

LUKE I PRISTANIŠTA

VJEŽBA BR.5 - DODATAK

PRISTANIŠTE

OPTIMIZACIJA BROJA PRETOVARNIH MJESTA I DUŽINE KEJSKOG ZIDA DIMENZIONISANJE PRISTANIŠTA

Opšte informacije o pristaništu

Pristanište predstavlja manju manipulativnu površinu na kopnu sa pripadajućim vodenim prostorom, koja služi za pristajanje i kraće zadržavanje turističkih i teretnih brodova.

Osnovni elementi pristaništa na unutrašnjim vodnim saobraćajnicama su:

- akvatorija – vodeni dio pristaništa,
- teritorija – suvozemni dio pristaništa,
- operativna obala.

Podjela pristaništa prema namjeni:

- teretna pristaništa,
- putnička pristaništa,
- pristaništa posebne namjene (vojna pristaništa, itd.).

Podjela pristaništa prema vrsti plovnog puta na kom se nalaze:

- rječna pristaništa (karakterise ih prirodni režim vodostaja i proticaj plovnog puta na kome se nalaze, te njihov rad zavisi od oscilacija nivoa vodnog ogledala),
- pristaništa na plovnim kanalima (manje su izložena oscilacijama nivoa i najčešće se izvode u vidu bazena izgrađenog u obali zbog nedovoljne širine kanala),
- pristaništa na kanalisanim rijekama (glavna karakteristika je što oscilacije nivoa pored prirodnih uslova, zavise i od uslova energetskog i drugog korišćenja kanalskih vodotoka),
- rječno-morska pristaništa (izložena su uticajima hidrološkog režima rijeke, kao i režima plime i osjeke samog mora).

Podjela pristaništa prema dispoziciji na plovnoj saobraćajnici:

- na otvorenoj obali (imaju veliku dužinu u odnosu na druge dimenzije; grade se na plovnim putevima dovoljne širine, jer pored površine za obavljanje pretovara, potrebno je obezbijediti i širinu za normalno odvijanje plovidbe),
- bazensko pristanište (grade se u vidu bazena vrlo različitih oblika i dimenzija; zahtijevaju veću intervenciju u toku gradnje zbog velikih zemljanih i drugih pripremni radova; glavna prednost je zaštićenost pristaništa u odnosu na rječni tok, a nedostatak su visoki troškovi gradnje),
- kombinovano pristanište.

Na ovom predmetu se akcenat stavlja na teretnim pristaništima. Osnovna funkcija tog tipa pristaništa jeste da obezbijedi što jeftiniji i efikasniji pretovar, unutrašnji i korespodentni prevoz, skladištenje, oblikovanje i kontrolu tereta.

Akvatorija – služi za obavljanje pretovarnih operacija sa robom koju treba utovariti ili istovariti iz plovila.

Teritorija – obuhvata neposrednu površinu u užoj zoni pristaništa i van nje. Na teritoriji u užoj zoni pristaništa se nalaze operativni dio, skladišni dio i saobraćajnice. U širu zonu spadaju površine pod pristupnim saobraćajnicama, izvjesni djelovi carinske zone i eventualno fabrike za preradu nekih vrsta roba koje dolaze na pristanište. Dimenzije zavise od: vrste terminala, robnih tokova, vrste i broja prevoznih sredstava, rasporeda i dimenzija skladišta, itd.

Operativna obala – predstavlja granicu između akvatorije i teritorije. Ona je dio obale gdje se vrše operacije pretovara i najčešće je oblikovana u vidu kejskog zida. Svrha ovako izgrađene obale jeste njeno fiksiranje i omogućavanje prilaska plovila tokom cijelog navigacionog perioda, kao i zaštita obale od erozionog dejstva vode i talasa. Najzastupljeniji oblik operativne obale, zapravo jeste kejski zid. U poprečnoj projekciji kejski zid može biti vertikalni, kos, polukos, poluvertikalni, stepenast. Od vrste kejskog zida može zavisi način opsluživanja plovila u pristaništima, kao i njihovo vrijeme provedeno pod robnim operacijama. U pogledu pretovara najpovoljniji je vertikalni kejski zid jer se položaj plovila ne mijenja sa promjenom vodostaja, dok je najmanje podesan kosi kejski zid, posebno pri velikim oscilacijama vodostaja. Kosi kejski zid, međutim, zahijeva najmanje investicije pri izgradnji.

