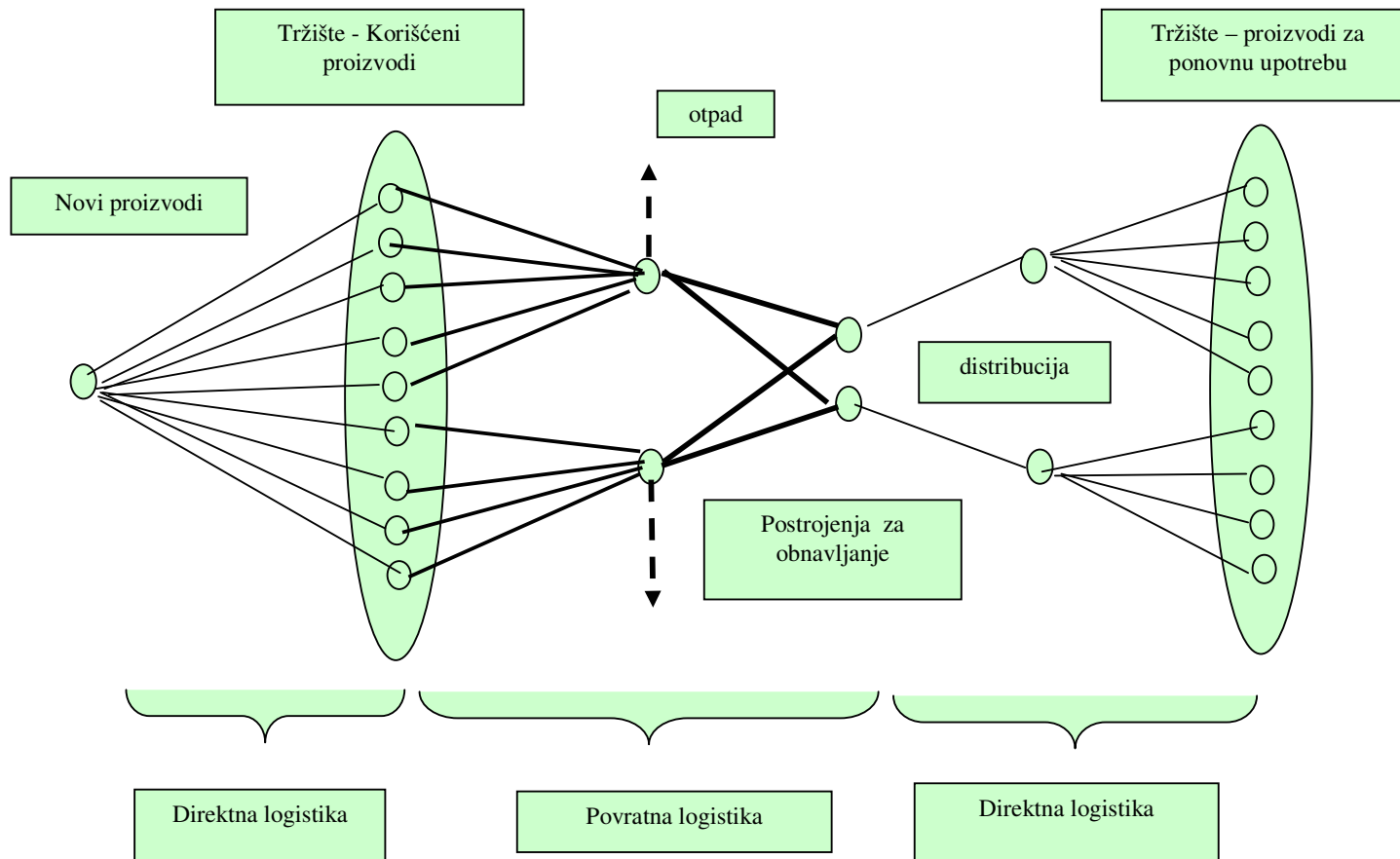


PROBLEMI U PROJEKTOVANJU POVRATNO LOGISTIČKIH MREŽA

GRANICE POVRATNO LOGISTIČKE MREŽE



Struktura povratno logističke mreže (Fleischmann, 2003)

