

<https://doi.org/10.38190/ope.13.1-2.8>

Prethodno priopćenje

PROGRAMSKO RJEŠENJE PROBLEMA NABAVE - PRISTUP DINAMIČKOG PROGRAMIRANJA

izv. prof. dr. sc. **Nikolina Žajdela Hrustek**
Sveučiliste u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike
Pavlinska 2, 42000 Varaždin
E-mail: nikolina.zajdela@foi.unizg.hr

doc. dr. sc. **Damira Keček**
Sveučilište Sjever
Trg dr. Žarka Dolinara 1, 48000 Koprivnica
E-mail: dkecek@unin.hr

Bruno Krnetić, mag. inf.
E-mail: bk18yrs@gmail.com

SAŽETAK

U današnje vrijeme izraženih poremećaja u lancima dobave zbog niza nepovoljnih okolnosti kao što su ratna zbivanja, prirodne nepogode i nestašica sirovina i energenata, adekvatno upravljanje nabavom jedno je od ključnih ciljeva koji nastoji postići gotovo svaki poduzetnik odnosno poduzeće. Cilj ovog rada je prikazati primjenu metode dinamičkog programiranja za rješavanje problema nabave te prezentirati programsko rješenje izrađeno za rješavanje problema nabave primjenom navedene metode. Dinamičko programiranje je specijalna matematička metoda koja se koristi za probleme optimizacije sustava na način da se identificirani problem rastavi na više jednostavnijih potproblema. U radu su također prezentirane funkcionalnosti izrađene programske aplikacije s ugrađenim algoritmom dinamičkog programiranja na primjeru rješavanja problema nabave jednog prijeko potrebnog proizvoda u projektno orijentiranom poduzeću. Korištenje dinamičkog programiranja kao alata i programske podrške može poslužiti u rješavanju različite klase problema vezanih uz adekvatno upravljanje zalihama obzirom da pruža detaljan uvid u stanje zaliha čime je znatno olakšano planiranje nabave i uvid u moguće troškove povezane s nabavom.

Ključne riječi: *dinamičko programiranje; zalihe; problem nabave; programsko rješenje*

1. UVOD

Zalihe su osnova proizvodnje i prodaje u svakom poduzeću, a time i nabave. Prema Russell i Taylor (2008) zalihe su skup stavki koje u poduzeću služe kako bi se zadovoljila eksterna kao i interna potražnja korisnika. Kako bi se mogla nesmetano odvijati proizvodnja ili prodaja potrebna je odgovarajuća količina zaliha sirovina i roba. U današnje vrijeme masovne proizvodnje i globalne konkurencije upravljanje zalihama spada u jedan od najvažnijih poslovnih procesa svakog poduzeća. Zbog niza nepovoljnih okolnosti s kojima se poduzeća susreću, kao što su nepredvidivost potražnje, nepouzdana partneri, kvaliteta sirovina i poluproizvoda koja je sklona velikim varijacijama, može uvelike rezultirati nezadovoljnim kupcima i njihov odlazak konkurentskim poduzećima (Šafran, 2021; Krpan, Maršanić i Jedvaj, 2014). Da bi upravljanje zalihama bilo što kvalitetnije, potrebno je u poduzećima transformirati poslovne procese na način da mogu biti fleksibilni prilagoditi se svim neočekivanim promjenama kroz osiguranje ekonomične nabave i proizvodnje. U svakom poduzeću važno je neprestano nadzirati razine zaliha, održavati tokove materijala u okvirima poslovnog sustava te osigurati da stalne i nepredviđene promjene u ponudi i potražnji nemaju negativan utjecaj na poslovanje poduzeća (Majstorović, 2001). Uz proces upravljanja zalihama, za uspješno poslovanje poduzeća ključno je adekvatno upravljati procesima naručivanja i skladištenja.