Da bi izdefinisali dužinu operativne obale, a samim tim i dužinu pristaništa, potrebno je prvenstveno analizirati sistem i parametre opsluživanja.

1. Parametri sistema opsluživanja

n_{pl} – broj plovila koji se može očekivati u pristaništu u toku jednog mjeseca

$\lambda = \overline{n_{pl}}$ – *intenzitet toka dolazaka*; prosječni broj prispjelih plovila u jedinici vremena (1/mj). Nailazak plovila je slučajnog karaktera, jer ona dolaze sa raznih strana, prelaze različita odstojanja, a na brzinu plovidbe utiče niz faktora, kao što su vjetrovi, magla, niski vodostaji, usputno zadržavanje itd.

μ – *intenzitet opsluživanja*; prosječni broj istovarenih plovila u jedinici vremena (mjesec dana). Vrijeme istovara svakog plovila je takodje slučajna promjenljiva koja zavisi od nosivosti plovila, vrste tereta, vrste i kapaciteta pretovarne mehanizacije na pretovarnom mjestu i drugih okolnosti. Da bi se odredila vrijednost ovog parametra, moraju se definisati vrsta i kapacitet pretovarne mehanizacije.

Potrebno je usvojiti bruto nosivost dizalice $q_{br}(t)$. Odgovarajuća neto nosivost dizalice $q_n(t)$ se računa:

$$q_n = \begin{cases} \rho_z * V_g - \text{rasuti teret}, \\ 0.5 * q_{br} - \text{komadni teret} \end{cases}$$

gdje je ρ_z – zapreminska masa tereta (t/m^3), V_g – zapremina zahvatnog uređaja – grabilice (m^3).

Pri izboru zahvatnog uređaja mora se voditi računa da zbir njegove mase (m_g) i mase tereta ($\rho_z * V_g$) ne može biti veći od bruto nosivosti dizalice: $\rho_z * V_g + m_g < q_{br}$.

Tip dizalice	Nosivost [t]	Dužina strele [m]	Vrsta operacije i energija				Ukupna energija [kW _s]
			Dizanje tereta [kW _s]	Okretanje strele [kW _s]	Promena dometa [kW _s]	Kretanje portala [kW _s]	
Portalna	3	25	1350	480	270	200	2300
	3	30	1350	660	270	220	2500
	5	25	2000	1020	510	180	3710
	5	30	2000	1140	570	360	4070
Mostovska	7	11	4000	280	-	225	4505
	7	20	4000	280	-	525	4805

Grabilice		
Zapremina [m ³]	Visina [m]	Neto masa [t]
0.77	2.05	1.65
1.13	2.25	2.05
1.54	2.40	2.30
2.00	2.50	3.15
2.48	2.86	4.15

Vrsta tereta	Način pakovanja	Masa paketa [kg]	Visina skladištenja [m]	Zapreminska masa [t/m ³]	Specifično opterećenje [t/m ²]
Žito	Džak	80	4.5	0.55-0.75	2.5-3.4
Cement	Džak	50	1.6	1.00	1.60
Opeka	-	2.5-3.0	1.2	1.10	1.30
Metali	-	-	1.5-3.0	1.0-5.0	0.5-0.8
Voće	Sanduk	-	1.0-3.0	0.5-0.7	1.5-1.6
Pamuk	Bale	120-200	5.0	0.32-0.38	1.6-1.9
Hartija	Rolne	100-300	2.0	0.4-0.5	1.0
Žito	Rasuto	-	≤4.0	0.4-0.8	1.5-3.5
Pesak	Rasuto	-	9.5-14.0	1.4-2.0	6.5-8.5
Kamen	Rasuto	-	≤3.5	1.6-2.2	≤7.0
Ugalj	Rasuto	-	3.0	0.8-0.9	≤2.7
Gvozdena ruda	Rasuto	-	6.0	1.3	7.8
Boksit	Rasuto	-	≤6.0	1.26	7.6
Ostale rude	Rasuto	-	3.5-5.0	1.5-2.7	7.5
Rezana gradja	Rasuto	-	≤ 6.0	0.45-0.65	≤4.0
Oblo drvo	Rasuto	-	≤12.0	0.6	7.2
Ogrevno drvo	Rasuto	-	2.0	0.5-0.6	1.0-1.2