- Prikazana struktura se može okarakterisati kao "many-to-many" distributivna mreža.
 - ✓ Unutar ovog layout-a može se primetiti **konvergentni deo** koji odgovara funkciji sakupljanja i akvizicije i
 - ✓ **divergentni deo** koji predstavlja distributivnu funkciju.
 - ✓ **Središnji deo** mreže predstavlja procese transformacije proizvoda i zbog toga sama struktura mreže uveliko zavisi od vrste procesa.
- Može se reći da samo konvergentni deo mreže odgovara povratnim logističkim procesima i da to u suštini predstavlja tradicionalno proizvodno-distributivnu mrežu. Međutim ovakav način razdvajanja može ugroziti sveobuhvatnu analizu pošto su različiti tokovi proizvoda veoma usko isprepletani.
- Postoji i nekoliko klasifikacija povratno logističkih mreža predloženih od strane nekoliko autora. Prva klasifikacija se fokusira na strukturu povratnih kanala i na uloge različitih učesnika.
- Fuller i Allen (1995) daju sledeću klasifikaciju:
 - ✓ Integrisani proizvođački sistemi
 - ✓ Sistemi za transport otpada
 - ✓ Specijalizovane dilersko-procesne povratne sisteme
 - ✓ Sistemi maloprodaja-veleprodaja
 - ✓ Privremene sisteme
- Bloemhof-Ruward, Salomon (1997) i Fleischmann (2000) klasifikuju povratno logističke mreže prema obliku procesa obnavljanja:
 - ✓ Mreže za ponovnu proizvodnju
 - ✓ Reciklažne mreže

- ✓ Mreže za direktnu ponovnu upotrebu
- Fleischmann(2003) u ovu klasifikaciju uvodi i pojam posedovanja procesa obnavljanja (OEM- Original Equipment Manufacturer) kao i same motive procesa obnavljanja (ekonomija vs. zakonodavstvo).Bazirano na ovim analizama autori predlažu sledeću klasifikaciju povratno logističkih mreža:
 - ✓ Mreže za obavezan povratak proizvoda nazad
 - ✓ OEM mreže za obnavljanje dodatne vrednosti
 - ✓ Mreže za ponovnu proizvodnju
 - ✓ Reciklažne mreže za obnavljanje materijala
 - ✓ Mreže za ponovno punjenje kontenera

KARAKTERISTIKE POVRATNO LOGISTIČKIH MREŽA

- Strateške odluke projektovanja vezana za same granice povratno logističke mreže uključuju izbor metode sakupljanja/akvizicije, lokacije i kapaciteta procesa sortiranja i ponovne prerade i odgovarajućih pufera zaliha kao i definisanje različitih transportnih veza.
- Kada se ovi zadaci uporede sa projektovanjem konvencionalne proizvodno-distributivne mreže struktura mreže se ističe kao najočigledniji diskriminišući faktor. Kao što je gore navedeno, struktura povratno logističke mreže ima formu "many-to-many" koja se sastoji od divergentnog i konvergentnog dela, dok su proizvodno distributivne mreže tipično predstavljene kao "few-to-many" divergentne strukture.

- Sledeća tri faktora su specifična za povratno logističke mreže:
 - ✓ Neizvesnost (nesigurnost) snabdevanja
 - ✓ Step centralizacije procesa testiranja i sortiranja
 - ✓ Međusobna povezanost direktnih i povratnih tokova
- U tradicionalnom lancu snabdevanja zahtev se tipično posmatra kao glavna nepoznanica. U povratnoj logistici se i snabdevanje posmatra kao dodatna nesigurnost.
- Korišćeni proizvodi su mnogo manje standardizovani input nego tradicionalne komponente snabdevanja ili sirovine. Kvalitet, količina i vreme povratka proizvoda se generalno nikada ne znaju i zato su teški za upravljanje.
- Potreba za operacijama testiranja i sortiranja u povratnoj logistici je direktna posledica nesigurnosti snabdevanja. Step centralizacije u ovoj fazi ima suštinski uticaj na potrebe za transportom u povratno logističkoj mreži i predstavlja predmet balansiranja: testiranje prethodno sakupljenih proizvoda u samom povratnom kanalu može smanjiti ukupno transportno rastojanje pošto ispitani proizvodi mogu biti direktno poslani ka odgovarajućem sistemu obnavljanja, a ovakav pristup obezbeđuje redukovanje transporta bezvrednog otpada.
- Sa druge strane, troškovi investicija za na primer najsavremeniju opremu za testiranje ili posebno obučenu radnu snagu mogu zahtevati centralizaciju operacija testiranja i sortiranja. U tradicionalnim proizvodno distributivnim mrežama ne postoji direktan ekvivalent ovom problemu.