Pod procesom nabave podrazumijevamo opskrbu poduzeća sirovinama, materijalima kao i uslugama u odgovarajućim količinama, uz prihvatljivu cijenu i kvalitetu te uz pravovremene rokove isporuke. Osnovni cilj nabave u svakom proizvodnom ili uslužnom poduzeću ogleda se u povezivanju i usklađivanju potreba poduzeća za sirovinama, energentima i uslugama koje samo poduzeće nije u stanju ili mu je neisplativo samostalno proizvoditi, sukladno interesima samog poduzeća kao i poduzeća od kojih vrši dobavu, uz osiguranje optimalnog izvođenja svih ostalih poslovnih procesa (Ferišak, 2006). Svako loše planiranje nabave ili ako se nabava ne planira u poduzeću već se nabavlja intuitivno može izazivati mnoge neočekivane probleme. Stoga bi u interesu svakog poduzeća trebala biti izrada adekvatnog kratkoročnog, srednjoročnog ili dugoročnog plana nabave da bi se izbjegli problemi povezani s nabavom. Proces planiranja nabave započinje utvrđivanjem odnosno analizom stanja skladišta. Neadekvatno planirani zahtjevi za nabavom mogu rezultirati naručivanjem nedovoljne ili prekomjerne količine sirovina, materijala ili roba ili pak pogrešnih sirovina, materijala ili roba. Nepredviđeni nedostatak sirovina, materijala ili roba može uzrokovati nepotrebne zastoje u proizvodnom procesu, pružanju usluga ili dovesti do oportunitetnih troškova što neposredno može rezultirati uvećanim troškovima proizvodnje, otežanim planiranjem procesa prodaje, dovesti do neočekivanog smanjenja prodaje proizvoda, roba ili usluga ili odlaskom najvjernijih kupaca/poslovnih partnera konkurentskim poduzećima (Jacobs i Chase, 2018). S druge pak strane, prevelike količine sirovina, materijala ili robe u skladištu mogu ponekad zbog svoje prirode rezultirati gubitkom na kvaliteti i vrijednosti zbog zastarijevanja. Uz analizu stanja na skladištu materijala, sirovina ili roba poduzeće treba provesti i analizu partnera od kojih nabavlja potrebe materijale, sirovine ili robe koje koristi u procesu proizvodnje ili pružanju usluga. Nabava sirovina, materijala ili robe loše kvalitete koji su neupotrebljivi za kvalitetan proces proizvodnje ili pružanje usluga može dovesti do nepotrebnog gomilanja u skladištu i zauzimanja prostora, dok s druge strane loše pakirani materijali i sirovine kod manipulacije

i prijevoza mogu dovesti do znatnih oštećenja i velikih gubitaka na kvaliteti, a time i na prvobitnoj vrijednosti (Briš Alić i sur., 2022).

Rad je strukturiran na način da se u drugom poglavlju ukratko daju osnovne informacije vezane uz definiranje, formulaciju modela i primjenu dinamičkog programiranja te osnovni pojmovi vezani uz metodu dinamičkog programiranja. U nastavku poglavlja iznose se osnovne postavke formuliranja modela nabave korištenjem metode dinamičkog programiranja. U trećem poglavlju dan je prikaz rješavanja problema nabave na stvarnom primjeru poduzeća Q d.o.o. Kroz četvrto poglavlje prezentirano je programsko rješenje problema nabave. U zadnjem, petom poglavlju iznose se glavni zaključci provedenog istraživanja.

2. DINAMIČKO PROGRAMIRANJE

Dinamičko programiranje je matematička metoda koja pruža mogućnosti sustavnog i iterativnog načina računanja optimalnih kombinacija odluka. Ova metoda predstavlja jedan opći pristup rješavanju problema, a posebne jednadžbe koje koristi mogu biti definirane na način da se mogu primijeniti na velik broj različitih situacija. Stoga je za rješavanje problema uz pomoć metode dinamičkog programiranja potrebna dodatna stručnost i dobro poznavanje domene u kojoj se namjerava riješiti problem (Hillier i Lieberman, 2015).