Prosječni kapacitet dizalice u t/h iznosi:

$$Q_{diz} = q_n \frac{3600}{T_c} * \eta_{diz}$$

gdje je q_n – neto nosivost dizalice (t), T_c – trajanje radnog ciklusa (s), η_{diz} – redukcionni koeficijent (0.7-0.9).

Kapacitet dizalice na mjesečnom nivou računa se množenjem časovnog kapaciteta Q_{diz} sa brojem radnih sati u mjesecu, odnosno sa $T_{dn} * T_{mj}$, gdje je T_{dn} (h/dan) broj radnih sati po dani (16h u dvije smjene), a T_{mj} (dan/mj) broj radnih dana u mjesecu (30).

Ako se uzme u obzir da se na svakom pretovarnom mjestu nalazi jedna dizalica, prosječni mjesečni kapacitet dizalice je istovremeno i prosječni mjesečni kapacitet pretovarnog mjesta:

$$Q_{diz} = Q_{pm}$$

Intenzitet opsluživanja iznosi:

$$\mu = \frac{Q_{pm}}{G_{pl}}$$

A faktor opterećenja sistema:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Kapacitet dizalice i parametri opsluživanja										
q_{br} (t)	V_g (m^3)	ρ_z (t/ m^3)	q_n (t)	m_g (t)	$q_n + m_g$ (t)	Q_{diz} (t/h)	Q_{diz} 10^3 (t/mj)	Q_{pm} 10^3 (t/mj)	μ (1/mj)	ρ (-)

Na ovaj način su izdefinisani parametri λ, μ i ρ koji predstavljaju ulazne podatke za analizu stanja sistema. Dakle, potrebno je izvršiti analizu stanja sistema za različit broj pretovarnih mjesta.

$\alpha = \rho/n$ - faktor opterećenja pretovarnih mjesta

Stanje sistema

- Verovatnoća da su svi kanali opsluživanja slobodni: $P_o = \left(\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{-1}$
- Verovatnoća da su svi kanali opsluživanja zauzeti: $P_z = \frac{\rho^n}{n!} P_o \frac{1}{1-\alpha}$
- Verovatnoća da je bar jedan kanal opsluživanja slobodan: $P_o^1 = 1 - P_z$
- Srednji broj jedinica u redu čekanja: $\bar{k}_r = \frac{\rho^n}{n!} P_o \frac{\alpha}{(1-\alpha)^2}$
- Srednje vreme čekanja: $\bar{t}_r = \bar{k}_r / \lambda$
- Srednji broj jedinica u sistemu (opsluživanje+čekanje): $\bar{k} = \bar{k}_r + \rho$
- Srednje vreme boravka u sistemu (opsluživanje+čekanje): $\bar{t}_s = \bar{k} / \lambda$

n	α	$1/n!$	P_o	P_z	P_o^1	$\bar{k}_r$	$\bar{t}_r$	$\bar{k}$	$\bar{t}_s$
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(mj)	(-)	(mj)
1									
2									
3									
4									

Potrebno je izvršiti analizu sistema za n broj pretovarnih mjesta. Na osnovu faktora opterećenja, kao rezultata iz Tabele, može se zaključiti za koji broj pretovarnih mjesta postoji vjerovatnoća od preko 90% da će bar jedno od tih mjesta biti slobodno u momentu nailaska plovila.

Izbor broja pretovarnih mjesta predstavlja izbor željene pouzdanosti rada sistema.

Osim pouzdanosti rada sistema, bitan faktor je i finansijsko ulaganje koje je vezano za određenu pouzdanost.

2. Dužina operativne obale

Dužina operativne obale se određuje pomoću izraza:

$$L_{oo} = n(L_{pl} + \Delta L) \text{ (m)}$$

gdje je n – broj pretovarnih mjesta, a ΔL – rezervna dužina (15-20m). Dužina operativne obale određuje dužinu kejskog zida u pristaništu.