- Još jedna značajna karakteristika povratno logističkih mreža tiče se potencijalne sinergije između različitih tokova proizvoda. Dok tradicionalne distributivne mreže funkcionišu u jednom smeru, closed loop lanci obuhvataju višestruke tokove dolaska i odlaska robe ukrštajući sopstvene putanje.
- Kao logično rešenje se nameće. Na primer, integrisanje sakupljanja korišćenih proizvoda sa distributivnom funkcijom može dovesti do redukovanja praznih vožnji. Slično, integrisanje operacija povratnog i direktnog kanala u istom objektu redukuje prekomerne troškove. Međutim ove mogućnosti integracije postavljaju i pitanje kompatibilnosti. Naime closed loop supply chains nisu projektovani kao celina, ali se mogu realizovati dodavanjem aktivnosti povratne logistike postojećoj distributivnoj mreži.
- Još uvek nije jasno da li ovakav sekvencijalni pristup predstavlja dobro rešenje ili se u mora uzeti u razmatranje integralni redizajn celokupne closed loop mreže.

LOKACIJSKI MODELI PROJEKTOVANJA POVRATNO LOGISTIČKE MREŽE

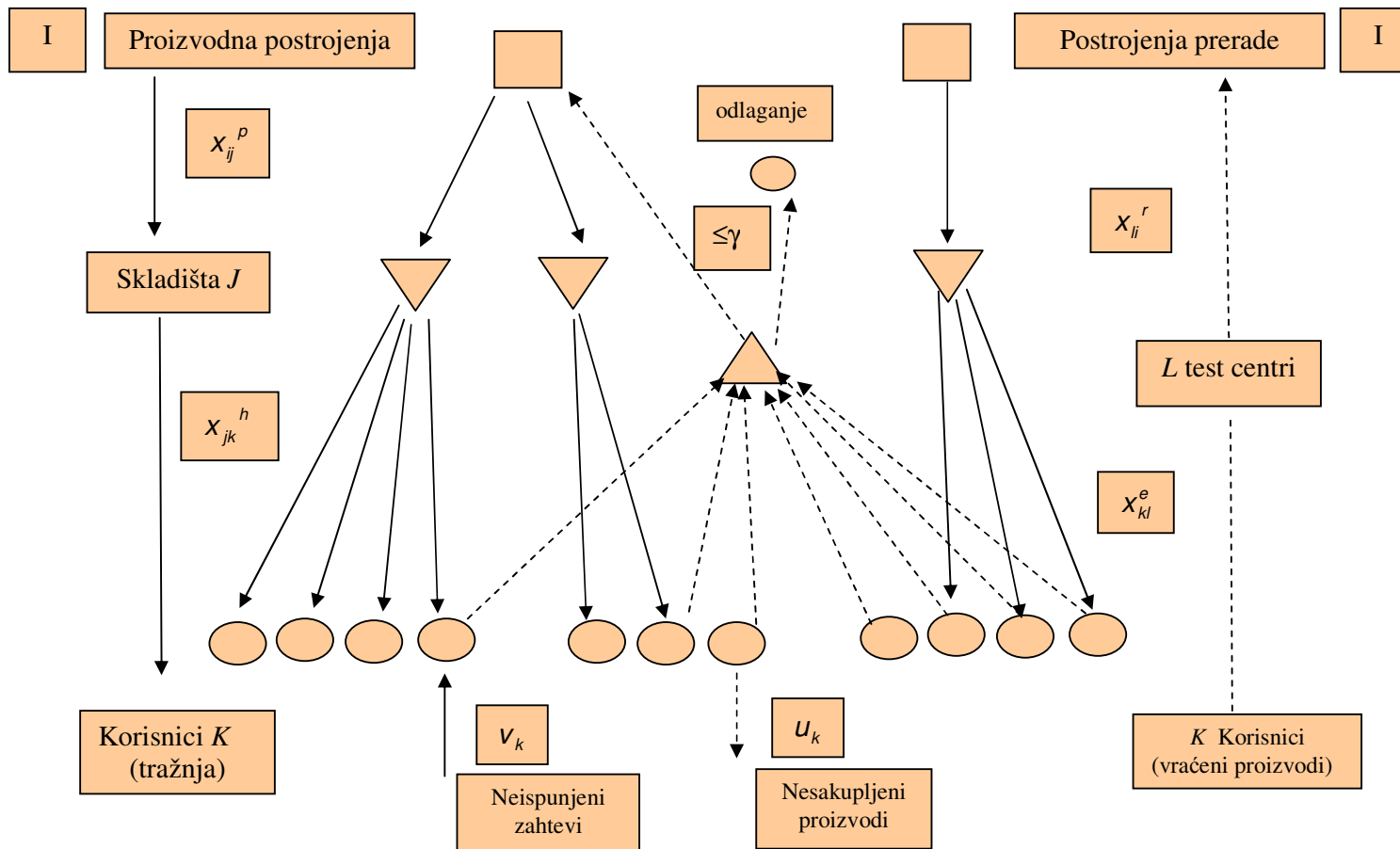
- Najširi pristup pri projektovanju logističke mreže, u različitim kontekstima, najčešće je fokusiran na lokaciju postrojenja (objekta), baziran na mixed integer linearnom programiranju (MILP). Tokom poslednjih par dekada pojavio se veliki broj radova koji se bave lokacijskim modelima, od najjednostavnijih modela lokacije objekta bez ograničenja do veoma kompleksnih modela koji imaju višestruka ograničenja.
- Istovremeno, predložena su rešenja za rešavanje ovih modela u vidu veoma moćnih algoritama koji se oslanjaju na teoriju kombinatorne optimizacije.
- MILP lokacijski modeli predstavljaju polaznu tačku za kvantitativan pristup projektovanju povratno logističke mreže. U tabeli u nastavku, dat je pregled literature koja se bavi ovim problemom.