Primjena metode dinamičkog programiranja obuhvaća optimiziranje problema pristupom višestepnih procesa. Primjenom pristupa višestepnih procesa donosi se niz odluka, iterativno kroz određene vremenske faze (Bradley, Hax, i Magnanti, 1977). Rješavanje procesa nabave uz pomoć dinamičkog programiranja provodi se nizom višestepnih procesa, a svaka iteracija uključuje jednake parametre: troškove skladištenja, maksimalnu količinu nabave i troškove naručivanja, maksimalnu količinu zaliha te potražnju (Dobrenić, 1978). Za svako razdoblje parametri se mijenjaju i izračun svakog sljedećeg razdoblja ovisi o rezultatu iz prethodnog razdoblja. U konačnici tablicom odluke dolazi se do krajnjeg rezultata na temelju kojeg se mogu za promatrana razdoblja donositi adekvatne poslovne odluke. Sljedeće pretpostavke trebaju biti zadovoljene prilikom rješavanja problema (Dobrenić, 1978):

- početak procesa nabave uvjetovan je početkom promatranog razdoblja,
- potražnja se javlja samo na početku razdoblja,
- količina zaliha na skladištu iznosi nula na početku prvog i na kraju posljednjeg razdoblja,
- nije dopušten nedostatak robe na zalihi,
- nabava u vremenu koje prethodi promatranom razdoblju je nula.

2.1. Problema nabave - formulacija modela

Na početku formuliranja modela problema nabave nužno je uvesti odgovarajuće oznake koje će se ujednačeno koristiti kroz cijeli iterativni postupak (Dobrenić, 1978):

$I(i)$ – količina zaliha na kraju razdoblja i ;

$Q(i)$ – količina nabave na početku razdoblja i ;

$D(i)$ – količina potražnje na početku razdoblja i ;

$C_p(i)$ – troškovi nabave za razdoblje i ;

$C_h(i)$ – troškovi čuvanja zaliha za razdoblje i .

Modelom problema nabave žele se minimizirati troškovi narudžbi i skladištenja (ukupni troškovi) u planiranom vremenskom razdoblju kroz etapu definiranih formulom:

$$C_t = \sum_{n=i}^N [C_p(i) + C_h(i)] \rightarrow \min. \quad (1)$$

Neka je $Q(i)$ nabavljena količina na početku promatranog razdoblja i . Na kraju razdoblja količina zaliha je $I(i)$:

$$I(i) = I(i-1) + Q(i) - D(i) \quad (2)$$

gdje se zalihe iz prethodnog razdoblja računaju kao:

$$I(i-1) = I(i) + D(i) - Q(i) \quad (3)$$

Maksimalna količina zaliha eksplicitno je zadana na samom početku. Kako su zalihe uvijek veće ili jednake od nule, rubne količine zaliha definiraju se kao:

$$0 \leq I(i-1) \leq \text{maks. kol. zaliha} \quad (4)$$

Uvrštavanjem (3) u (4) dobiva se:

$$0 \leq I(i) + D(i) - Q(i) \leq \text{maks. kol. zaliha} \quad (5)$$

dok se transformacijom (5) dobiva relacija za $Q(i)$:

$$I(i) + D(i) - \text{maks. kol. zaliha} \leq Q(i) \leq I(i) + D(i). \quad (6)$$

Ukupni troškovi procesa nabave u analiziranom razdoblju ovise o količinama nabave u tom razdoblju, prenesenim zalihama iz prethodnog razdoblja te o troškovima odluka prethodnih razdoblja (Dobrenić, 1978). Ukupni troškovi procesa nabave koji traje razdoblja mogu se stoga izraziti funkcijom:

$$g(N)[Q(N), I(N)] + f(N-1)[I(N-1)] \quad (7)$$

Optimalni izbor za $Q(N)$ je onaj koji minimizira (7). Prema načelu optimalnosti, vektor količina koji minimizira ukupne troškove za predviđenu količinu prodaje je:

$$f(N)[I(N)] = \min\{g(N)[Q(N), I(N)] + f(N-1)[I(N-1)]\} \quad (8)$$

odnosno:

$$f(N)[I(N)] = \min\{g(N)[Q(N), I(N)] + f(N-1)[I(N) + D(N) - Q(N)]\} \quad (9)$$

3. PRIMJENA METODE DINAMIČKOG PROGRAMIRANJA U RJEŠAVANJU PROBLEMA NABAVE

Primjena metode dinamičkog programiranja u rješavanju problema nabave prikazana je na stvarnom primjeru poduzeća. Poduzeće Q d.o.o. u privatnom je vlasništvu, a obilježava ga činjenica da je zbog značajnih poslovnih uspjeha tijekom godina poslovanja preraslo u jedno od najbrže rastućih tehnoloških poduzeća u Europi. Poduzeće djeluje na način da

je projektno orijentirano sa širokom paletom usluga koje nudi svojim kupcima. Djelatnosti koje obuhvaća su u području općenite integracije informacijskih i poslovnih sustava i izrade kompleksnih rješenja, zatim područja dizajna, brendiranja, razvoja mobilnih i web aplikacija, digitalnog marketing te korisničke podrške (Q Alliance, 2018).