3. Optimizacija broja pretovarnih mjesta i dužine kejskog zida

Izbor najpovoljnije varijante broja pretovarnih mjesta (dizalica) i dužine kejskog zida zasniva se na analizi odnosa dobiti i troškova (B/C) i određivanju neto dobiti ($B - C$). Analiza dobiti i troškova se sprovodi na godišnjem nivou. Ukupni troškovi predstavljaju zbir troškova poslovanja pretovarne mehanizacije, troškova kejskog zida i bruto plata zaposlenih, a dobit – prihod od pretovara tereta.

3.1 Troškovi pretovara

Dizalice:

$$T_d = TE + TM + TAM_d + TIO_d + TOS_d + TAN_d \quad [\text{EUR/god}],$$

Troškovi poslovanja obuhvataju pogonske troškove dizalica (energije i maziva) $TE + TM$, troškove amortizacije TAM_d , održavanja TIO_d , osiguranja TOS_d i otplate zajma (anuitet) TAN_d .

Troškovi energije za pogon dizalica iznose:

$$TE = q_e (n_{cik}/3600) c_e \quad [\text{EUR/god}],$$

gdje je q_e - potrošnja energije po radnom ciklusu (kWs) – podatke preuzeti iz priloga o mehanizaciji datog u poglavlju „1. Parametri sistema opsluživanja“;

$$n_{cik} = \sum n_{pl} * \frac{G_{pl}}{q_n}$$

gdje je n_{cik} broj radnih ciklusa u periodu od godinu dana, a c_e jedinična cijena energije (EUR/kWh).

Troškovi maziva se obično uzimaju procentualno u odnosu na troškove energije: $TM = 0.1 * TE$.

Izdavanja za amortizaciju, održavanje, osiguranje i otplatu zajma zavise od visine investicija za nabavku dizalica:

$$CN = n_{diz} \cdot c_n \quad [\text{EUR}],$$

gdje je n_{diz} – broj dizalica u datoj varijanti, a c_n – cijena dizalice (EUR).

Pojedinačno, godišnji troškovi iznose:

- amortizacija:

$$TAM_d = CN \cdot (1 + i_1)^{N_1} \left[\frac{i_1}{(1 + i_1)^{N_1} - 1} \right] \quad [\text{EUR/god}],$$

gdje je i_1 – kamatna stopa, a N_1 – obračunski period;

- investiciono održavanje i osiguranje:

$$TIO_d = p_1 \cdot TAM_d \quad [\text{EUR/god}]$$

$$TOS_d = p_2 \cdot TAM_d \quad [\text{EUR/god}],$$

gdje je $p_1 = p_2 = 10\%$

- anuitet – rata otplate zajma

$$TAN_d = CN \cdot (1 + i_o)^{N_1} \left[\frac{i_o}{(1 + i_o)^{N_1} - 1} \right] \quad [\text{EUR/god}],$$

gdje je i_o – kamatna stopa.

Kejski zid:

Troškovi kejskog zida iznose:

$$T_z = TAM_z + TIO_z + TAN_z + TOS_z \quad [\text{EUR/god}],$$

definišu se u odnosu na cijenu njegove gradnje a koja je data po metru dužnom izgradnje:

$$CG = L_{oo} \cdot c_g \quad [\text{EUR}],$$

gdje je L_{oo} – dužina operativne obale (m), a c_g – cijena izgradnje (EUR/m).

Pojedinačno, godišnji troškovi iznose:

- amortizacija

$$TAM_z = CG \cdot (1 + i_2)^{N_2} \left[\frac{i_2}{(1 + i_2)^{N_2} - 1} \right] \quad [\text{EUR/god}],$$

gdje je i_2 – kamatna stopa, a N_2 – obračunski period;

- investiciono održavanje i osiguranje

$$\begin{aligned}TIO_z &= p_4 \cdot TAM_z \quad [\text{EUR/god}] \\TOS_z &= p_5 \cdot TAM_z \quad [\text{EUR/god}],\end{aligned}$$

gdje je $p_4=p_5=10\%$.