Gurana (push) tražnja	Vučena (pull) potražnja
<i>Integrisana mreža</i> Kroon i Vrijens (1995) Thierry (1997) Spengler et al. (1997) Barros et al. (1998) Marin i Pelegrin (1998) Fleischmann et al. (2001)	Realf et al. (1999) Jayaraman et al. (1999)
<i>Povratna mreža</i> Berger i Debaillie (2001)	Krikke et al. (1999)

Lokacijski modeli u povratnoj logistici

OSNOVNI LOKACIJSKI MODEL

- MILP formulacija problema projektovanja povratno logističke mreže predstavljena je na varijanti modela koji je predložio Fleischmann (2001)



STRUKTURA MODELA MREŽE ZA OBNAVLJANJE PROIZVODA (FLEISCHMANN 2001)

- U navedenoj postavci, model ima 3 nivoa objekata koje posmatramo za jednu vrstu proizvoda (centre za testiranje, proizvodna i preradna postrojenja i distributivna skladišta) a uključuje dva načina postupanja sa proizvodima nakon upotrebe – tok konačnog odlaganja proizvoda (odlaganja na deponije) i tok proizvoda koji su predviđeni za obnavljanje, gde je opcija obnavljanja ograničena na određenu vrednost maksimalnog profita.
- MILP formulacija problema koriste se sledeće oznake:

Skup indeksa

- I – skup potencijalnih lokacija postrojenja
- J – skup potencijalnih lokacija skladišta
- K – skup fiksnih lokacija korisnika
- L – skup potencijalnih lokacija skladišta

Promenljive

- y_i^p - pokazatelj otvaranja postrojenja $i \in I$
- y_j^h - pokazatelj otvaranja skladišta $j \in J$
- y_l^r - pokazatelj otvaranja test centra $l \in L$
- x_{ij}^p - tok proizvoda od postrojenja i do skladišta j (u jedinicama proizvoda)
- x_{jk}^h - tok proizvoda od skladišta j do korisnika k (u jedinicama proizvoda)