Kako bi se adekvatno upravljalo nabavom jednog prijeko potrebnog proizvoda za korištenje u aparatima koje je poduzeće nabavilo za svoje zaposlenike primijenjena je metoda dinamičkog programiranja. Analizom stanja u poduzeću utvrdilo se da ne postoji definirani proces za nabavu proizvoda u poduzeću što je često rezultiralo nedostatkom istog na zalihama.

U nastavku su prikazani podaci nabavke proizvoda kroz razdoblja. Temeljem kartica partnera u prethodnim periodima naručivanja proizvoda utvrdilo se da dobavljač proizvod isporučuje uz fiksnu cijenu od 4,50 EUR po komadu. Tablica 1 daje detaljniji prikaz količina nabave proizvoda kroz 5 razdoblja.

Tablica 1: Količine nabave proizvoda

Datum radnog naloga	Količina
2. svibnja 2019.	30
16. svibnja 2019.	15
31. svibnja 2019.	30
15. lipnja 2019.	15
2. srpnja 2019.	45

Izvor: Krnetić (2019, str. 27)

Rata nabavne prilikom svakog naručivanja iznosi 15 komada proizvoda, dok je definirana i maksimalna količina nabave koja iznosi 60 proizvoda. Korištenjem algoritma dinamičkog programiranja definirano je da cijena nabave proizvoda ne ovisi o cijeni jednog proizvoda, već su ukupni troškovi jedne nabave definirani kao fiksni troškovi kod svake nabave u iznosu 250,00 EUR bez obzira koliko se naručuje ali uzevši u obzir dozvoljene skladišne kapacitete. Skladišni kapaciteti poduzeća ograničeni su na 30 komada, dok je procijenjeni trošak čuvanja zaliha 1,5 EUR. Ukupni troškovi nabave računat će se za naredna navedena razdoblja: sredina srpnja (predviđena potražnja 30 proizvoda), početak kolovoza (predviđena potražnja 15 proizvoda), sredina kolovoza (predviđena potražnja 45 proizvoda) i početak rujna (predviđena potražnja 30 proizvoda). Početkom drugog razdoblja manja je potreba naručivanja proizvoda obzirom da zaposlenici odlaze na kolektivni godišnji odmor. Veća potražnja zabilježena je u trećem razdoblju kada se zaposlenici vraćaju s godišnjeg odmora.

Prema formuli (6) računaju se količine proizvoda za nabavu. Granične vrijednosti za nabavu u prvom razdoblju su:

$$30 + 30 - 30 \leq \text{nabava} (1) \leq 30 + 30$$

$$30 \leq \text{nabava} (1) \leq 60$$

Prema formuli (6) za prvo razdoblje u zalihe se uvrštava maksimalna količina zaliha, a u sljedećem razdoblju količina zaliha za koju se provodi izračun u trenutnom koraku računanja. Kako je maksimalna količina zaliha proizvoda koja se može držati na skladištu 30, a nabavna rata 15 proizvoda, tri su moguća stanja na skladištu: 0, 15 i 30 komada proizvoda. Za prvo razdoblje računa se:

$$f(1) [I(1)] = \min \{g(1) [Q(1), I(1)]\} = \text{cijena nabave} + I(1) \cdot \text{tr. zaliha po jedinici}$$

$$f(1)[0] = [30, 0] = 250 + 0 \cdot 1,5 = 250$$

$$f(1)[15] = [45, 15] = 250 + 15 \cdot 1,5 = 272,5$$

$$f(1)[30] = [60, 30] = 250 + 30 \cdot 1,5 = 295$$

U sljedećim razdobljima se za svaku količinu zaliha (0, 15 i 30) računaju minimalni troškovi narudžbe. Prema formuli (9) za drugo razdoblje u kojem je potražnja 15 komada proizvoda računa se:

