointer outText = api.GetUTF8Text();

        api.End();
        api.close();
        outText.deallocate();
        pixDestroy(image);

        // OCR corrections

        String parsedOut = outText.getString()
            .replaceAll("[ABCDEFGHJKLMNOPQRSTUVWXYZ]", "")
            .replaceAll("[abcdefghijklmnopqrstuvwxyz]", "")
            .replaceAll("[~`()<>'_|-:~!/'`:]", "")
            .replaceAll("\\s", "").replaceAll("$", "")
            .replaceAll("|", "").replaceAll("\\.", "")
            .replaceAll("^", "").replaceAll("n+", "")
            .replaceAll("\\b", "").replaceAll("n?", "")
            .replaceAll("n*", "").replaceAll("[n{x}]", "")
            .replaceAll("[n{x,y}]", "").replaceAll("[n{x}]", "");

        if (parsedOut.length() > 7) {
            parsedOut = parsedOut.substring(0, 7) + ":" + parsedOut.substring(8);
        }
        int iSpace = parsedOut.lastIndexOf("");
        if (iSpace != -1) {
            parsedOut = parsedOut.substring(0, iSpace);
        }
    }
}

```

```

    temperature = Float.parseFloat(extractNumber(parsedOut));
}

private static String parseNum(String string) {
    char num1 = string.charAt(0);
    char num2 = string.charAt(1);

    if (string.length() == 3 && num1 == 3 && num2 == 6 || num2 == 7) {
        char num3 = string.charAt(2);
        string = num1 + num2 + "." + num3;
        return string;
    } else if (string.length() == 2 && num1 == 3 && num2 == 6 || num2 == 7) {
        return string + "." + "0";
    }
    return string;
}

private static String extractNumber(String str) {

    if (str == null || str.isEmpty()) return "";