X_{kl}^c - tok proizvoda od korisnika k do centra za testiranje l (u jedinicama proizvoda)

X_{li}^r - tok proizvoda od test centra l do postrojenja i (u jedinicama proizvoda)

V_k - neispunjen zahtev korisnika k (u jedinicama proizvoda)

U_k - preobimno snabdevanje korišćenih proizvoda od strane korisnika k (u jed.proizvoda)

Troškovi

f_i^p - godišnji fiksni troškovi otvaranja fabrike $i \in I$

f_j^h - godišnji fiksni troškovi otvaranja skladišta $j \in J$

f_l^r - godišnji fiksni troškovi otvaranja centra za testiranje $l \in L$

C_{ij}^p - suma jediničnih troškova proizvodnje u postrojenju i i transportnih troškova od postrojenja i do korisnika j

C_{jk}^h - suma jediničnih troškova rukovanja i skladištenja u skladištu j i transportnih troškova od skladišta j do korisnika k

C_{kl}^c - suma jediničnih transportnih troškova od korisnika k do test centra l i troškova testiranja, inspekcije i odlaganja

C_{li}^r - suma jediničnih transportnih troškova od test centra l do postrojenja i i razlike troškova ponovne obrade i troškova proizvodnje

c_k^b - jedinični troškovi penala za neispunjenje zahteva korisnika k

c_k^0 - jedinični troškovi penala za nesakupljanje vraćenih proizvoda od korisnika k

Parametri

d_k - godišnja ponuda (snabdevanje) korisnika $k \in K$ (u jedinicama proizvoda)

u_k - godišnji povratak korišćenih proizvoda od korisnika $k \in K$ (u jedinicama proizvoda)

γ - prosečan prihod od opcija obnavljanja

-
 p_i - god.kapacitet postrojenja $i \in I$

-
 h_j - god.kapacitet skladišta $j \in J$

-
 r_l - god.kapacitet test centra $l \in L$

FORMULACIJA OPŠTEG MODELA ZA PROJEKTOVANJE POVRATNO LOGISTIČKE MREŽE (REVERSE LOGISTICS NETWORK DESIGN – RLND)

$$\min \sum_{i \in I} f_i^p Y_i^p + \sum_{j \in J} f_j^h Y_j^h + \sum_{l \in L} f_l^r Y_l^r + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij}^p X_{ij}^p + \sum_{k \in K} (c_k^b v_k \sum_{j \in J} c_{jk}^h X_{jk}^h +$$

$$\sum_{k \in K} (c_k^0 U_k + \sum_{l \in L} c_{kl}^c X_{kl}^c) + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} c_{li}^r X_{li}^r$$

gde je

$$\sum_{j \in J} X_{jk}^h + V_k = d_k \quad \forall k \in K \quad (1.2)$$

$$\sum_{l \in L} X_{kl}^c + U_k = u_k \quad \forall k \in K \quad (1.3)$$

Ograničenja 1.2 i 1.3 omogućavaju da svi zahtevi korisnika i svi vraćeni proizvodi budu uključeni u model.

$$\sum_{j \in J} X_{ij}^p = \sum_{k \in K} X_{jk}^h \quad \forall j \in J \quad (1.4)$$

$$\sum_{l \in L} X_{li}^r \leq \sum_{j \in J} X_{ij}^p \quad \forall i \in I \quad (1.5)$$

$$\sum_{i \in I} X_{li}^r \leq \gamma \sum_{k \in K} X_{kl}^c \quad \forall l \in L \quad (1.6)$$