$$f(2) [I(2)] = \min \{g(2) [Q(2), I(2)] + f(1) [I(2) + D(2) - Q(2)]\}$$

1. korak:

$$0 + 15 - 30 \leq \text{nabava} (2) \leq 0 + 15$$

$$0 \leq \text{nabava} (2) \leq 15$$

$$f(2)[0] \rightarrow \min \begin{cases} [0, 0] + [0 + 15 - 0] = 0 + 0 \cdot 1,5 + 272,5 = 272,5 \\ [15, 0] + [0 + 15 - 15] = 250 + 0 \cdot 1,5 + 250 = 500 \end{cases}$$

2. korak:

$$15 + 15 - 30 \leq \text{nabava} (2) \leq 15 + 15$$

$$0 \leq \text{nabava} (2) \leq 30$$

$$f(2)[15] \rightarrow \min \begin{cases} [0, 15] + [15 + 15 - 0] = 0 + 15 \cdot 1,5 + 295 = 317,5 \\ [15, 15] + [15 + 15 - 15] = 250 + 15 \cdot 1,5 + 272,5 = 545 \\ [30, 15] + [15 + 15 - 30] = 250 + 15 \cdot 1,5 + 250 = 522,5 \end{cases}$$

3. korak:

$$30 + 15 - 30 \leq \text{nabava} (2) \leq 30 + 15$$

$$15 \leq \text{nabava} (2) \leq 45$$

$$f(2)[30] \rightarrow \min \begin{cases} [15, 30] + [30 + 15 - 15] = 250 + 30 \cdot 1,5 + 295 = 590 \\ [30, 30] + [30 + 15 - 30] = 250 + 30 \cdot 1,5 + 272,5 = 567,5 \\ [45, 30] + [30 + 15 - 45] = 250 + 30 \cdot 1,5 + 250 = 545 \end{cases}$$

U trećem razdoblju potražnja iznosi 45 komada proizvoda stoga je u nastavku izračun:

$$f(3) [I(3)] = \min \{g(3) [Q(3), I(3)] + f(2) [I(3) + D(3) - Q(3)]\}$$

1. korak:

$$0 + 45 - 30 \leq nabava(3) \leq 0 + 45$$

$$15 \leq nabava(3) \leq 45$$

$$f(3)[0] \rightarrow \min \begin{cases} [15, 0] + [0 + 45 - 15] = 250 + 0 \cdot 1,5 + 545 = 795 \\ [30, 0] + [0 + 45 - 30] = 250 + 0 \cdot 1,5 + 317,5 = 567,5 \\ [45, 0] + [0 + 45 - 45] = 250 + 0 \cdot 1,5 + 272,5 = 522,5 \end{cases}$$

2. korak:

$$15 + 45 - 30 \leq nabava(3) \leq 15 + 45$$

$$30 \leq nabava(3) \leq 60$$

$$f(3)[15] \rightarrow \min \begin{cases} [30, 15] + [15 + 45 - 30] = 250 + 15 \cdot 1,5 + 545 = 817,5 \\ [45, 15] + [15 + 45 - 45] = 250 + 15 \cdot 1,5 + 317,5 = 590 \\ [60, 15] + [15 + 45 - 60] = 250 + 15 \cdot 1,5 + 272,5 = 545 \end{cases}$$

3. korak:

$$30 + 45 - 30 \leq nabava(3) \leq 30 + 45$$

$$45 \leq nabava(3) \leq 60$$

$$f(3)[30] \rightarrow \min \begin{cases} [45, 30] + [30 + 45 - 45] = 250 + 30 \cdot 1,5 + 545 = 840 \\ [60, 30] + [30 + 45 - 60] = 250 + 30 \cdot 1,5 + 317,5 = 612,5 \end{cases}$$