    StringBuilder stringBuilder = new StringBuilder();
    boolean found = false;
    for (char c : str.toCharArray()) {
        if (Character.isDigit(c)) {
            stringBuilder.append(c);
            found = true;
        } else if (found) {
            break;
        }
    }
    return parseNum(stringBuilder.toString());
}
}

```

Pentalog 

Aprob:

Customer Success Manager  
Pentalog Chișinău

Elena Mutruc

"30" ianuarie 2023



 UNIVERSITATEA TEHNICĂ  
A MOLDOVEI

Aprob:

Prorector  
pentru cercetare și doctorat UTM

dr. hab., prof. univ.  
Vasile Tronciu

"31" ianuarie 2023



ACT

de implementare a rezultatelor științifice obținute  
în cadrul tezei de doctorat  
a doamnei drd ISTRATI Daniela

Prin prezentul confirmăm implementarea în procesul de cercetare-dezvoltare a unui sistem de control și validare a accesului persoanelor în spațiile publice, elaborat în cadrul Proiectului «*Scanner thermique intelligent – IntelST*» (coordonator proiect lector universitar Istrati Daniela), desfășurat în parteneriat între Filiera Francofonă „Informatica” Universitatea Tehnică a Moldovei, compania „PENTALOG CHI” SRL – filiala moldovenească a grupului francez PENTALOG și clubul studentesc „Micro LAB”.

*Sistemul de control și validare a accesului persoanelor în spațiile publice* are un impact tehnologic și social și se utilizează pentru controlul și validarea accesului persoanelor în spațiile companiei PENTALOG Chișinău, Republica Moldova, începând cu anul 2020.

**Aprob:**

Decan

Facultatea Calculatoare, Informatică și  
Microelectronică, UTM

dr., conf. univ.

Dumitru Ciorbă

"21"



**Aprob:**

Prorector

pentru cercetare și doctorat UTM

dr. hab., prof. univ.

Vasile Tronciu

"22" feb 2025



ACT

de implementare a rezultatelor științifice obținute  
în cadrul tezei de doctorat  
a doamnei drd ISTRATI Daniela

Prin prezentul confirmăm utilizarea în procesul de studiu, disciplinele *F.01.O.002 Modele matematice și optimizări* și *F.03.O.010 Metode și modele de calcul*, a rezultatelor științifice obținute în cadrul tezei de doctorat cu tema "Metode de optimizare și interfețe în organizarea sistemelor de producție", autor dna lectoră universitară Istrati Daniela și anume a noilor modele și metode de planificare-optimizare a resurselor necesare organizării și funcționării sistemelor de producție moderne.

Disciplina *F.03.O.010 Metode și modele de calcul* este predată studenților anului II, ciclul I, licență, programele de studii Tehnologia Informației, Informatică Aplicată, Managementul Informației, respectiv disciplina *F.01.O.002 Modele matematice și optimizări* este predată masteranzilor anului I, ciclul II, programele de studii master Tehnologia Informației, Managementul Aplicațiilor Informaționale, Știința Datelor, în cadrul Facultății Calculatoare, Informatică și Microelectronică, UTM.

Rezultatele cercetărilor sunt, de asemenea, utilizate în elaborarea și proiectarea tezelor de licență a studenților ciclului I licență a programelor de studii Tehnologia Informației, Informatică Aplicată, Managementul Informației și tezelor de master a masteranzilor ciclul II, programele de studii master Managementul Aplicațiilor Informaționale.

Titular discipline *F.03.O.010 Metode și modele de calcul*

*F.01.O.002 Modele matematice și optimizări*

Dr., prof. univ. Vasile Moraru



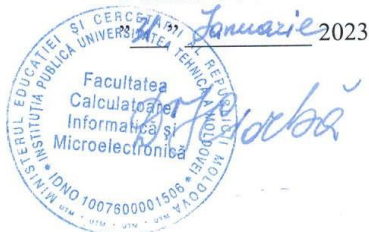
**Aprob:**

Decan

Facultatea Calculatoare, Informatică și  
Microelectronică, UTM

dr., conf. univ.,

Dumitru Ciorbă



**Aprob:**

Prorector

pentru cercetare și doctorat UTM

dr. hab., prof. univ.

Vasile Troncu

"22" Ianuarie 2023



ACT

de implementare a rezultatelor științifice obținute  
în cadrul tezei de doctorat  
a doamnei drd ISTRATI Daniela

Prin prezentul confirmăm implementarea în procesul de cercetare-dezvoltare a unui sistem de control și validare a accesului persoanelor în spațiile publice, elaborat în cadrul Proiectului «*Scanner thermique intelligent – IntelST*» (coordonator proiect lectoră universitară Istrati Daniela), desfășurat în parteneriat între Filiera Francofonă „Informatica” Universitatea Tehnică a Moldovei, compania „PENTALOG CHI” SRL – filiala moldovenească a grupului francez PENTALOG și clubul studentesc „Micro LAB”.

*Sistemul de control și validare a accesului persoanelor în spațiile publice* are un impact tehnologic și social important și a fost implementat în spațiile Blocului 3 de studii al Facultății Calculatoare, Informatică și Microelectronică, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova, în perioada pandemiei COVID-19, 2020-2022.

### Declarația privind asumarea răspunderii


Subsemnata, declar pe răspundere personală că materialele prezentate în teza de doctorat sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizez că, în caz contrar, urmează să suport consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.

Istrati Daniela

Semnătura

Data



<b>CURRICULUM VITAE</b>	
Numele Prenumele Data și locul nașterii Naționalitatea	ISTRATI Daniela 09/08/1978 sat. Slobozia Mare, r-l Vulcănești Română
	
<b>STUDII</b>	
Superioare: Masterat: Doctorat:	UTM, FCIM, specialitatea Informatică și Limbi Moderne Aplicate, licențiat în Informatică, limbile franceză și engleză. 1996 – 2001 UTM, Facultatea CIM, master în științe exacte. 2008 – 2010 Specialitatea: 122.03 “Modelare, metode matematice, produse program”, U.T.M. 2011-2018
Stagii:	IUT Louis Pasteur, UNISTRA, Franța, 28 noiembrie – 5 decembrie 2021 AUF, București, România, 8-9 octombrie 2019. USARB, 11-14 aprilie 2019. București, România. IUT Rouen, Franța, 25 februarie-02 martie 2019. IUT Rouen, Franța, 19-22 septembrie 2018.
Domenii de interes științific:	Procesarea Limbajului Natural, Metode și Modelare matematică
Activitate profesională	
2017-prezent	UTM, FCIM, DISA, șef program Filiera Francofonă ”Informatica” UTM, FCIM, șef birou Sindical FCIM
2016-2017	UTM, FCIM, DIIS, lector universitar
2001- 2008	UTM, FCIM Catedra Informatica Aplicată, lector superior. UTM, Catedra Informatica Aplicată, lector asistent
Participări în proiecte științifice naționale și internaționale:	- Cercetător științific în cadrul a două proiecte instituționale naționale - Coordonator a 5 proiecte francofone științifice, instituționale și internaționale.
Participări la manifestări științifice	Participări la 16 conferințe naționale și internaționale.
Lucrări științifice, științifico-metodice și didactice:	În total au fost publicate 32 de lucrări științifice, științifico-metodice și didactice.
Premii:	Premiul Senatului UTM 2020. Diploma de gr. 3 In domeniul activității didactice in anul universitar 2019-2020
Cunoașterea limbilor	Română- nativ; rusă – C1; franceză – C1; engleză – B2.
Date de contact de serviciu (adresă, telefon, e-mail).	Str. Studenților 7/1, MD 2040, Chișinău, Republica Moldova Email: <a href="mailto:daniela.istrati@ia.utm.md">daniela.istrati@ia.utm.md</a> Tel: 079402303