- anuitet – rata otplate zajma

$$TAN_z = CG \cdot (1 + i_o)^{N_2} \left[\frac{i_o}{(1 + i_o)^{N_2} - 1} \right] \quad [\text{EUR/god}].$$

gdje je i_o – kamatna stopa.

Bruto plate zaposlenih:

Radi pojednostavljenja proračuna, bruto plate zaposlenih računaju se procentualno u odnosu na zbir prethodno definisanih troškova:

$$TP = p_3 \cdot (T_d + T_z) \quad [\text{EUR/god}],$$

gdje je $p_3=30\%$.

Ukupni troškovi dobijaju se sabiranjem troškova pretovarne mehanizacije (dizalica), kejskog zida i bruto plata zaposlenih:

$$C = T_d + T_z + TP \quad [\text{EUR/god}].$$

3.2 Prihod od pretovara (dobit)

Ekonomska dobit je prihod koji se ostvaruje pretovarom u pristaništu:

$$B = \frac{T_{nav}}{\bar{t}_s} \cdot G_{pl} \cdot c_p \quad [\text{EUR/god}],$$

gdje je T_{nav} – navigacioni period (mj), a $\bar{t}_s$ – srednje vrijeme boravka plovila u sistemu (mj), a c_p – jedinična cijena pretovara (EUR/t).

3.3 Vrednovanje varijanti na osnovu dobiti i troškova

Odnos dobiti i troškova (B/C) pokazuje koliko se novčanih jedinica dobiti ostvaruje na jednu novčanu jedinicu troškova. Varijanta je prihvatljiva ako je $B/C > 1$, a bolja je ona varijanta kod koje je vrijednost ovog odnosa veća. Neto dobit predstavlja razliku dobiti i troškova ($B - C$). Varijanta je prihvatljiva ako je $B - C > 0$, a prednost ima varijanta kod koje je ova vrijednost veća.

Zahtijevani nivo pouzdanosti rada sistema je 90%, pa se na osnovu tog parametra usvaja optimalna varijanta.

Mehanizacija								
$n = n_{diz}$ [–]	CN 10^3 [EUR]	TE	TM	TAM_d	TIO_d	TOS_d	TAN_d	T_d
10^3 [EUR/god]								
1								
2								
3								
4								

Kejski zid								Plate
n [–]	L_{oo} [m]	CG 10^3 [EUR]	TAM_z	TIO_z	TOS_z	TAN_z	T_z	TP
10^3 [EUR/god]								
1								
2								
3								
4								

Vrednovanje i uporedjivanje varijanti					
n [–]	P_o^1 [–]	C 10^3 [EUR/god]	B	B/C [–]	$B - C$ 10^3 [EUR/god]
1					
2					
3					
4					

4. Dimenzionisanje skladišta

Intenzitet dolaska tereta u skladište se definiše parametrom λ , a intenzitet opsluživanja, parametrom μ . U modelu pristaništa, istovar plovila predstavlja prvu fazu rada, a uskladištenje tereta, drugu fazu. Obje faze podrazumijevaju istu vremensku jedinicu (mjesec dana).

Imajući u vidu pretpostavku da sav istovareni teret odlazi u skladište, vrijednost λ je ista u obje faze. Vrijednost λ dobijena prilikom proračuna broja pretovarnih mjesta se koristi i za dimenzionisanje skladišta.

Intenzitet opsluživanja (μ) vezuje se za površinu skladišta. Kanal opsluživanja u ovom slučaju predstavlja određena površina skladišta (modul).

Dužina skladišnog modula se računa prema obrascu:

$$Lsk = 0.8 * Loo$$

dok je površina skladišnog modula Am jednaka:

$$Am = 0.8 * Loo * 10m^2$$

Prosječna količina rasutog tereta koja se može smjestiti na površini skladišnog modula zavisi od vrste tereta:

$$Q_m = A_m \cdot \Delta_s$$

gdje je: Δ_s (t/m^2) – specifično opterećenje skladišta koje zavisi od vrste tereta (podatke preuzeti iz priloga o mehanizaciji datog u poglavlju „1. Parametri sistema opsluživanja“).

Kako se skladište dimenzioniše prema mjesečnim količinama tereta, količina Q_m definisana prethodnim izrazom predstavlja istovremeno mjesečni protok tereta kroz modul skladišta [t/mj].