U zadnjem razdoblju potražnja je 30 komada proizvoda, a izračun kako slijedi:

$$f(4) [I(4)] = \min \{g(4) [Q(4), I(4)] + f(3) [I(4) + D(4) - Q(4)]\}$$

1. korak:

$$0 + 30 - 30 \leq nabava(4) \leq 0 + 30$$

$$0 \leq nabava(4) \leq 30$$

$$f(4)[0] \rightarrow \min \begin{cases} [0, 0] + [0 + 30 - 0] = 0 + 0 \cdot 1,5 + 612,5 = 612,5 \\ [15, 0] + [0 + 30 - 15] = 250 + 0 \cdot 1,5 + 545 = 795 \\ [30, 0] + [0 + 30 - 30] = 250 + 0 \cdot 1,5 + 522,5 = 772,5 \end{cases}$$

2. korak:

$$15 + 30 - 30 \leq nabava(4) \leq 15 + 30$$

$$15 \leq nabava(4) \leq 45$$

$$f(4)[15] \rightarrow \min \begin{cases} [15, 15] + [15 + 30 - 15] = 250 + 15 \cdot 1,5 + 612,5 = 885 \\ [30, 15] + [15 + 30 - 30] = 250 + 15 \cdot 1,5 + 545 = 817,5 \\ [45, 15] + [15 + 30 - 45] = 250 + 15 \cdot 1,5 + 522,5 = 795 \end{cases}$$

3. korak:

$$30 + 30 - 30 \leq nabava(4) \leq 30 + 30$$

$$30 \leq nabava(4) \leq 60$$

$$f(4)[30] \rightarrow \min \begin{cases} [30, 30] + [30 + 30 - 30] = 250 + 30 \cdot 1,5 + 612,5 = 907,5 \\ [45, 30] + [30 + 30 - 45] = 250 + 30 \cdot 1,5 + 545 = 840 \\ [60, 30] + [30 + 30 - 60] = 250 + 30 \cdot 1,5 + 522,5 = 817,5 \end{cases}$$

Izvor: Krnetić (2019, str. 28-31)

U Tablici 2 dana su rješenja problema nabave u svakom koraku za sva četiri analizirana razdoblja.

Tablica 2: Rješenja problema nabave proizvoda

l	$Q(1)$	$f(1)$	$Q(2)$	$f(2)$	$Q(3)$	$f(3)$	$Q(4)$	$f(4)$
0	30		0	272,5	45	522,5	0	612,5
15	45		0	317,5	60	545	45	795
30	60		45	545	60	612,5	60	817,5

Izvor: Krnetić (2019, str. 31)

Ukupne troškove cijelog nabavnog procesa u koje su uključeni ukupni troškovi naručivanja i troškovi skladištenja računaju se prema formuli (3) i njihov prikaz dan je u Tablici 3. Ukupni troškovi naručivanja proizvoda iznose 500,00 EUR, pri čemu su ukupni troškovi skladištenja 112,5 EUR iz čega proizlazi da su ukupni troškovi cjelokupnog nabavnog procesa za 4 razdoblja 612,5 EUR.

Tablica 3: Ukupni troškovi nabave proizvoda

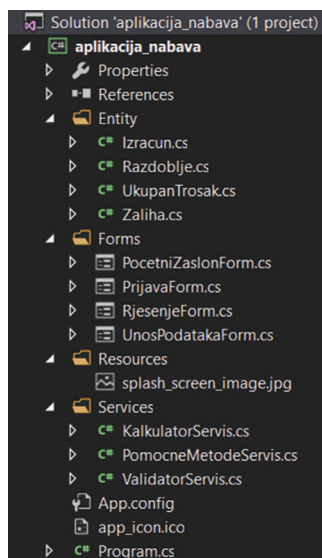
Razdoblje	Zalihe	Nabava	Potražnja	Zalihe	Troškovi naručivanja	Troškovi skladištenja
1	0	60	30	30	250	45
2	30	0	15	15	-	22,5
3	15	60	45	30	250	45
4	30	0	30	0	-	0
			Ukupno		500	112,5
			Sveukupno		612,5	

Izvor: Krnetić (2019, str. 32)

4. PROGRAMSKO RJEŠENJE PROBLEMA NABAVE PROIZVODA

Programsko rješenje problema nabave proizvoda primjenom algoritma dinamičkog programiranja realizirano je u obliku desktop aplikacije (eng. Windows Forms) u programskom jeziku C#.