Ograničenja 1.4, 1.5 i 1.6 predstavljaju ograničenja na nivou postrojenja, skladišta i centra za testiranje. Na nivou skladišta potrebno je izjednačiti dolazne i odlazne tokove. Na nivou postrojenja potencijalna proizvodnja odgovara proizvodnji novih proizvoda, odnosno količini iz test centra, a količina proizvoda ograničena je i profitom od obnavljanja te uzima u obzir i obimu odlaganja proizvoda

$$\sum_{j \in J} X_{ij}^p \leq \bar{p}_i Y_i^p \quad \forall i \in I \quad (1.7)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij}^p \leq \bar{h}_j Y_j^h \quad \forall j \in J \quad (1.8)$$

$$\sum_{k \in K} X_{kl}^c \leq \bar{r}_l Y_l^r \quad \forall l \in L \quad (1.9)$$

I na kraju jednačine 1.7,1.8 i 1.9 predstavljaju ograničenja u kapacitetima i uslove otvaranja objekata.

$$Y_i^p, Y_j^h, Y_l^r \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (1.10)$$

$$X_{ij}^p, X_{jk}^h, X_{kl}^c, X_{li}^r, u_k, v_k \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L, k \in K \quad (1.11)$$

U cilju bržeg pronalaženja rešenja gornjoj formulaciji dodaju se sledeće nejednakosti :

$$X_{jk}^h \leq \min\left(d_k, \bar{h}_j\right) Y_j^h \quad \forall j \in J, k \in K \quad (1.12)$$

$$X_{kl}^c \leq \min\left(u_k, \bar{r}_l\right) Y_l^r \quad \forall k \in K, l \in L \quad (1.13)$$

- Opisani pristup predstavlja opšti model i može obuhvatiti veliki broj različitih situacija u povratnoj logistici. Na primer ovim modelom mogu se predstaviti i **closed-loop** i **open loop** strukture, a razlika je u postavci parametara d_k i u_k . Closed loop struktura je okarakterisana sa $d_k * u_k > 0$ za najmanje jednog korisnika k. Motivi za sakupljanje korišćenih proizvoda bilo da su oni gurani ili vučeni se reflektuju u različitim troškovima penala c_k^0 .
- Matematički se gornja formulacija problema ne razlikuje mnogo od multi ešalonskih lokacijskih problema u tradicionalnom proizvodno distributivnom kontekstu. Poseban aspekt je stavljen na parametre d_k i u_k , koji su međusobno povezani različitim uslovima za izjednačavanje što se reflektuje na povratnu logistiku u smislu povezivanja tržišnih uslova na strani ponude i potražnje.
- Treba još spomenuti element uveden pomoću uslova profita (koristi) u jednačini 1.6 a daje dodatni stepen slobode.

Proširenja modela

➤ RLND (Reverse Logistics Network Design) model može biti proširen na nekoliko različitih načina.

✓ **Integrisanje direktnih i povratnih kanala u objektu**

Kao što je već spomenuto, integracija vs.razdvajanje različitih procesa predstavlja veoma značajan problem u povratnoj logistici.Na primer lociranje skladišta i centra za testiranje na istoj lokaciji omogućava korišćenje zajedničke fiksne opreme i time se održava ekonomija obima.U modelu se ovo može predstaviti uvođenjem dodatnih promenjivih za kombinovana postrojenja.

✓ **Integrisanje direktnih i povratnih transportnih tokova**

Prilikom kombinovanja transportnih ruta robe koja se otprema do korisnika i robe koja se vraća nazad dolazi do slične sinergije kao i gore navedenom primeru.U modelu može biti predstavljeno uvođenjem dodatnih promenjivih tokova a koji predstavljaju simultane tokove u oba pravca između dve lokacije.

✓ **Razdvajanje zahteva za novim i obnovljenim proizvodima**

Gore navedena formulacija problema uključuje samo jednu klasu zahteva,koji mogu biti ispunjeni ili kroz novu proizvodnju ili obnavljanje.Kao alternativu imamo mogućnost za razdvajanje tržišta novih i proizvoda koji su reparirani.U suštini ovakav pristup podrazumeva eksplicitno uključivanje levog dela mreže predstavljene na slici 1.Matematički ovaj pristup predstavlja formulaciju mreže sa tokovima više artikala.

✓ **Višestruke opcije obnavljanja proizvoda**

Gore navedena formulacija koristi najosnovniju strategiju obnavljanja tako da razlikujemo dva povratna mesta odlaganja proizvoda – internu obnovu proizvoda i eksterno odlaganje.