Intenzitet opsluživanja predstavlja prosječan broj plovila čiji se teret može smjestiti u modul skladišta svakog mjeseca.

$$\mu = Q_m / G_{pl} [1/mes]$$

Parametri skladišnog sistema su dakle, λ , μ i faktor opterećenja $\rho = \lambda/\mu$, koji u ovom slučaju predstavlja srednji broj skladišnih modula potreban da se prihvati sav istovareni teret. Faktor opterećenja skladišnih modula je:

$$\alpha = \rho/n,$$

gdje je u ovom slučaju n - broj skladišnih modula. Sa poznatim vrijednostima navedenih parametara mogu se odrediti vjerovatnoće stanja sistema pomoću izraza datih u poglavlju „Parametri opsluživanja-stanje sistema“.

Dimenzionisanje skladišta:

n	α	$1/n!$	P_o	P_z	P_o^1	$\bar{k}_r$	$\bar{t}_r$	$\bar{k}$	$\bar{t}_s$
$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[mes]$	$[-]$	$[mes]$

1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

Bitan parametar sistema jeste α , odnosno faktor opterećenja skladišnih modula, koji mora biti manji od 1, $\alpha < 1$, kako bi bio obezbijeđen potreban skladišni prostor za istovareni teret. Osim toga, potrebno je analizirati vjerovatnoću, odnosno pouzdanost P_o^1 . Potrebno je usvojiti isti stepen pouzdanosti kao za pretovarna mjesta u fazi istovara, odnosno pouzdanost veću od 90%.

5. Dimenzionisanje akvatorije pristaništa

Potrebna dubina akvatorije se definiše u odnosu na kotu male vode:

$$H_a = \sum_{i=1}^5 H_i$$

gdje je:

- H_1 – maksimalni gaz plovila,
- H_2 – (0.10-0.20)m – navigaciona dubina ispod plovila
- H_3 – 0.30 m – rezervna dubina zbog povećanja gaza plovila u toku utovara, usljed dinamičkih udara
- H_4 – rezervna dubina za slučaj istaložavanja nanosa (m)
- H_5 – $(0.3 \cdot h_t - H_2)$ – dopunska dubina za slučaj pojave talasa visine h_t (m).

Kota teritorije pristaništa se definiše u odnosu na kotu velike vode:

$$Z_t = Z_{vv} + h_t$$

gdje je h_t – rezerva u slučaju pojave talasa. Kota velike vode je vezana za određenu vjerovatnoću pojave, u ovom slučaju za povratni period od 100 godina.

Akvatorija pristaništa obuhvata:

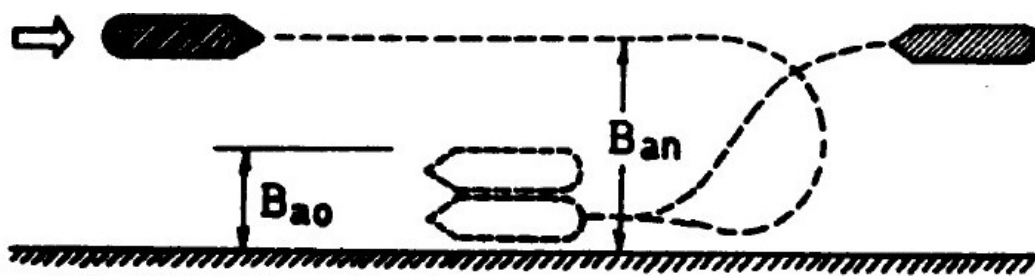
- navigacioni dio akvatorije;
- operativni dio akvatorije;
- sidrište.

Navigacioni dio akvatorije se koristi za potrebe manevrisanja plovila pri pristajanju uz operativnu obalu. Minimalna potrebna širina ovog dijela iznosi:

$$B_{an} = (1.2 \div 3.0) \cdot L_{pl}$$

Operativni dio akvatorije služi za smještaj plovila u fazi pretovara i računa se:

$$B_{ao} = 3.5 \cdot B_{pl}$$



Shematski prikaz navigacionog i operativnog dijela akvatorije