Slika 1 prikazuje strukturu projekta programske aplikacije za rješavanje problema nabave. Direktorij „Entity“ sadrži entitete odnosno osnovne nositelje podataka korištenih kroz aplikaciju. Direktorijem „Forms“ obuhvaćene su forme prikazane kroz aplikaciju. Unutar direktorija „Services“ nalaze se pomoćni servisi koji obuhvaćaju osnovni dio logike algoritma dinamičkog programiranja za rješavanje problema nabave. Direktorij „Resources“ sadrži sliku početnog zaslona prilikom učitavanja aplikacije. Bazna klasa „Program“ koja inicijalizira početnu formu i pokreće aplikaciju nalazi se izvan navedenih direktorija.

Slika 1: Struktura projekta programske aplikacije za rješavanje problema nabave

Izvor: Krnetić (2019, str. 33)

4.1. Vizualni prikaz aplikacije

Vizualan prikaz aplikacija sastoji se od četiri korisnička zaslona. Za vrijeme učitavanja aplikacije prikazuje se „PocetniZaslonForm“ (Slika 2).

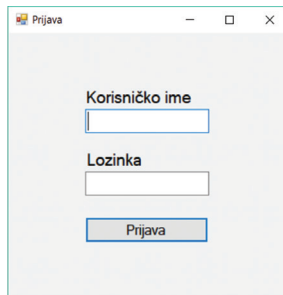
Slika 2: Prvi korisnički zaslon



Izvor: Krnetić (2019, str. 44)

Nakon što se aplikacija učita, korisnik se preusmjerava na drugi korisnički zaslon, zaslon za prijavu u aplikaciju (Slika 3) za što su potrebni korisničko ime i lozinka.

Slika 3: Prijava u aplikaciju

A screenshot of a login window titled "Prijava". It contains two input fields: "Korisničko ime" and "Lozinka". Below the fields is a button labeled "Prijava".

Izvor: Krnetić (2019, str. 44)

Ako korisnik unese pogrešne podatke za prijavu, ispisuje se poruka upozorenja o pogrešci. Ispravnom prijavom, u zaslon se unose ulazni parametri za rješavanje problema nabave, što je prikazano na Slici 4 te se pritiskom na gumb „Izračunaj“ provjerava jesu li svi relevantni podaci upisani i prikazuje se rješenje problema (Slika 5).

Slika 4: Zaslona za unos ulaznih podataka za rješavanje problema nabave

Izvor: Krnetić (2019, str. 45)

Slika 5: Zaslona za prikaz rješavanje problema nabave

Tablica rješenja problema nabave:

Zalihe I(i)	Q(1)	f(1)	Q(2)	f(2)	Q(3)	f(3)	Q(4)	f(4)
0	30	250	0	272,5	45	522,5	0	612,5
15	45	272,5	0	317,5	60	545	45	795
30	60	295	45	545	60	612,5	60	817,5

Tablica kretanja količina tijekom promatranih razdoblja:

Razdoblje (i)	Zalihe I(i-1)	Nabava Q(i)	Potražnja D(i)	Zalihe I(i)	Trošak nabave Cp(i)	Trošak zaliha Ch(i)
1	0	60	30	30	250	45
2	30	0	15	15	0	22,5
3	15	60	45	30	250	45
4	30	0	30	0	0	0

Ukupan trošak nabave: 500 UKUPNO: 612,5
 Ukupan trošak zaliha: 112,5

Izvor: Krnetić (2019, str. 46)

Korisnik aplikacije se može vratiti na prethodni zaslon za unos ulaznih podataka. Klik na gumb „Natrag“ pohranjuje prethodno unijete ulazne podatke, dok klik na gumb „Novi izračun“ uklanja postojeće podatke te je potreban ponovni upis podataka.

5. ZAKLJUČAK

U ovom je radu na klasičan računski način te uz pomoć novoizrađene programske aplikacije prikazana primjena metode dinamičkog programiranja za nabavu jednog od prijeko potrebnih proizvoda kojeg svakodnevno koriste zaposlenici poduzeća Q d.o.o. Prikazom primjera primjene metode dinamičkog programiranja uvidjelo se da ona omogućuje detaljan uvid u stanje zaliha, količine nabave kao i izračun troškova naručivanja i skladištenja za sva razdoblja za koje postoji potreba za analizom. Iz prikaza u radu je vidljivo da se podaci dobiveni klasičnim računskim postupkom i podaci dobiveni pomoću programske aplikacije ne razlikuju, na temelju čega se može zaključiti da je prezentirano programsko rješenje problema nabave realizirano u obliku samostojeće aplikacije pouzdano te da svakom korisniku prilikom primjene omogućuje jednostavno i brzo rješavanje problema vezanih uz nabavu u mnogobrojnim realnim situacijama s kojima se poduzetnici i poduzeća susreću u svakodnevnim poslovnim situacijama, a posebice prilikom kratkoročnog, srednjoročnog ili dugoročnog strateškog planiranja.

SOFTWARE SOLUTION OF PROCUREMENT PROBLEM - DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH

Nikolina Žajdela Hrustek

University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics
Pavlinska 2, 42000 Varaždin
E-mail: nikolina.zajdela@foi.unizg.hr

Damira Keček

University North
Trg dr. Žarka Dolinara 1, 48000 Koprivnica
E-mail: dkecek@unin.hr

Bruno Krnetić

E-mail: bk18yrs@gmail.com

ABSTRACT

Today, at a time of pronounced disruptions in supply chains due to a series of unfavorable circumstances such as war, natural disasters and shortages of raw materials and energy, adequate procurement management is one of the key goals that almost every entrepreneur or company strives to achieve. The aim of this paper is to present the application of the dynamic programming method for solving the procurement problem and to present the programming solution created for solving the procurement problem using the above method. Dynamic programming is a special mathematical method used for system optimization problems in such a way that the identified problem is broken down into several simpler subproblems. The paper also presents the functionality of the created software application with a built-in dynamic programming algorithm on the example of solving the problem of procuring a much-needed product in a project-oriented company. The use of dynamic programming as a tool and program support can be used to solve different classes of problems related to adequate inventory management, given that it provides detailed insight into the state of inventory, which greatly facilitates procurement planning and insight into possible costs associated with procurement.

Keywords: *dynamic programming; supplies; procurement problem; software solution*

LITERATURA

1. Briš Alić, M., Grubišić, D., Kaštelan Mrak, M., Martinović, M., Prester, J. i Vretenar, N. (2022). *Operacijski menadžment*. Osijek : Rijeka : Split : Zagreb: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Ekonomski fakultet u Osijeku; Sveučilište u Rijeci , Ekonomski fakultet; Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet; Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:192:764199> (1.12.2023.).
2. Bradley, S. P., Hax, A. C. i Magnanti, T. L. (1977). *Applied Mathematical Programming*. Addison-Wesley Publishing Company.
3. Dobrenić, S. (1978). *Operativno istraživanje*. Fakultet organizacije i informatike, Varaždin.
4. Ferišak, V. (2006). *Nabava: politika, strategija, organizacija, management*, 2. aktualizirano i dopunjeno izdanje, vlastita naklada., Zagreb.
5. Ferišak, V. i Stihović, L. (1989). *Nabava i materijalno poslovanje*, Informator, Zagreb.
6. Hillier, F. S. i Lieberman, G. J. (2015). *Introduction To Operations Research*, 10ed. McGraw-Hill.
7. Jacobs, F.R. i Chase, R.B. (2018). *Upravljanje operacijama i lancem opskrbe*, MATE, Zagreb.
8. Krnetić, B. (2019). Korištenje metode dinamičkog programiranja u rješavanju problema nabave. Diplomski rad. Fakultet organizacije i informatike, Varaždin.
9. Krpan Lj., Maršanić, R., Jedvaj V. (2014). Upravljanje zalihama materijalnih dobara i skladišno poslovanje u logističkoj industriji. *Tehnički glasnik*, 8(3), 269-277.
10. Majstorović, V. (2001). *Upravljanje proizvodnjom i projektima*, Sveučilište u Mostaru, Mostar.
11. Russell, R. S. i Taylor-III, B. W. (2008). *Operations management along the supply chain*, John Wiley & Sons.
12. Šafran, M. (2021). *Osnove upravljanja zalihama*, Sveučilište u Zagrebu: Fakultet prometnih znanosti.
13. Q Alliance. (2018). Q promotivna brošura, Zagreb.